

БОБИРЬ Д. В., СЕРДЮК В. Н., МИКУЛЕНКО М. В.

ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ТЕПЛОВОЗІВ

ПІДРУЧНИК



ДНІПРО
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Д. В. Бобирь, В. Н. Сердюк, М. В. Микуленко

Електричне обладнання тепловозів

ПІДРУЧНИК

ДНІПРО
2024

УДК 629.424.1(075.8)
Б 72

Авторський колектив:
Бобирь Д. В., Сердюк В. Н., Микуленко М. В.

Рекомендовано вченою радою УДУНТ
Протокол № 9 від 29.05.2023

Б 72 **Бобирь, Д. В.** Електричне обладнання тепловозів : підручник /
Д. В. Бобирь, В. Н. Сердюк, М. В. Микуленко ; за ред. В. Н. Сер-
дюка ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Електрон. вид. – Дніпро
: УДУНТ, 2024. – 316 с.

ISBN 978-617-7440-36-8 (PDF)

У підручнику описані принципи роботи електричної передачі, приведена конст-
рукція тягових і допоміжних електричних машин, акумуляторних батарей та елект-
ричних апаратів тепловозів.

Призначений для опанування освітньої компоненти «Електричне обладнання ло-
комотивів» та дипломного проектування за спеціальністю 273 «Залізничний транс-
порт» для ОПП «Локомотиви та локомотивне господарство».

Іл. 211. Табл. 17. Бібліогр.: 7 назв.

УДК 629.424.1(075.8)



Цей твір ліцензовано на умовах Ліцензії Creative Commons
[«Attribution-NonCommercial-ShareAlike» 4.0 International \(CC BY-NC-SA4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)
(«Із зазначенням авторства –Некомерційна –Поширення на тих самих умо-
вах» 4.0 Міжнародна)

ISBN 978-617-7440-36-8 (PDF)
DOI 10.15802/978-617-7440-36-8

© Бобирь Д. В., Сердюк В. Н., Микуленко М. В., 2024
© Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2024

Зміст

Терміни та визначення	7
Вступ	11
ГЛАВА 1. ПЕРЕДАЧІ ЛОКОМОТИВІВ	15
1.1. Призначення передачі потужності та її властивості .	15
1.2. Принципи управління тяговими електричними машинами. Регулювання тягових генераторів	21
1.3. Приклади схем електричних передач тепловозів. Передача постійного струму	25
ГЛАВА 2. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ І ХАРАКТЕРИСТИК ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕДАЧ ТЕПЛОВОЗІВ.....	29
2.1. Визначення вихідних параметрів обладнання електричних передач	29
2.2. Схеми та обладнання тепловозів з електричними передачами постійного та змінно-постійного струму	34
2.3. Схема та обладнання тепловозів з електричною передачею змінного струму	40
ГЛАВА 3. ТЯГОВІ ГЕНЕРАТОРИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	48
3.1. Особливості тягових електричних машин локомотивів	48
3.2. Конструкція тягових генераторів постійного струму	52
3.3. Колектор, обмотка якоря, щіткотримачі тягового генератора ГП-311Б	59
3.4. Тяговий генератор ГП-300Б маневрового тепловоза ТЕМ2	68
ГЛАВА 4. ТЯГОВІ ЕЛЕКТРОДВИГУНИ ТЕПЛОВОЗІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	72
4.1. Загальні відомості про тягові електродвигуни	72
4.2. Конструкція тягових електродвигунів типу	

ЕД-118А, ЕД-118Б	75
4.3 Особливості конструкції тягових електродвигунів ЕД-125Б, ЕД-126	88
ГЛАВА 5. ТЯГОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ ТЕПЛОВОЗІВ ЗМІННОГО СТРУМУ	92
5.1. Тягові синхронні генератори.....	92
5.2. Тягові агрегати	97
5.3. Тягові електродвигуни змінного струму.....	100
ГЛАВА 6. ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНЕ ГАЛЬМУВАННЯ ТЕПЛОВОЗІВ.....	104
6.1. Призначення електричного гальмування.....	104
6.2. Способи регулювання гальмівної сили та гальмівні характеристики.....	108
6.3. Системи електродинамічного гальмування тепловозів	112
ГЛАВА 7. ДОПОМІЖНІ ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ ТЕПЛОВОЗІВ.....	119
7.1. Призначення та умови роботи допоміжних машин	119
7.2. Допоміжні машини постійного струму.....	121
7.3. Допоміжні машини змінного струму	127
ГЛАВА 8. АКУМУЛЯТОРНІ БАТАРЕЇ ТЕПЛОВОЗІВ.....	134
8.1. Хімічні джерела електричної енергії.....	134
8.2. Кислотні акумуляторні батареї.....	138
8.3. Лужні акумуляторні батареї.....	141
ГЛАВА 9. ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ	147
9.1. Електричні контакти.....	147
9.2. Електрична дуга та дугогасильні пристрої.....	151
9.3. Приводи електричних апаратів	154
ГЛАВА 10. КОМУТАЦІЙНІ ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ.....	156
10.1. Електропневматичні та електромагнітні контактори.....	156
10.2. Контролери машиніста.....	168

10.3. Реверсори.....	173
ГЛАВА 11. АПАРАТИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ, КОНТРОЛЮ І ЗАХИСТУ	179
11.1. Реле управління та заземлення	179
11.2. Реле переходу та боксування.....	184
11.3. Реле тиску масла, повітря. Температурне реле. Реле часу	191
ГЛАВА 12. БЕЗКОНТАКТНІ ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ.....	200
12.1. Магнітні апарати.....	200
12.2. Напівпровідникові пристрої	208
12.3. Безконтактні регулятори напруги допоміжних генераторів і статор-генераторів.....	216
ГЛАВА 13. СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ ТЯГОВИХ ГЕНЕРАТОРІВ.....	224
13.1. Застосування збуджувачів з поздовжньо та поперечно розщепленими полюсами	224
13.2. Регулювання напруги тягових генераторів постійного струму при використанні магнітних підсилювачів (МУ)	229
13.3. Регулювання напруги тягових генераторів змінного струму у разі використання напівпровідникових пристроїв	234
ГЛАВА 14. ЕЛЕКТРИЧНІ СХЕМИ ТЕПЛОВОЗІВ	240
14.1. Схеми силових кіл та кіл збудження тягових електричних машин	240
14.2. Управління тяговими електродвигунами тепловозів	251
14.3. Удосконалення управління тяговими електричними машинами	255
14.4. Динамічна жорстка характеристика тягового генератора по напрузі.....	257
ГЛАВА 15. ЕЛЕКТРИЧНІ СХЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕПЛОВОЗАМИ	262
15.1. Схеми пуску, управління та захисту дизелів	

тепловозів 2ТЕ10М.....	262
15.2. Схеми включення тягового режиму та управління рухом тепловозів.....	271
15.3. Особливості схем автоматики та захисту електрообладнання тепловозів 2ТЕ10М і 2ТЕ116	278
15.4. Кола управління ослабленням збудження тягових електродвигунів	279
15.5. Коло реле буксування.....	280
15.6. Коло реле заземлення	283
15.7. Електричний привід компресора тепловозів 2ТЕ116	284
ГЛАВА 16. УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ СУЧАСНИХ ТЕПЛОВОЗІВ	288
16.1. Системи управління та регулювання тепловозів на базі мікропроцесорної техніки.....	288
16.2. Сучасні магістральні тепловози з тяговими електричними машинами змінного струму	299
16.3. Мікропроцесорна система управління тяговою електричною передачею МСУ-ТП тепловоза 2ТЕ116У	304
16.4. Мікропроцесорна система поосного регулювання дотичної сили тяги.....	305
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	312
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК.....	313

Терміни та визначення

АЛСН – автоматична локомотивна сигналізація неперервної дії. Призначена для оповіщення локомотивної бригади про сигнали світлофора, до якого наближається локомотив, а також у випадках, коли локомотивна сигналізація застосовується як самостійний засіб сигналізації та зв'язку, вказує на кількість вільних блок-ділянок попереду. Сигнали виводяться на невеликий світлофор, розташований у кабіні машиніста. Додатково локомотивна сигналізація контролює машиніста щодо проїзду червоного сигналу. У випадку проїзду АЛС автоматично приведе у дію гальма.

АЛСТ – автоматична локомотивна сигналізація точкової дії. Коди передаються на локомотив тільки на певних ділянках (крапках). Зазвичай на межі блок-ділянки.

Безконтактний датчик або **сенсорний вимикач**, також **сенсор наближення** (англ. *proximity sensor*) – позиційний вимикач, що спрацьовує без механічного зіткнення з рухомою частиною (машиною). Позиційний вимикач – автоматичний вимикач ланцюгів управління, механізм управління якого задіється при досягненні рухомою частиною машини заданого положення.

Ємність акумулятора – це якнайбільш можливий корисний заряд, що віддається повністю зарядженим акумулятором при розряджанні до найменшої допустимої напруги.

Залізничний транспорт (залізниця) – вид рейкового транспорту, що здійснює перевезення пасажирів та вантажів в колісних екіпажах, що рухаються залізничною колією. Залізничний транспорт є галуззю промисловості, частиною транспортної мережі.

Збудник (електричний) - джерело електричного струму (як правило, постійного), призначене для живлення обмотки збудження основного генератора.

Індуктивний датчик – безконтактний датчик, призначений для контролю положення об'єктів з металу (до інших матеріалів не чутливий).

ККД або **к.к.д.** – коефіцієнт корисної дії.

Комутація – процес зміни напрямку струму в секції обмотки якоря,

пов'язаний із переходом її з однієї паралельної гілки в іншу, називається комутацією, а секція – комutowаною.

Контактор (англ. *contactor*, нім. *Schütz, Schaltschütz, Kontaktgeber*) – двопозиційний контактний електричний апарат з самоповерненням, призначений для частих комутацій струмів, що не перевищують передбачених струмів перевантаження, та який дистанційно керується за допомогою електрики.

Мотор-компресор призначений для нагнітання запасу повітря в головні резервуари, що використовується для роботи гальм, звукових сигналів, пісочниць, склоочисників, електроапаратів із пневматичним приводом.

Поїзд або **потяг** – у залізничному транспорті, сформований і зчеплений склад вагонів з одним або декількома діючими локомотивами чи моторними вагонами, що мають встановлені сигнали. Локомотиви без вагонів, моторні вагони, автомотриси та дрезини незнімного типу, відправлені на перегін, розглядаються як поїзд.

Прожектор (фр. *projecteur*, від лат. *projectus* «кинутий вперед») – світловий прилад, що перерозподіляє світло лампи (ламп) усередині малих тілесних кутів, що забезпечує кутове скупчення світлового потоку.

Реверсор – електричний апарат, за допомогою якого виконується переключення кінців обмоток збудження тягових електродвигунів, завдяки чому змінюється напрямок струму в них. Зміна напрямку струму приводить до зміни напрямку обертання якоря електродвигуна, а значить і до зміни напрямку руху тепловоза.

Рекуперативне гальмування – вид електричного гальмування, під час якого електроенергія вироблена тяговим електродвигуном, повертається в електричну мережу або накопичується в електричних акумуляторах.

Реле тиску (англ. *pressure switch, pressure relay*; нім. *Druckschalter*) – пристрій, призначений для подання сигналу після того, як тиск робочого середовища досягне заданого значення.

Реле часу (реле витримки часу) – реле, що призначено для створення потрібної затримки, або декількох затримок у передаванні впливу, між окремими вузлами автоматичних пристроїв, або від одного пристрою до іншого, шляхом створення незалежної витримки часу для забезпечення певної послідовності роботи елементів схеми. Реле часу використовується у випадках, коли потрібно автоматично виконувати якусь дію не одразу після надходження сигналу керування, а за деякий заданий проміжок часу.

Реле-регулятор – електронний чи електронно-механічний пристрій,

що здатний підтримувати напругу, яка видається генератором транспортного засобу, у заданих межах для нормального функціонування споживачів цієї напруги.

Реостатне гальмування (*реостатне гальмо*) – вид електричного гальмування, під час якого електроенергія, вироблена тяговими електродвигунами, які працюють в генераторному режимі, поглинається рухомим складом в гальмівних резисторах.

Тепловоз або **теплотяга** – автономний локомотив, первинним двигуном якого є двигун внутрішнього згорання, найчастіше дизельний.

Тепловоз ЗТЕ116У – вантажний магістральний трисекційний тепловоз, який виготовлявся в Україні на Луганському тепловозобудівному заводі. Модифікація 2ТЕ116 з додаванням третьої секції, що підвищило потужність.

Тепловоз ТГМ1 – перший серійний радянський маневровий тепловоз з гідропередачею, спроектований Муромським тепловозобудівним заводом (Тепловоз з Гідропередачею, Маневровий).

Тяговий електродвигун ТЕД – електричний двигун, призначений для приведення в рух транспортних засобів, зокрема електровозів, електропоїздів, тепловозів.

Тяговий залізничний рухомий склад – локомотиви, моторвагонний та інший рухомий склад, що володіє тяговими властивостями для здійснення і забезпечення перевізного процесу на залізничному транспорті.

Електровоз, або **електротяга**, (англ. *electric locomotive*; нім. *Elektrolokomotive, E-Lok*) – неавтономний локомотив, що приводиться в рух тяговими електродвигунами, які живляться електричним струмом від контактної мережі.

Електропоїзд (*розмовне «електричка»*) – моторвагонний рухомий склад, який переміщують бортові електродвигуни, що отримують енергію із контактної мережі або від акумуляторних батарей. Потяги формуються із моторних і причіпних вагонів. Головні і хвостові вагони електропоїзда мають кабіни керування.

Електричний генератор – пристрій, призначений для перетворення енергії механічного руху на енергію електричного струму, здебільшого з використанням принципу електромагнітної індукції. Електричний генератор є електричною машиною з дією, протилежною роботі електродвигуна. Завдання джерела механічної енергії для генератора, можуть виконувати: парова машина чи парова турбіна, потік води, що обертає колесо, вітер, двигун внутрішнього згорання або навіть сила людини.

Електричний акумулятор – хімічне джерело електричного струму

багаторазової дії, особливість якого полягає в зворотності внутрішніх хімічних процесів, що забезпечує його багаторазове циклічне використання для накопичення електричної енергії та автономного електроживлення.

Електричне гальмування (*динамічне гальмування, динамічне гальмо*) – вид гальмування, при якому гальмівний ефект досягається за рахунок перетворення кінетичної і потенціальної енергії транспортного засобу (поїзд, тролейбус і т. д.) в електричну. Цей вид гальмування заснований на таких властивостях тягових електродвигунів, як «обернення», тобто можливість їхньої роботи як генераторів.

Електрична передача (електрична трансмісія) являє собою з'єднання електрогенератора і електродвигуна (або декількох генераторів і двигунів) для передачі обертання від первинного двигуна до рушія або виконавчого органу.

Вступ

Енергетичним колом локомотива називається комплекс агрегатів, які перетворюють енергію, що надходять на локомотив, в механічну енергію, що використовується для руху поїзда.

На тепловозах з електричною передачею тяговий (головний) генератор перетворює механічну енергію двигуна внутрішнього згоряння електричну для живлення тягових електродвигунів. Отриману від тягового генератора електричну енергію електродвигуни знову перетворюють на механічну енергію та обертають рушійні колісні пари локомотива. Така в загальних рисах схема електричної передачі тепловозів. Крім тягових електричних машин, на тепловозах встановлені різні додаткові електричні генератори та електродвигуни, електричні апарати та пристрої керування, автоматичне регулювання роботи окремих агрегатів, захист обладнання від неприпустимих режимів роботи.

Тепловози мають електричні світлові сигнали, прожектори, систему внутрішнього та зовнішнього освітлення. Для пуску дизелів, а також дії сигналів, освітлення при дизелі, що не працює, використовуються акумуляторні батареї. Агрегати та пристрої електричного обладнання об'єднані для взаємодії електричними ланцюгами, виконаними з дротів різного перерізу.

Електричні машини та апарати в процесі роботи нагріваються внаслідок втрат енергії в них. Для охолодження атмосферним повітрям застосовують як вентилятори, встановлені безпосередньо на валах електричних машин (самовентиляція), і додаткові окремі вентилятори.

Основні вимоги, які пред'являються до електричної передачі тепловозів та електроустаткування в цілому.

Передача насамперед має забезпечити ефективну роботу тепловоза за умов залізничного транспорту. Саме передача дозволяє від'єднати дизель від рухомих колісних пар під час його пуску або руху поїзда на «вибігу» перед зупинкою, а також на ділянках колії зі спусками. Для плавного торкання поїзда з місця, стійкої роботи дизеля за допомогою передачі машиніст може поступово нарощувати силу тяги локомотива аж до максимальної умови зчеплення коліс з рейками, що обмежується. У передачу введено пристрій для швидкої зміни напрямку обертання (реверсування)

рухомих колісних пар локомотива та зміни напрямку руху без зміни напрямку обертання колінчастого валу дизеля. Реверсування дизеля пов'язане зі значним ускладненням його конструкції, а головне вимагає тривалого часу. Наприклад, продуктивність маневрового тепловоза може знизитися в кілька разів, якщо змінювати напрямок руху шляхом реверсування дизеля. Передача реалізує задану машиністом потужність дизель-генератора (зокрема і номінальну) за зміни швидкості руху локомотива з поїздом залежно від профілю колії та інших умов.

Не менш важливою вимогою до передачі є забезпечення економічної витрати палива роботи тепловоза. З урахуванням ваги поїзда, профілю шляху, допустимої швидкості руху машиніст тепловоза реалізує різну потужність дизеля, зазвичай змінюючи частоту обертання колінчастого валу за допомогою контролера. Передача повинна при кожній встановленій машиністом частоті обертання валу забезпечувати таку потужність дизеля, при якій питома витрата палива буде найменшою.

Таким чином, при зниженні потужності дизель працюватиме в режимах найбільшої економічності для кожного значення потужності, що реалізується, або, як кажуть, працювати за економічною характеристикою. Виконуючи цю умову, вдається значно знизити витрату дизельного палива в експлуатації, так як тепловози більшу частину часу працюють на частковій потужності (що є частиною номінальної потужності).

Підвищення коефіцієнта корисної дії (к.к.д.) самої передачі також скорочує непоправні втрати енергії, покращує використання дизельного палива, що витрачається тепловозом. Зменшення втрат у передачі тепловозів всього на 5 % еквівалентно економії в цілому на залізничному транспорті понад 100 тис. тон дизельного палива на рік вартістю понад 55 млн. грн.

В даний час к.к.д. електричної передачі тепловозів досягає 82–86 % при роботі на номінальній потужності.

Вимоги щодо компактності та обмеження маси електричного обладнання тепловозів обумовлені не лише прагненням знизити витрати дефіцитних матеріалів та загальну вартість виготовлення тепловозів. Завдання забезпечення безперервно зростаючих вимог народного господарства та населення країни у збільшенні вантажних та пасажирських перевезень можуть вирішуватись лише за умови створення все більш потужних локомотивів. При існуючих обмеженнях осьових навантажень підвищення потужності локомотивів має супроводжуватися зниженням питомої металомісткості основного устаткування. Так, з розвитком вітчизняного тепловозобудування в післявоєнний період від створення тепловозів серії ТЕ1 до випуску тепловозів типу ТЕ10 питома маса дизелів була знижена з 23,4 кг/кВт (17,2 кг/к. с.) до 8,8 кг/кВт (6,5 кг/к. с.). На

перспективних тепловозах ТЕР70, 2ТЕ121 цей показник дизелів потужністю 2940 кВт (4000 к. с.) доведено до 5,4 кг/кВт (4 кг/к. с.). Маса дизеля, що є джерелом механічної енергії на тепловозі, становить 16–19 т. Сумарна маса тільки тягового генератора та тягових електродвигунів однієї секції тепловоза 2ТЕ10Л, незважаючи на всі вжиті заходи щодо її зниження, досягає 27,5 т. Тому електрообладнання обмежує, і при тому більшою мірою, ніж дизель, подальше підвищення секційної потужності тепловозів. Звідси впливає необхідність поліпшення показників за питомою масою та компактністю електрообладнання за одночасного забезпечення високої експлуатаційної надійності. Надійність та достатня довговічність обладнання тепловозів є необхідними умовами для підвищення економічної ефективності локомотивного господарства. Складність забезпечення високої працездатності електроустаткування погіршується вкрай важкими умовами експлуатації. Так, температура навколишнього повітря змінюється від +40–45 °С до –40–55 °С. Тепловози працюють і за снігових хуртовин, і в піщаних бурях. Устаткування під час руху локомотива піддається сильній вібрації, забруднення – особливо тягові електродвигуни.

Вимоги зручності обслуговування в експлуатації, технологічності ремонту електрообладнання є очевидними та впливають із необхідності полегшення праці обслуговуючого персоналу, зниження трудомісткості, вартості експлуатації та ремонту локомотивів.

Тільки з урахуванням перелічених вимог можна зрозуміти особливості пристрою, роботи електричних машин та іншого електричного устаткування тепловозів.

В курсі навчальної дисципліни «Електричне обладнання локомотивів» системно розглядаються питання вивчення фізичних основ та принципів електромеханічного перетворення енергії, особливості конструкції та експлуатації тягових і допоміжних електричних машин, трансформаторів, напівпровідникових перетворювачів, вивчення основ теорії електричних апаратів і схем сучасних та перспективних магістральних, маневрових та промислових локомотивів.

Метою дисципліни є досягнення компетентностей, які ґрунтуються на зазначених в освітньо-професійній програмі, а саме:

- здатність розробляти з урахуванням фізичних та економічних параметрів технічні завдання і технічні умови на проектування тягових електричних машин і апаратів, перетворювачів, їх систем та окремих елементів;
- здатність аналізувати техніко-економічні та експлуатаційні показники електричного обладнання локомотивів, систем управління та регулювання з метою визначення та усунення негативних чинників та

підвищення ефективності роботи;

- здатність застосовувати методи та засоби технічних вимірювань, технічні регламенти, стандарти та інші нормативні документи при технічній діагностиці тягових та допоміжних електричних машин, їх систем, агрегатів та вузлів;

- здатність розробляти та впроваджувати технологічні процеси, технологічне устаткування і технологічне оснащення, засоби автоматизації та механізації при виробництві, експлуатації, ремонті та обслуговуванні тягових електричних машин, апаратів та перетворювачів локомотивів.

Через логічну послідовність викладеного матеріалу та цілісну систему з урахуванням внутріпредметних і міжпредметних зв'язків, систематичність і наступність викладання, чіткість структури та її відповідності програмі навчальної дисципліни підручник сприяє досягненню наступних очікуваних результатів навчання:

- відтворювати термінологію з теорій роботи електричних машин і апаратів тягового рухомого складу;

- пояснювати особливості конструкції допоміжних електричних машин, акумуляторних батарей та напівпровідникових регуляторів напруги тепловозів та електровозів;

- класифікувати методи та засоби випробування електрообладнання локомотивів в режимах тяги та електричного гальмування;

- обчислювати та будувати характеристики електрообладнання локомотивів, дотримуючись певних методик;

- аналізувати систему регулювання напруги тягових електричних машин при навантаженні локомотивів;

- аналізувати параметри та режими роботи електричних апаратів автоматичного управління, контролю та захисту локомотивів;

- порівнювати, співставляти та аналізувати конструкцію, параметри і характеристики електричних передач локомотивів.

ПЕРЕДАЧІ ЛОКОМОТИВІВ

1.1. Призначення передачі потужності та її властивості

Призначення передачі. Тепловоз, у якого колінчастий вал дизеля безпосередньо з'єднаний з осями рушійних колісних пар (так званий тепловоз безпосередньої дії), практично непрацездатний. Без додаткових пристроїв такий локомотив не зможе зрушити з місця і слідувати із заданою швидкістю по перегону. Це пояснюється тим, що давати навантаження на дизель можна тільки при частоті обертання колінчастого валу, рівною приблизно $1/3$ номінального її значення; потужність дизеля збільшується при збільшенні частоти обертання колінчастого валу, нарешті, конструкція дизеля не допускає великих перевантажень.

Обертаючий момент, створений дизелем, майже не залежить від частоти обертання його валу (при постійній подачі палива). Сила тяги F_d тепловоза безпосередньої дії також не залежить від частоти обертання колінчастого вала.

Тягова характеристика такого тепловоза – лінія 1 (рис. 1.1) не забезпечує зрушення та розгін поїзда. На тепловозі необхідно встановлювати додатковий двигун для розгону. Дизель з повним навантаженням зможе працювати тільки на розрахунковому підйомі, а на більш легких ділянках профілю він буде недовантажений. Ідеальна тягова характеристика повинна мати залежність у вигляді гіперболи (крива 2 на рис. 1.1), при якій забезпечується зміна сили тяги обернено пропорційна швидкості руху. Для отримання характеристики, відповідно найбільш ефективній роботі тепловоза, необхідно встановлювати комплекс пристроїв, призначених для передачі потужності від колінчастого вала дизеля до осей рушійних колісних пар, так званий **передачею потужності**. Передача потужності перетворює момент і частоту обертання валу силової установки, які змінюються по заданому закону обертального моменту і частоти осей колісних пар.

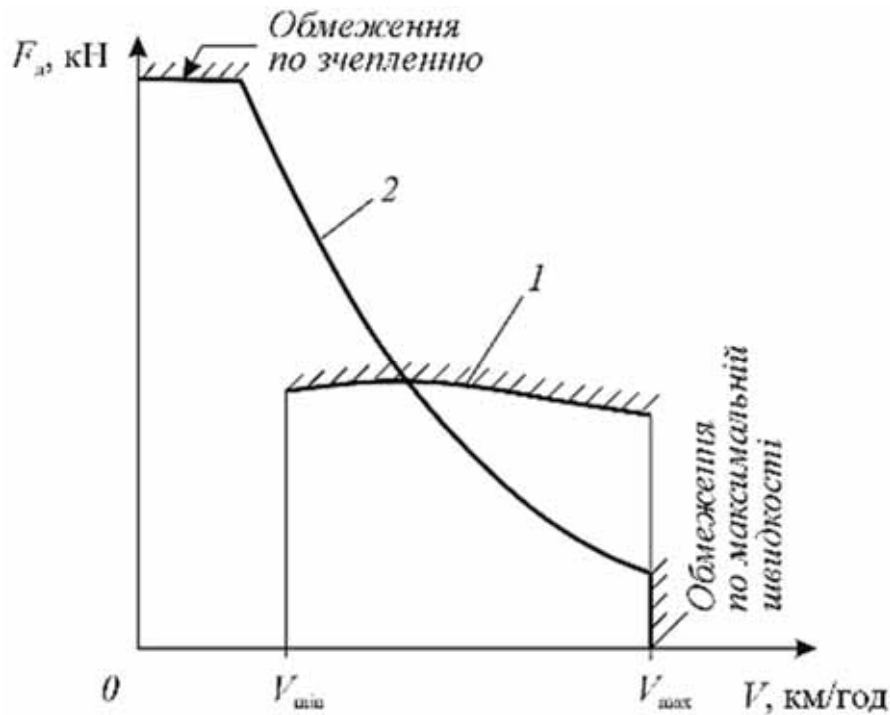


Рис. 1.1. Залежність сили тяги тепловоза від швидкості

Вимоги, що пред'являються до передачі потужності. Передача тепловоза повинна забезпечити: силу тяги в момент рушання й розгону поїзда, що набагато перевищує за значенням силу тяги при номінальному режимі; використання повної потужності дизеля у всьому діапазоні швидкостей руху локомотива (тобто режим дизеля може зберігатися незмінним при різних умовах руху поїзда); пуск дизеля і роботу його на холостому ході; зміна напрямку руху тепловоза при постійному напрямку обертання валу дизеля.

Передача потужності повинна володіти високою надійністю і довговічністю, найменшими розмірами, масою і вартістю, високим коефіцієнтом корисної дії (к.к.д.) на всіх режимах роботи, мінімальними витратами на обслуговування та ремонт. На тепловозах застосовуються три типи передач потужності: електрична, гідравлічна та механічна. Найбільшого поширення набула електрична передача, яка за багатьма показниками найбільш ефективна. Для сучасних електричних передач характерно збільшення потужності при збереженні майже тих же габаритних розмірів і зменшенні питомих мас.

Сила тяги локомотива встановлюється в залежності від сили опору руху та необхідної величини прискорення або уповільнення поїзда. Граничні значення сили тяги та швидкості руху визначаються параметрами локомотива. У тепловоза передача потужності дає можливість змінювати

будь-яку з чотирьох величин: момент на вхідному валу передачі, частоту його обертання, силу тяги та швидкість руху локомотива. У цьому випадку можна передбачити оптимальні режими роботи дизеля за різних умов руху та відповідно необхідні режими руху поїзда. Вид характеристики моменту опору зовнішнього навантаження на передачу робить значний вплив на економічність роботи дизеля. Необхідно прагнути до того, щоб характеристика моменту опору на передачу була по можливості ближче до лінії найбільшої ефективності роботи дизеля.

Види передач потужності локомотивів. З різноманіття можливих варіантів передач потужності застосовують механічну, гідромеханічну та електричну передачі. Механічна та гідромеханічна передачі використовуються виключно на тепловозах. Електрична передача потужності – універсальна.

Механічна передача потужності. Механічна передача потужності складається з двох або більше пар зубчастих коліс, включення в роботу тієї чи іншої пари здійснюється муфтами зчеплення. При переході з одного ступеня на інший крутний момент та швидкість на вихідному валу змінюються за законом зворотної пропорційності, а обумовлена їх добутком потужність залишається постійною.

Управління механічною передачею здійснюється дистанційно за допомогою пневматичних, гідравлічних або електричних приводних механізмів, які переміщують ведені диски муфт зчеплення.

Досвід експлуатації тепловозів з механічною передачею показав, що «провали» сили тяги при переключенні ступенів в коробці передач приводять до погіршення поздовжньої динаміки поїзда.

На потужних магістральних тепловозах механічна передача потужності поширення не отримала. Застосування механічної передачі можливо на транспортних засобах малої потужності. З механічними передачами працюють автомотриси різних типів. На них встановлені серійні автомобільні п'яти ступінчасті коробки передач.

Гідравлічна передача потужності. Гідравлічна передача потужності являє собою пару гідравлічних апаратів, з яких один (гідронасос) з'єднаний з валом первинного двигуна, а інший (гідродвигун) працює за рахунок енергії рідини, нагнітаючим насосом. Вихідний вал гідродвигуна з'єднується з ведучими колесами локомотива. Якщо крутний момент від вхідного вала до вихідного передається головним чином за рахунок використання тиску робочої рідини (що доходить до 350 кг/см^2) при незначній швидкості її руху (2–3 м/с) то передача називається гідростатичною. У гідростатичних передачах застосовують об'ємні (поршневі або частіше ротаційні) насоси та двигуни.

Насос і гідродвигун гідростатичної передачі можна установити на тепловозі практично на будь-якій відстані один від одного, що дає можливість розташовувати допоміжне обладнання в будь-якому зручному місці.

Зміна сили тяги і швидкості руху локомотива з гідростатичною передачею досягається зміною швидкості руху рідини в передачі. При цьому можна отримати великі значення кратності зміни сили тяги і швидкості руху при високих значеннях к.к.д. передачі.

Гідростатична передача поршневого типу знайшла застосування переважно в якості допоміжних машин, зокрема для вентиляторів холодильної установки тепловозів ТЕП70.

Якщо крутний момент передається в основному за рахунок кінетичної енергії рідини при незначному використанні тиску, передача називається **гідродинамічною**. Основними апаратами гідродинамічних передач є гідротрансформатори і гідромуфти. Гідромашина, в якій насос, турбіна і реактор об'єднані в одному корпусі, називається **гідротрансформатором** (рис. 1.2). Гідромашина, що складається тільки з насоса і турбіни, називається **гідромуфтою** (рис. 1.3). Тут енергія від ведучого вала до веденого передається тільки за допомогою рідини, що циркулює по колесах.

Найбільш простою за своєю конструкцією є гідромуфта (гідродинамічна муфта). Вона складається з двох основних елементів – відцентрового колеса, яке за принципом дії являє собою відцентровий насос, і гідравлічної турбіни з гранично зближеними лопатевими системами. На ведучому валу укріплений насос 1 (лопатеве насосне колесо), а на веденому валу 5 – турбіна 3 (лопатеве турбінне колесо). З насосним колесом скріплений корпус 4 (у деяких літературних джерелах – кожух, колокол), який охоплює турбінне колесо.

Вхідні й вихідні кромки лопаток насосного колеса розташовуються у безпосередній близькості до вихідних і відповідно вхідних кромок лопаток турбінного колеса з зазором, необхідним для забезпечення вільного обертання та теплового розширення цих коліс.

Лопатки насосного та турбінного коліс зазвичай виготовляються плоскими, радіальними, без внутрішнього тора. Ведучий та ведений вали встановлені у станині на радіально-упорних підшипниках кочення. Для ізоляції внутрішньої порожнини гідромуфти від оточуючого середовища застосовуються сальникові ущільнення. З метою неперегрівання робочої рідини, частина її через отвір 2 надходить до охолоджувального пристрою, а після охолодження знов повертається до робочої порожнини гідромуфти.

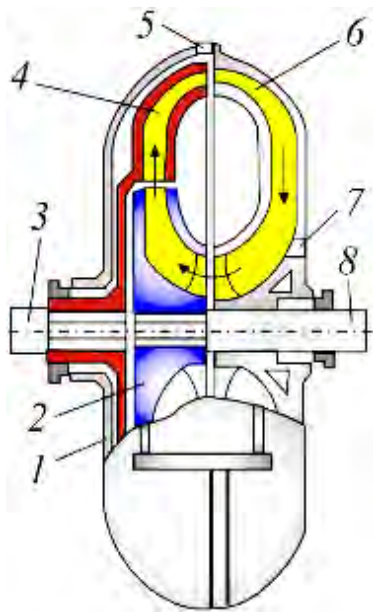


Рис. 1.2. Принципова схема гідротрансформатора:

1 – кожух гідротрансформатора; 2 – насосне колесо; 3 – вихідний (ведений) вал; 4 – турбінне колесо; 5 – отвір для відведення рідини до холодильника; 6 – спрямовуючий апарат (реактор); 7 – отвір для подачі рідини до гідротрансформатора; 8 – вхідний (ведучий) вал

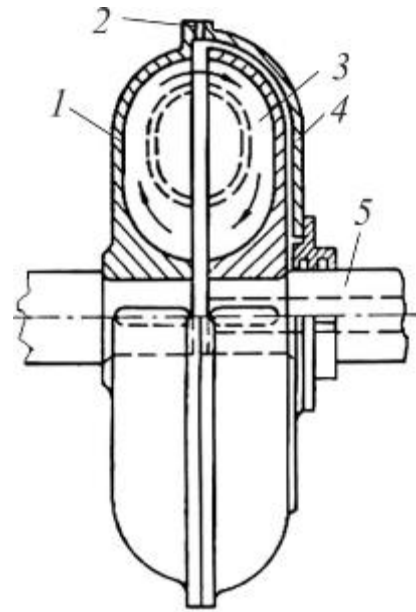


Рис. 1.3. Принципова схема гідромуфти:

1 – насосне колесо (насос); 2 – отвір; 3 – турбінне колесо (турбіна); 4 – кожух; 5 – ведений вал

Дія гідромуфти відбувається за принципом перетворення енергії в лопаткових системах насоса й турбіни.

Гідромашина, яка здатна працювати в режимах гідротрансформатора і гідромуфти, утворюючи одне коло циркуляції, називається **комплексним гідротрансформатором**. Комплексний гідротрансформатор працює у двох режимах – у режимі гідротрансформатора та у режимі гідромуфти.

Комплексний гідротрансформатор з двома розділеними спрямовуючими апаратами (реакторами), схема якого наведена на рис. 1.4, працює у таких режимах: у першому режимі пусковий гідротрансформатор, у другому режимі як маршовий гідротрансформатор, у третьому як гідромуфта.

Характеристики гідростатичних і гідродинамічних передач різні. Тому кожна передача має свої області застосування. В одних випадках ці області є загальні. В інших випадках мають можливості відмовитися від застосування зубчастих редукторів або спросити їх, значно збільшивши діапазон швидкостей, покращити економіку приводу, зменшити вагу обладнання, зменшити габаритні розміри і, нарешті, автоматизувати робочі процеси машин.

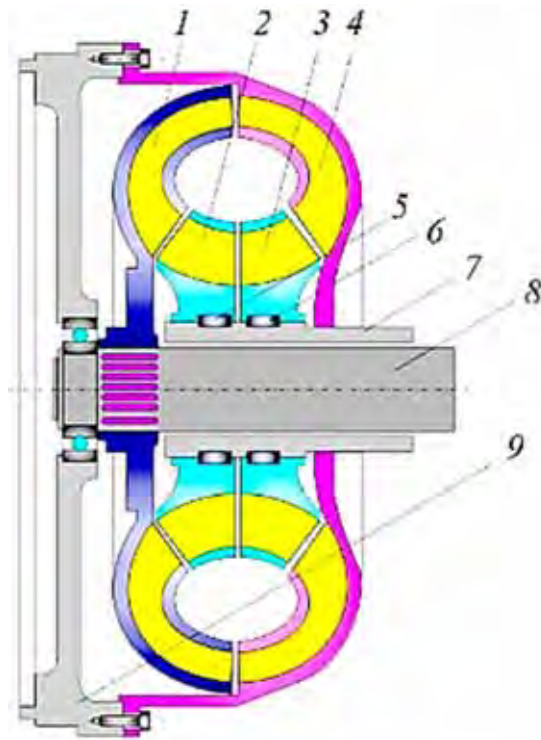


Рис. 1.4. Принципова схема комплексного гідротрансформатора з двома спрямовуючими апаратами (реакторами):
 1 – турбінне колесо; 2, 3 – спрямовуючий апарат; 4 – насосне колесо; 5, 6 – механізм вільного ходу; 7 – нерухомий порожнистий вал; 8 – ведений вал; 9 – корпус, пов'язаний із ведучим валом

Електрична передача потужності. Найбільшого поширення на магістральних локомотивах залізниць отримала електрична передача. На тепловозах застосовують електричні передачі потужності постійного, змінно-постійного і змінного струму. Переважне поширення у світовій практиці має передача на постійному струмі. Коефіцієнт корисної дії електричної передачі при тривалому режимі 84–86 %. У зв'язку зі збільшення потужності тепловозів набувають великого поширеного поширення змінно-постійного струму.

Електрична передача постійного струму складається з тягового генератора G , що приводиться в обертання валом дизеля D , тягових електродвигунів $1, 2$, розташованих на рушійних колісних парах тепловоза, системи збудження генератора $СЗГ$ (рис. 1.5, a), а також ряду допоміжних машин і апаратів. Електрична передача дозволяє автоматично пристосовуватися до умов руху поїзда. Сила тяги, створювана тяговими електродвигунами, збільшується при зростанні опору руху та зменшенні швидкості і, навпаки, зменшується при падінні опору руху та збільшенні швидкості.

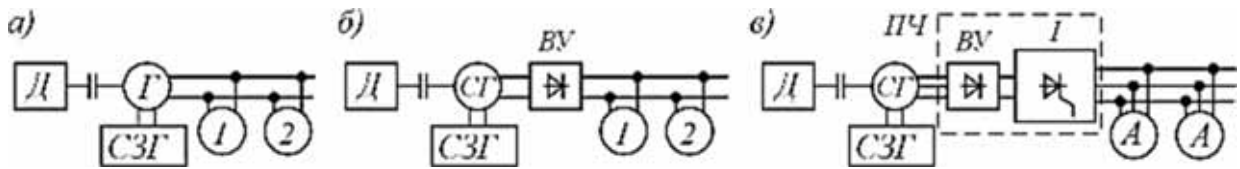


Рис. 1.5. Схеми електричних передач потужності:
 а) на постійному струмі; б) на змінно-постійному струмі; в) на змінному струмі

Сила тяги у тепловоза з електричною передачею (при даній потужності дизеля) обмежується температурою нагрівання обмоток тягових електричних машин, що допускає велике короточасне перевантаження. Недоліки електричної передачі – велика маса, висока вартість і підвищена витрата кольорових металів в порівнянні з іншими видами передач. Тепловози з цим видом передачі мають порівняно високий к.к.д.

Створення більш потужних тепловозів з електричною передачею постійного струму викликає багато труднощів, головне з яких – незадовільна комутація тягових генераторів постійного струму. Тому застосовують передачу змінно-постійного струму, в якій замість генераторі постійного струму встановлюються синхронний генератор і випрямляюча установка. При передачі змінно-постійного струму (рис. 1.5, б) дизель обертає вал трифазного синхронного генератора СГ, напруга якого підводиться до випрямляючої установки ВУ і після випрямлення до тягових електродвигунів постійного струму 1, 2.

В електричній передачі змінного струму використовують асинхронні короткозамкнені тягові двигуни. Змінний струм тягового синхронного генератора СГ подається на випрямляючу установку ВУ (рис 1.5, в), випрямлений струм якої підводиться до тиристорного інвертора, де перетворюється на змінний струм регульованої частоти, яким живляться асинхронні тягові двигуни А.

1.2. Принципи управління тяговими електричними машинами. Регулювання тягових генераторів

Потужність дизеля регулюють зміною частоти обертання колінчастого вала n_d . При такому регулюванні к.к.д. дизеля залишається майже постійним в широких межах зміни частоти обертання. Тому на

тепловозах з електричною передачею застосовують ступінчасту (зазвичай 8...15 позицій контролера) зміну частоти обертання валу дизеля при повному використанні максимального крутного моменту. Число ступенів вибирається таким, щоб при переході з одного ступеня на інший не було великих змін сили тяги та струму.

Незважаючи на те що для дизеля зазвичай встановлюється декілька ступенів потужності, розрахунковим приймається режим, відповідний повної потужності, яка повинна підтримуватися постійною в широкому діапазоні швидкостей руху тепловоза.

Сталість потужності дизеля N_e може бути легко досягнуто за допомогою електричної передачі. Для цього достатньо, щоб добуток струму тягового генератора на напругу був постійним $I_T \cdot U_T = \text{const}$. У цьому випадку **зовнішня характеристика генератора** (залежність напруги від струму за постійну частоту обертання), так само як і тягова характеристика, зображується рівнобічною гіперболою (лінія b, v на рис. 1.6).

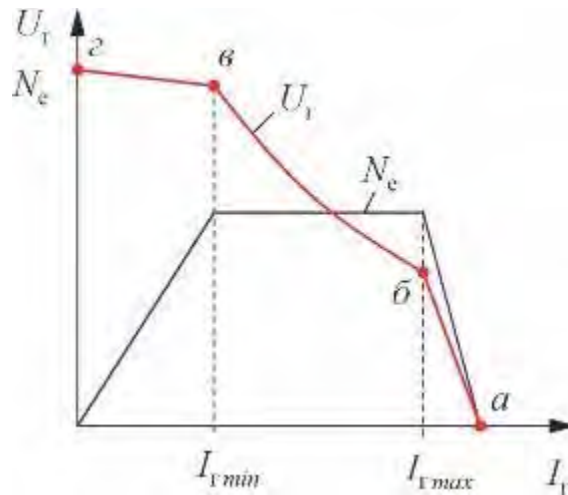


Рис. 1.6. Зовнішня характеристика тягового генератора і зміна потужності дизеля

На тепловозах застосовуються тягові генератори з незалежним збудженням, і створення їх гіперболічної зовнішньої характеристики забезпечується системами автоматичного регулювання напруги СЗГ (див. рис. 1.5), які можуть використовувати спеціальні збудники (електромашинні системи), магнітні підсилювачі або напівпровідникові елементи (тиристри).

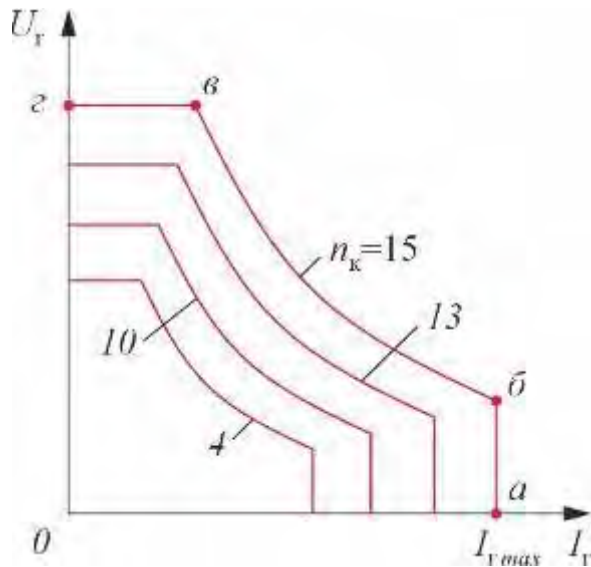


Рис. 1.7. Залежність напруги тягового генератора від струму при різних позиціях контролера

Система регулювання напруги тягового генератора повинна забезпечити при різних позиціях контролера (часткових навантаженнях) **постійність потужності тягового генератора** на рівнях, відповідних економічним режимам роботи дизеля.

На сучасних тепловозах застосовують схеми автоматичного регулювання струму збудження тягових генераторів, що забезпечують отримання гіперболічної характеристики (використання повної потужності дизеля) за рахунок спеціальних автоматичних регуляторів (див. рис. 1.7).

Управління тяговими електродвигунами. Відомо, що частота обертання якоря електродвигуна постійного струму:

$$n_{\text{я}} = \frac{U - I \sum R}{c_e \Phi},$$

де U – напруга на затискачах двигуна, В;

I, R – струм і опір обмоток якоря відповідно, А, Ом;

Φ – магнітний потік, Вб;

c_e – машинна стала.

З формули видно, що частоту обертання якоря двигуна можна регулювати, змінюючи напругу, магнітний потік або опір у колі якоря. Останній спосіб на тепловозах не застосовується.

Зміна напруги, що підводиться до тягового електродвигуна відбува-

ється безперервно зі зміною струму навантаження (опору руху), тому що тяговий генератор має гіперболічну зовнішню характеристику.

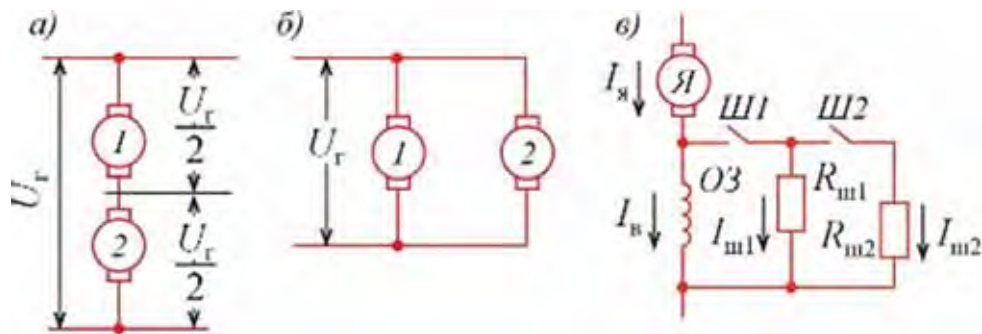


Рис. 1.8. Схеми з'єднання електродвигунів:
 а) послідовно; б) паралельно; в) підключення резисторів ослаблення збудження

Під час зміни потужності дизеля перестановкою головної рукоятки або штурвала контролера машиніста з однієї позиції на іншу, змінюють частоту обертання вала дизеля, а отже, і напругу тягового генератора. Такий спосіб використовується під час розгону поїзда. Для потужних тепловозів застосовують паралельне включення двигунів та два ступеня ослаблення збудження (рис. 1.8).

На тепловозах магнітний потік (поле збудження) електродвигунів регулюють ступінчасто шунтуванням обмотки збудження, застосовуючи для цього паралельне підключення резисторів (рис. 1.8, в). При повному полі струм якоря проходить по обмотці збудження, так як електродвигуни мають послідовне збудження. Якщо ж підключено за допомогою контакторів Ш1, Ш2 шунтуючі резистори $R_{ш1}$ та $R_{ш2}$ то по обмотці збудження пройде тільки частина струму якоря. Отже зі зменшенням струму в обмотці збудження магнітний потік також зменшується, а частота обертання якорів тягового електродвигуна зростає. Відношення струму збудження $I_{в}$ до струму якоря $I_{я}$ називається коефіцієнтом ослаблення збудження. На тепловозах застосовують одну або дві ступені ослаблення збудження. Вказаний коефіцієнт не повинен бути менше 0,25, тому що це може викликати різке погіршення комутації тягових електродвигунів.

1.3. Приклади схем електричних передач тепловозів. Передача постійного струму

Електрична передача постійного струму отримала найбільш широке застосування на тепловозах. У якості прикладу на рис. 1.9 представлена принципова схема електричної передачі тепловоза 2ТЕ10М.

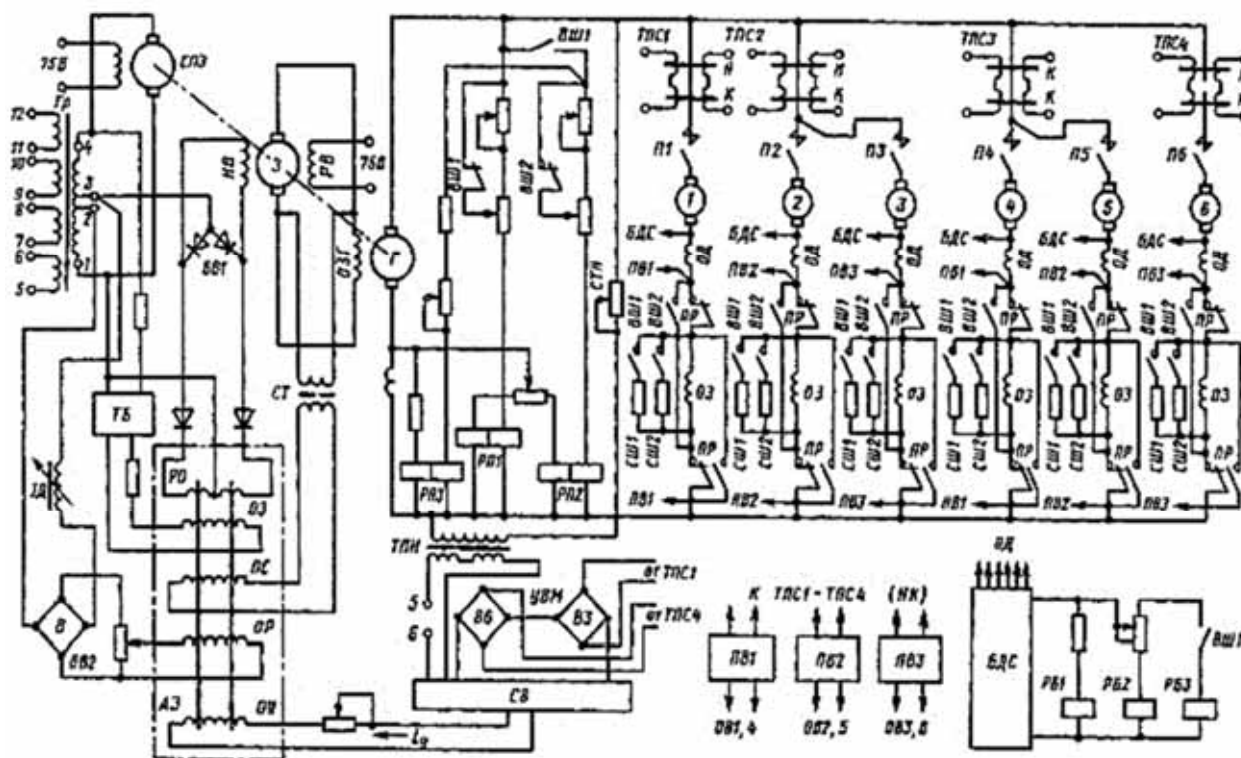


Рис. 1.9. Принципова схема електричної передачі постійного струму:
 1-6 – двигуни тягові; Г – генератор тяговий; РБ1-РБ3 – реле боксування; РП – реверсор; ОЗ – обмотка збудження тягових двигунів; ОД – обмотка додаткових полюсів тягових двигунів; СШ1, СШ2 – резистори ослаблення збудження; ВШ1, ВШ2 – групові контактори ослаблення збудження; П1-П6 – поїзні контактори; РП1, РП2 – реле ослаблення збудження; РП3 – реле обмеження максимальної швидкості; СРПН1, СРПН2, СРПН3 – резистори в ланцюзі котушок напруги РП1, РП2, РП3; З – збудник; СПЗ – синхронний підзбудник; ТР – трансформатор розподільний; СРПТ1, СРПТ2 – резистори в ланцюзі струмових котушок РП1, РП2, РП3; ТБ – блок такومترічний; АЗ – амплістат; ІД – індуктивний датчик; ТПН – трансформатор постійної напруги; ТПС1-ТПС4 – трансформатори постійного струму; СВ – вузол селективний; СТ – трансформатор стабілізуючий; БВ1, БВ2 – випрямлячі; СБТ, СТН, СОУ, СОЗ, СОР – резистори; ПВ1, ПВ2, ПВ3 – випрямні блоки зрівняльних з'єднань; БДС – блок порівняння

Тяговий генератор G постійного струму живить тягові електродвигуни $I - 6$, які з'єднані паралельно. Генератор G має незалежне збудження, а електродвигуни – послідовне. До генератора тягові електродвигуни підключаються електропневматичними контакторами $П1 - П6$.

Для розширення діапазону використання повної потужності тягового генератора застосовуються два ступеня ослаблення збудження електродвигунів. Для цього включають резистори $СШ1, СШ2$ паралельно обмоткам збудження $ОЗ$ електродвигунів за допомогою групових контакторів $ВШ1, ВШ2$. Напрямок руху тепловоза змінюється реверсором $ПР$, який змінює напрямок струму в обмотках збудження $ОЗ$.

Незалежна обмотка збудження генератора G отримує живлення від збудника постійного струму $З$, що має дві обмотки збудження: незалежну $НЗ$ і розмагнічую $РЗ$. Обмотка $НЗ$ отримує живлення від амплістата збудження $АЗ$ (магнітного підсилювача з внутрішнім зворотнім зв'язком), а обмотка $РЗ$ від допоміжного генератора $ДГ$. Амплістат збудження має чотири обмотки управління: задаючу $ОЗ$, регульовальну $ОР$, управління $ОУ$ і стабілізуючу $ОС$.

Комплексний противобуксувальний пристрій тепловоза забезпечує виявлення буксування та його припинення з невеликими втратами сили тяги, а також створення динамічних жорстких характеристик тягового генератора. Система зрівняльних з'єднань двигунів призначена для поліпшення противобуксувальних властивостей тепловоза. При жорстких динамічних характеристиках зрівняльні з'єднання забезпечують більш ефективно відновлення нормального режиму роботи електродвигунів буксуючих колісних пар.

Розмагнічуюча обмотка $РЗ$ забезпечує збудження $З$ при пошкодженні елементів автоматичної системи регулювання напруги генератора G і розмагнічування збудника, а отже, і обмеження струму генератора при русанні з місця. Розмагнічування $З$ викликано тим, що амплістат має великий струм холостого ходу.

Передача змінно-постійного струму. Така електрична передача застосована на тепловозі 2ТЕ116 (рис. 1.10). Змінна напруга тягового синхронного генератора $СГ$ подається до випрямної установки $ВУ$ і після випрямлення підводиться до шести тягових електродвигунів. Двигуни, з'єднані паралельно, підключаються до тягового генератора за допомогою електропневматичних контакторів $П1 - П6$. Генератор $СГ$ також забезпечує живлення змінним струмом асинхронні електродвигуни вентиляторів охолодження різного призначення.

Сила тяги та швидкість тепловоза залежать від струму та напруги

тягового генератора. Їх співвідношення визначає зовнішньою характеристикою генератора. Для розширення діапазону швидкостей тепловоза, за яких використовується повна потужність дизеля, передбачені дві ступені ослаблення збудження тягових електродвигунів: перша ступінь ОП1 – 60 % та друга ОП2 – 37 %. Ослаблення збудження здійснюється підключенням резисторів *СШ1 – СШ6* паралельно обмоткам збудження двигунів за допомогою групових контакторів *ВШ1 і ВШ2*. Перехід на ОП1 і ОП2 і назад відбувається автоматично за допомогою реле переходу *РП1 та РП2*. Зміна напрямку руху тепловоза досягається зміною напрямку струму в обмотках збудження тягових електродвигунів за допомогою реверсора *ПР*.

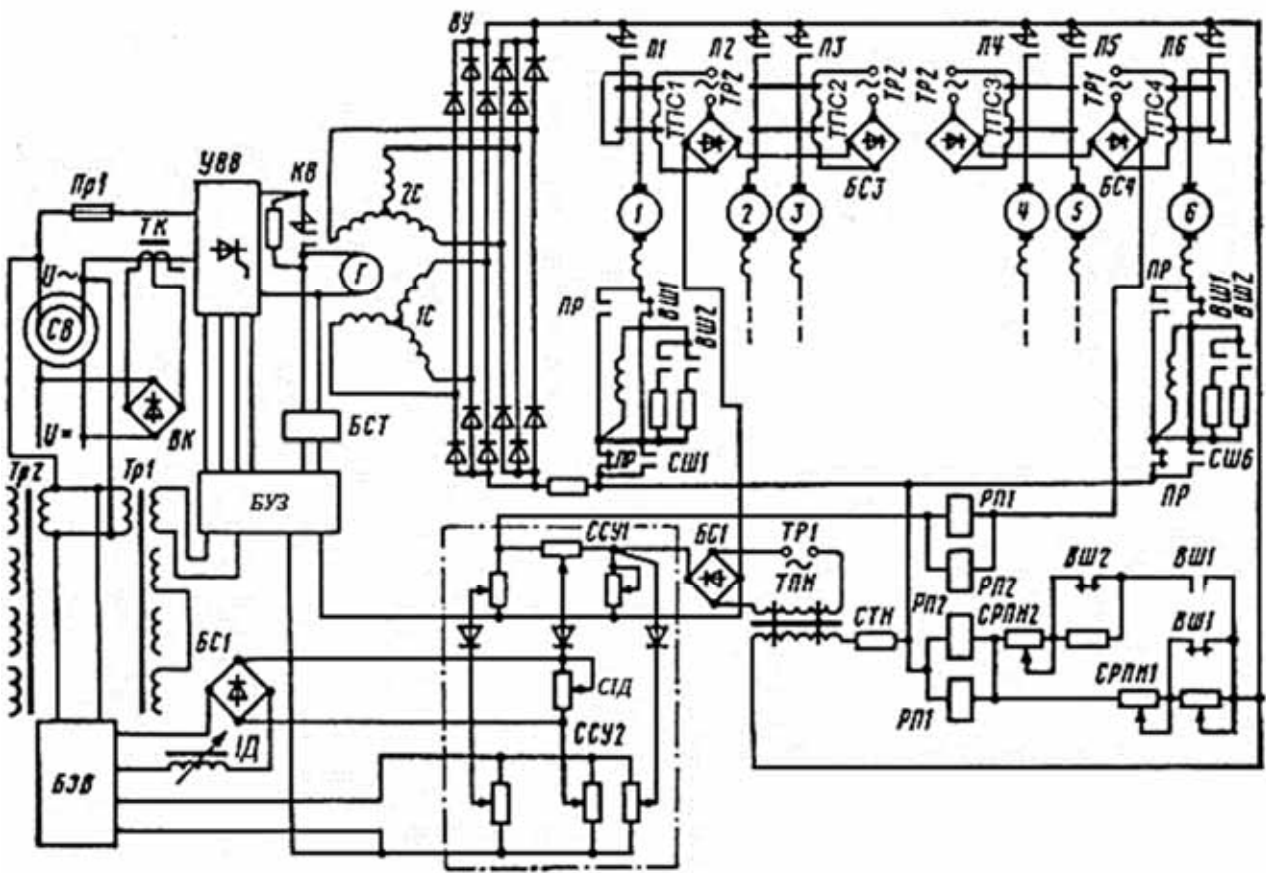


Рис. 1.10. Принципова схема електричної передачі змінно-постійного струму

Обмотка збудження тягового синхронного генератора живиться від однофазного синхронного збудника *СЗ*, через керований випрямляч (підсилювач) *УВВ*. Вихідна напруга *УВВ* регулюється зміною моменту відкриття керованих вентилів (тиристорів), встановлених у двох плечах моста.

Регулюванням струму збудження тягового генератора *СГ* створюєть-

ся потрібна зовнішня характеристика (див. рис. 1.6). Система автоматичного регулювання напруги синхронного тягового генератора $СГ$ побудована за принципом замкнутого регулювання напруги U_G , струму I_G та потужності P_G . Сигнали зворотного зв'язку по струму та напрузі генератора $СГ$, отримані від трансформаторів постійного струму $ТПС1 - ТПС4$ та напруги $ТПН$, надходять у вузол перетворення та порівняння сигналів, іменованій селективним $СВ$. У вузлі $СВ$ за сигналами U_G та I_G формується сигнал по потужності генератора та кожен з них порівнюється з сигналом завдання (уставки).

Отриманий сигнал неузгодженості через блок управління збудженням $БУЗ$ управляє відкриттям тиристорів керованого випрямляча $УВВ$, встановлюючи струм збудження $СГ$, необхідний для підтримки заданого значення однієї з величин I_G , U_G або P_G . Для отримання завдання за значенням I_G , U_G або P_G у вузлі $СВ$ використовують два види сигналів – по частоті обертання та відхиленню потужності дизеля. Перший надходить від тахометричного блоку завдання $БЗВ$, а другий – від індуктивного датчика $ІД$. Система регулювання забезпечує повне використання вільної потужності дизеля при всіх можливих коливаннях.

Запитання до самоконтролю

1. Тягова характеристика тепловоза.
2. Призначення передачі потужності. Вимоги до неї.
3. Види передач потужності та їхня характеристика.
4. Устрій гідравлічних апаратів передачі потужності.
5. Види електричних передач потужності.
6. Зовнішня характеристика тягового генератора.
7. Управління тяговими електродвигунами.

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ І ХАРАКТЕРИСТИК ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕДАЧ ТЕПЛОВОЗІВ

2.1. Визначення вихідних параметрів обладнання електричних передач

Розрахункова сила тяги $F_{др}$, кН, визначається з умови реалізації коефіцієнта тяги на розрахунковому підйомі

$$F_{др} = P_{зч} \psi_{др}, \quad (2.1)$$

де $P_{зч}$ – зчіпна вага локомотива, кН;
 $\psi_{др}$ – коефіцієнт тяги.

Залежно від типу локомотива:

- для пасажирських тепловозів $\psi_{др} = 0,13 \dots 0,15$;
- для вантажних тепловозів $\psi_{др} = 0,18 \dots 0,20$.

Швидкість на розрахунковому підйомі, км/год,

$$V_p = 3,6 \frac{N_d \eta_{п}}{F_{др}}, \quad (2.2)$$

де N_d – вільна потужність силової установки локомотива, кВт;
 $\eta_{п}$ – к.к.д. електричної передачі залежно від її типу:

– постійного струму

$$\eta_{\text{п}} = \eta_{\text{г}} \eta_{\text{тд}} \eta_{\text{зп}}, \quad (2.3, \text{а})$$

– змінно-постійного струму

$$\eta_{\text{п}} = \eta_{\text{г}} \eta_{\text{ву}} \eta_{\text{тд}} \eta_{\text{зп}}, \quad (2.3, \text{б})$$

де $\eta_{\text{г}}$ – к.к.д. тягового генератора;

$\eta_{\text{ву}}$ – к.к.д. випрямної установки;

$\eta_{\text{тд}}$ – к.к.д. тягових двигунів;

$\eta_{\text{зп}}$ – к.к.д. зубчастої передачі тягових двигунів, редукторів.

$$N_{\text{д}} = N_{\text{е}} - N_{\text{доп}}, \quad (2.4)$$

де $N_{\text{е}}$ – ефективна потужність силової установки, кВт;

$N_{\text{доп}}$ – потужність допоміжних агрегатів тепловоза, кВт.

$$N_{\text{доп}} = (0,08 \dots 0,11) N_{\text{е}}. \quad (2.5)$$

Потужність генератора $P_{\text{г}}$, кВт, що віддається на тягові електродвигуни

$$P_{\text{г}} = N_{\text{д}} \eta_{\text{г}} \eta_{\text{ву}}. \quad (2.6)$$

К.к.д. випрямної установки $\eta_{\text{ву}}$ враховується тільки для тепловозів з передачею змінно-постійного струму.

Потужність тягового двигуна $P_{\text{тд}}$, кВт,

$$P_{\text{тд}} = \frac{P_{\text{г}}}{c}, \quad (2.7)$$

де c – кількість тягових двигунів секції тепловоза, звичайно $c = 6$.

Зовнішня характеристика генератора. Ідеальна характеристика головного генератора тепловоза відповідає умові $U_{\text{г}} I_{\text{г}} = \text{const}$ у діапазоні від $I_{\text{гmin}}$ до $I_{\text{гmax}}$, рис. 2.1.

З досвіду проектування й експлуатації тепловозів потужністю більше 1 000 кВт раціонально приймати напругу на виході генератора для тепловозів з паралельним з'єднанням тягових електродвигунів $U_{\Gamma \max} = U_{d\max} = 700 \dots 750 \text{ В}$.

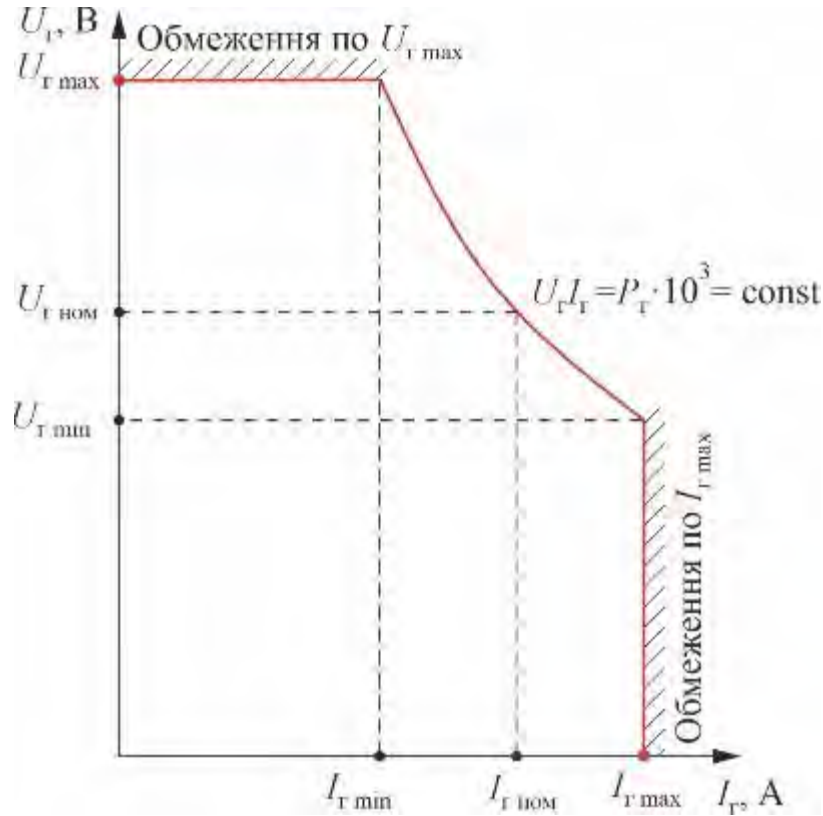


Рис. 2.1. Зовнішня характеристика тягового генератора

У межах гіперболічної частини характеристики генератора лежить його номінальний «тривалий» струм навантаження, який відповідає розрахунковій силі тяги за швидкості на розрахунковому підйомі. Відповідно цьому значенню струму номінальна напруга генератора $U_{\Gamma \text{ном}}$ перебуває в певному співвідношенні з найбільшою напругою $U_{\Gamma \max}$.

Кратність зміни напруги називається коефіцієнтом регулювання генератора за напругою

$$K_{\Gamma}^U = \frac{U_{\Gamma \max}}{U_{\Gamma \text{ном}}} = 1,4 \dots 1,6. \quad (2.8)$$

Відповідно номінальна напруга

$$U_{\Gamma \text{ ном}} = \frac{U_{\Gamma \text{ max}}}{K_{\Gamma}^U}. \quad (2.9)$$

Номинальний струм генератора $I_{\Gamma \text{ ном}}$, А,

$$I_{\Gamma \text{ ном}} = \frac{P_{\Gamma} \cdot 10^3}{U_{\Gamma \text{ ном}}}. \quad (2.10)$$

Мінімальний струм генератора $I_{\Gamma \text{ min}}$, А,

$$I_{\Gamma \text{ min}} = \frac{P_{\Gamma} \cdot 10^3}{U_{\Gamma \text{ max}}}. \quad (2.11)$$

Кратність зміни струму генератора називається коефіцієнтом регулювання генератора за струмом

$$K_{\Gamma}^I = \frac{I_{\Gamma \text{ max}}}{I_{\Gamma \text{ min}}} = 1,8 \dots 2,0. \quad (2.12)$$

Відповідно максимальний струм

$$I_{\Gamma \text{ max}} = K_{\Gamma}^I I_{\Gamma \text{ min}}. \quad (2.13)$$

Мінімальна напруга генератора

$$U_{\Gamma \text{ min}} = \frac{P_{\Gamma} \cdot 10^3}{I_{\Gamma \text{ max}}}. \quad (2.14)$$

Згідно з отриманими даними будується зовнішня характеристика тягового генератора, обмежена гіперболою $U_{\Gamma} I_{\Gamma} = P_{\Gamma} \cdot 10^3$ й прямими U_{dmax} і I_{dmax} (див. рис. 2.1).

Наявність власної енергетичної установки на тепловозі ставить ряд унікальних завдань з її повного використання за найбільшої економічності.

Електричні передачі потужності локомотивів – складні системи, що включають практично всі відомі електричні машини, перетворювачі та апарати.

Основними елементами енергетичного кола тепловозів є: дизель – тяговий генератор – тягові електродвигуни. Загальні параметри тягових електричних машин (потужність, напруга, струм та інші) визначаються згідно розрахункових залежностей (2.1 – 2.1). До електричної передачі постійного струму тепловоза, наприклад, 2ТЕ10М входять тяговий генератор ГП-311Б і тягові електродвигуни ЕД118. Електрична передача змінно-постійного струму тепловозів 2ТЕ116, ТЕП70 має нові елементи обладнання – тяговий синхронний генератор ГС-501А і силову випрямну установку.

Тягові двигуни. Електродвигуни магістральних тепловозів мають струми тривалого режиму 600...1000 А. При такому струмі основні розміри якоря (діаметр $D_{\text{я}}$ і довжина $l_{\text{я}}$) необхідно застосовувати максимально допустимими за умов розміщення двигунів у візках тепловоза. Для діаметра колеса $D_{\text{к}} = 1050$ мм застосовують якір діаметром 493 мм. Максимальне значення діаметра колектора $D_{\text{кол}}$ обмежене шириною колекторної пластини та умовами проходження охолоджувального повітря через якір. Оптимальний діаметр колектора для існуючих та перспективних тепловозів $D_{\text{кол}} = 400...530$ мм. Кількість колекторних пластин обмежується розміром колекторної поділки, яка не повинна бути меншою ніж 5 мм. Досвід проектування та експлуатації показав, що найбільш ефективною кількістю колекторних пластин на паз є $n_{\text{к}} = 4$. Для $D_{\text{я}} = 493$ мм кількість полюсів може становити 4 або 6. Станина чотириполюсного електродвигуна при опорно-осьовому підвішуванні має восьмигранну форму. Для найбільшої потужності $P_{\text{д}} = 450$ кВт, якої може досягати електродвигун з $D_{\text{я}} = 493$ мм, допустима частота обертання якоря $n_{\text{макс}} = 37 \text{ с}^{-1}$.

Електромагнітні розрахунки тягових машин постійного струму рекомендовано починати з обмотки якоря, його пазів та колектора, далі виконуються розрахунки магнітного кола, полюсів, інших параметрів та характеристик.

Магнітне коло двигуна складається з п'яти ділянок, з'єднаних послідовно: осердя (ярма) якоря, зубцевого шару якоря, повітряного зазору, осердій полюсів і ярма (стілки) остова (рис. 2.2).

Основний магнітний потік машини, Вб,

$$\Phi_0 = \frac{0,96U_{\text{тдном}} \cdot 60a}{N_{\text{у}} p n_{\text{яном}}}, \quad (2.15)$$

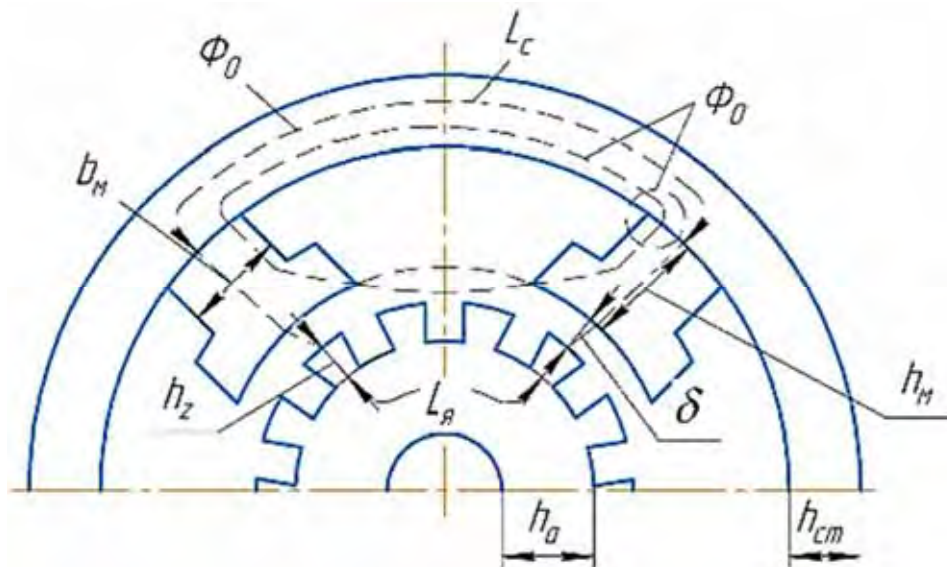


Рис. 2.2. Ескіз магнітного кола тягового чотирьополюсного електродвигуна

де $U_{\text{тдном}}$ – напруга тягового електродвигуна в тривалому режимі, В;
 $n_{\text{яном}}$ – частота обертання якоря в тривалому режимі, хв^{-1} .

Характеристика намагнічування електродвигуна наведена на рис. 2.3.

2.2. Схеми та обладнання тепловозів з електричними передачами постійного та змінно-постійного струму

Схема тепловозів 2ТЕ10У з тяговими електричними машинами постійного струму показана на рис. 2.4. В основі схеми електричної передачі тяговий генератор ГП-311Б і шість тягових електродвигунів ЕД-118 з'єднаних паралельно. Напруга тягового генератора регулюється за допомогою збудника В600, магнітного підсилювача АВ-3А та інших пристроїв автоматики. Підключаються тягові електродвигуни 1–6 до тягового генератора Г електропневматичними контакторами П1–П6.

Регулювання частоти обертів двигунів у схемі електропередачі тепловоза здійснюється за рахунок зміни їх напруги та магнітного потоку.

Потужність тягового генератора ГП-311Б тепловоза 2ТЕ10У (рис. 2.5) 2000 кВт, тягових електродвигунів ЕД-118 305 кВт. Типи й параметри основних електричних апаратів, тягових і допоміжних машин наведені в таблиці 2.1.

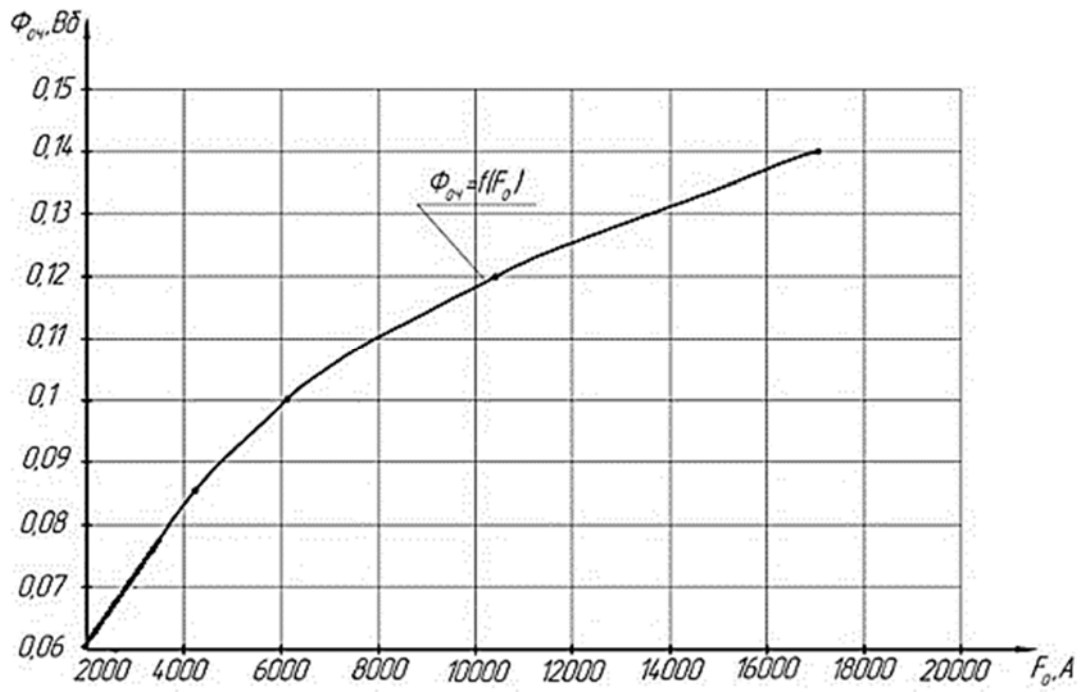


Рис. 2.3. Характеристика намагнічування електродвигуна ЕД-118

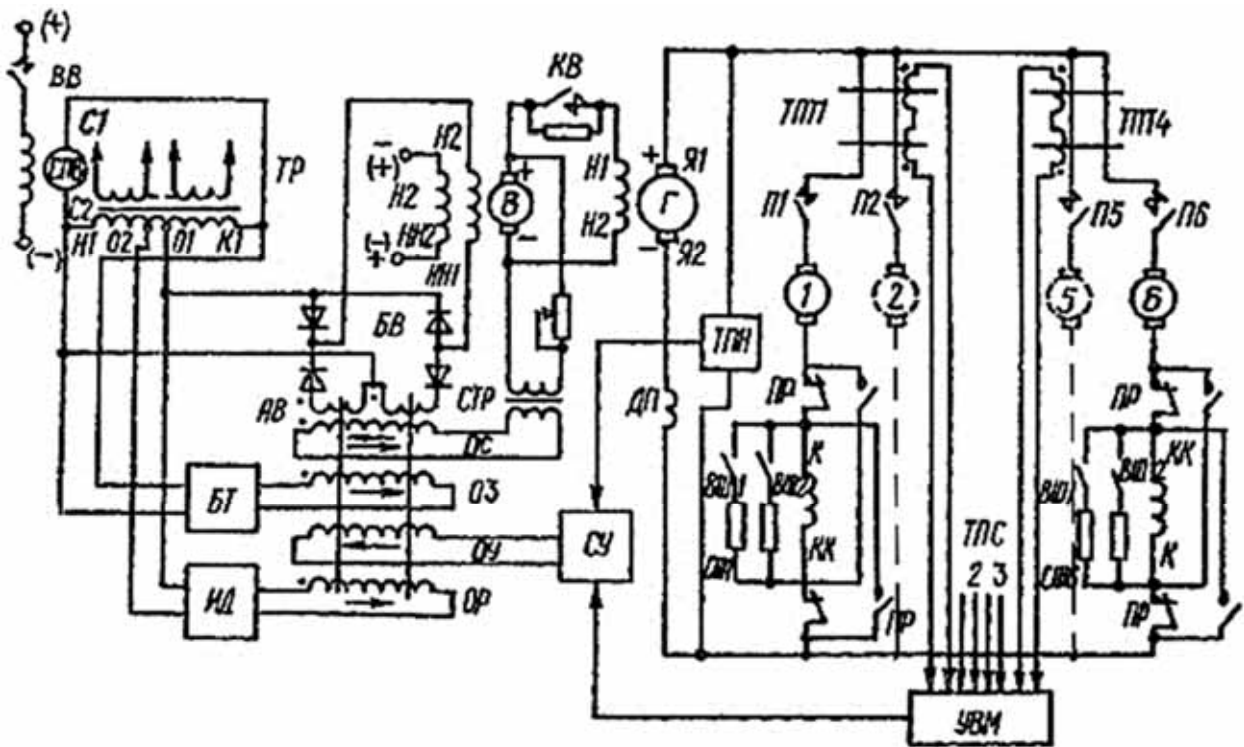


Рис. 2.4. Схема електричної передачі постійного струму



Рис. 2.5. Тепловоз 2ТЕ10У з тяговими електромашинами постійного струму

Таблиця 2.1

Основне електрообладнання передачі постійного струму

Пристрій	Тип	P , кВт	U , В	I , А	Кількість у секції	Позначення на рис. 2.4
Тяговий генератор	ГП-311Б	2000	465	4320	1	<i>Г</i>
Тяговий двигун	ЕД-118Б	305	463	720	6	<i>1-6</i>
Збуджувач	В600	22,5	180	125	1	<i>В</i>
Синхронний підбуджувач	ВС652	0,55	110	10	1	<i>СПВ</i>
Електропневматичний контактор	ПК-753Б	–	900	830	6	<i>П1–П6</i>
Реверсор	ППК 8063	–	900	1000	1	<i>ПР</i>
Груповий контактор ослаблення поля	ПКГ-565	–	20	450	2	<i>ВШ1, ВШ2</i>
Амплістат збудження	АВ-3А	–	30	10	1	<i>АВ</i>

Схема електричної передачі змінно-постійного струму показана на рис. 2.6.

В електричній схемі тепловоза 2ТЕ116 (рис. 2.7) застосовані тяговий синхронний генератор ГС-501А потужністю 2800 кВт з силовою випрямною установкою УВКТ-5 потужністю 4200 кВт.

Типи й параметри основного електричного обладнання тепловоза 2ТЕ116 наведені в таблиці 2.2.

Розташування обладнання електричної передачі змінно-постійного струму тепловоза наведено на рис. 2.8.

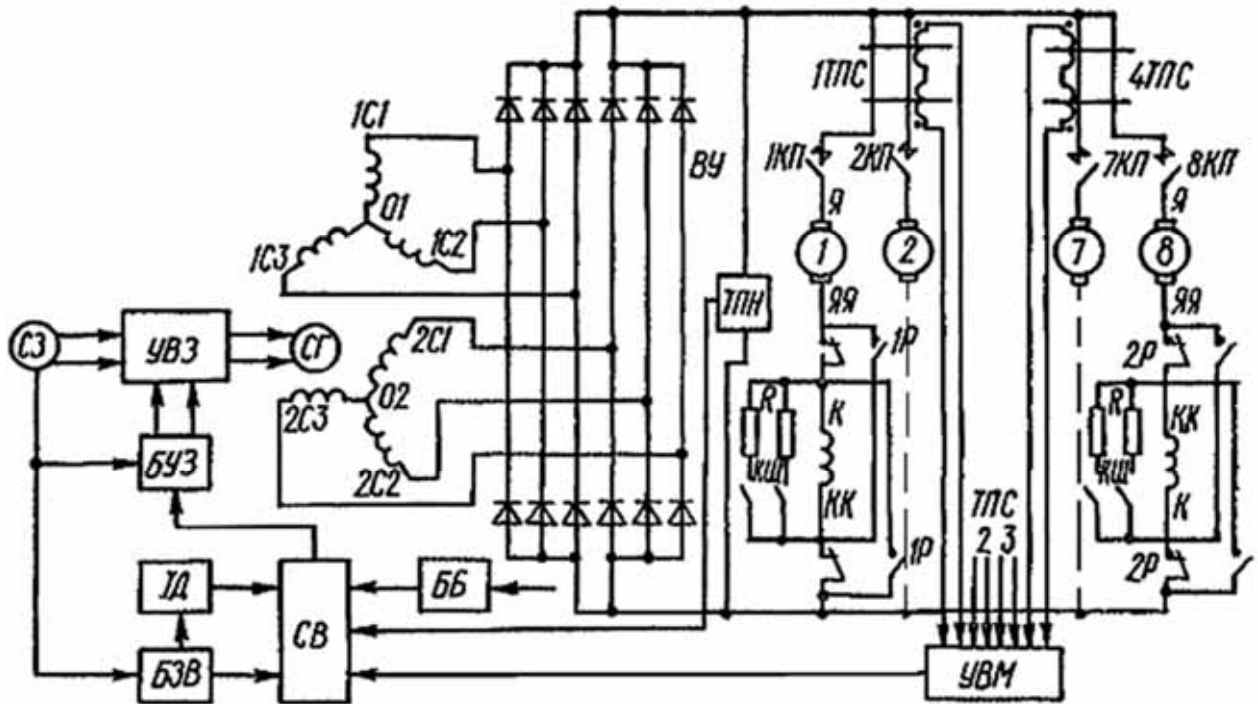


Рис. 2.6. Схема електричної передачі змінно-постійного струму



Рис. 2.7. Тепловоз 2ТЕ116 з електричною передачею змінно-постійного струму

Основні елементи енергетичного кола: дизель 9 – тяговий синхронний генератор 7 – силова випрямна установка 5 – тягові електродвигуни 23 колісних пар візків.

Вибір основного електрообладнання передачі змінно-постійного струму

Пристрій	Тип	P , кВт	U , В	I , А	Кількість у секції	Позначення на рис. 2.6
Тяговий генератор	ГС-501А	2 800	360	2 400	1	G
ТЕД	ЕД-118Б	305	463	720	6	$I-6$
Синхронний збуджувач	ВС650В	26	287	146	1	$СВ$
Керований випрямник збудження	БВК-1012	–	200	220	1	$УВВ$
Реверсор	ППК 8063	–	900	1 000	1	$ПР$
Груповий контактор ослаблення поля	ПКГ-565	–	20	450	2	$ВШ1, ВШ2$
Силова випрямна установка	УВКТ-5	4 200	750	5 700	1	$ВУ$
Електропневматичний контактор	ПК-753Б	–	900	830	6	$П1-П6$
Блок керування випрямником	БА-520	–	–	–	–	$БУВ$

Для подальших розрахунків електрообладнання приймаємо коефіцієнт ослаблення поля двигунів. При двох ступенях: ОП1 – $\beta_1 = 0,5 \dots 0,6$, ОП2 – $\beta_2 = 0,3 \dots 0,4$.

Напруга на затискачах двигуна, В,

$$U_{\text{тдно}} = U_{\text{гно}} = U_{d \text{ ном}} \cdot \quad (2.16)$$

Номінальний струм, А, тягового електродвигуна:

$$I_{\text{тдно}} = \frac{I_{\text{гно}}}{m_{\text{пар}}} = \frac{I_{d \text{ ном}}}{m_{\text{пар}}}, \quad (2.17)$$

де $m_{\text{пар}}$ – кількість паралельних розгалужень двигунів, $m_{\text{пар}} = 6$.

Перед вибором основного електрообладнання потрібно перевірити згідно прототипів виконання таких умов:

$$P_{\text{гно}} \leq P_{\text{гпр}}, \text{ кВт}; U_{\text{гно}} \leq U_{\text{гпр}}, \text{ В}; I_{\text{гно}} \leq I_{\text{гпр}}, \text{ А}.$$

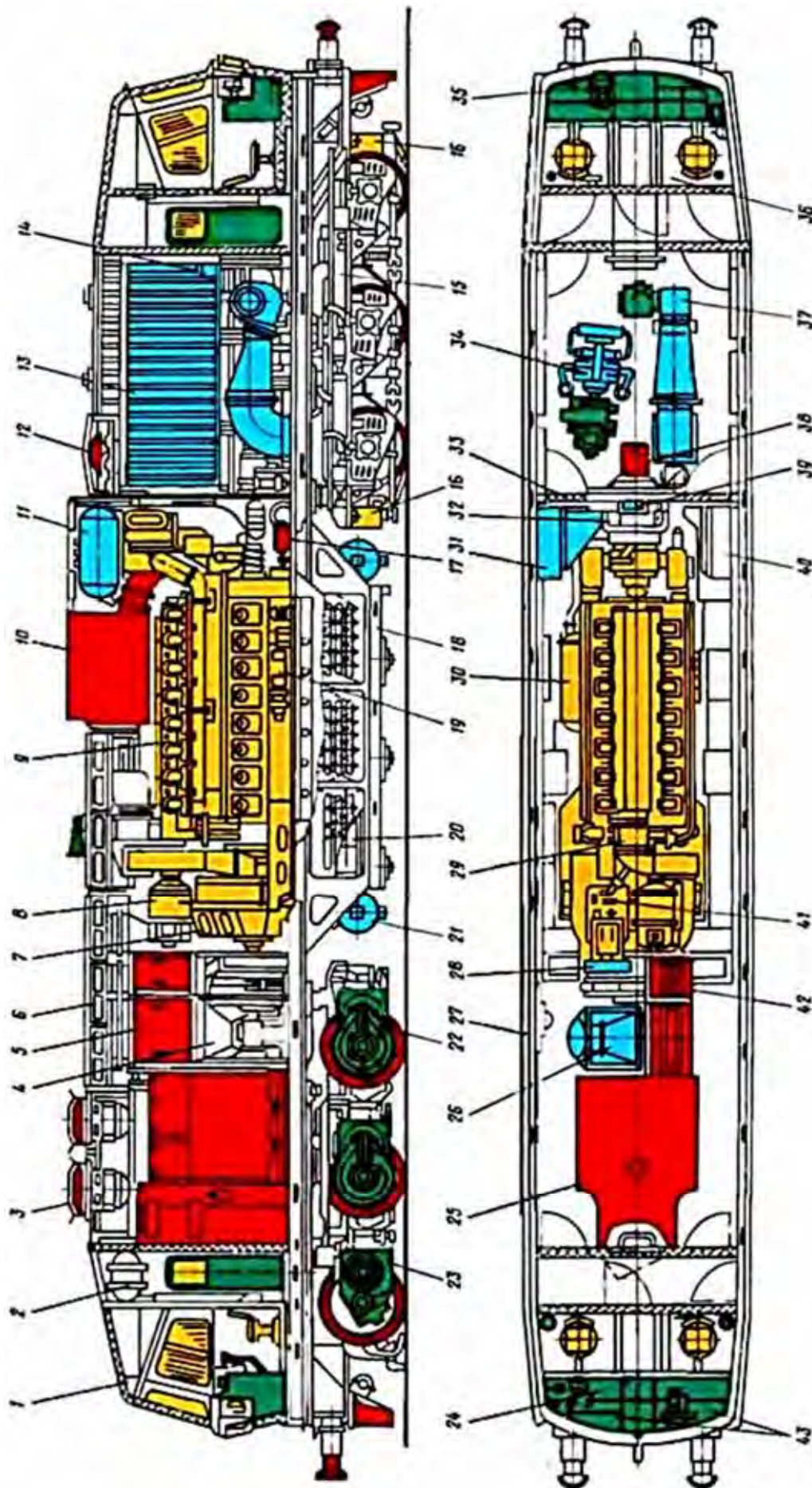


Рис. 2.8. Розташування обладнання тепловоза з електричною передачею змінно-постійного струму

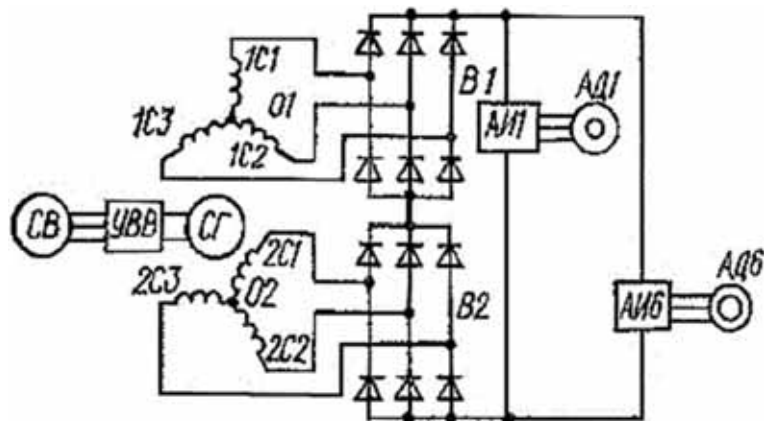
Позначення на рис. 2.8: 1 – передня кабіна машиніста; 2 – резервуар повітропроводу управління та обслуговування; 3 – мотор-вентилятор електродинамічного гальма; 4 – вентилятор охолодження випрямної установки; 5 – випрямна установка; 6 – генератор опалення поїзда; 7 – тяговий генератор; 8 – стартер-генератор; 9 – дизель; 10 – глушник; 11 – бак для води; 12 – мотор-вентилятор холодильної камери; 13 – холодильна камера; 14 – резервуар протипожежної установки; 15 – візок; 16 – бункери пісочниць; 17 – паливопідкачувальний агрегат; 18 – паливний бак; 19 – мастилопрокачувальний агрегат; 20 – акумуляторна батарея; 21 – головний повітряний резервуар; 22 – кожух тягової передачі; 23 – тяговий електродвигун; 24 – пульт управління; 25 – високовольтна камера; 26 – вентилятор охолодження передніх тягових електродвигунів; 27 – умивальник; 28 – вентилятор охолодження генератора опалення та перетворювача частоти; 29 – вентилятор охолодження тягового генератора; 30 – теплообмінник; 31 – правий повітроочисник; 32 – паливопідігрівач; 33 – щит приладів; 34 – компресор; 35 – опалювально-вентиляційний агрегат; 36 – задня кабіна машиніста; 37 – вентилятор охолодження задніх тягових електродвигунів; 38 – котел підігріву води; 39 – циркуляційний водяний насос; 40 – лівий повітроочисник; 41 – агрегат збудження; 42 – перетворювач частоти; 43 – склоочисник.

2.3. Схема та обладнання тепловозів з електричною передачею змінного струму

До електричної передачі тепловозів з машинами змінного струму (рис. 2.9) входять: тяговий синхронний генератор *СГ* або тяговий агрегат, силова випрямляюча установка *В1–В2*, автономні інвертори напруги *АІІ–АІБ* (перетворювачі частоти) та тягові асинхронні двигуни *АД1–АД6*. За вказаною схемою був побудований макетний тепловоз потужністю 400 кВт, а далі на Луганському тепловозобудівному заводі був впроваджений експериментальний односекційний тепловоз ТЕ120 потужністю 2950 кВт з тяговим агрегатом А714 і асинхронними тяговими електродвигунами ЕД-900. На тепловозі вперше блоки системи регулювання були об'єднані в комплектні пристрої автоматики, тяговий і допоміжний генератори виконані у вигляді однокорпусного агрегату, застосовані системи самозбудження допоміжного генератора і збудження тягового генератора від

допоміжного (рис. 2.10).

а)



б)

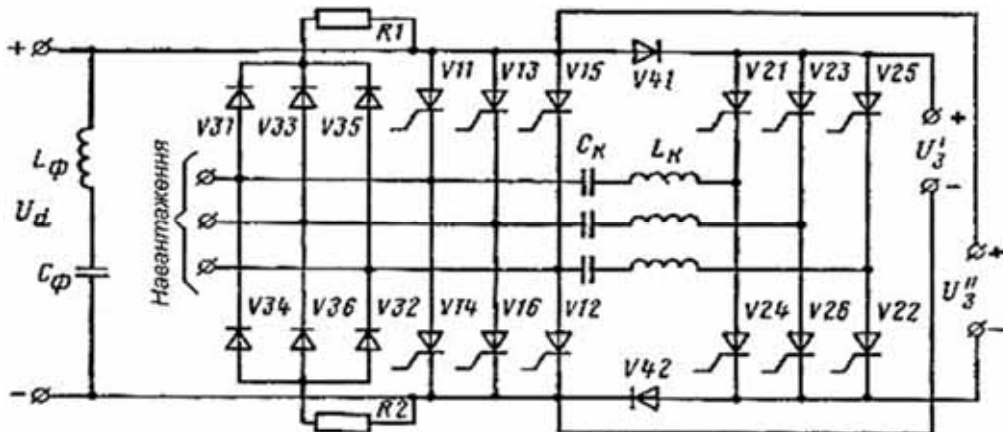


Рис. 2.9. Схема електричної передачі змінного струму (а) та перетворювача частоти (б)

На структурній схемі електропередачі тепловоза ТЕ120 (рис. 2.11) дизель приводить в обертання тяговий агрегат типу А714, об'єднуючий в одному корпусі два синхронних генератора: тяговий генератор *ГС1* потужністю 2600 кВт і допоміжний генератор *ГС2* потужністю 400 кВт. Тяговий агрегат був створений на базі існуючих серійних генераторів *ГС501А* і *ГС507*. Допоміжний генератор призначений для живлення споживачів власних потреб тепловоза: асинхронних електродвигунів приводу вентиляторів камери охолоджувального пристрою тепловоза *МВ1*, *МВ2*, вентиляторів тягових електродвигунів переднього і заднього візків *МВ3*, вентилятора перетворювальної установки, інверторів перетворювача частоти і живлення через тиристорні випрямлячі *УВ1* і *УВ2* відповідно обмоток збудження генераторів *ГС1* і *ГС2*.



Рис. 2.10. Тепловоз з електричною передачею змінного струму

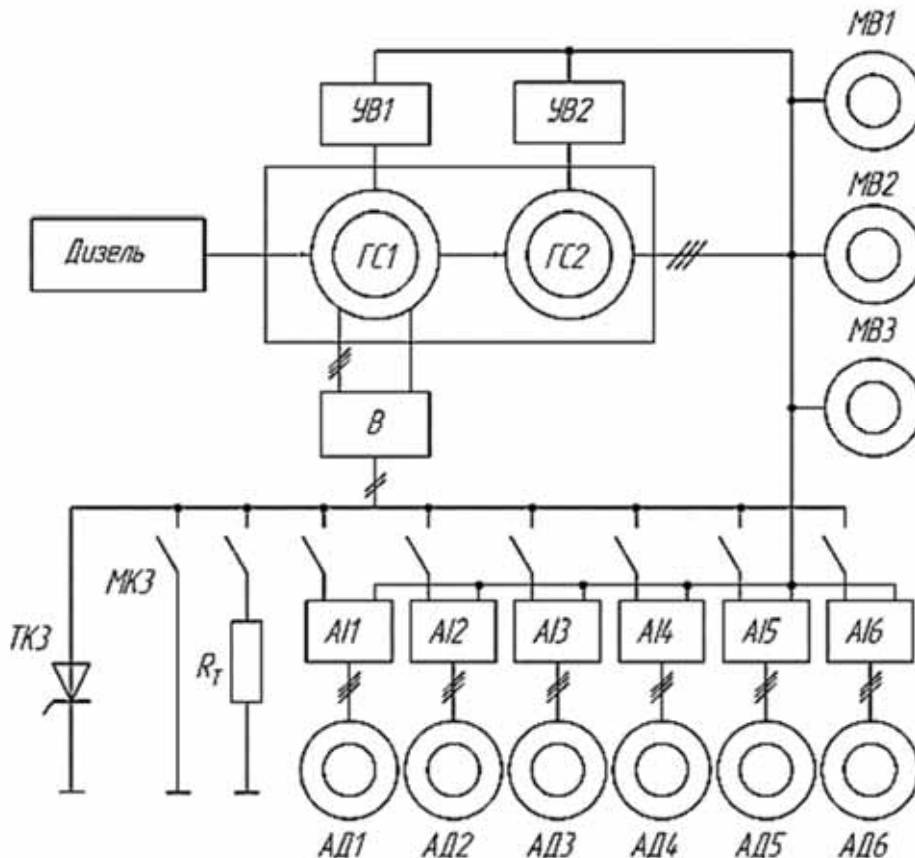


Рис. 2.11. Структурна схема електропередачі дослідного тепловоза ТЕ120

Тяговий генератор $ГС1$ через перетворювач частоти, що складається з випрямної установки $В$ і шести автономних інверторів напруги $А11$ – $А16$,

живляться шість тягових асинхронних електродвигунів *АД1–АД6*.

Регулювання швидкості та тягового зусилля тепловоза досягається зміною напруги на виході *B* завданням необхідного збудження тягового генератора *ГС1* і зміною частоти напруги на виході тягових інверторів.

Регулювання гальмівного зусилля здійснюється переводом *АД* у генераторний режим з гасінням енергії гальмування в загальному для всіх каналів *АД1–АД6* блоці гальмівних резисторів *R_T*.

Для захисту тягових інверторів в силову схему електропередачі введені спеціальні пристрої: тиристорний (*ТКЗ*) і механічний (*МКЗ*) короткозамикачі.

На тепловозі були застосовані тягові асинхронні двигуни типу ЕД900. Пакет осердя 7 (рис. 2.12) статора набирають з листів електротехнічної сталі на спеціальні призми і закріплюють натискними шайбами. Двошарову петльову обмотку 6 статора укладають у пази осердя 7 статора, закріплюють у них ізоляційними клинами і потім виконують просочення і сушку. Лобові частини обмотки 6 статора закріплюють конусними кільцями. Статор з укладеною в нього обмоткою обточують по призмам і запресовують у корпус. Обмотка статора ізолювана від корпусу поліамідною плівкою.

На вал електродвигуна запресовують втулку 3 у вигляді труби, а на неї запресовують осердя 5 ротора, набраний з листів електротехнічної сталі. Короткозамкнена обмотка ротора виконана у вигляді «білячої клітини» шляхом заливання пазів і торців осердя алюмінієвим сплавом. Пази ротора мають півовальну напівзакриту форму.

До складу тягового агрегату входять тяговий синхронний генератор (*СГ*) і генератор власних потреб (*ГВП*) або допоміжний (рис. 2.13). В корпусі розташовані дві самостійні системи збудження: тягового *СГ* і допоміжного *ГВП*. З боку *ГВП* розташовані контактні кільця 6 обох машин. Генератор власних потреб забезпечує живлення обмотки збудження 18 тягового генератора, приводу допоміжних механізмів і машин, пристроїв автоматики та ін. Збудження *ГВП* здійснюється за принципом самозбудження. Це явно полюсна машина, що має 12 полюсів, розташованих на роторі та одержує живлення від власної статорної обмотки. У пазах осердя 14 статора розташовуються дві трифазні обмотки, зміщені на 30 ел. град.

Осердя 14 статора виконаний з листів сталі 1513 товщиною 0,5 мм, в яких виштампувані 40 вентиляційних каналів.

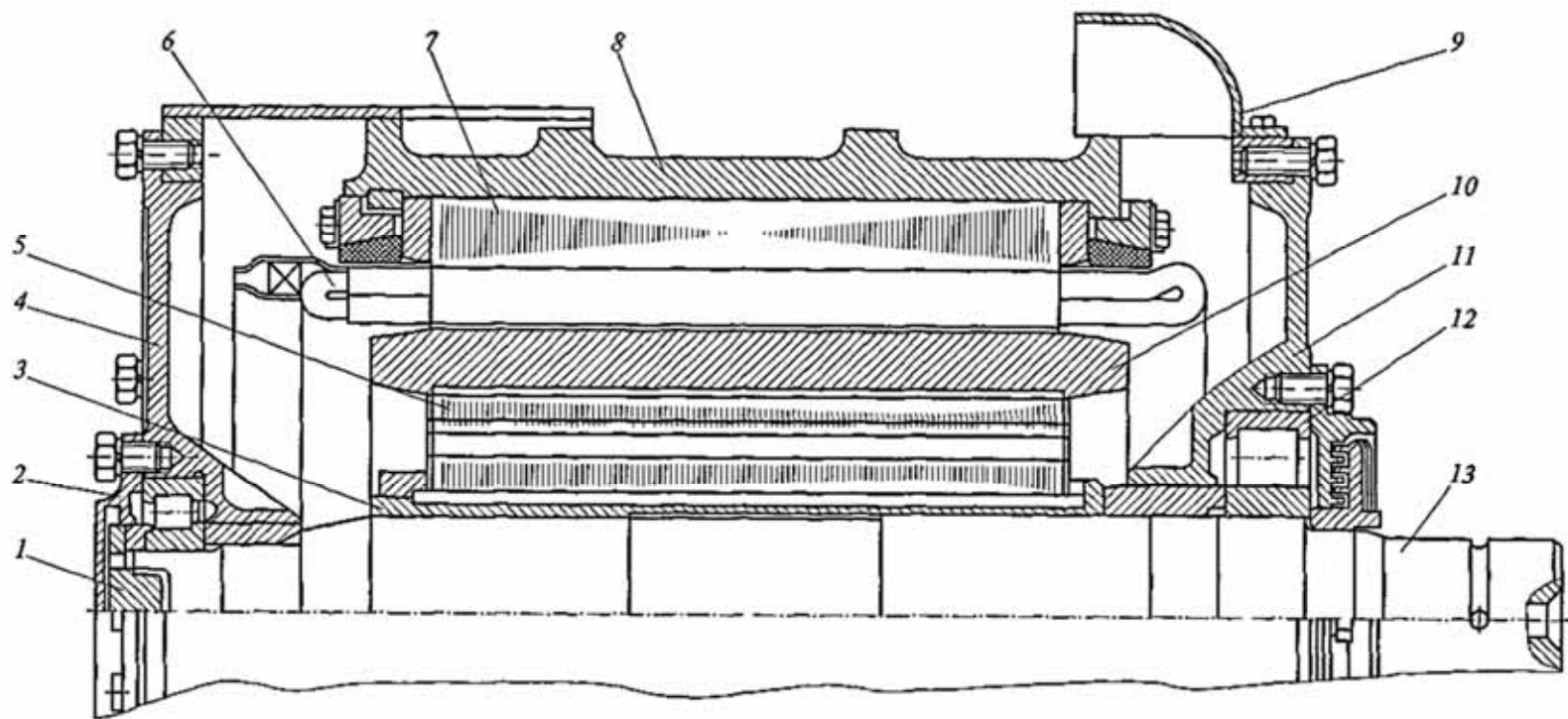


Рис. 2.12. Асинхронний тяговий електродвигун ЕД900:

1 – стопорна шайба; 2 – кришка підшипника; 3 – втулка ротора; 4, 11 – підшипникові щити; 5 – осердя ротора; 6 – обмотка статора; 7 – осердя статора; 8 – корпус двигуна; 9 – повітряний патрубок; 10 - стрижень «білячої клітки» ротора; 12 – підшипник; 13 – вал

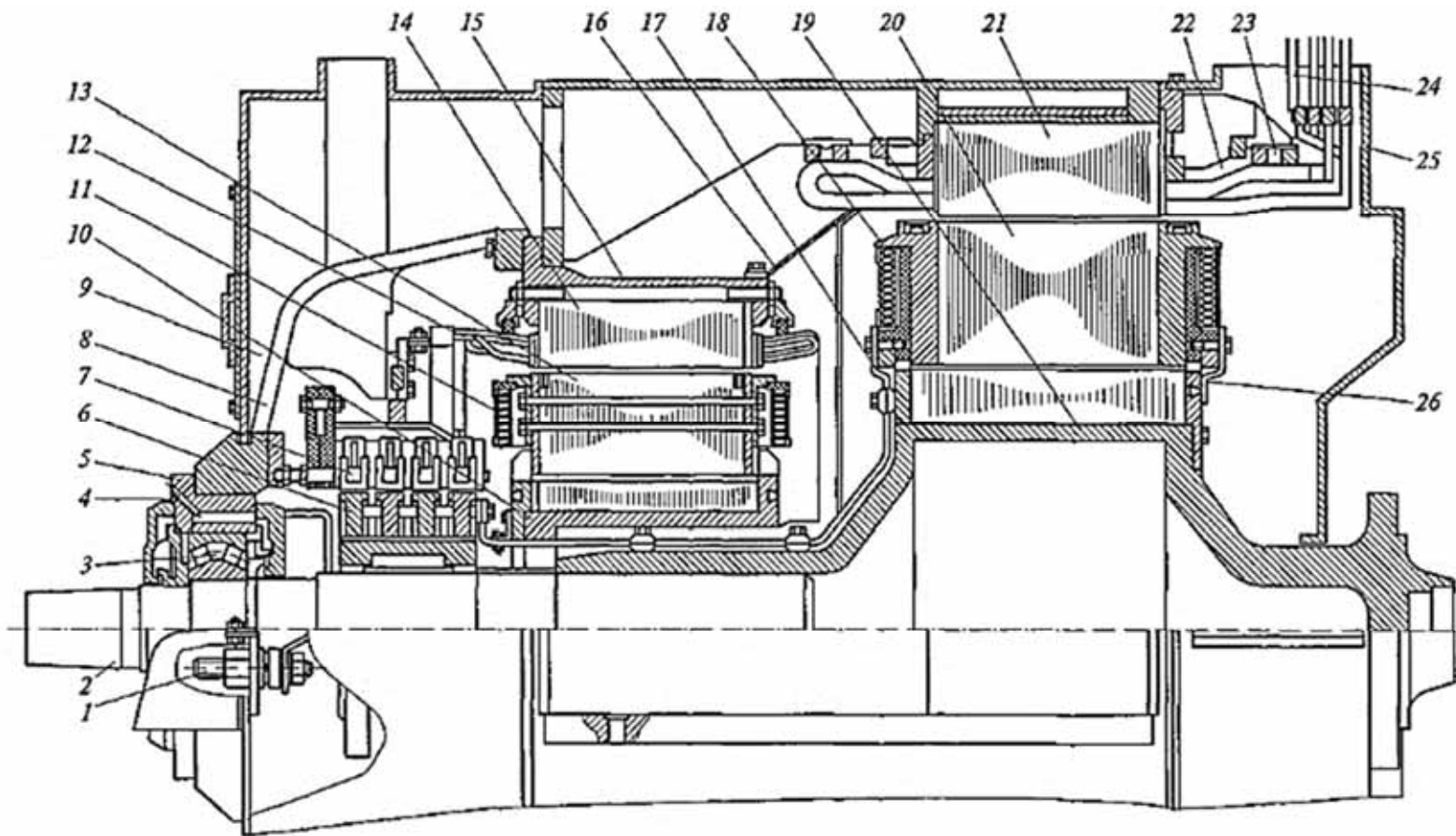


Рис. 2.13. Конструкція тягового агрегата А714:

1 – виводи обмоток збудження генератора власних потреб (ГВП) і тягового синхронного генератора (СГ); 2 – вал; 3 – підшипник; 4 – атмосферний канал; 5 – втулка підшипника; 6 – контактне кільце; 7 – щітки; 8 – підшипниковий щит; 9 – кожух; 10 – кріплення полюсів ГВП; 11 – обмотка збудження ГВП; 12 – виводи статорної обмотки; 13 – осердя полюса ГВП; 14 – осердя статора ГВП; 15 – статор ГВП; 16 – кожух; 17 – виводи обмотки збудження тягового СГ; 18 – обмотка збудження СГ; 19 – загальний барабан ротора; 20 – осердя полюса СГ; 21 – осердя статора СГ; 22, 24 – виводи статорної обмотки тягового СГ; 23 – кріплення виводів тягового СГ; 25 – кожух; 26 – натискна шайба

У пазах статора покладена хвильова обмотка, що має ізоляцію класу Н. Осерді полюсів 13 ротора набрані з листів сталі товщиною 1,4 мм, спресовані і стягнуті шпильками.

Обмотка збудження 11 і полюсів виконана з мідної стрічки ЛММ 1,08×22 мм, намотаною на ребро, і має ізоляцію класу F типу «Моноліт-2». Агрегат має 20 виводів. Вісім виводів 22 і 24 статорної обмотки тягового СГ розташовані з боку дизеля, з них шість належать двом трифазним обмоткам, сполученим в зірку, і дві нульовим точкам.

Дванадцять виводів розташованих з боку контактних кілець: шість – від двох трифазних обмоток статора ГВП, з'єднаних в зірку, два – від нульових точок і чотири – від обмоток збудження СГ і ГВП.

В електропередачі тепловоза ТЕ120 застосований випрямно-інверторний перетворювач частоти типу ПЧТЗ. Випрямляч В (див. рис. 2.11) виконаний на базі силового випрямляча УВКТ-5, а автономні інвертори А11–А16 розроблені по трифазній мостовій схемі (див. рис. 2.9). Інвертори перетворюють постійну напругу випрямляча в трифазну змінну напругу необхідної частоти $f = 0,4 \dots 125$ Гц для живлення асинхронних тягових електродвигунів.

До сучасних тепловозів з асинхронними тяговими електродвигунами відносяться, наприклад, магістральний тепловоз ТЕ33А (рис. 2.14). Технічна характеристика тепловоза ТЕ33А представлена в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Технічна характеристика тепловоза ТЕ33А

Найменування	Одиниці виміру	Величина
Потужність тепловоза по дизелю (повна)	кВт (к.с.)	3310 (4500)
Потужність тепловоза тягова	кВт (к.с.)	3085 (4195)
Осьова (колісна) формула	–	3o – 3o
Статичне навантаження від колісної пари на рейки	т	23
Сила тяги у тривалому режимі	кН	427
Швидкість конструкційна	км/год	120

Конструкція тепловозів з електропередачею змінно-змінного струму з асинхронними тяговими двигунами забезпечує (у порівнянні з серійними тепловозами):

- зниження витрат дизельного палива на вимірювач від 10 до 12 %;
- підвищення тягових якостей локомотива до 50 %;
- зниження витрат дизельного масла від 15 до 20 %;
- збільшення міжремонтних пробігів на 50 %;
- зменшення трудовитрат і витрат на технічне обслуговування і ремонту від 25 до 30 %;
- поліпшення умов праці локомотивних і ремонтних бригад.



Рис. 2.14. Вантажний тепловоз ТЕ33А

Запитання до самоконтролю

1. *Вихідні параметри обладнання електричних передач.*
2. *Визначення параметрів генераторів.*
3. *Визначення параметрів тягових електродвигунів.*
4. *Схема та обладнання тепловозів з електричною передачею постійного струму.*
5. *Схема та обладнання тепловозів з електричною передачею змінно-постійного струму.*
6. *Схема та обладнання тепловозів з електричною передачею змінного струму.*

ТЯГОВІ ГЕНЕРАТОРИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

3.1. Особливості тягових електричних машин локомотивів

За конструкцією тягові електричні машини тепловозів і електровозів значно відрізняються від звичайних стаціонарних машин. Це пояснюється тим, що в експлуатації вони повинні забезпечувати в умовах жорстко обмеженого габариту широкий діапазон зміни частоти обертання вала, значні обертаючі моменти, надійно працювати в умовах багаторазових і одиночних ударів, вібрації і зміни температури навколишнього середовища в широкому діапазоні. В середині тягових електричних машин через нещільність і вихідні отвори для охолоджуючого повітря може потрапити сніг (особливо на стоянках), пісок і пил, тому конструкція усіх вузлів повинна забезпечувати їх герметичність. Усі тягові машини мають незалежну повітряну систему охолодження нагнетательного осевого типу.

Тягові електричні машини тепловозів повинні бути працездатними в умовах підвищеної вібрації, багаторазових і одиночних ударах, при висоті до 1200 м над рівнем моря, при температурі навколишнього повітря від -50 до $+40$ °С для помірного виконання У, а для особливо холодних районів (виконання ХЛ) – від -60 до $+40$ °С, при різких змінах температури (на 20 – 30 °С протягом 2–3 годин), випаданні роси, в запиленому, вологому повітрі та ін.

Електричні машини повинні розвивати велику потужність на одиницю маси й обсягу в порівнянні з машинами загального призначення. Конструкція, технологія виготовлення, використовуванні матеріали повинні забезпечувати тривалу безвідмовну роботу при великих перевантаженнях, різних забрудненнях і попаданні вологи, снігу всередину їх в певних кількостях. Вони повинні бути ремонтпридатні в експлуатації. Тому основні деталі тягових електричних машин при виконанні мають

ряд особливостей. Обмотки виконують з класами ізоляції H і F (більш раннього виготовлення класу B), що забезпечують високу нагріво- і вологостійкість.

Потужність тягових машин на одиницю маси й об'єму в порівнянні з машинами загального призначення значно вище, так як їх габаритні розміри дуже обмежені. Якість виготовлення машин має забезпечувати тривалу безвідмовну роботу їх при великих перевантаженнях, різних забрудненнях і попаданні вологи, снігу всередину машин в допустимих кількостях. Не можна забувати і про пристосуванні конструкції окремих складальних одиниць машин до догляду та ремонту в експлуатації. Для підвищення електричної і механічної міцності, довговічності і монолітності ізолювані обмотки машин, розташовані на осердях, просочують в термореактивному лаку і запікають. Відкриті поверхні обмоток та інших деталей машин покривають електроізоляційною емаллю і сушать при високій температурі. Лобові частини обмоток якорів в більшості випадків закріплюють бандажами, виконаними з високоміцної і теплостійкою склобандажної стрічки, просоченої термореактивним лаком.

Осердя якорів і статорів набирають з листів електротехнічної сталі, що володіє високою магнітною проникністю. Для оберігання в експлуатації від «розпушення» і зламу крайніх листів осердя мають зварені по зубцях кінцеві пакети або натискні пальці. Для забезпечення надійного струмознімання колектори виготовляють з високою точністю розташування пластин по колу і вздовж осі. Щіткотримачі розміщують точно щодо осі якоря і робочої поверхні колекторних пластин і надійно прикріплюють до кронштейнів або брикетів; для цього привалочні поверхні виконують рифленими (гребінчастими). Постійне натискання на щітки забезпечується використанням рулонних пружин із спеціальної стрічки.

Для створення хороших та стабільних контактних з'єднань струмоведучих частин використовують тугоплавкі і вібростійкі срібловмістні і латунні припої, луджені поверхні; у відповідальних з'єднаннях застосовують болти з легованої сталі, пружинні стопорні шайби і ін. Несучі деталі, складальні литі та зварні одиниці виготовляють з високоякісної сталі з поліпшеною термічною і механічною обробкою. З'єднання деталей шляхом посадок проводиться з підвищеними натягами. Підшипники кочення виконують за спеціальними технічними умовами для залізничного рухомого складу і змащують консистентним мастилом, що зберігає змащувальні властивості при тривалій роботі підшипників із зміною температури від -60 до $+120$ °C.

Згідно з стандартом усі тягові електричні машини поділяються за призначенням на три групи:

- тягові двигуни, що перетворюють електричну енергію в механічну та передають обертання осям рухомого складу;
- тягові генератори, що живлять електроенергією тягові двигуни;
- допоміжні електричні машини (двигуни, генератори, перетворювачі), що обслуговують власні потреби рухомого складу.

Тягові електромашини отримують електроенергію від контактної мережі або від джерела, розташованого на рухомому складі. За родом струму вони підрозділяються:

- на машини постійного струму, у т.ч. і випрямленого, – якщо коефіцієнт його пульсації 10 % і менше;
- машини змінного струму.

Потужність тягових двигунів електровозів досягає 900...1300 кВт, електропоїздів – 250...300 кВт, тепловозів – 350...400 кВт.

Тягові електродвигуни локомотивів бувають двох типів – колекторні та безколекторні.

Колекторні двигуни сьогодні мають переважне розповсюдження. Вони застосовуються на електровозах постійного струму. З живленням від контактної мережі з номінальною напругою 3000 В і на електровозах змінного струму з живленням від контактної мережі з номінальною напругою 25 кВ та 10 кВ для промислових електровозів. Основні умови роботи тягових двигунів на електровозах обох типів є загальними.

На електровозах постійного струму тягові двигуни постійно з'єднанні попарно-послідовно з неоптимальною для них напругою на колекторі 1500 В. На електровозах змінного струму завдяки знижувальному трансформатору і випрямній установці забезпечується більш оптимальна напруга на колекторі – 900–1000 В, причому всі двигуни включені паралельно. Таким чином, для тих і для інших двигунів характерний різний рівень напруги ізоляції.

Випробна напруга для тягових генераторів і двигунів тепловозів визначається за формулою $U_{\text{випр}} = (2U + 1000)$ В, але вона повинна становити не менше 1500 В. Величина U дорівнює найбільшій напрузі генератора.

Конструкція двигунів повинна задовольняти вимоги безпеки руху поїзда і в той же час бути досить простою, щоб тягова машина була ремонтпридатною.

Найважливіший вплив на експлуатаційні властивості двигунів чинять їх магнітні характеристики, тобто залежність магнітного потоку Φ від магніторушійної сили (МРС) збудження F . Оскільки, як відомо, $E = c_e n \Phi$, де E – електрорушійна сила (ЕРС), c_e – стала; n – частота обертання; $E/n = c_e \Phi$. Отже, магнітна характеристика може бути подана як $E/n(F)$, а її вид визначається ступенем насичення.

Економічність роботи тягових двигунів визначає їх к.к.д, який, у свою чергу, залежить від струмового й магнітного навантажень. Характеристикою цих навантажень є відповідно лінійне навантаження та щільність струму в обмотці якоря j , а також індукція B_δ повітряному проміжку. Чим вищі ці величини тим менші розміри й маса двигуна. У тягових двигунів електровозів лінійні навантаження приблизно становлять $A = (400 \dots 500)10^2$ А/м, щільність струму в обмотках якорів $j = 6 \dots 8$ А/мм, а індукції $B_\delta = 0,95 \dots 1,0$ Тл.

Добуток Aj , що називається тепловим фактором, характеризує струмове навантаження і визначається допустимою температурою для даного класу ізоляції.

Перетворення енергії в тягових електричних машинах і трансформаторах супроводжується втратами певної її частини. Ці втрати енергії можна розподілити на основні й додаткові.

Основні втрати складаються із втрат механічних, магнітних (у сталі) і електричних (або, як їх називають, втрат у міді). Додаткові втрати виникають як у сталених, так і в мідних частинах машин і трансформаторів і викликаються вторинними процесами електромагнітного характеру.

Додаткові втрати не можуть бути розраховані через складний характер їх виникнення. Тому для всіх електричних машин їх приймають згідно з ГОСТ 11828-86 рівними $0,5 \dots 1$ % від номінальної потужності.

Повні втрати являють собою суму всіх втрат – механічних $p_{мх}$, в сталі p_c , в міді p_m , в контакті щіток $p_{щ}$, додаткових $p_{дод}$

$$\sum p = p_{мх} + p_c + p_m + p_{щ} + p_{дод}.$$

К.к.д. машини або трансформатора являє собою відношення корисної потужності P_2 (потужності, що віддається) до підведеної – P_1 ; його можна виразити у відносних одиницях $\eta = \frac{P_2}{P_1}$ або у відсотках $\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100$.

Сучасні тягові електричні машини та трансформатори мають дуже високий к.к.д. У допоміжних машин потужністю $30 \dots 50$ кВт він становить $80 \dots 85$ %; у тягових двигунів потужністю $500 \dots 900$ кВт – $94 \dots 95$ %. Трансформатори мають ще вищий ККД – він досягає 99 %. Чим вище потужність машини тим вище її ККД.

Різниця між значеннями P_2 і P_1 відносно мала, що ускладнює визначення к.к.д. як дослідним так і аналітичним методами. Тому для різних умов зручніше визначити к.к.д. за видозміненими формулами – мається на увазі, що $P_1 = P_2 + \sum p$.

Для двигунів, у яких просто заміряти підведену електричну потужність $P_1 = UI$, к.к.д.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \sum p}{P_1} = 1 - \frac{\sum p}{P_1}.$$

3.2. Конструкція тягових генераторів постійного струму

З'єднання тягових генераторів з дизелями. Тягові генератори призначені для перетворення механічної енергії дизеля в електричну, яка передається тяговим електродвигунам. Крім того, в момент пуску дизеля генератори постійного струму працюють короткочасно в режимі електродвигуна з послідовним збудженням, що приводить в обертання колінчастий вал дизеля. Технічні дані тепловозних тягових генераторів наведено в табл. 3.1.

З'єднання генераторів з дизелями можуть бути виконані двома способами. Станини генераторів тепловозів ТЕМ2 і ТЕМ1, жорстко з'єднані з картерами дизелів, а корпуси якорів генераторів – з колінчастими валами. Крім того, станини генераторів спираються на піддизельну раму через приварені лапи. Така конструкція має мінімальні габаритні розміри по довжині і забезпечує хорошу жорсткість.

На більш потужних тепловозах застосований інший спосіб з'єднання. Станина генератора спирається лапами на піддизельну раму, а корпус або вал якоря генератора через напівжорстку муфту з'єднаний з колінчастим валом дизеля.

Охолодження тягових генераторів. Тягові генератори тепловозів ТЕМ1, ТЕМ2 мають захищене виконання з самовентиляцією. Подача повітря для охолодження генераторів здійснюється відцентровим вентилятором, прикріпленим до корпусу якоря з боку дизеля. У цих генераторах використовується осьова система подачі повітря, за якої охолоджуюче повітря проходить в осьовому напрямку по каналах осердя якоря і міжполюсним відстаням.

У генераторах великої потужності (більше 1200 кВт) повітря для охолодження надходить з атмосфери через фільтри, а в період дощів, сніжних або пилових бур повітря слід забирати з кузова. Генератори, що встановлюються на тепловозах потужністю 2210 кВт, мають незалежну систему охолодження, при якій використовується швидкохідний і високонапірний

вентилятор з подачею до 1500 м³/год та приводом від дизеля.

Таблиця 3.1

Технічні дані тепловозних тягових генераторів

Показник	Тип генератора				
	МПТ 99/47А	ГП-300	ГП-311Б	ГП-311В	ГП-312
Серії тепловозів	ТЕ3, ТЕ7	ТЕМ2, ТЕМ2М	2ТЕ10Л, 2ТЕ10В, 3ТЕ10М, 4ТЕ10С	ТЕП60	М62, 2М62
Охолодження	самовентиляція		незалежне		
Номінальна потужність, кВт	1350	780	2000	2000	1270
Струм, А, при напрузі:					
– нижчій	2460	1210	4320	4320	3570
– вищій	1650	900	2870	3150	2230
Напруга, В:					
– нижча	550	645	465	465	356
– вища	820	870	700	635	570
Обмотка якоря	жаб'яча	петльова	петльова двохходова		
Число полюсів:					
– головних	8	8	10	10	10
– додаткових	8	8	10	10	10
Повітряний зазор полюсів, мм:					
– головних	5	4	5	4	3,5
– додаткових	9	9	13,5	14	9,5
Кількість пластин колектора	444	380	465	465	444
Маса, кг	7460	4800	8700	9000	7400

Примітки: 1. Усі тягові генератори постійного струму з незалежним збудженням.
2. К.к.д. максимальний 94...94,5 %.

Різка підвищення кількості охолоджуючого повітря (на 250 %) для генераторів потужністю 2000 кВт в порівнянні з генератором потужністю 1350 кВт потребує для потужних генераторів застосувати радіально-осьову систему, яка дозволяє охолоджувати якір повітрям, що проходить по радіальних каналах в його осерді. Магнітна система охолоджується повітрям, що проходить в осьовому напрямку між полюсами і який виходить з якоря в міжполюсний простір. Повітря також охолоджує колектор, проходячи між стрічковими півниками колектора.

У зв'язку з ростом секційної потужності тепловозів різко зросла потреба в повітрі, що охолоджує електричні машини, випрямну установку, високовольтні камери і відсіки акумуляторної батареї. Для забезпечення більш зручної компоновки агрегатів, повітропроводів великого перерізу, зменшення маси устаткування і потужності, що витрачається на привод вентиляторів, застосовується система централізованого повітропостачання.

Головний повітропровід розміщується в рамі кузова, від якого є відгалуження до споживачів. Повітря для всіх потреб подається одним осьовим вентилятором великої подачі (к.к.д. осьових вентиляторів 0,8–0,86, а відцентрових 0,6–0,65). Вентилятор засмоктує повітря з атмосфери через блок повітряних фільтрів і нагнітає його до споживачів. Привід вентилятора здійснюється від вала тягового генератора через еластичну муфту і вбудований редуктор.

Тяговий генератор ГП-311Б магістрального тепловоза. Найбільш типовий за конструкцією для генераторів постійного струму є генератор ГП-311Б. Основні вузли генератора (рис. 3.1, 3.2): магнітна система, підшипниковий щит, патрубков для підведення охолоджувального повітря, якір (рис. 3.2).

Магнітна система (рис. 3.3) складається з станини, головних та додаткових полюсів. Кільцевий магнітопровід станини виготовлений з товстолистового сталевого прокату з малим вмістом вуглецю. До станини приварені дві лапи, якими вона спирається на піддизельну раму. У кожній лапі є чотири отвори для кріпильних болтів і два отвори з різьбленням для віджимних болтів.

Головні полюси (рис. 3.4) служать для створення основного магнітного потоку. Полюс має осердя та котушку. Осердя 7 зібране з листів холоднокатаної електротехнічної сталі Е-310 товщиною 1 мм. Листи осердя ізолювані один від одного лаком, спресовані та стягнуті заклепками. У кожному листі виштампуваний отвір, куди запресовується стрижень 23 з різьбовими отворами для кріплення полюса до станини.

Головні полюси мають дві котушки незалежного збудження та пускову (рис. 3.4, а).

Котушки намотані на каркас 6, що має відігнуті бурти, які утримують рамки 1 і 3, виготовлені з міцної і теплостійкої пластмаси. Ізоляція каркаса складається з чотирьох шарів гнучкого скломіканіта на кремнійорганічному лаку і одного шару склострічки. Пускова обмотка 5 розташована у полюсного башмака, потім встановлена склотекстолітова ізоляційна шайба 2, поверх якої намотана обмотка незалежного збудження 4. Таке розташування котушок забезпечує гарний відвід тепла.

Витки пускової котушки ізолювані азбестовим електроізоляційним папером, просоченим в лак ЕФ-3; зверху котушка покрита скляною стрічкою, просоченою тим же лаком; потім котушку просочують в кремнійорганічному лакі К-47 зануренням.

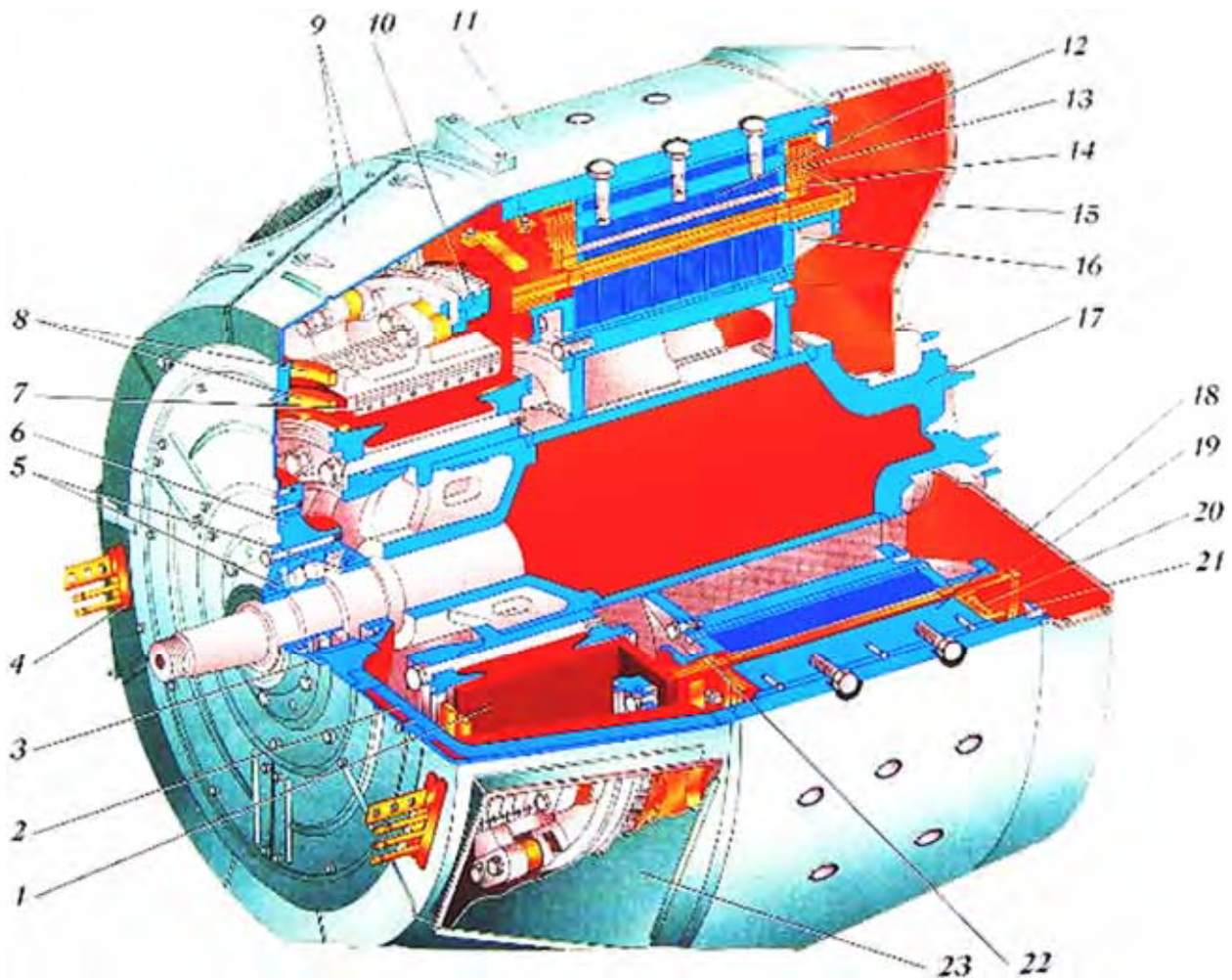


Рис. 3.1. Основні вузли генератора ГП-311Б:

1 – колектор; 2 – підшипниковий щит; 3 – кришка підшипника; 4 – кліца; 5 – кільця ущільнювачів; 6 – маточина; 7 – бракет; 8 – струмозбірні шини; 9 – кришки; 10 – траверса; 11 – станина; 12 – осердя головного полюса; 13 – котушка головного полюса; 14 – пускова обмотка; 15 – вхідний патрубок; 16 – обмоткотримач; 17 – корпус якоря; 18 – осердя додаткового полюса; 19 – котушка якоря; 20 – полюсна котушка; 21 – діафрагма; 22 – зрівнювач; 23 – вихідний передній патрубок

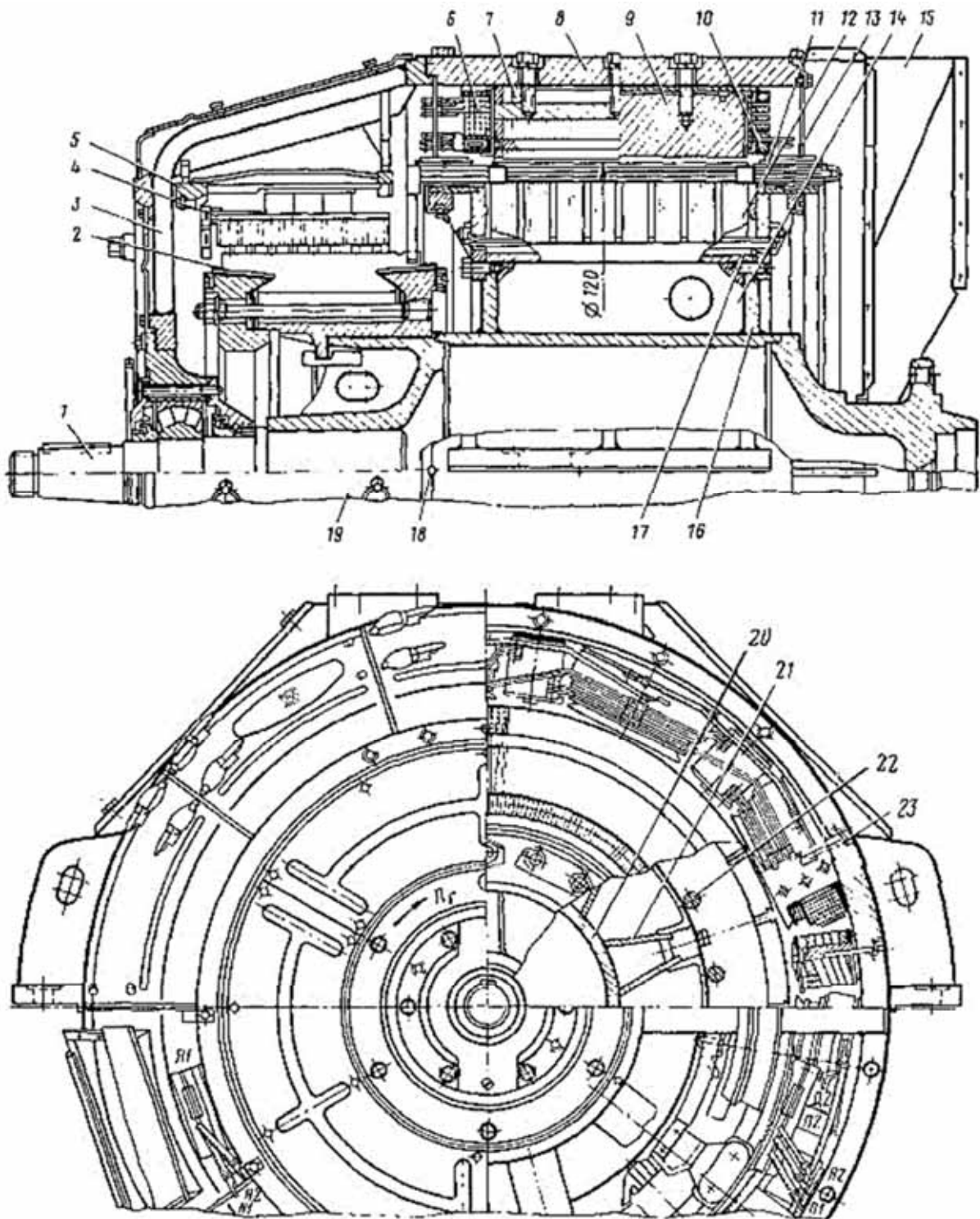


Рис. 3.2. Тяговий генератор ГП-311Б:

1 – вал; 2 – колектор; 3 – підшипниковий щит; 4 – щіткотримач; 5 – поворотна траверса; 6, 7 – котушка та осердя головного полюса; 8 – станина; 9, 10 – осердя та котушка додаткового полюса; 11 – обмотка якоря; 12 – осердя якоря; 13 – діафрагма; 14 – корпус якоря; 15 – вхідний патрубок; 16 – диски; 17 – клинові шпонки; 18 – штифт для фіксації щита зі станиною; 19 – кришки; 20 – барабан; 21 – поздовжні ребра; 22 – шпильки; 23 – стрижень

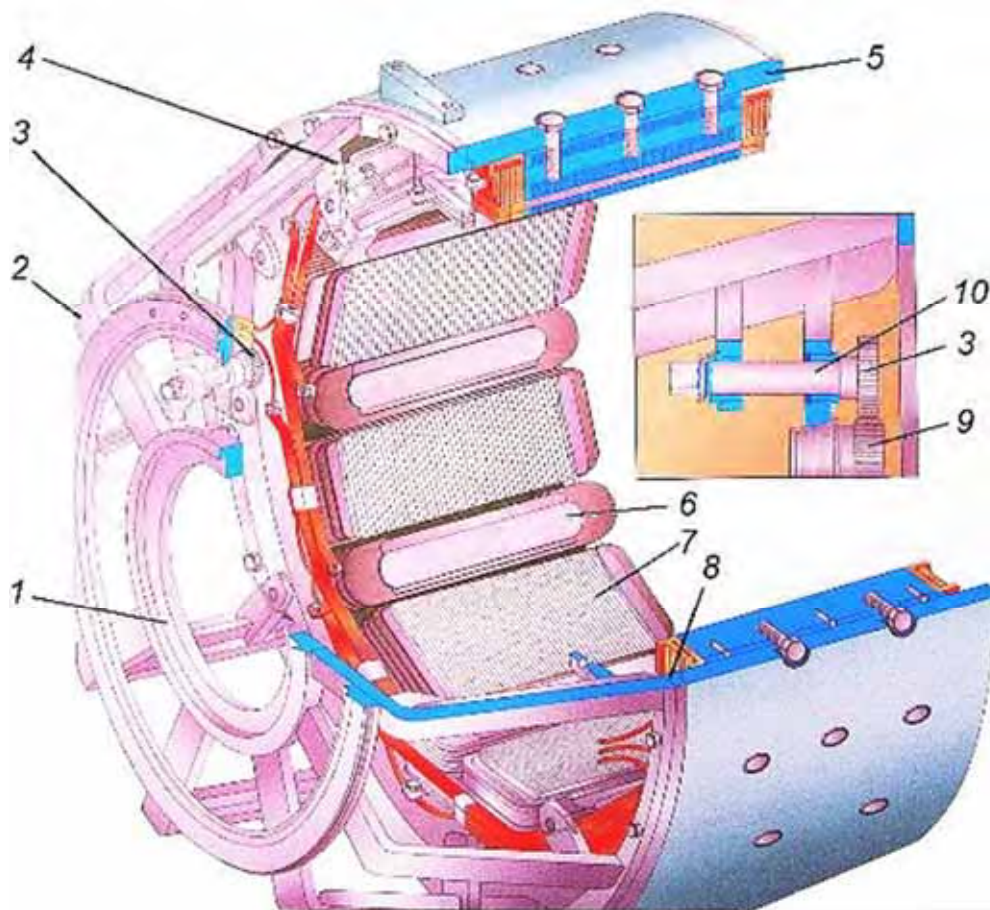


Рис. 3.3. Магнітна система ГП-311Б:

1 – кільце; 2 – ребро; 3 – шестерня; 4 – кронштейн; 5 – станина; 6 – додатковий полюс; 7 – головний полюс; 8 – кільце; 9 – траверса; 10 – валик

У процесі намотування кожен шар котушки незалежного збудження промащують кремнійорганічним лаком або компаундом К-54. Порожнечі заповнюють замазкою П-11. Котушку просочують в лаку К-47К, запікають і покривають емаллю ГФ. Котушки головних полюсів генераторів МПТ-10/49 і МПТ-120/55А відрізняються відсутністю пускової обмотки та ізоляцією витків обмотки незалежного збудження. Витки ізольовані азбестовим папером на лаку, що клеїть.

З десяти котушок головних полюсів генератора п'ять мають перехресні виводи, а другі п'ять – відкриті (рис. 3.4, б). Це зроблено для чергування полярності полюсів і спрощення конструкції з'єднувальних шин.

Додаткові полюси складаються з осердь і котушок (рис. 3.5). Осердя б виготовлено зі сталі марки Ст3. Частина осердя, звернена до якоря, звужена, до неї приклепані латунні або дюралюмінієві косинці 5, які служать

для кріплення котушок і зменшення розсіювання магнітного потоку. На косинці розташована ізоляційна рамка 4.

Осердя полюса ізолюване від котушки 3 обпресованим і спеченим міканітом або склотканиною на епоксидній смолі. Котушка полюса складається з шести витків. Крайні витки ізолювані двома шарами міканатової стрічки та одним шаром склострічки. Між витками укладені склотекстолітові прокладки. Готову котушку покривають емаллю ГФ-92.

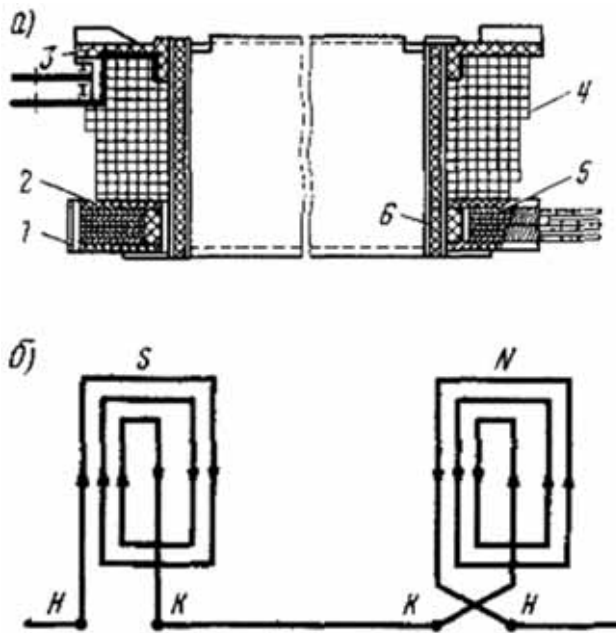


Рис. 3.4. Головний полюс:

а) котушка; б) схема намотування котушок; Н – початок; К – кінець; 1, 3 – рамки; 2 – ізоляційна шайба; 4 – обмотка незалежного збудження; 5 – пускова обмотка; 6 – каркас

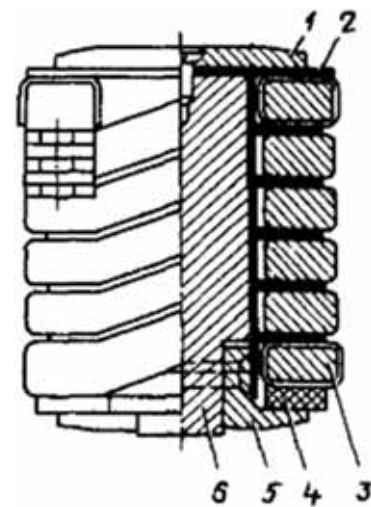


Рис. 3.5. Додатковий полюс:

1 – сталевий накладко; 2 – текстолітова прокладка; 3 – котушка; 4 – ізоляційна рамка; 5 – кутник; 6 – осердя

Між сталевий накладкою 1 і осердям поміщена текстолітова прокладка 2, що створює другий зазор. Полус в зборі просочують в терморективному лаку і запікають. Між станиною і полюсом укладають пружинну рамку зі стрічкової сталі для запобігання переміщення котушки на осерді через всихання ізоляції та інших деформацій. Між осердям полюса та станиною поміщений набір з шести сталевих прокладок (загальною товщиною 3 мм), які служать для регулювання повітряного зазору під додатковим полюсом при налаштуванні комутації.

Підшипниковий щит 3 (див. рис. 3.2) тягових генераторів сприймає великі зусилля. Щоб не допускати вібрації та зміщення щіткотримачів, щит

виконаний зварним, каркасної конструкції з виймальною маточиною. Це дозволяє замінити підшипник без зняття генератора з тепловоза. Для полегшення обслуговування щіткотримачів і зміни щіток в щиті розміщена поворотна траверса 5, що представляє собою зварне кільце з посадковим і зубчастим вінцями та десятьма U-подібними накладками, до яких через ізолятори прикріплені дюралюмінієві бракети (кронштейни). На кожному бракеті укріплено по дев'ять щіткотримачів з щітками і струмозбиральні шини. Траверсу в положенні, відповідному нейтралі, фіксують стопорними болтами. Траверса повертається обертанням вала поворотного пристрою. Для розташування щіток на геометричній нейтралі підшипникові щити інших тягових генераторів без поворотною траверси мають овальні отвори під болти кріплення, що дозволяють повертати щит.

Патрубок 15 для підведення охолоджувального повітря до генератора виконаний зварним з тонколистової сталі і має роз'єми по вертикальній і горизонтальній осях. Він також є щитом, що закриває деталі генератора з боку приводу.

3.3. Колектор, обмотка якоря, щіткотримачі тягового генератора ГП-311Б

Схема з'єднань **обмоток магнітної системи генератора** показана на рис. 3.6. Струм від плюсових щіток по кабелю *Я1* надходить в тягові електродвигуни та по кабелю *Д2*, *П2*, додатковим полюсам (з'єднані в дві паралельні групи) повертається до мінусових щіток. При пуску дизеля струм від плюса акумуляторної батареї йде по кабелю *Я1*, якорю генератора, додатковим полюсам, кабелю *Д2*, *П2*, пусковій обмотці, кабелю *П1* на мінус батареї.

Якір тягового генератора складається з вала, корпуса (остова), осердя, обмотки, колектора та деталей кріплення (рис. 3.7).

Якорі тепловозних генераторів виготовляють з укороченим валом, тобто застосовують так звану безвальну конструкцію, що дозволяє знизити температуру нагрівання його обмотки, трудомісткість виготовлення та ремонту, а також масу генератора. Для забезпечення вільного підведення повітря в центральну частину якоря для входу в радіальні канали корпус має ребристу конструкцію та складається зі зварно-литого барабана 20 (див. рис. 3.2), до якого приварені литі фланці і десять поздовжніх ребер 21.

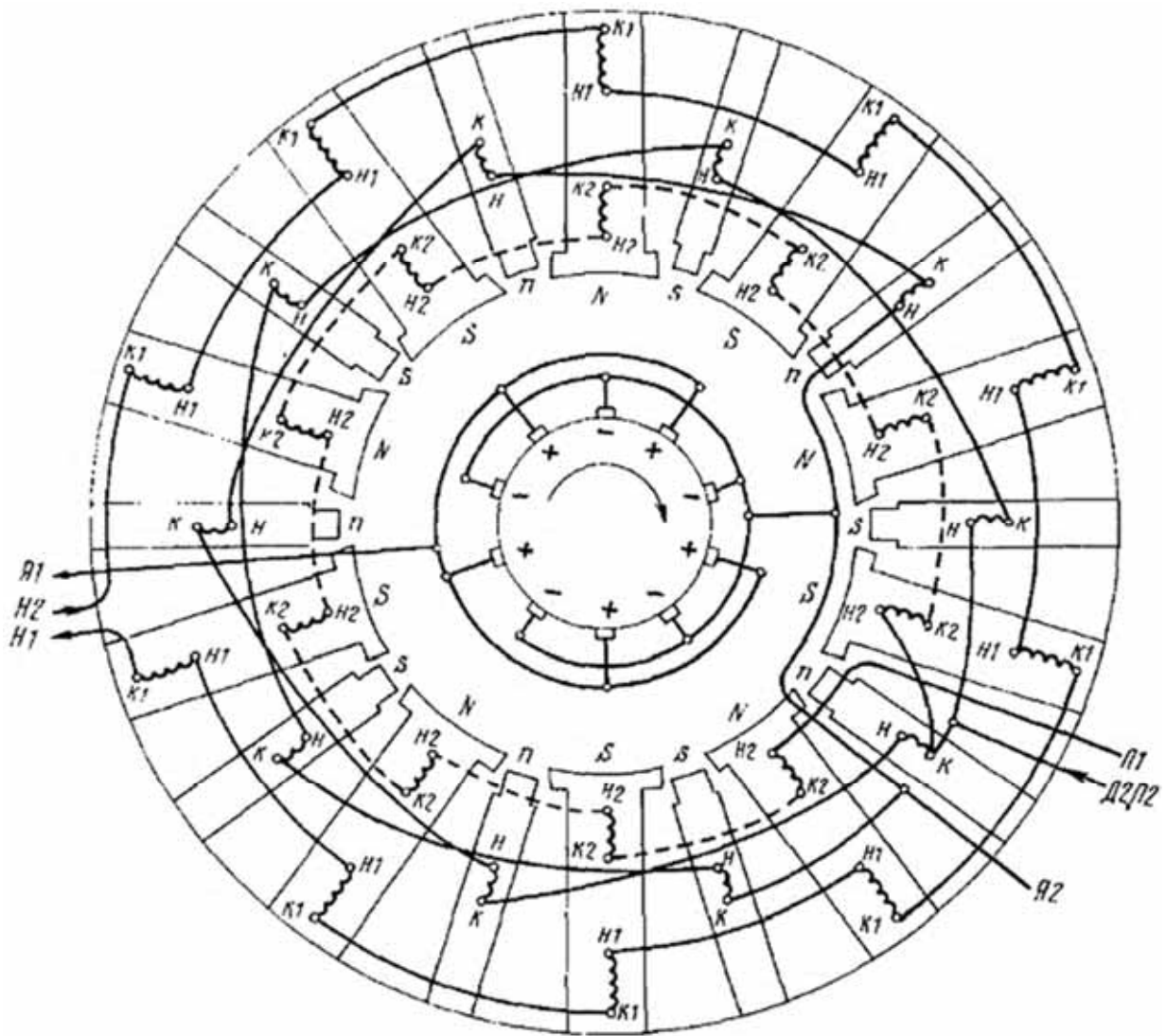


Рис. 3.6. Схема з'єднання обмоток магнітної системи (вид з боку колектора): Я1, Я2 і Н1, Н2 – початок і кінець обмотки якоря та незалежного збудження; П1 – початок пускової обмотки; П2, Д2 – кінець пускової обмотки та додаткових полюсів; Н і К, Н1 і К1, Н2 і К2 – початок і кінець котушок полюсів. Штриховою лінією показані з'єднання котушок пускової обмотки, розташовані з боку, протилежного колектору

Задній фланець використовується для з'єднання через еластичну муфту з колінчастим валом дизеля, передній – для напресування колектора. Тому що генератор має діаметр якоря 120 см, а найбільший розмір листа електротехнічної сталі 100×120 см, то осердя якоря збирають з п'яти штапованих сегментів, стягнутих шпильками в осьовому напрямку між обмоткотримачами. У радіальному напрямку осердя закріплені зустрічними клиновими шпонками 17, що закладаються в пази сегментів і ребер. Натяг між осердям і корпусом створюється розклиненням шпонок при

нагрітому осерді. Для утворення радіальних каналів в осьовому напрямку осердя розділене вентиляційними розпірками на вісім пакетів. Осердя якоря має 155 пазів.

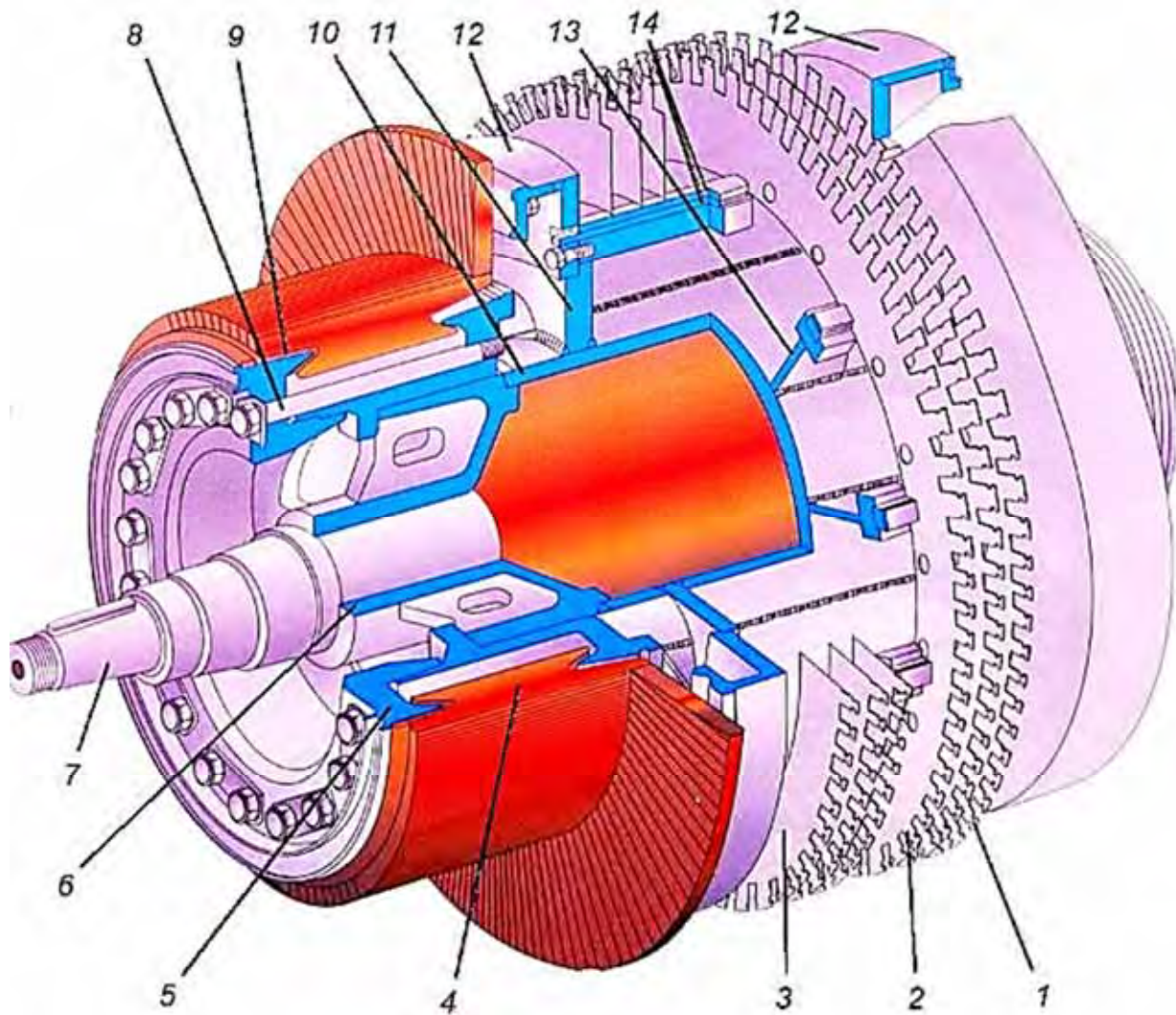


Рис. 3.7. Якір та колектор генератора:

1 – вентиляційний якірний лист; 2 – середній якірний лист; 3 – крайній якірний лист; 4 – механічна прокладка; 5 – натискний конус; 6 – втулка; 7 – вал; 8 – колекторна шпилька; 9 – манжета; 10 – циліндр; 11 – диск; 12 – обмоткотримач; 13 – ребро; 14 – клинкові шпонки

Колектори тягових електричних машин аркового типу. Це найбільш складна складальна одиниця за кількістю деталей, технології виготовлення та ремонту. Колекторні пластини виготовлені з матеріалу, що має високу електропровідність, механічну міцність, опір повзучості, достатню здатність до механічної обробки. Колектор генератора ГП-311Б зібраний з 465 пластин трапецієподібного профілю твердотягнутої колек-

торної міді з присадкою срібла від 0,07 до 0,14 % або кадмію. Легуючі присадки приблизно вдвічі збільшують зносостійкість колектора.

На генераторах потужністю 2000 кВт колекторні пластини 2 з'єднані з обмоткою якоря за допомогою стрічкових гнучких півників (рис. 3.8), що обумовлено великою різницею діаметрів якоря та колектора. Стрічковий півник 3 приварений до колекторної пластини тугоплавким мідно-фосфористим припоєм. До верхньої частини півника приклепана та припаяна смужка 4, в яку впаюють кінці обмотки якоря та зрівняльних з'єднань. Для запобігання від замикань в обмотці якоря через можливе скупчування пилу між гнучкими півниками встановлені пластмасові прокладки, а торцева стінка обмоткотримача ізолювана склотканиною з епоксидним сполучним складом. На генераторах меншої потужності півники виконані з колекторної міді.

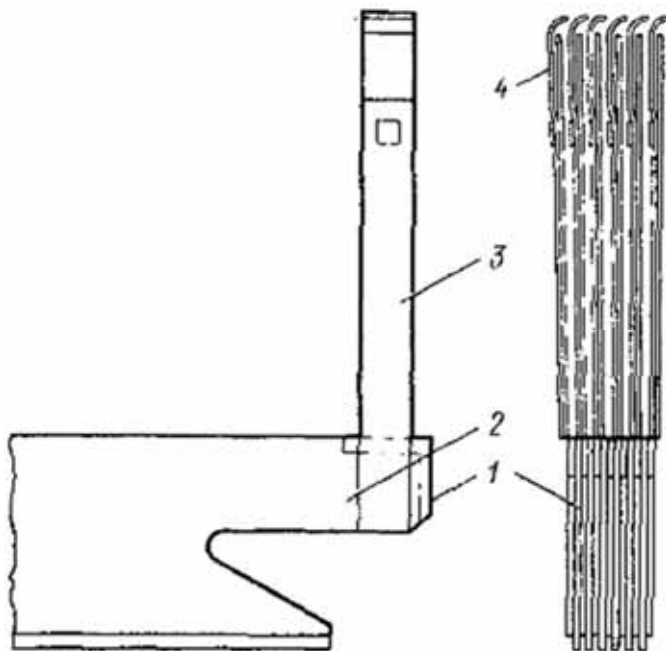


Рис. 3.8. Колекторна пластина:
1 – міканітова прокладка; 2 – колекторна пластина; 3 – стрічковий півник; 4 – смужка

Для полегшення колектора та зменшення бічної площі пластин в них зроблені отвори. Пластини ізолювані одна від одної прокладками 1 з колекторного міканіту товщиною 1 мм. Колекторний міканіт – це пресований і калібрований по товщині матеріал, що складається з листочків щипаної слюди, склеєних сполучною речовиною – природною смолою (шелак), штучною гліфталевою або кремнійорганічною смолою. Колекторний міканіт більш твердий матеріал, ніж мідь, і зношується повільніше. У зв'язку з цим в експлуатації ізоляцію між пластинами періодично поглиблюють до 0,7...1 мм шляхом фрезерування (продорожування), найменша глибина в експлуатації 0,5 мм.

У колекторі аروحного типу пластини мають виточки у формі ластівкового хвоста, в які входять конусні частини корпусу з одного боку і натискної шайби з іншого. Пластини стягнуті сталевими конусами та 18-ю шпильками з легованої сталі, термічно обробленими для підвищення міцності та в'язкості. Пластини ізольовані від корпусу манжетами товщиною 2 мм з формувального міканіту на термореактивній гліфталевій смолі. Якість манжет тим вище, чим нижче вміст сполучної речовини. Щоб виключити можливість перекидання дуги з торців колекторних пластин на корпус, виступаючу частину манжети оберігають від пошкодження бандажем з ізоляційного матеріалу та покривають, як і торцеві частини пластин, ізоляційною емаллю. Щоб внутрішні частини колектора не зволожувалися, необхідно ущільнювати (герметизувати) місця посадки притискної шайби на корпус колектора за допомогою просоченого шнура та промазки стику зовні густими цинковими білилами. Колектор обточують, продорожують і шліфують після складання з якорем.

Для правильної роботи щіткового апарату центр кола колектора повинен точно збігатися з віссю його обертання. Після обточування колектора на верстаті допускається биття поверхні не більше 0,03 мм (по індикатору в холодному стані). Щоб виключити деформацію колектора в експлуатації, його піддають динамічному формуванню, тобто розганяють нагрітий до 150 °С колектор до частоти обертання, що перевищує на 20 % максимальну експлуатаційну частоту обертання. Розгін повторюють кілька разів. Після кожного розгону підтягують колекторні болти. Діаметр колектора 850 мм, довжина робочої частини 370 мм.

Обмотки якоря, використовувані на тягових генераторах тепловозів, підрозділяються на прості петльові, складні петльові та комбіновані. Якоря тягових генераторів порівняно невеликої потужності мають прості петльові обмотки з зрівняльними з'єднаннями. У таких обмоток число паралельних гілок дорівнює числу полюсів ($2a = 2p$). Для збільшення числа паралельних гілок (допустимий струм паралельної гілки 175...200 А) без збільшення числа полюсів в електричних машинах застосовують складні (багатоходові) петльові обмотки або комбіновані (жаб'ячі) обмотки, які являють поєднання двох обмоток – петльової та складної хвильової. Кожну обмотку розраховують на половинну потужність генератора. Тягові генератори потужністю 1350 кВт і вище виконують з двохходовою петльовою або жаб'ячою обмоткою якоря.

Перші випуски генераторів ГП-311Б мають комбіновану обмотку якоря. У пазу обмотка укладається в чотири шари; у верхньому та нижньому шарах – котушки хвильової обмотки, у двох середніх шарах – петльової. Секції петльової та хвильової обмоток приєднують до одних і тих

же півників колектора. Перевага комбінованої обмотки полягає в тому, що не потрібно зрівняльних з'єднань, так як секції хвильової обмотки одночасно є зрівняльними з'єднаннями першого роду по відношенню до петльової обмотки, а секції петльової обмотки – зрівняльними з'єднаннями другого роду по відношенню до хвильової обмотки. До недоліків «жаб'ячої» обмотки слід віднести складність, недостатню технологічність і зниження комутаційних якостей генератора.

Тягові генератори ГП-311Б, що виготовляються з 1971 р., мають несиметричну двоходову ступінчасту петльову обмотку якоря з повним числом зрівняльних з'єднань першого роду, прокладених з боку колектора. Вони працюють більш стійко, ніж генератори з жаб'ячої обмоткою. Ступінчаста двоходова обмотка дозволяє застосовувати склобандаж для кріплення лобових частин без погіршення комутації. Досвід експлуатації показав, що використання склобандажів на якорях підвищує надійність роботи тягових генераторів. Крім того, багаторічна практика електромашинобудування довела, що несиметричні (одна з секцій в кожному пазу має збільшений на одиницю крок по пазах) обмотки знижують напругу між колекторними пластинами до двох разів.

Крок по колектору двоходової петльової обмотки дорівнює двом колекторним розподілам, тобто кінці секції впаюються в півники через одну колекторну пластину, отже, дві окремі обмотки розміщені на якорі та працюють паралельно. Тому що кожна з обмоток можна розглядати як просту петльову обмотку з числом гілок, рівним числу полюсів, то двоходова обмотка має число паралельних гілок в два рази більше ($2a = 2 \cdot 2p$). Число щіток ставиться рівним числу полюсів, але ширина кожної щітки повинна бути така, щоб одночасно могли працювати дві обмотки. Схема двоходової несиметричної ступінчастої обмотки якоря генератора ГП-311Б показана на рис. 3.9, а). Котушка петльової двоходової обмотки складається з трьох елементарних одновиткових секцій (рис. 3.9, б).

Ізоляція котушки якірної обмотки від корпусу виконана трьома шарами склослюдянітової стрічки ЛСПЕ-934-ТП і одним шаром скляної стрічки ЛЕС (в напівперекришу), крім того, паз вистелений плівковою склотканиною. Кожен провідник ізолюваний одним шаром слюдинітової стрічки ЛС (в напівперекришу), а всі шість провідників ізолювані скляною стрічкою ЛСЕ, просоченою в лаку КО-916К. Після укладання в пази якоря обмотку просочують в ізоляційному лаку вакуум-нагнітальним способом і запікають для забезпечення монолітності конструкції. Зрівняльні з'єднання виконані з міді ПММ розміром $1,32 \times 6,3$ мм.

Секції з півниками колектора та розрізні задні головки обмотки з'єднують пайкою припоєм з вмістом срібла. При динамічному балансуванні

урівноваження якоря виконують закріпленням вантажів на конусі колектора та задній натискній шайбі (обмоткотримачі) якоря.

Лобові частини обмотки якоря кріплять бандажами зі склобандажної стрічки, просоченої термореактивним лаком.

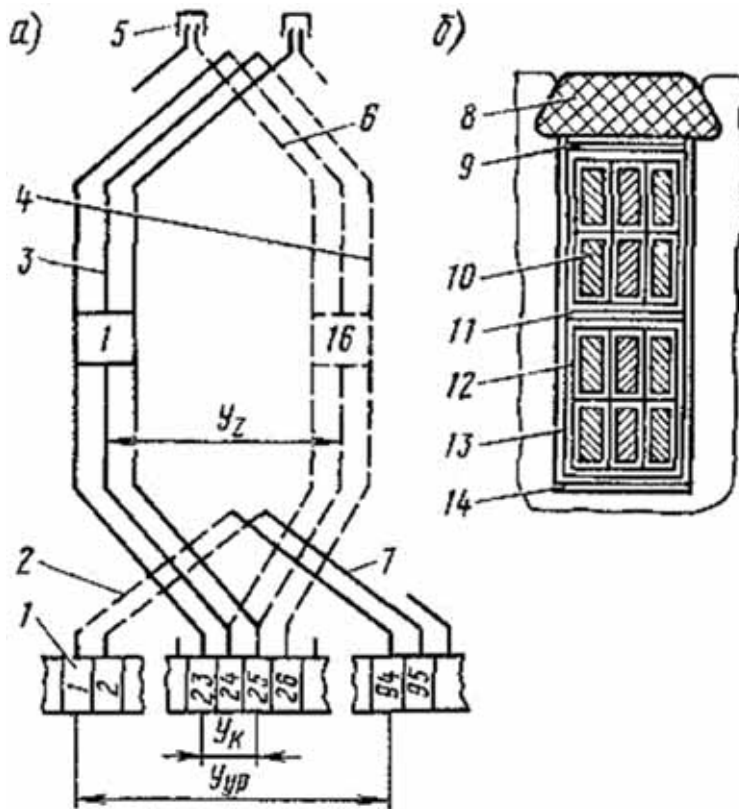


Рис. 3.9. Двоходова петльова обмотка якоря:

а) схема котушок і зрівняльних з'єднань; б) розріз обмотки в пазу; 1 – пластини колектора (півники); 2, 7 – нижня та верхня сторони зрівняльних з'єднань; 3, 4 – верхня та нижня сторони котушки; 5 – з'єднувальна гільза; 6 – секція котушки, що переходить в наступний паз (сходинка); 8 – клин пазовий; 9, 11, 14 – ізоляційні прокладки; 10 – провід котушки; 12 – ізоляція котушки від корпусу; 13 – ізоляційне вистилання паза; $U_k = 2$ – крок по колектору; $U_{up} = 93$ – крок зрівняльних з'єднань; $U_z = 1 \dots 16$ – крок по пазам

Стрічку накладають з натягом до 400 МПа, який, як і режим термообробки (запікання) стрічки після накладання, контролюється автоматично для отримання монолітного високоміцного бандажа. Обмотка якоря має ізоляцію класу F.

Щіткотримачі тягових генераторів – це струмовідводячий пристрій колектора; вони повинні забезпечувати постійне натискання на щітки по мірі їх зношування, добре відводити тепло від щіток і бути простими та зручними для їх зміни. На всіх тягових генераторах раніше застосовували щіткотримачі похилого (реактивного) типу. З 1979 р. на генераторах ГП-311Б встановлюють радіальні щіткотримачі з постійним натисканням на розрізну щітку. Латунний корпус щіткотримача похилого типу (рис. 3.10, а, в) має два прорізи: з нахилом 30° до радіусу колектора (для набігаючої щітки) і 10° (для збігаючої щітки).

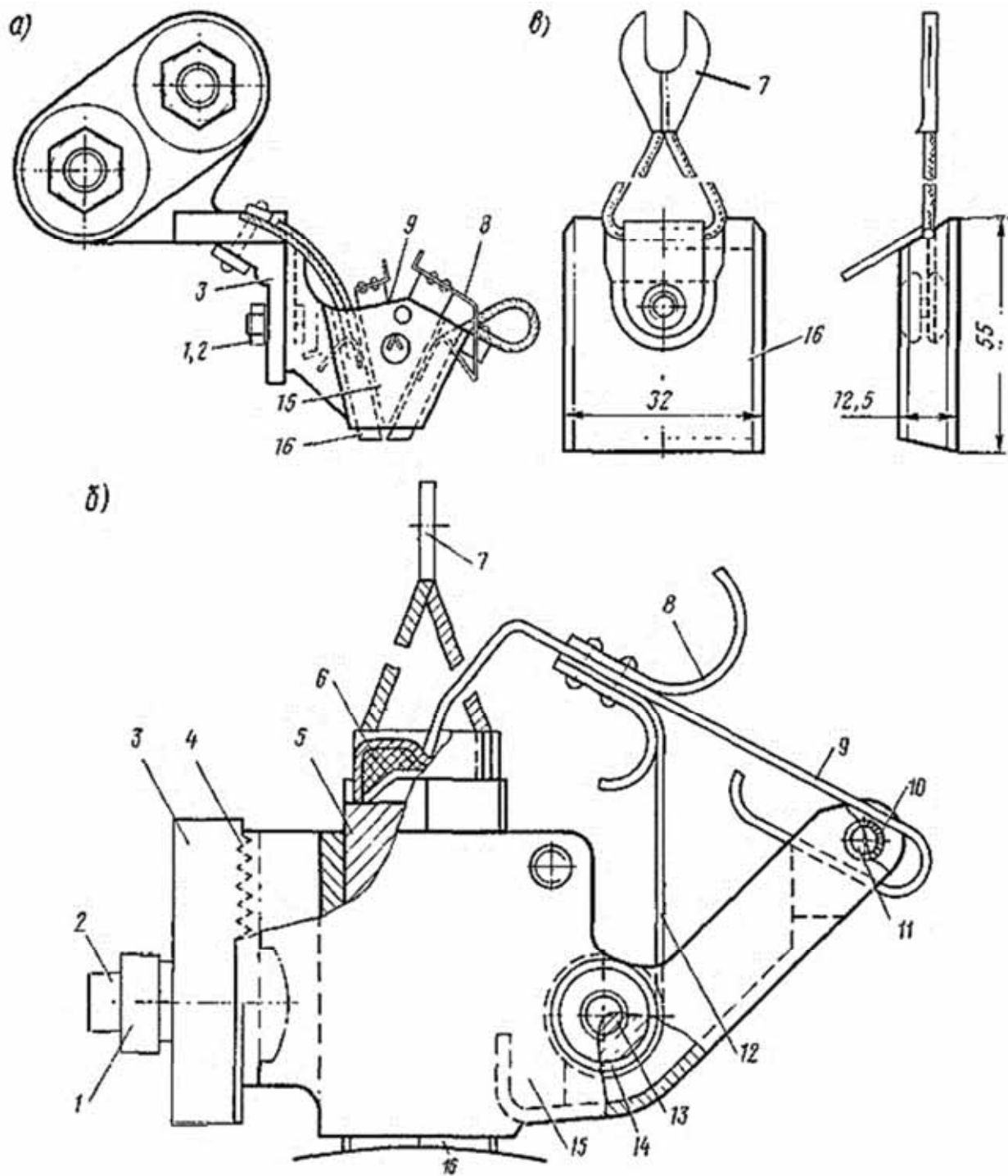


Рис. 3.10. Щіткотримачі:

а) похилий; б) радіальний; в) щітка похила;

1 – гайка; 2 – болт кріплення щіткотримача; 3 – бракет (кронштейн); 4 – рифлена привалочна поверхня корпусу; 5 – щітка розрізна; 6 – гумова накладка; 7 – наконечник відкритого типу; 8 – скоба (курок); 9 – важіль; 10, 14 – втулки; 11, 13 – осі; 12 – пружина; 15 – корпус; 16 – щітка похила

Бракет кріпиться до щита або поворотної траверси двома ізоляційними підвісками, виготовленими з мікалексу, армованого спеціальним болтом з одного боку і гайкою з іншого. Щітки марки ЕГ-74 розміром 12,5×32×65/60 мм притискаються до колектора спіральними пружинами через курки. Силу натискання, яка повинна бути 8–12 Н регулюють зміною затягування пружини.

На тягових генераторах встановлюють армовані щітки в основному з відкритими наконечниками, які прикріплюють гвинтами до бракета. Армування щіток струмоведучих проводом (мідним шунтом) зменшує їх нагрівання, особливо у верхній частині, підвищує стабільність протікання струму між щіткою і колектором, покращує комутацію. Положення щіткотримачів щодо поверхні колектора регулюють прорізом в корпусі щіткотримача під болтом 2. Відстань від колектора до щіткотримача має бути 2–3 мм. Установка на тяговий генератор щіток різних марок неприпустима, оскільки це призводить до нерівномірного розподілу струму в щітках. Надійність кріплення щіткотримачів, точність розміщення щіток і сталість натискання на них досягаються використанням гребінчастих (рифлених) привалочних поверхонь щіткотримача і бракета, а також застосуванням стрічкових рулонних пружин.

Корпус радіального щіткотримача має одне гніздо (рис. 3.10, б), в яке встановлюється розрізна щітка з гумовим амортизатором (накладкою) товщиною 12 мм, що має прямокутний виступ, який входить у відповідний паз на верхньому торці щітки і отвори для струмоведучих проводів. Амортизатори збільшують термін служби щіток, покращують комутацію і ліквідують відколи щіток. Застосування радіальних щіткотримачів на генераторах ГП-311Б зменшило число щіток в два рази.

Зовнішні характеристики генератора для різних позицій контролера (рис. 3.11, а) показують, що тяговий генератор може забезпечити максимальний короткочасний струм (обмежений комутацією) 6600 А. Залежність струму генератора від швидкості для непарних позицій контролера машиніста із зазначенням точок підключення та відключення ослаблення збудження показана на рис. 3.11, б). Ці криві широко використовуються в тягових розрахунках при визначенні нагрівання генератора та для знаходження швидкостей, за яких відбувається спрацьовування реле переходу.

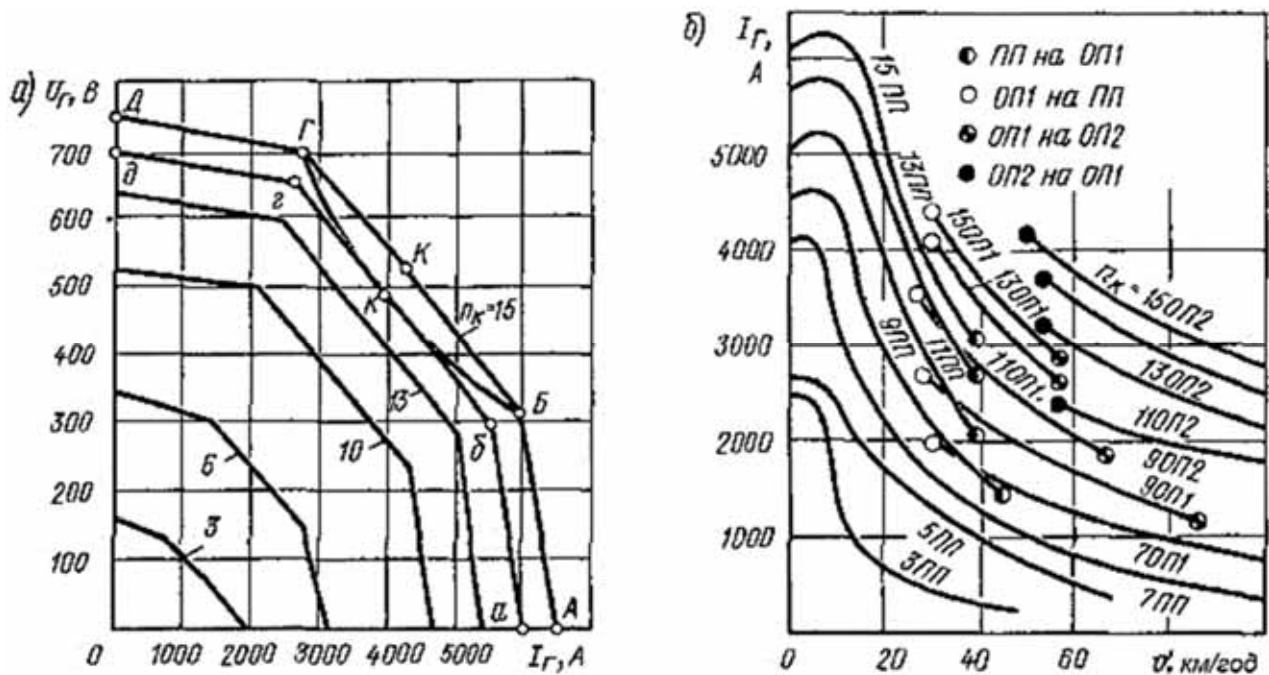


Рис. 3.11. Характеристики генератора:

а) зовнішні за різних позиціях контролера; б) зміна струму генератора I_T залежно від швидкості руху V ; U_T – напруга; n_k – позиція контролера; ПП – паралельне з'єднання двигунів; ОП1 – ОП2 – те ж з ослабленням збудження

3.4. Тяговий генератор ГП-300Б маневрового тепловоза ТЕМ2

Тяговий генератор типу ГП-300Б. Генератор тепловоза ТЕМ2 (рис. 3.12) складається з тих же основних частин, що і генератор ГП-311Б, тому при описі будови генератора наведені тільки його конструктивні особливості.

Корпус якоря генератора одним кінцем жорстко з'єднаний 12 болтами з фланцем колінчастого вала дизеля. Кінець укороченого вала підтримується дворядним підшипником (що само встановлюється), встановленим у підшипниковому щиті. Осьовий розбіг підшипника генератора дорівнює 3 мм (для полегшення складання), у той час як у сьомого корінного підшипника вала дизеля розбіг менше 1 мм. Отже, всі осьові зусилля сприймаються підшипником дизеля.

Зварна станина 25 генератора виготовлена з товстолистової сталі Ст3 і має циліндричну форму. Одним кінцем з centruючим буртом 24 станина генератора прикріплена безпосередньо до великого фланця картера

дизеля. На раму тепловоза генератор спирається лапами 26 (через пружини), привареними до станини, провусини у верхній частині станини служать для підйому генератора.

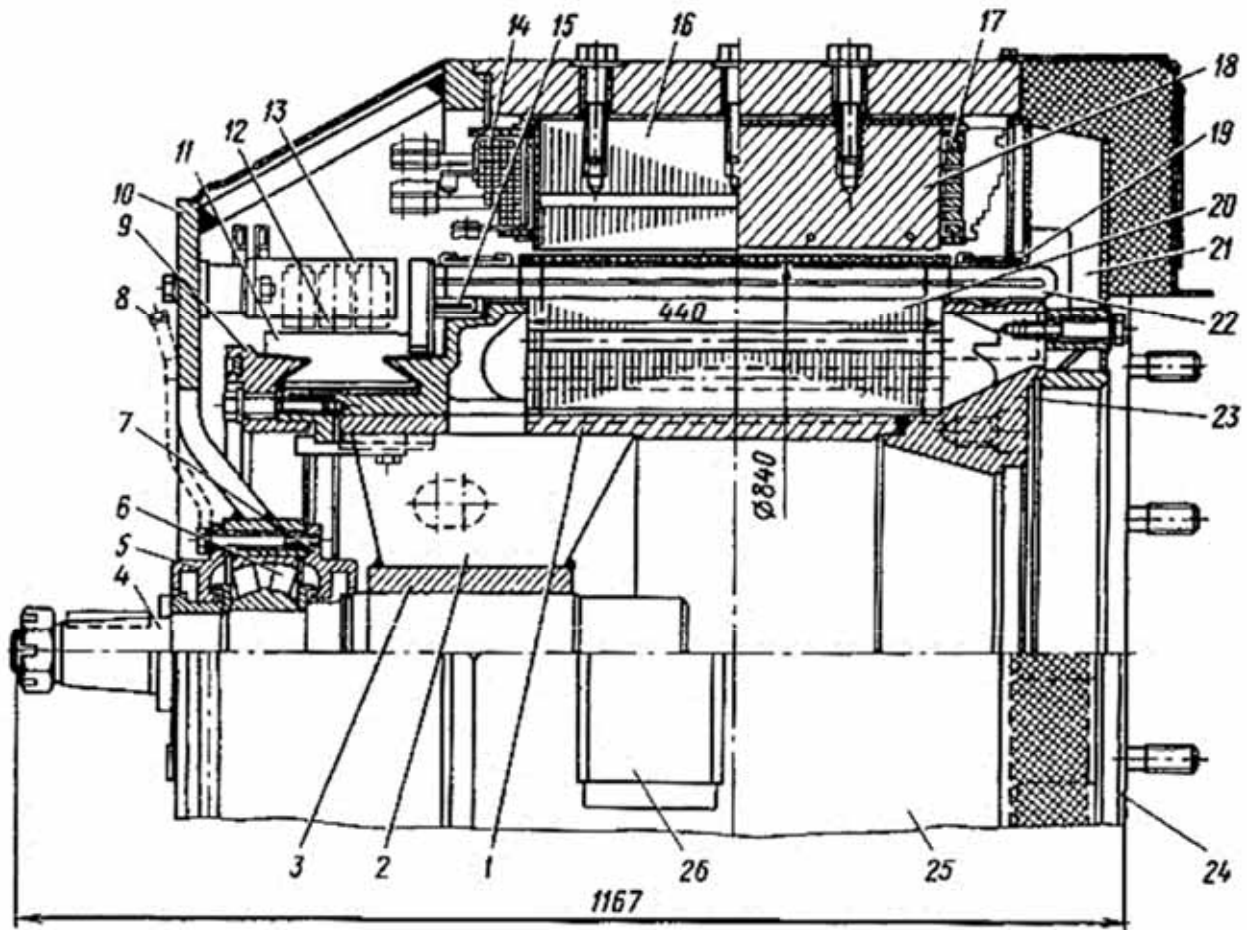


Рис. 3.12. Тяговий генератор ГП-300Б:

1 – барабан корпусу якоря; 2 – ребра; 3 – маточина корпусу якоря; 4 – вал; 5 – переднє лабіринтове ущільнення; 6 – підшипник; 7 – лабіринтове ущільнення; 8 – трубка для змащування; 9 – натискна шайба; 10 – підшипниковий щит; 11 – колектор; 12 – щітки; 13 – щіткотримач; 14, 16 – обмотка та осердя головного полюса; 15 – зрівняльні з'єднання; 17, 18 – обмотка та осердя додаткового полюса; 19 – бандаж; 20, 22 – обмотка та осердя якоря; 21 – вентилятор; 23 – фланець; 24 – центруючий бурт; 25 – станина; 26 – опорні лапи

Машина виконана з самовентиляцією, вбудоване вентиляторне колесо закріплене на корпусі якоря. Повітря для охолодження генератора засмоктується вентилятором 21 з капота через отвори в підшипниковому щиті. З боку дизеля станина має закриті сітками отвори для виходу нагрітого повітря. Котушки головного полюса мають незалежну та пускову обмотки. Безпосередньо на каркас котушки укладена пускова обмотка, а обмотка незалежного збудження укладається поверх пускової. Обмотка

незалежного збудження має дев'ять шарів з різним числом витків. Для спрощення конструкції шин, що з'єднують обмотки полюсів, котушки чотирьох полюсів мають відкриті виводи, а чотирьох інших – перехрещені.

Обмотка якоря проста петльова зі зрівняльними з'єднаннями (рис. 3.13, *а*). Крок обмотки якоря по пазах осердя якоря $Y_z = 1-10$, крок по колектору $Y_k = 1$. Кожна секція обмотки (рис. 3.13, *б*) складається з 15 провідників.

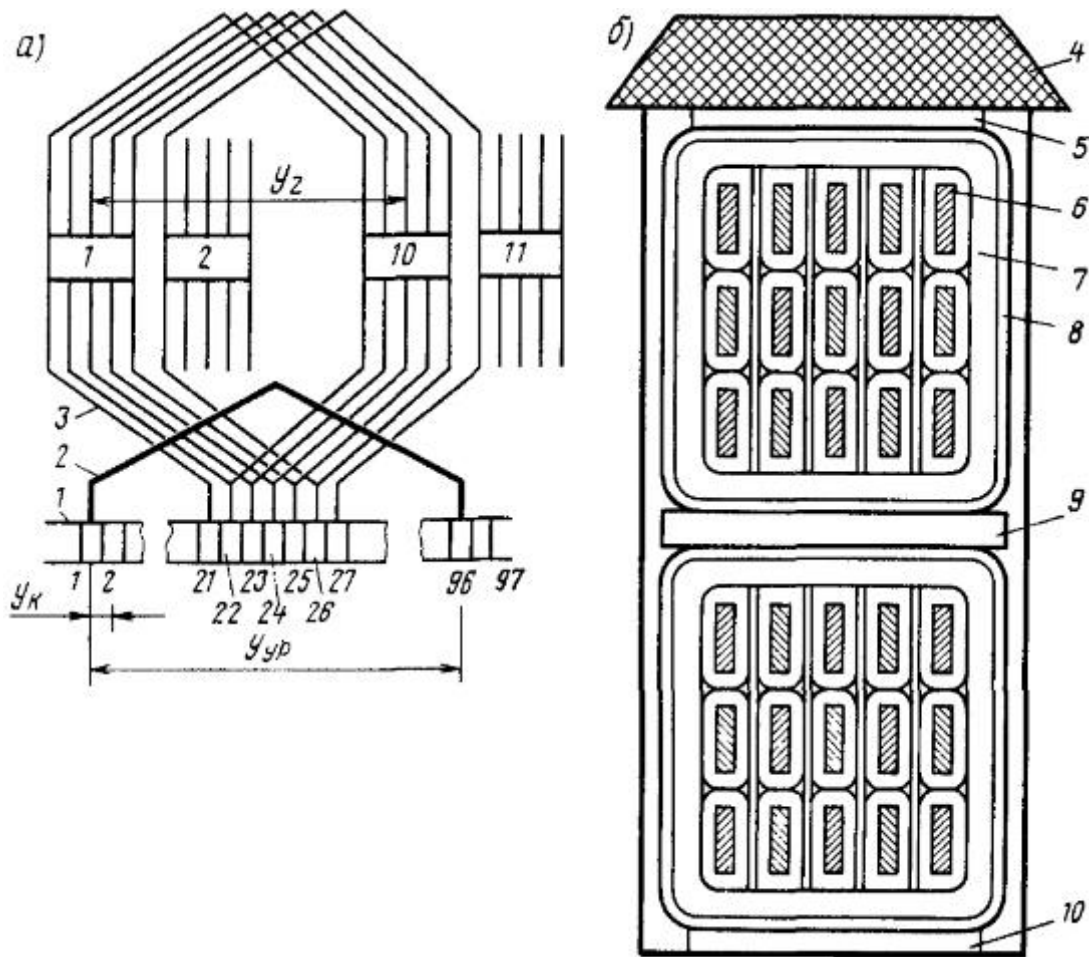


Рис. 3.13. Проста петльова обмотка якоря ГП-300Б:

а) схема обмотки; *б*) розріз обмотки в пазу;

1 – пластини колектора; 2 – зрівняльні з'єднання; 3 – секція обмотки якоря; 4 – клин ізолюючий; 5, 9, 10 – міканітові прокладки; 6 – мідний провід в гільзі; 7 – скляна стрічка; 8 – міткалева стрічка

Провідники покриті скляною та міканітовою ізоляцією, а потім вставлені в міканітову гільзу. Зверху намотані шари скляної та міткалевої стрічок. Між секціями, на дно паза та під кріплячі обмотку клини покладені міканітові прокладки. Під передніми лобовими частинами обмотки якоря

в поглибленнях передньої натискної шайби розташовані зрівняльні з'єднання, виконані з неізолюваної міді розміром $1,81 \times 6,9$ мм. Крок зрівняльних з'єднань $U_{ур} = 1-96,6-101$, тобто зрівняльні з'єднання ставлять через кожні п'ять колекторних пластин.

Генератор має вісім реактивних щіткотримачів, подібних за конструкцією щіткотримачам ранніх випусків генератора ГП-311Б, але з тією різницею, що тут до кожного щіткотримача прикріплені тільки три корпуси, тобто в щіткотримач встановлюються шість щіток.

Запитання до самоконтролю

- 1. Вимоги до тягових електричних машин локомотивів.*
- 2. Загальний устрій тягових генераторів постійного струму.*
- 3. Будова колектора, обмотки якоря, щіткотримача тягового генератора ГП-311Б.*
- 4. Устрій генератора ГП-300Б. Призначення основних його вузлів.*

ТЯГОВІ ЕЛЕКТРОДВИГУНИ ТЕПЛОВОЗІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

4.1. Загальні відомості про тягові електродвигуни

На тепловозах застосовують тягові електродвигуни з послідовним збудженням. Їх вузли й елементи в тому подібні. З 1975 року на тепловозах потужністю 2210 кВт почали встановлювати електродвигуни ЕД-118Б, а в подальшому ЕД-125Б.

Остов (корпус) тягового електродвигуна виконує функції магнітопроводу, і в ньому розміщуються всі деталі машини. Матеріалом остова служить м'яка лита сталь високої магнітної проникності марки 25Л11.

Остови машин з $2p = 4$ зазвичай восьмигранні, з широкими горизонтальними і вертикальними гранями, в яких розташовуються головні полюси, і вузькими, орієнтованими під 45° до горизонталі і вертикалі, в яких розміщують додаткові полюси. Двигуни з $2p = 6$ мають циліндричні остови. У торцевих частинах остов має розточення (горловини) для посадки підшипникових щитів. Станина шестиполюсного електродвигуна наближається до циліндра, що менш зручно при опорно-осьовому підвішуванні, ніж восьмигранна форма чотирьох полюсного електродвигуна.

Тягові електродвигуни слугують для перетворення електричної енергії, що виробляє генератор, в механічну енергію обертання рушійних коліс тепловоза. На тепловозах отримав широке застосування індивідуальний привід, коли на кожну рухому колісну пару передається обертаючий момент від окремого тягового двигуна. Тягові електродвигуни встановлені на візках тепловоза і приводять в рух осі колісних пар через механічні редуктори. На більшості тепловозів тягові електродвигуни мають опорно-осьове підвішування. Кожен електродвигун своїм моторно-осьовим підшипником спирається на ведену їм вісь, іншою ж стороною він пружно спирається носиком на рамне кріплення.

На пасажирських тепловозах ТЕП70, ТЕП60 (конструкційна швидкість 160 км/год) і вантажних 2ТЕ121 електродвигуни мають опорно-

рамну підвіску, при якій електродвигун спирається на порожнисту вісь, що має з рушійною віссю еластичне з'єднання.

Застосовувана на тепловозах одностороння тягова передача забезпечує найбільшу активну довжину якоря 430 мм і діаметр якоря 493 мм. Конструкція всіх частин двигунів повинна забезпечувати їх герметичність, тому що всередину тягових електродвигунів через нещільності та вихідні отвори для охолоджуючого повітря може потрапляти сніг, пісок і пил. Всі двигуни постійного струму мають незалежну систему охолодження нагнітального осевого типу з подачею повітря з боку колектора. Основні технічні дані електродвигунів наведено в табл. 4.1–4.2. За конструкцією всі тягові електродвигуни мають багато спільного; найбільш типові з них електродвигуни ЕД-118Б та ЕД-125Б.

Таблиця 4.1

Основні технічні дані за типом електродвигуна

Тип електродвигуна	Потужність, кВт	Напруга, В, нижча/вища	Струм, А		Частота обертання максимальна, хв ⁻¹
			за напругою нижчій/вищій	максимальний короткочасний	
ЕДТ-200Б	206	275/410	820/550	1350	2200
ЕД-118АУ1	305	475/635	700/525	1100	1870
ЕД-118А	305	463/600	720/476	1100	2230
ЕД-118БУ1	305	463/700	720/476	1100	2290
ЕД-120АУ1	411	512/750	880/600	1250	2320
ЕД-121АУ1	413	542/750	830/600	1250	2320
ЕД-125БУХЛ1	410	536/750	840/600	1200	2320
ЕД-126УХЛ1	409	548/725	820/620	1200	1835
ЕД-900У1	380	720/960	413/290	550	2460

Подальше удосконалення тягових електричних машин локомотивів проводилось шляхом застосування нових конструкційних провідникових, магнітних та ізоляційних матеріалів. Для порівняльної оцінки машин застосовується показник питомого використання матеріалів, які для:

– тягових генераторів визначаються

$$K_{м.г.} = \frac{Gn_{я} \cdot 10^{-3}}{P_{г} K_{пер}}, \quad (4.1)$$

– тягових електродвигунів

$$K_{\text{м.д.}} = \frac{G n_{\text{я}} K_{\text{рег}}}{P_{\text{д}} n_{\text{яmax}}}, \quad (4.2)$$

де G , $P_{\text{г}}$, $P_{\text{д}}$ – вага та потужність машин;

$n_{\text{я}}$ – частота обертання;

$K_{\text{рег}}$ – коефіцієнт регулювання генератора.

Таблиця 4.2

Основні технічні дані електродвигуна за серією тепловоза

Серія тепловоза	К.к.д (максимальний), %	Маса, кг	Клас ізоляції обмоток якоря/збудження	Тиск, Па / Витрата охолоджуючого повітря, м ³ /с	Змащування моторно-осьових підшипників (МОП)
ТЕ3, ТЕ7, ТЕМ1	91,0	3300	В/В	500/0,88	вовняна пряжа
ТЕП60	91,5	3350	F/F	1177/1,17	примусове/циркуляційне
2ТЕ10Л, 2ТЕ10В, 2ТЕ116, М62, 2М62, ТЕМ2	91,5	3100	F/F	1570/1,33	польстер
2ТЕ116, ТЕ10М, ТЕ10С	91,5	3350	F/F	1570/1,33-1,25	примусове/циркуляційне
ТЕМ7	91,1	3000	Н/F	1670/1,9	польстер
ТЕП70	91,8	2950	Н/F	1373/1,67	МОП немає
2ТЕ116, ТЕ10М, ТЕ10С	91,1	3250	Н/F	1670/1,9	примусове/циркуляційне
2ТЕ121	90,9	3600	Н/F	1670/1,66	МОП немає
ТЕ120	91,0 93,5	2300	Н (статор)	2550/1,25	МОП немає

При цьому враховується вплив на вказані показники частоти обертання якоря тягового генератора та діапазон регулювання напруги $K_{\text{рег}}$, а для тягових електродвигунів ще і діапазон зміни частоти обертання якоря від номінальної до максимальної. Важливим показником при удосконаленні конструкції тягових машин є відношення ваги до одиниці номінальної потужності $K_{\text{н}} = G/P_{\text{ном}}$. Наприклад, порівняльна характеристика роботи тягових генераторів і двигунів постійного та змінного струму ГП-311Б, $K_{\text{н}}$

= 4,35 кг/кВт; ГС-501А, $K_n = 2,14$ кг/кВт; ЕД-118, $K_n = 10,16$ кг/кВт; ЕД-900, $K_n = 6,05$ кг/кВт. Перехід до тягових електричних машин змінного струму значно покращує ці технічно-економічні показники.

4.2. Конструкція тягових електродвигунів типу ЕД-118А, ЕД-118Б

На рис. 4.1 наведена конструкція тягового електродвигуна ЕД-118А. Для змащування моторно-осьових підшипників тут застосовують тільки польстерний пристрій.

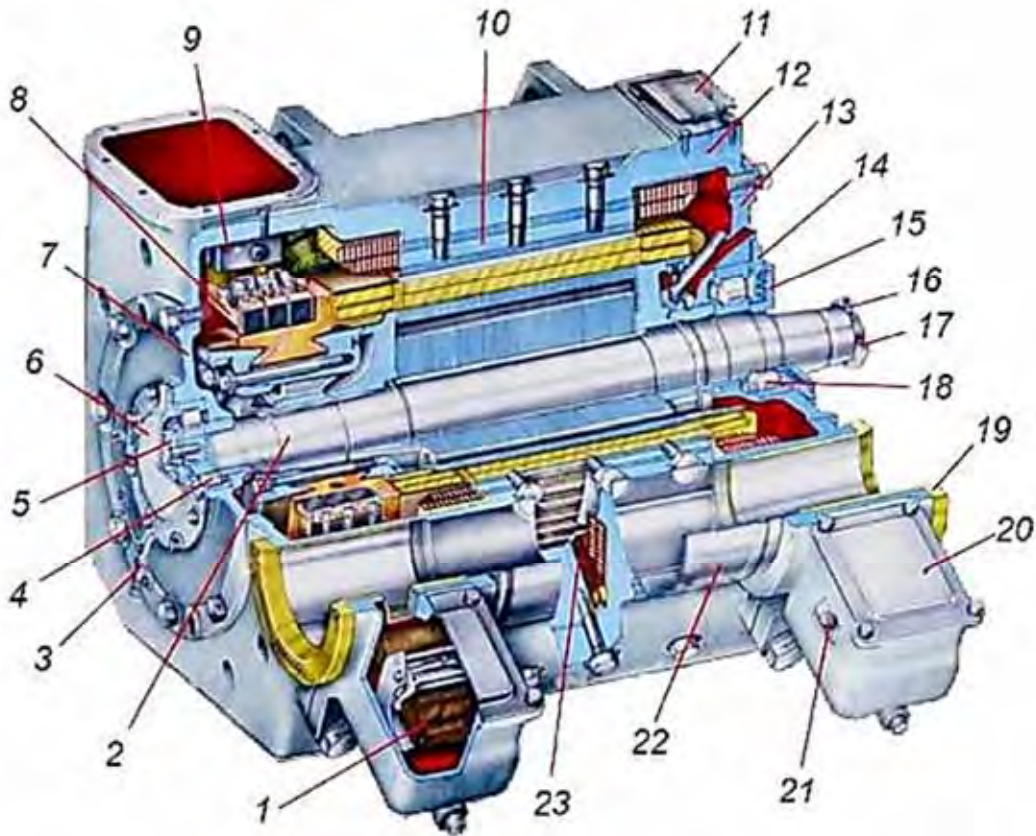


Рис. 4.1. Тяговий електродвигун ЕД-118А:

1 – польстер; 2 – вал якоря; 3 – трубка підведення мастила до підшипника; 4, 18 – роликовий підшипник; 5 – упорна шайба; 6, 14 – кришка підшипника; 7 – малий підшипниковий щит; 8 – щіткотримач; 9 – кронштейн щіткотримача; 10 – головний полюс; 11 – щиток; 12 – остов; 13 – великий підшипниковий щит; 15 – лабіринтове кільце; 16 – гайка; 17 – шайба; 19 – вкладиш МОП; 20 – криша МОП; 21 – шуп маслопоказчика; 22 – кожух; 23 – додатковий полюс

Тяговий електродвигун ЕД-118Б. Конструкція тягових електродвигунів різко відрізняється від стаціонарних машин. Це пояснюється тим, що тягові електродвигуни повинні забезпечувати широкий діапазон зміни частоти обертання, великі обертальні моменти, надійність роботи в умовах багаторазових і одиночних ударів, вібрації і зміни температури навколишнього середовища в широких межах.

Габаритні розміри тягових електродвигунів жорстко обмежені. При опорно-осьовому підвішуванні вони визначаються шириною колії (1520 мм) і діаметром рухомих коліс тепловоза, рівним 1050 мм (тепловоз 2ТЕ121 має $D_k = 1250$ мм).

Магнітна система двигуна ЕД-118Б (рис. 4.2) утворюється з остова (корпуса), головних і додаткових полюсів моноблочною конструкції, міжполюсних з'єднань і вивідних проводів. Остов восьмигранної форми одночасно служить магнітопроводом, тому він відлитої зі сталі з невеликим вмістом вуглецю. Електродвигун до рами візка підвішений за допомогою двох опорних приливів (носіків) зі змінними накладками 24, між якими поміщена траверса підвіски. Над основними «носіками» зроблені запобіжні приливи, що виключають можливість падіння тягового двигуна на колію в разі поломки пружинної підвіски двигуна.

З боку, протилежного носіків, в розточеннях остова встановлені вкладиші моторно-осьових підшипників, корпуси (шапки) яких кріпляться болтами до корпусу двигуна. На корпусі є також приливи з різьбленням (бонки) для кріплення кожуха зубчастої передачі.

До торцевої стінки корпусу з боку колектора приварені чотири кронштейна для кріплення щіткотримачів. У верхній частині корпусу з боку колектора є вентиляційний отвір, з'єднаний брезентовою гармошкою (рукавом) з каналом, через який нагнітається повітря для охолодження електродвигунів. Повітря виходить з протилежного боку через три отвори в корпусі двигуна, захищені сітками та щитками.

Для огляду колектора та щіток в корпусі зроблені три колекторних люка, що закриваються кришками з ущільненнями з пористої гуми РФ, такі ущільнення показали хорошу роботу в умовах низьких температур. Кришка верхнього люка (швидкознімна) запирається пружинним замком, а кришки нижнього 38 і бічного 40 – болтами.

Тяговий електродвигун має чотири головних і чотири додаткових полюса (рис. 4.3). Головні полюси розташовані по горизонтальній і вертикальній осях, додаткові - по осях, нахиленим під кутом 45° до горизонталі. Осердя головних полюсів збирають (шихтують) з штампованих листів маловуглецевої сталі Ст2, спресовують та скріплюють заклепками.

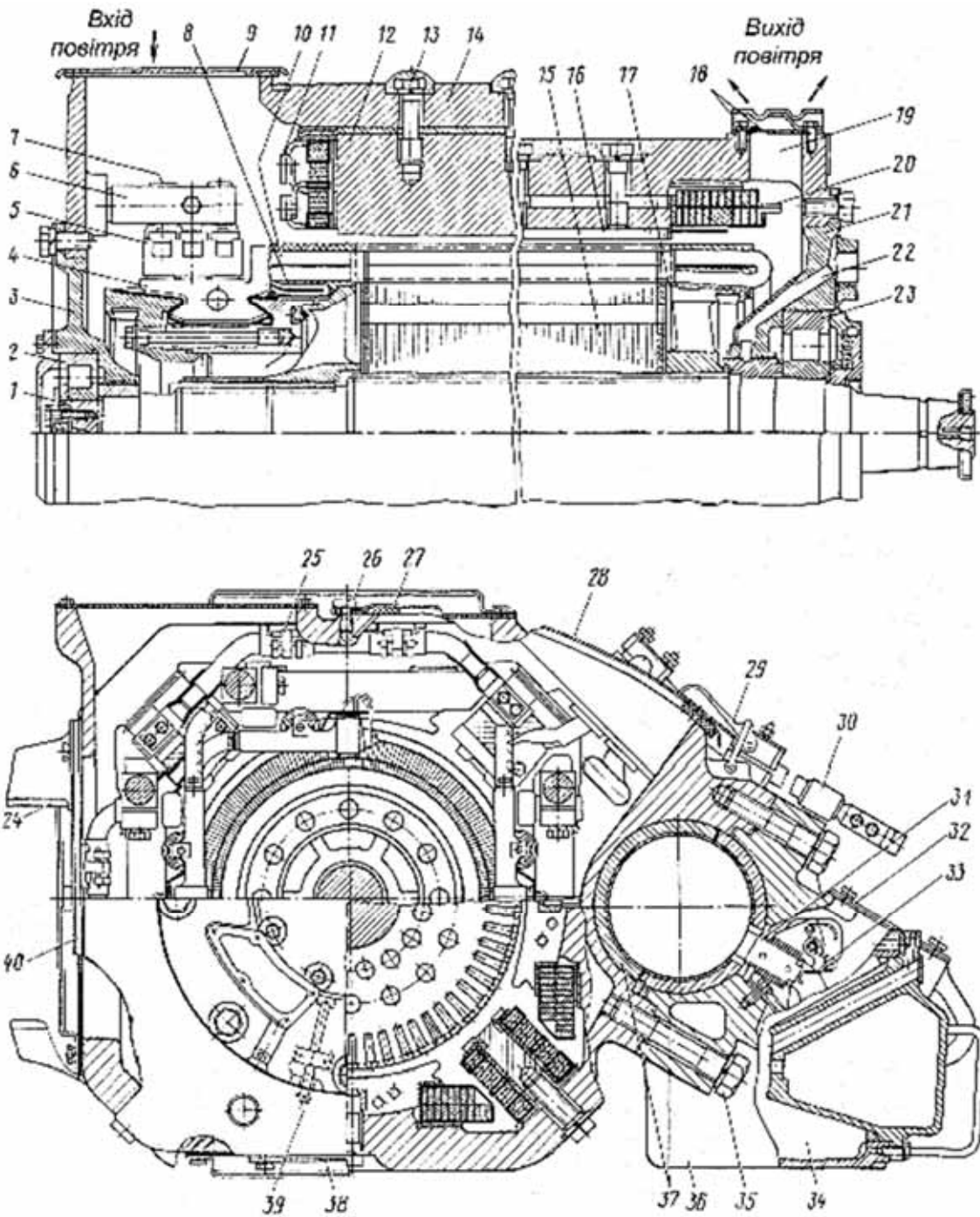


Рис. 4.2. Тяговий електродвигун ЕД-118Б:

1 – вал; 2, 23 – роликові підшипники; 3, 21 – щити підшипникові; 4 – колектор; 5 – щіткотримач; 6 – кронштейн; 7 – ізолятор; 8 – зрівняльні з'єднання; 9 – кришка (закрита в неробочому стані); 10, 15 – обмотка та осердя якоря; 11, 20 – міжкотушкові з'єднання; 12 – додатковий полюс; 13 – болт, залитий кварцкомпаундом; 14 – корпус (остов); 16 – головний полюс; 17 – натискні пальці або зварні пакети; 18 – щитки; 19 – отвір для виходу повітря; 22 – атмосферний канал; 24 – змінні накладки носиків; 25 – кріплення міжкотушкового з'єднання до остова; 26 – бобишка; 27 – ущільнення; 28 – верхня кришка; 29 – замок; 30 – вивідний провід; 31 – гніт; 32, 38, 40 – кришки; 33 – притисний пристрій; 34 – ванна; 35 – болт; 36 – корпус (шапка) МОП; 37 – вкладиші МОП; 39 – трубка подачі масла

Впроваджується кріплення головних полюсів до корпусу за допомогою винесеного з осердя стрижня і болтів по типу електродвигуна ЕД-125Б.

Осердя додаткових полюсів виготовлені з прокату марки Ст3. Башмак осердя вуже, ніж основний його розмір, і для утримання котушки з двох сторін башмака приклепані немагнітні полюсні наконечники (куточки) з латуні або дюралюмінію. Між осердям і корпусом розташовані дюралюмінієві немагнітні прокладки, що збільшують повітряний зазор в магнітному колі (див. рис. 4.2). Для більш рівномірного розподілу магнітного потоку торцеву частину осердя додаткових полюсів виготовляють по радіусу якоря, а котушки – з міді розміром 5,6×30 мм. Котушки головних полюсів намотані зі смугової міді «плазом» у два шари. Котушка складається з двох напівкотушок з числом витків 11 і 8, що дає краще заповнення міжкотушкового простору. Котушки додаткових полюсів намотані також зі смугової міді, але на «ребро».

Виткова ізоляція котушок головних полюсів виконана з азбестового паперу, шари котушки ізольовані один від іншого склотекстолітовою прокладкою. Для забезпечення закріплення котушки на осерді зазори між ними заповнюють азбестовою стрічкою ЛАЕ і потім просочують в компаунді «Монолит-2» (рис. 4.4).

Котушки додаткових полюсів від осердя ізольовані папером азбестовим, стрічкою ЛС40РУ і скляною стрічкою ЛЕС. Порожнечі заповнені замазкою П-11. Потім котушку просочують в компаунді. Щоб компенсувати усадку ізоляції котушок при експлуатації, на головних і додаткових полюсах встановлені пружинні рамки.

Дані обмоток двигуна наведемо в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Дані обмоток електродвигуна ЕД-118Б

Обмотка	Клас ізоляції	Число витків	Опір при 15°С, Ом	Марка проводу	Розмір проводу без ізоляції, мм
Головних полюсів	F	19	0,0105	Шинна мідь МГМ	8×25
Додаткових полюсів	F	17	0,00812	ШММ	6×30
Якоря	F	216/4	0,013	ПЕТВСД	1,7×6,3

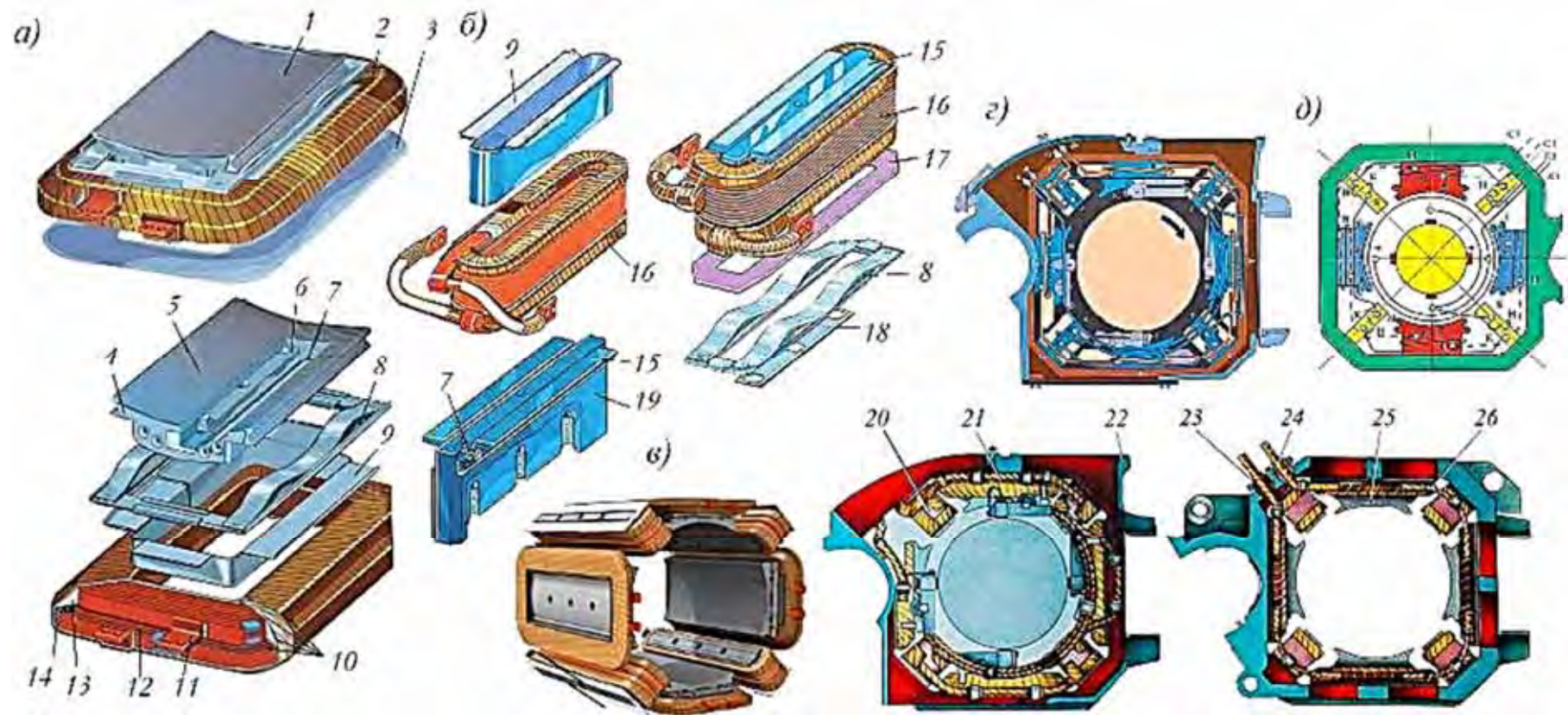


Рис. 4.3. Магнітна система:

a) головний полюс; *б)* додатковий полюс; *в)* магнітна система; *г)* з'єднання додаткових полюсів;
д) з'єднання обмоток полюсів і якоря тягового електродвигуна

1 – осердя головного полюса; 2 – котушка головного полюса; 3 – рамка; 4 – полюсна щітка; 5 – листи осердя; 6 – стержень; 7 – заклепка; 8 – пружинна рамка; 9 – фланець; 10 – ізоляція (ізоляційна стрічка, мікастрічка, азбестова стрічка, азбестовий папір); 11 – вивід; 12 – прокладка (міканіт); 13 – заповнювач (замазка Л-7); 14 – скріплювальна скоба; 15 – полюсне осердя; 16 – котушка додаткового полюса; 17 – прокладка (текстоліт); 18 – прокладка (немагнітний матеріал); 19 – осердя; 20 – остов (кістяк); 21 – провід з'єднувальний; 22 – полюс додатковий; 23 – втулка; 24 – провід вивідний; 25 – полюс головний; 26 – провід з'єднувальний

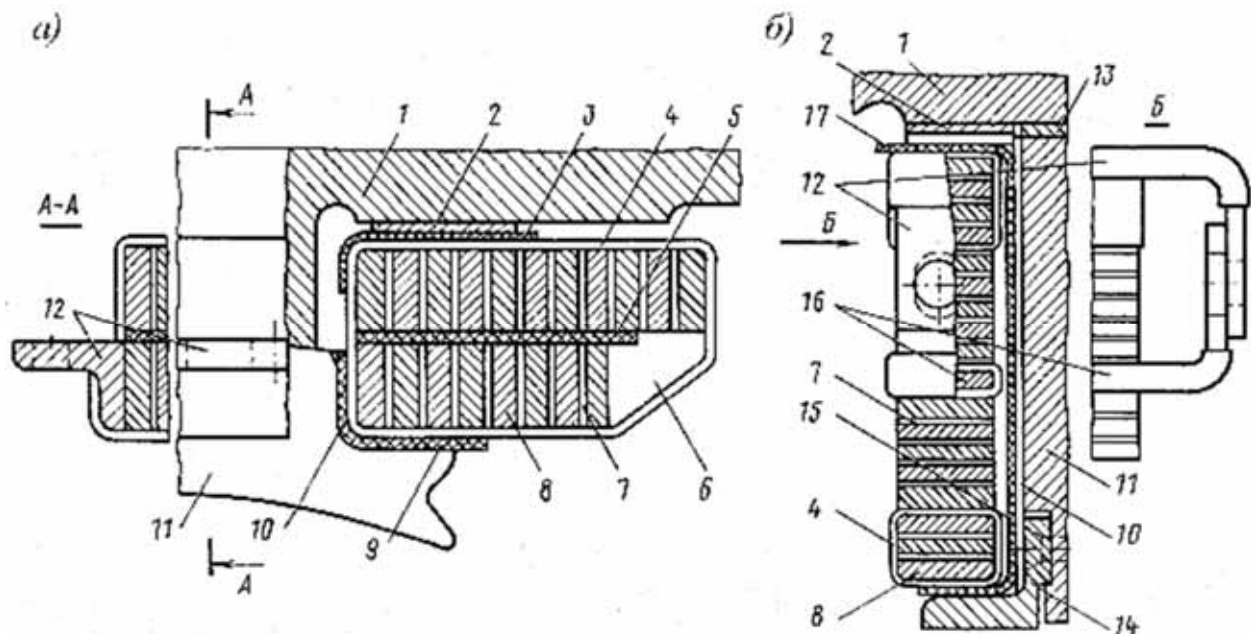


Рис. 4.4. Полюси тягового електродвигуна ЕД-118Б:

а) головний; б) додатковий;

1 – корпус електродвигуна; 2 – хвиляста пружина; 3, 15 – ізоляційні каркаси; 4 – корпусна ізоляція котушки; 5, 17 – рамки ізолюючі; 6 – заповнювач ізоляційний; 7 – міжвиткова ізоляція; 8 – провід котушки; 9 – захисний каркас; 10 – ізоляція осердя; 11 – осердя; 12 – вивід котушки; 13 – немагнітна прокладка; 14 – немагнітний опорний куток; 16 – пластина підпору виводу котушки

З'єднання котушок полюсів і кріплення їх є також важливим елементом магнітної системи. Досвід експлуатації показав, що міжполюсні з'єднання, виконані шинами або гнучкими проводами, при ослабленні кріплення вібрують, внаслідок чого відбувається злам з'єднань і виводів котушок. Більш надійні з'єднання котушок головних полюсів, набрані з гнучких шин, а між додатковими полюсами – спеціальними проводами. Міжкотушкове з'єднання для зменшення навантаження на виводи котушок прикріплюють до корпусу двигуна через гумові амортизатори, що гасять високочастотні вібрації.

До силового кола тяговий електродвигун під'єднується чотирма гнучкими дротами ПКФВТ, які кріпляться до корпусу затискачами (клицями) з деревношарового пластика або поліетилену. Дроти, використовувани на тепловозах ПКФВТ і ПКФМТ, стійки до впливу масел, дизельного палива, не допускають поширення горіння і володіють морозостійкістю. Схема з'єднань обмоток магнітної системи тягових двигунів ЕД-118Б та ЕД -125Б наведена на рис. 4.5.

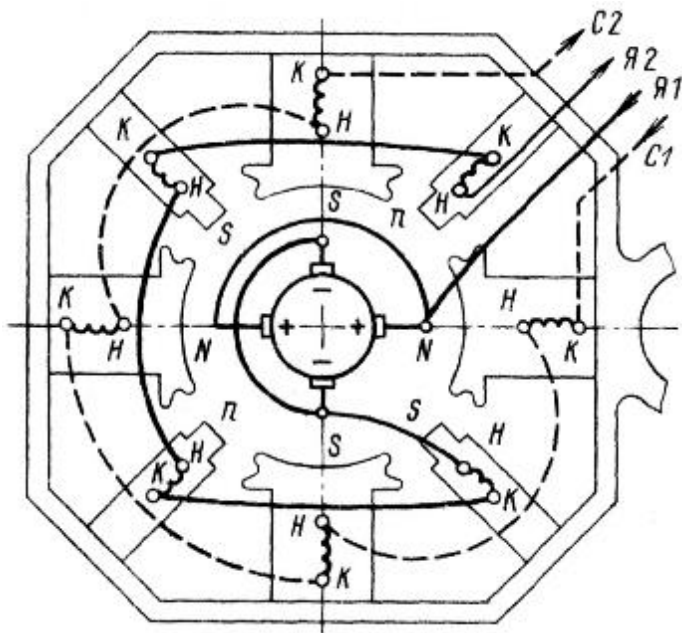


Рис. 4.5. Схема з'єднань обмоток тягових електродвигунів ЕД-118Б, ЕД-125Б:

Н, К – початок і кінець котушок полюсів; *Я1, Я2* і *С1, С2* – початок і кінець обмоток якоря і збудження; штриховими лініями показані з'єднання котушок головних полюсів з боку, протилежного колектору

Якір складається з вала, осердя, натискних шайб, колектора та обмотки (рис. 4.6). Вал якоря виготовлений з високоякісної легованої сталі з додатковою термообробкою. Вал спирається на два роликівих підшипника, вмонтованих в підшипникові шиті. Вільний кінець вала оброблений на конус для посадки ведучої шестерні.

Осердя якоря (рис. 4.7) зібране на валу з штампованих листів електротехнічної сталі марки Е130 товщиною 0,5 мм, лакованих двічі з обох сторін; крайні листи мають товщину 1 мм. Вони мають розширені пази для укладання посиленої ізоляції.

Зубці крайніх листів скріплюють зварюванням або підпирають натискними пальцями. Число пазів 54, число вентиляційних отворів діаметром 27 мм 32 шт., розташованих у два ряди. Листи набирають так, щоб була маса 363 кг. У спресованому стані осердя утримується за допомогою натискних шайб, які одночасно є обмоткотримачами. Сила опресування пакета листів якоря 1100–1200 кН. Зібране осердя покривають емаллю ФЛ-ОЗК і запікають для підвищення корозійної стійкості. Обмоткотримачі перед укладанням обмотки якоря покривають склотканиною, просоченою в епоксидному лаку, потім опресовують і запікають. Утворюється монолітний шар ізоляції.

З боку шестерні встановлена задня натискна шайба відкритого типу, що поліпшує охолодження задніх лобових частин обмотки. Така конструкція шайби вимагає дотримання обережності при ремонті, щоб не пошкодити голівки лобових частин.

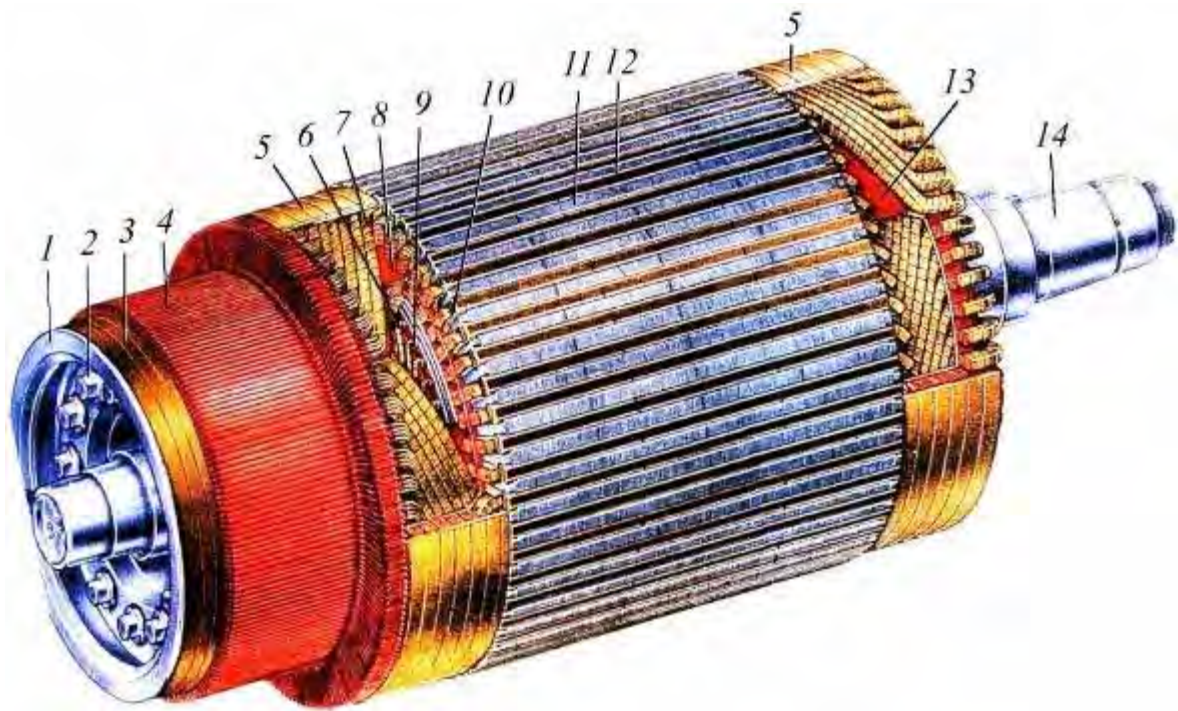


Рис. 4.6. Якір електродвигуна з колектором:

1 – натискний конус; 2 – колекторний болт; 3 – бандаж; 4 – колектор; 5 – бандаж; 6 – зрівняльне з'єднання; 7 – котушка якоря; 8 – склотекстоліт; 9 – міканіт; 10 – картон; 11 – осердя якоря; 12 – клин (текстоліт); 13 – ізолюючий сегмент; 14 – вал

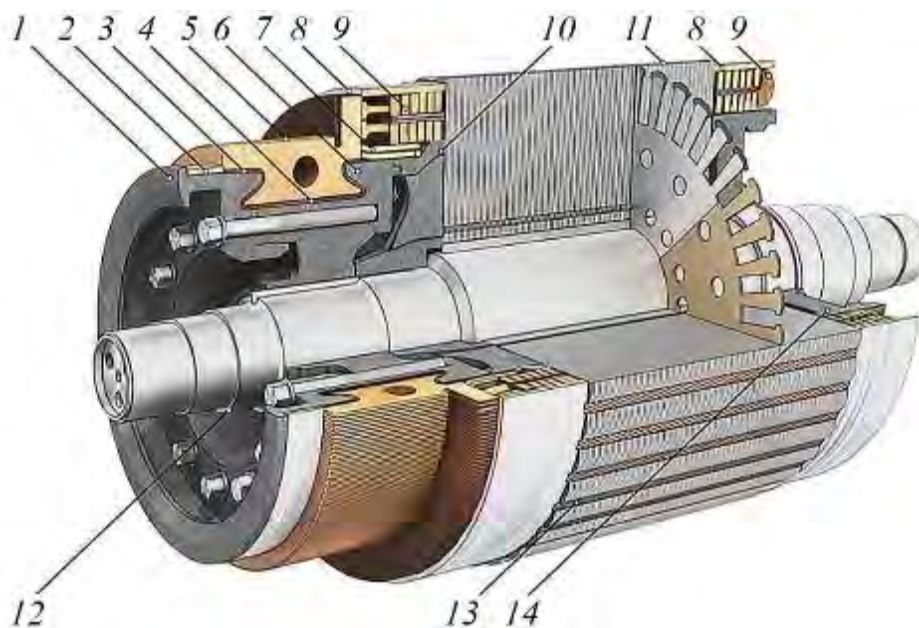


Рис. 4.7. Осердя якоря:

1 – передня натискна шайба; 2 – склотканина; 3 – натискний конус; 4 – склотекстолітова прокладка; 5 – колектор; 6 – втулка колектора; 7 – зрівняльна обмотка; 8 – бандаж; 9 – петльова обмотка; 10 – балансувальний вантаж; 11 – осердя; 12 – вал якоря; 13 – пазовий клин; 14 – задня натискна шайба

У пазах осердя покладена проста петльова обмотка 9, що має крок по пазах 1–14, крок по колектору 1–2 (рис. 4.8, а). У пазу розміщені дві сторони різних котушок. Кожна котушка складається з чотирьох елементарних одновиткових секцій. Секція в свою чергу складається з трьох паралельних провідників, які розташовані по висоті паза, а чотири витка, що входять в котушку – по ширині паза, тобто мають горизонтальне укладання (рис. 4.8, б).

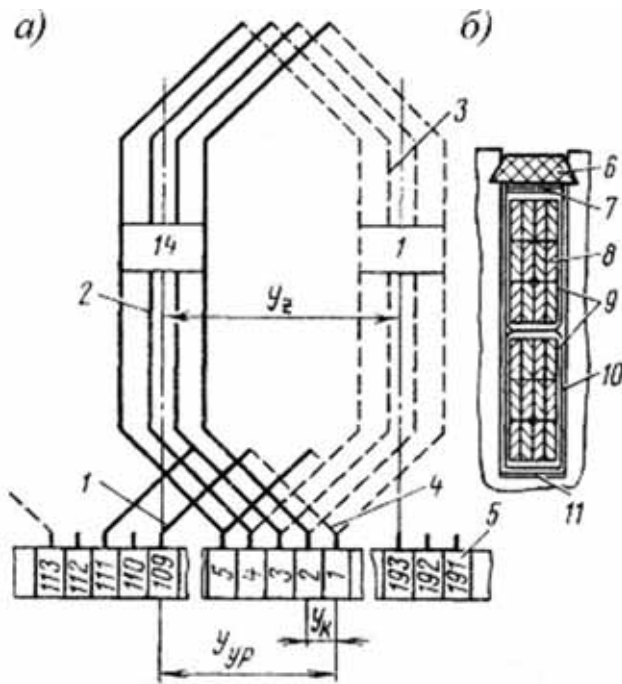


Рис. 4.8. Обмотка якоря тягового електродвигуна ЕД-118Б:

а) схема обмотки якоря; б) поперечний розріз обмотки в пазу осердя;

1, 4 – верхня та нижня сторона зрівняльного з'єднання; 2, 3 – верхня та нижня сторона секцій котушок; 5 – пластини колектора (півники); 6 – клин пазовий; 7, 11 – ущільнювальні та захисна ізоляційні прокладки; 8 – провід обмотки; 9 – корпусна ізоляція котушки; 10 – ізоляційне вистилання паза; Y_k – крок по колектору; Y_{up} – крок зрівняльних з'єднань; Y_z – крок по пазах

Електродвигуни магістральних тепловозів мають струми тривалого режиму 600–1000 А. За такому струму обмотку якоря доцільно виконувати простою петльовою з одним витком у секції і вирівнювачами першого роду з боку колектора.

Поділ секції на три паралельних проводи зроблено для зменшення вихрових струмів. У пазовій частині котушка ізолювана склослюдянітовою стрічкою ЛС-ПЕ і одним шаром скляної стрічки ЛЕС в напівперекришу. Передні та задні лобові частини додатково мають між витками секцій прокладки зі слюди для уникнення міжвиткових замикань при осадці та бандажуванні. Кінці котушок у вигинах додатково ізолюють поліамідною плівкою ПМА.

На дно паза і під склотекстолітовий клин встановлюють склотекстолітові прокладки 7, 11, що оберігають від пошкодження ізоляцію під час укладання та усадки котушок і забиванні клинів, а також компенсують відхилення по висоті котушок для заповнення паза. Під передніми лобовими

частинами обмотки якоря перебувають зрівняльні з'єднання першого роду (що з'єднують точки з теоретично рівними потенціалами), що мають крок по колектору 1–109, 5–113, тобто зрівняльне з'єднання встановлюється одне на паз. Просочений якір покривають вологостійкою емаллю з подальшим запіканням. Емалева плівка оберігає ізоляцію від проникнення вологи через пори та мікротріщини в поверхневому шарі просочуючого лаку. Для кріплення балансувальних вантажів в конусі колектора та на задньому обмоткотримачі передбачені спеціальні канавки.

Колектор аروحного типу складається з втулки, натискного конуса, пластин, двох ізоляційних манжет, циліндра та стяжних болтів (див. рис. 4.2). Діаметр колектора 400 мм, число колекторних пластин 216 шт. Пластини відштамповані з твердотягнутої профільної міді, легованої кадмієм або сріблом, за одне ціле з півником. У нижній частині вони мають форму ластівкового хвоста, що дозволяє міцно скріпити колектор. Втулка та натискний конус, конусні виступи яких входять до виточки пластин, стиснуті під пресом і стягнуті 12-ю болтами. Надійність кріплення колектора перевіряють при частоті обертання 2800 хв^{-1} . Внутрішню порожнину колектора перевіряють на герметичність.

Максимальне значення діаметра колектора $D_{\text{кол}}$ обмежена шириною колекторної пластини та умовами проходження охолоджувального повітря крізь якір. Оптимальним діаметром колектора для існуючих та перспективних тепловозів $D_{\text{кол}} = 400 \text{ мм}$. Кількість колекторних пластин обмежується розміром колекторної поділки, яка не повинна бути меншою ніж 5 мм. Досвід проектування та експлуатації показав, що найбільш ефективною кількістю колекторних пластин на паз є $n_k = 4$. Для $D_k = 493 \text{ мм}$ кількість полюсів може становити чотири або шість.

Для найбільшої потужності $P_d = 450 \text{ кВт}$, якої може досягти електродвигун з $D_k = 493 \text{ мм}$, допустима частота обертання $n_{\text{max}} = 37 \text{ с}^{-1}$.

Пластини ізольовані одна від одної колекторним міканітом КФШ товщиною 1,2 мм, а від корпусу – міканітовими манжетами товщиною 2 мм і фторопластовим циліндром. Для захисту від зовнішніх впливів на виступаючий кінець міканітової манжети накладено бандаж зі скляної стрічки, покритий зверху емаллю.

Кінці секцій обмотки якоря та зрівняльних з'єднань зварюють з півниками колектора. Колектор балансують за допомогою вантажів, що закріплюються в спеціальних канавках в натискному конусі та втулці. Зібраний колектор напресовують на вал зусиллям від 100 до 280 кН. Биття колектора має бути не більше 0,4 мм.

Щіткотримач має литий латунний корпус 3 (рис. 4.9), який кріпиться через ізолятори до роз'ємних кронштейнів, приварених однією полови-

ною до торцевої стінки корпусу двигуна.

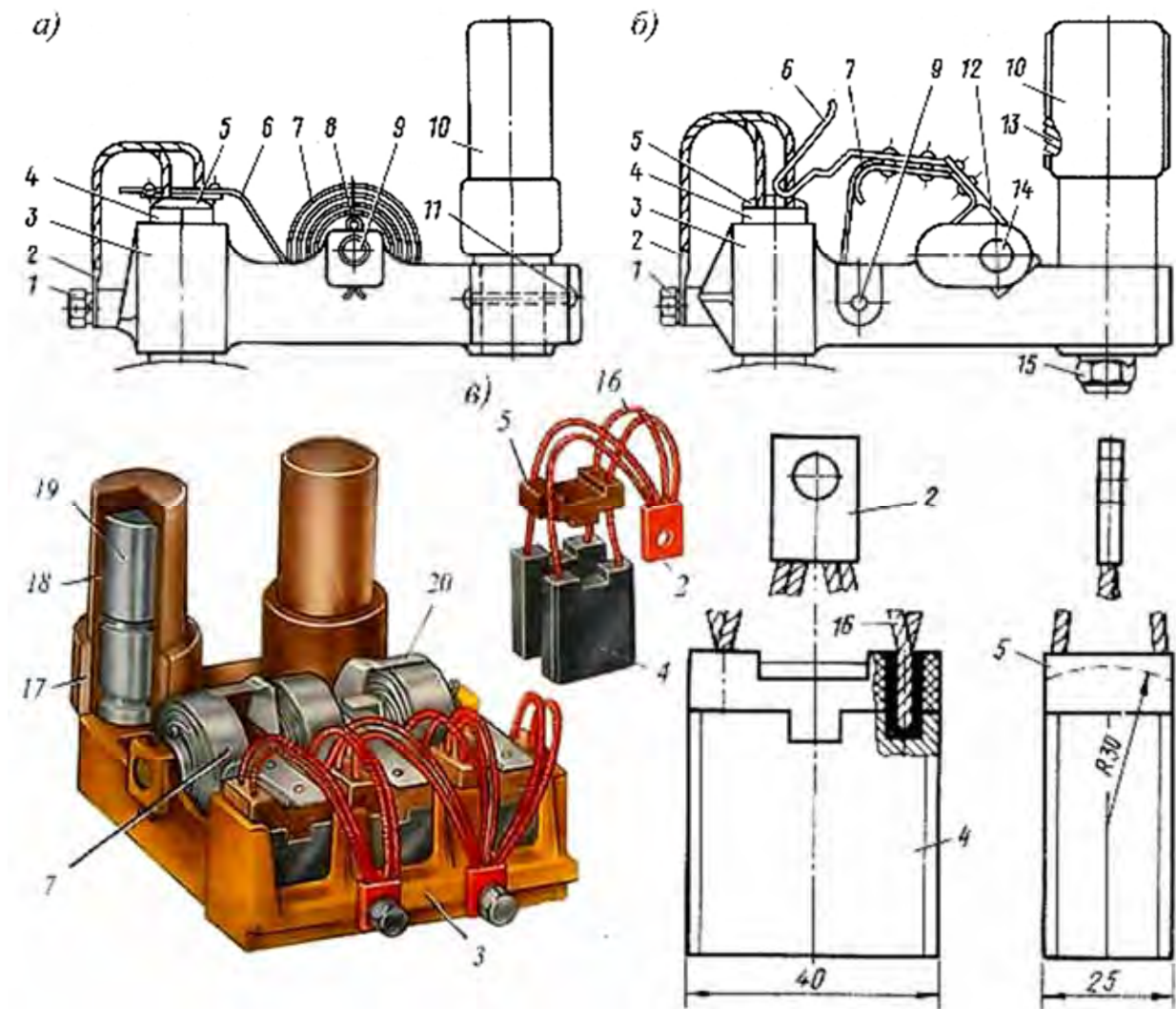


Рис. 4.9. Щіткотримачі тягових електродвигунів:

а) серійний; б) перспективний; в) щітка;

1 – болт контактний; 2 – наконечник закритого типу; 3 – корпус щіткотримача; 4 – щітка розрізна; 5 – гумова накладка; 6 – важіль натискання на щітку; 7 – пружина; 8 – шплінт; 9 – вісь пружини; 10 – палець з ізолятором; 11 – штифт; 12 – вкладиш для обертання та фіксації важеля; 13 – рифлена привалочна поверхня пальця; 14 – вісь важеля; 15 – гайка; 16 – гнучкий провід (шунт); 17 – дугостійкий ізолятор; 18 – ізолятор; 19 – палець; 20 – стійка для фіксації пружин у піднятому положенні

Тягові двигуни реверсивні, і різниця частот обертання в різні сторони при одному і тому ж навантаженні не повинна перевищувати 4 %. Цим обумовлені жорсткі вимоги до установки щіток по нейтралі. Допуск на розташування кронштейнів після приварки їх до корпусу дорівнює $\pm 0,5$ мм.

У корпусі щіткотримача є два гнізда. В одне гніздо вставлена одна пара щіток, а в інше – дві пари. Щітки марки ЕГ-61 розрізні розміром

2(12,5×40×60) мм з гумовими амортизаторами, що забезпечують демпфірування вібрацій та зменшення зносу колектора. Щітки в гніздах повинні переміщатися вільно, але не мати гойдання. Щітки притискаються до колектора спіральними пружинами 7. Натискання 41–47 Н регулюється поворотом втулки, що знаходиться в центрі пружини. Щітки гнучкими шульками з'єднують болтами з корпусом щіткотримача.

На електродвигунах, що мають петльову обмотку якоря, повинні бути встановлені щітки однієї марки, так як різниця в марках щіток може викликати протікання великих струмів по зрівняльним з'єднанням і переваження окремих щіток. Для зручності заміни і огляду щіток на щіткотримачах встановлені стійки з заплечиками, що дозволяють фіксувати пружини у піднятому стані.

Розроблені нові щіткотримачі (рис. 4.9, б), що відрізняються конструкцією пружини і пальця і кріпленням корпусу на пальцях. Корпус кріпиться за допомогою гайки 15 замість штифта 11.

У сталевих *підшипникових щитах* 3, 21 (див. рис. 4.2) встановлені роликові підшипники 2, 23, закриті зовнішніми і внутрішніми кришками з лабіринтовими ущільненнями, що запобігають витіканню та забруднення мастила. Щити служать не тільки опорами для підшипників якоря, але і для його центрування. Виточки в щитах під роликові підшипники і посадочні поверхні щитів повинні бути строго концентричні. Биття цих поверхонь допускається не більше 0,1 мм.

З боку колектора встановлений опорно-упорний підшипник 2, упорне кільце якого прикріплено шайбою і болтами до торця вала якоря. Підшипник 2 сприймає зусилля, спрямовані вздовж вала якоря. Поздовжній розбіг якоря 0,08–0,5 мм. З боку шестерні знаходиться опорний роликовий підшипник, змащувальна камера якого з'єднана каналом з атмосферою, що запобігає підсосу мастила з підшипника всередину електродвигуна внаслідок розрідження поблизу виходу охолоджуючого повітря.

У період експлуатації мастило типу ЖРО в підшипники добавляють шприц-пресом через мастильну трубку 39, що закривається болтом-пробкою. Моторно-осьові підшипники – це елементи підвішування тягового електродвигуна. Тягові електродвигуни ЕД-118А відрізняються від ЕД-118Б системою змащування моторно-осьових підшипників.

Електродвигуни мають незалежну систему охолодження. Повітря нагнітається двома відцентровими вентиляторами – по одному на кожен візок. Повітря від вентилятора надходить у порожнину електродвигуна через вентиляційний отвір, розташований у верхній частині остова над колектором, і далі рухається двома паралельними потоками (рис. 4.10). Нагріте повітря викидається через отвори в остові. Щіток у нижнього

отвору направляє потік нагрітого повітря паралельно рейковій колії.

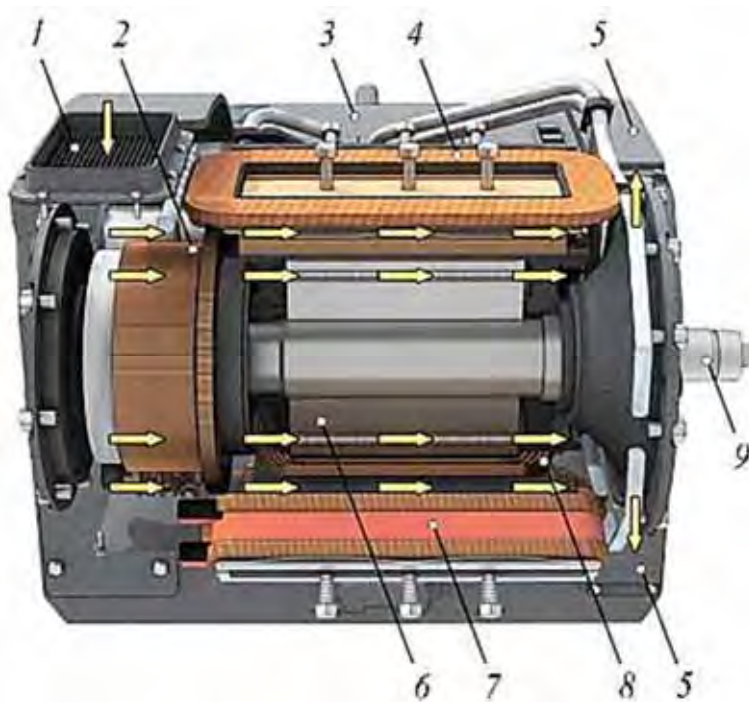


Рис. 4.10. Схема руху потоків повітря охолодження ТЕД:

1 – вхідний вентиляційний отвір; 2 – колектор; 3 – корпус (остов); 4 – головний полюс; 5 – вихідний отвір; 6 – осердя якоря; 7 – додатковий полюс; 8 – задні лобові частини обмотки якоря; 9 – вал якоря

Основні (електромеханічні) характеристики електродвигуна (рис. 4.11) побудовані для різних напруг (відповідних зовнішній характеристиці тягового генератора) на затискачах електродвигуна при роботі тепловоза на 15-й позиції контролера машиніста. По горизонталі відкладено струм I , а по вертикалі у відповідних масштабах швидкість V , к.к.д. $\eta_{\text{дв}}$ і сила тяги $F_{\text{дв}}$. Всі залежності побудовані для трьох режимів роботи – повного збудження електродвигуна ($\alpha = 100\%$) і двох ступенів ($\alpha_1 = 60\%$ і $\alpha_2 = 36\%$) ослаблення збудження.

Простежимо, як користуватися характеристиками. Наприклад, якщо необхідно визначити швидкість руху, силу тяги і к.к.д. електродвигуна за $I = 900\text{ А}$, то міркують таким чином. Струму 900 А по кривій повного збудження відповідає швидкість 17 км/год . За цією швидкістю тепловоз працює при $\alpha = 100\%$ (перехід на α_1 відбувається при $38\text{--}40\text{ км/год}$), отже, навантаженню 900 А відповідає сила тяги $F_{\text{дв}} = 58,8\text{ кН}$ і к.к.д. $\eta_{\text{дв}} = 0,88$.

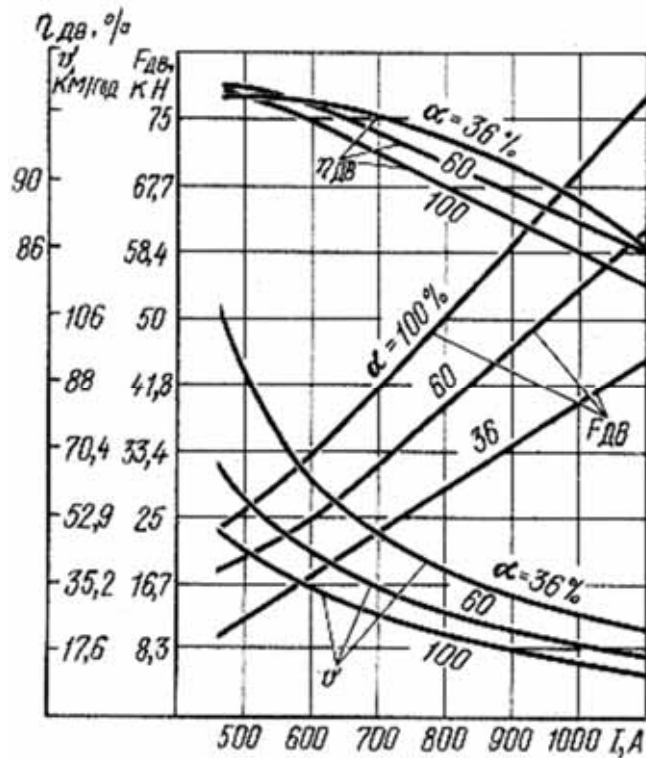


Рис. 4.11. Основні характеристики тягового електродвигуна типу ЕД-118Б

4.3 Особливості конструкції тягових електродвигунів ЕД-125Б, ЕД-126

За конструкцією тяговий електродвигун ЕД-125Б (рис. 4.12) значно відрізняється від ЕД-118Б.

Колектор скріплений пружинним розрізним кільцем 2 замість стяжних болтів. Усі механічні складові частини якоря змонтовані на проміжній втулці (остові) 6, а не на валу, що дозволяє легко замінити пошкоджений вал. Обмотка якоря має ізоляцію класу Н (поліамід), яка забезпечує більш високу діелектричну міцність, ніж ізоляція класу F, і дозволяє приблизно в 1,5 рази збільшити ресурс якоря до заміни обмотки. Задній обмоткотримач 12 закритого типу, що оберігає лобові частини обмотки якоря від пошкоджень. Додаткові полюси прикріплені до корпусу прохідними болтами 7 з гайками, головні полюси – за допомогою винесеного з осердя стрижня та болтів 9, а щіткотримачі 4 в кронштейнах – за допомогою привалочної поверхні у вигляді "гребінки".

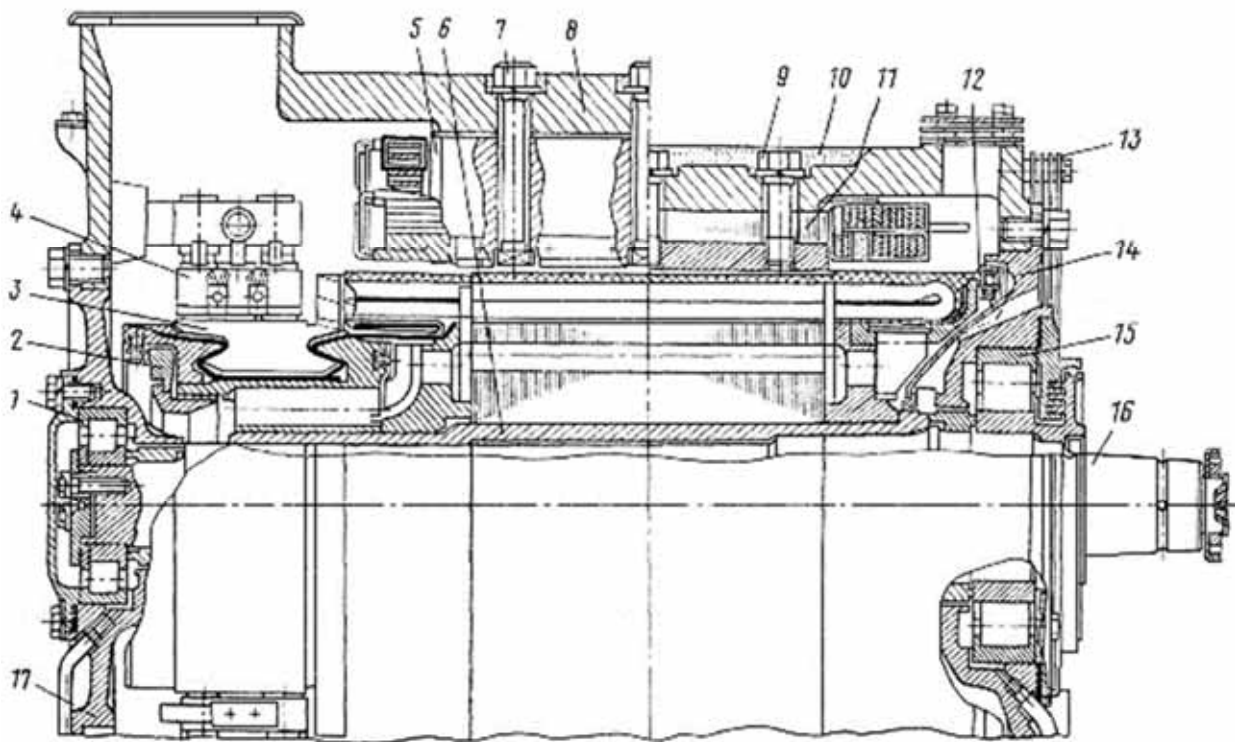


Рис. 4.12. Тяговий електродвигун ЕД-125Б:

1, 15 – якірні підшипники; 2 – розрізне кільце; 3 – колектор; 4 – щіткотримач; 5 – полюс додатковий; 6 – остов (кістяк, втулка) якоря; 7, 9 – болти кріплення додаткових і головних полюсів; 8 – корпус електродвигуна; 10 – герметизуюча заливальна маса; 11 – полюс головний; 12 – обмоткотримач; 13 – захисно-направляючі козирки; 14, 17 – підшипникові щити; 16 – приводний кінець вала якоря

Змащувальний пристрій електродвигунів ЕД-118Б і ЕД-125Б має дві незалежні системи змащення: циркуляційну і польстерну. Наявність двох систем гарантує надійне змащення тертьових поверхонь осі і вкладишів у ділянці швидкостей руху локомотивів. Циркуляційна система змащення включає в себе шестерінчастий насос, що приводиться в обертання від осі колісної пари і ванну (камерну) з мастилом. Польстерна система має закріплений в обоймі гніт, пружинний натискний пристрій і ванну з маслом, закриту кришкою.

Тягові електродвигуни ЕД-126. Двигуни з опорно-рамним підвішванням (рис. 4.13) встановлюють на тепловози 2ТЕ121 з діаметром коліс 1250 мм.

Тяговий двигун має якір з порожнистим валом 1, через центр якого проходить торсіонний (пружний) вал приводу колісної пари, що сполучається через муфту з конусним кінцем вала 20. На проміжному остові 21 закріплені осердя якоря, колектор та інші частини якоря. Головки котушок обмотки якоря розташовані на обмоткотримачі 18 закритого типу.

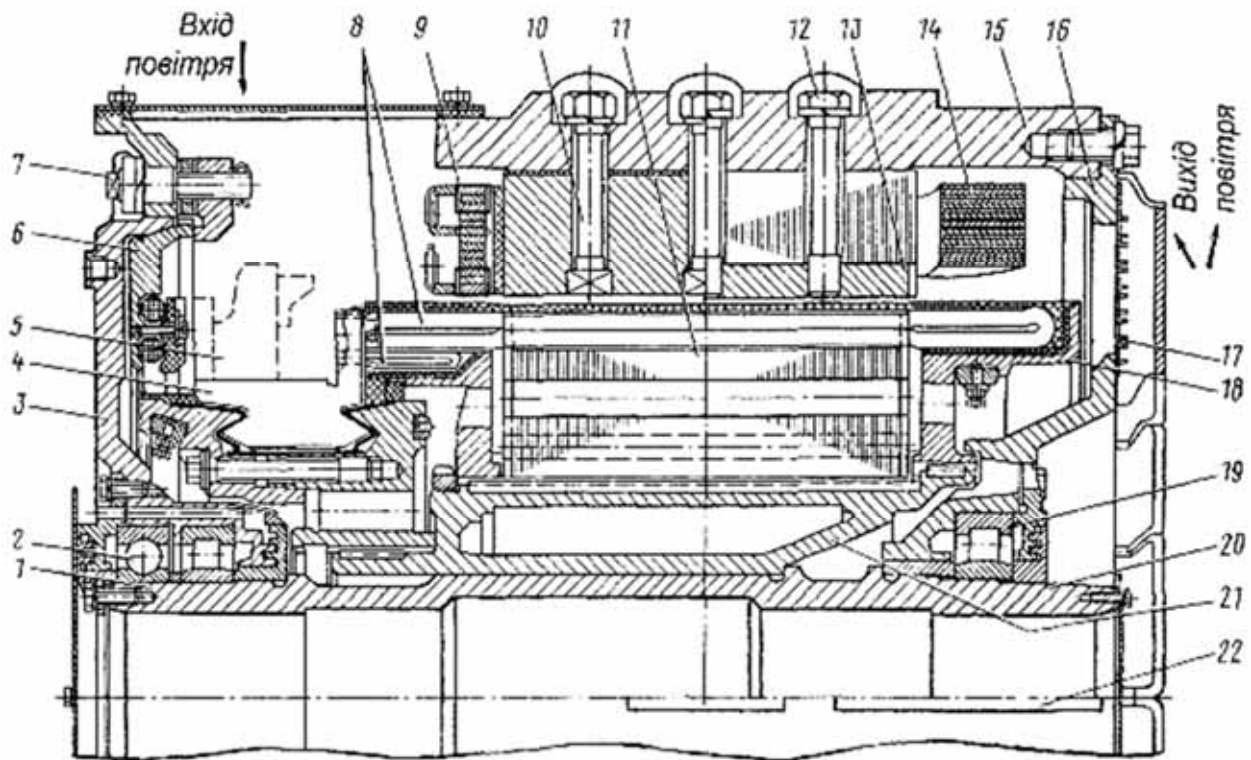


Рис. 4.13. Тяговий електродвигун ЕД-126:

1 – вал порожнистий; 2, 19 – підшипники; 3, 16 – підшипникові щити; 4 – колектор; 5 – щіткотримач; 6 – поворотна траверса; 7 – шестерінчастий привод; 8 – обмотки якоря та зрівняльних з'єднань; 9 – додатковий полюс; 10 – болт прохідний; 11 – осердя якоря; 12 – болт; 13 – стрижень, винесений за край осердя; 14 – котушка головного полюса; 15 – корпус (остов); 17 – козирки; 18 – обмоткотримач; 20 – конусний кінець вала; 21 – проміжний остов; 22 – опорні площадки

Корпус електродвигуна 15 круглий, виготовлений із сталевого прокату, зварний. Має опорні площадки 22, якими двигун спирається на раму, торцеві підшипникові щити відлили із сталі. До підшипникового щита та корпусу з боку колектора прикріплені поворотна траверса 6 з щіткотримачами і її ручний шестерінчастий привод.

На іншому щиті є отвори для виходу охолоджуючого повітря з напрямними і захисними козирками 17. Магнітна система шестиполюсна, кріплення головних і додаткових полюсів аналогічно електродвигуну ЕД-125Б. Котушки головних полюсів, як і додаткових, намотані на вузьке ребро. Поперечні розміри електродвигуна приблизно в 1,3 рази більше, ніж електродвигунів ЕД-118Б та ЕД-125Б.

Запитання до самоконтролю

1. Основні параметри тягових електродвигунів.
2. Устрій тягового електродвигуна ЕД-118А. Призначення основних

- вузлів.*
- 3. Устрій тягового електродвигуна ЕД-118Б. Призначення основних вузлів.*
 - 4. Будова магнітної системи тягового електродвигуна ЕД-118Б.*
 - 5. Будова головних та додаткових полюсів тягового електродвигуна ЕД-118Б.*
 - 6. Будова якоря та осердя якоря тягового електродвигуна ЕД-118Б.*
 - 7. Призначення та будова щіткотримача тягового електродвигуна ЕД-118Б.*
 - 8. Устрій тягового електродвигуна ЕД-125Б. Призначення основних вузлів.*
 - 9. Устрій тягового електродвигуна ЕД-126. Призначення основних вузлів.*
 - 10. Система охолодження тягового електродвигуна.*

ТЯГОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ ТЕПЛОВОЗІВ ЗМІННОГО СТРУМУ

5.1. Тягові синхронні генератори

Для локомотива в прийнятних габаритних розмірах генератори можуть бути виконані на тепловозах секційної потужністю до 7500 кВт, тобто вони практично знімають обмеження по потужності. Синхронні генератори допускають частоту обертання, більш високу, ніж генератори постійного струму, що дозволяє знизити масу дизель-генератора. Синхронний генератор надійніший через відсутність колекторно-щіткового апарату і складної ізоляції, обмотки якоря, яка обертається. Знижуються вартість самого генератора та експлуатаційні витрати внаслідок значного зменшення числа щіток, їх зношування і часу на профілактичні роботи та ремонт.

Потужність, що передається на ротор, становить не більше 1,5 % потужності генератора. Маса синхронного генератора знижується в основному за рахунок зменшення витрат електротехнічної сталі і міді. Основні технічні дані тягових синхронних генераторів наведено в табл. 5.1–5.2.

Синхронний генератор (рис. 5.1, 5.2) – це явнополюсна машина, що має дві трифазні обмотки (зірки) на статорі, зміщені на 30° ел. Корпус ротора генератора зварний, подібний корпусу якоря генератора теплового ТЕЗ, тобто має безвальну конструкцію, що відрізняється монолітністю та міцністю. У циліндричну частину корпусу ротора *13* вварена сталеву втулку, на якій монтують струмознімальні кільця, з протилежного кінця уварений фланець для з'єднання з колінчастим валом дизеля. На корпусі ротора розташований індуктор (магнітопровідне ярмо) з листової сталі з штапованими пазами для кріплення полюсів. Листи ободу стягнуті натискними шайбами. Осердя полюсів набрані з окремих листів електротехнічної сталі товщиною 1,4 мм марки 08КП, стягнуті між собою за допомогою натискних шайб, шпильок і гайок.

Таблиця 5.1

Основні технічні дані тягових синхронних генераторів за типами

Електрична машина	Тип	Потужність, кВт	Напруга, В, нижча/вища	Струм, А	
				за напругою нижчою/вищою	максимальний короткочасний
Синхронні генератори					
Тяговий генератор	ГС-501АУ1	2800	360/580	2×2400/2×1500	2×3700
Тяговий генератор	ГС-515У2	1400	175/280	2×2500/2×1540	2×3500
Тяговий агрегат					
Тяговий генератор	А-714УХЛ	2800	366/580	2×2400/2×1520	2×3400
Допоміжний генератор		630	400	2×570	2×850

Примітка. Клас ізоляції обмоток ротора/статора F/H для усіх машин.

Таблиця 5.2

Основні технічні дані тягових синхронних генераторів за серіями тепловозів

Серія тепловоза	Частота обертання, хв ⁻¹	К.к.д. (максимальний), %	Маса, кг	Тиск, кПа/ Витрата охолоджуючого повітря, м ³ /с
Синхронні генератори				
2ТЕ116, ТЕП70	1000	95,8	6000	1,5/4,45
ТЕМ7, ТЕМ8 (проект)	1000	95,8	5200	1,2/2,8
Тяговий агрегат				
2ТЕ121	1000	95,8	8200	2,0/7,5
		91,0		

Генератор має 12 полюсів, що прикріплюються до індуктора ротора за допомогою клинових шпонок в трапецеїдальних пазах (кріплення типу ластівкового хвоста) (рис. 5.2). Перевіряється більш просте кріплення полюсів до ротора за допомогою болтів. Полюси мають заспокійливу (демпферну) обмотку 18, виконану з восьми мідних або сталевих стрижнів на полюс діаметром 12 мм, з'єднаних по кінцях дугами за допомогою пайки латунню.

Стрижні розташовані в пазах полюсного башмака. Заспокійлива обмотка зменшує втрати і перенапруги, що виникають при аварійних режимах (рис. 5.3).

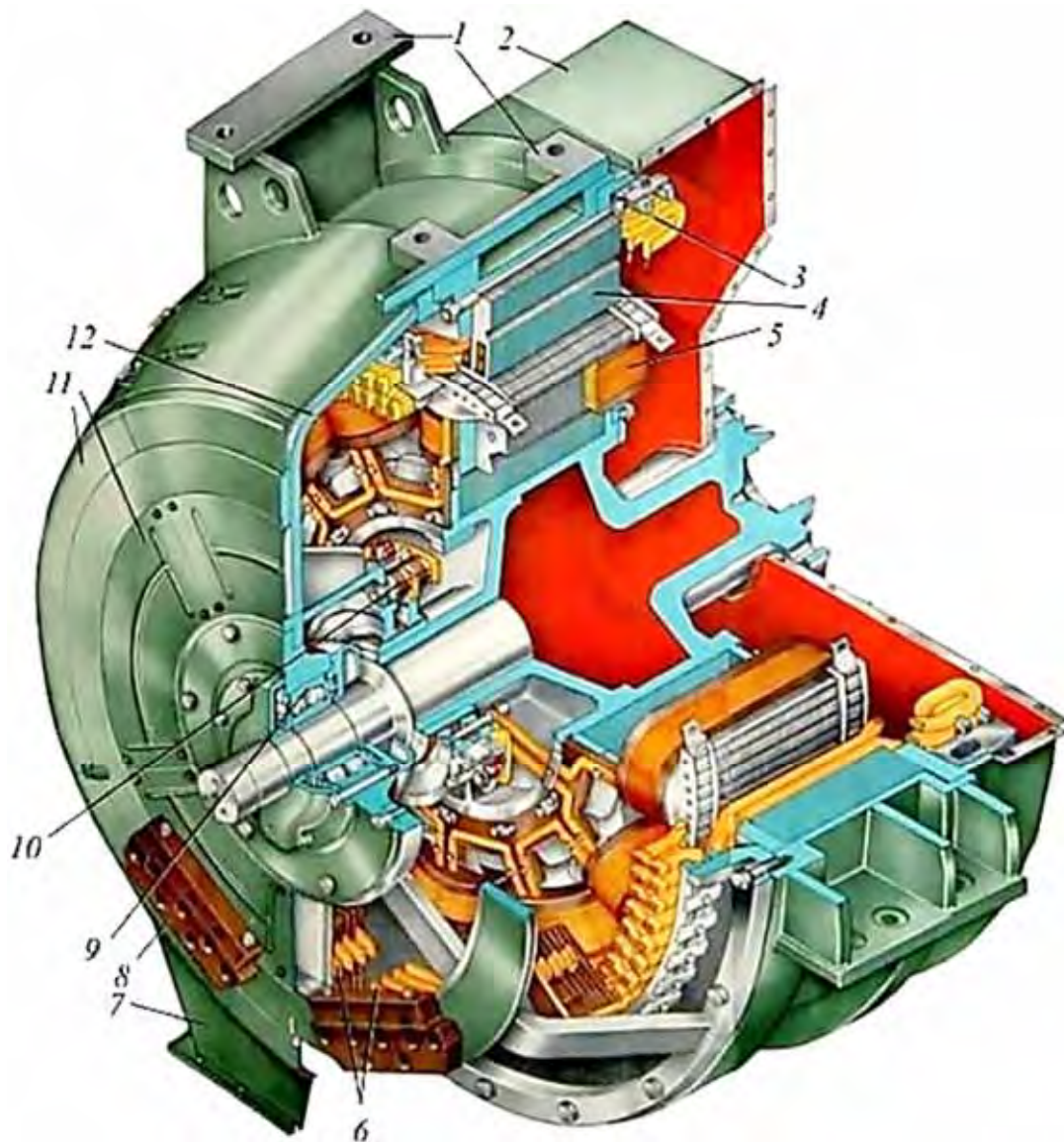


Рис. 5.1. Тяговий синхронний генератор ГС-501А:

1 – установчі майданчики; 2 – вхідний патрубок; 3 – обмотка статора; 4 – статор; 5 – ротор; 6 – шини; 7 – вихідний патрубок; 8 – клица; 9 – підшипник; 10 – ізолятор; 11 – кришка; 12 – підшипниковий щит

Котушки мають 66 витків на полюс, виконаних з шинної міді 1,35×25 мм, намотаної на вузьке ребро, і залитих епоксидним компаундом; клас ізоляції F, тип «Монолит-2». Опір обмотки за 20 °С – 0,458 Ом. Всі котушки з'єднані послідовно. Початок і кінець обмотки збудження виведені на сталеві контактні кільця та приєднані до них шпильками з гайками. Кільця від корпусу ізолювані пластмасою (клас В).

Щітки марки ЕГ-4 (розмір 25×32×64 мм) поміщені в латунні щіткотримачі та підводять струм до обмотки збудження. Щіткотримачі закріплені сегментами через ізольовану підвіску на спеціальному виступі щита.

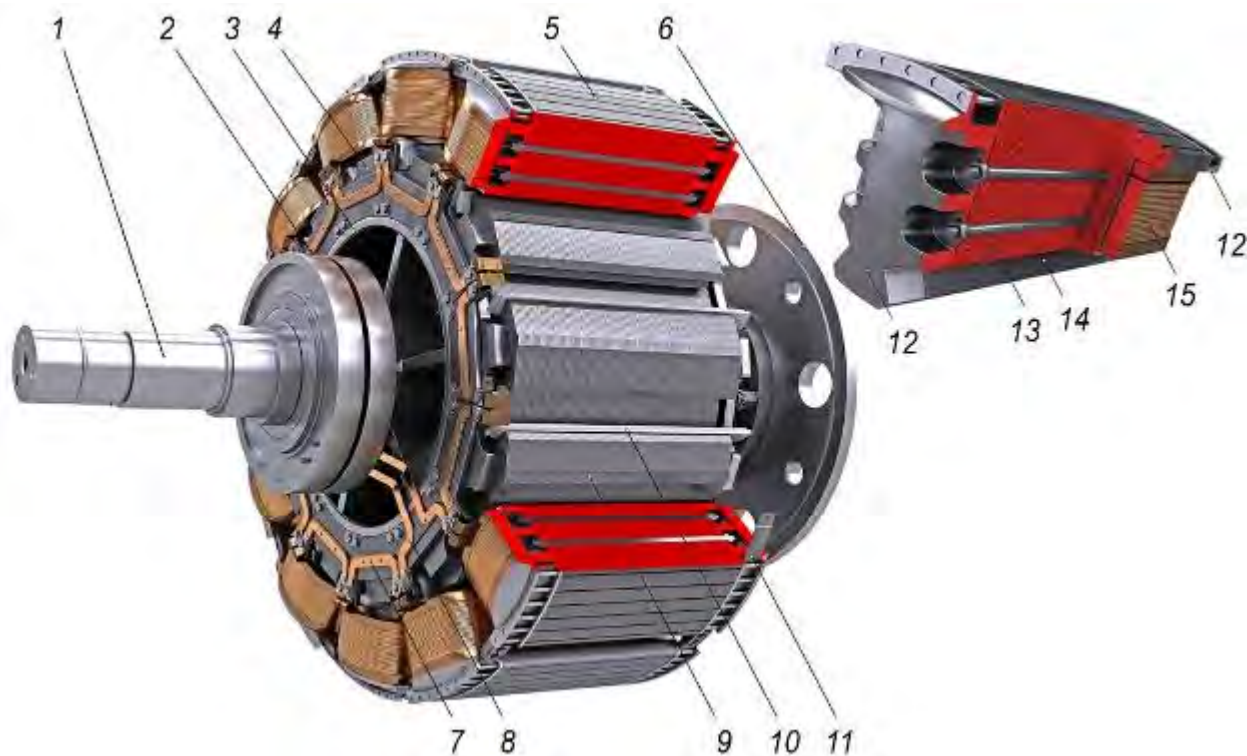


Рис. 5.2. Ротор тягового синхронного генератора ГС-501А:

1 – вал ротора; 2 – кільце контактне; 3 – корпус ротора; 4 – шайба натискна активна; 5 – полюс ротора; 6 – фланець; 7 – шина міжполюсна; 8 – вивід; 9 – осердя ротора; 10 – клин; 11 – обмотка демпферна; 12 – щока опорна; 13 – шпилька; 14 – осердя полюса ротора; 15 – котушка полюса ротора

Генератор має один сферичний роликовий підшипник, розташований в підшипниковому щиті б зварної конструкції. У щиті є знімна маточина (капсула), що забезпечує заміну підшипника без зняття генератора. Станина зварна, циліндричної форми з листової сталі. У ній зібраний осердя статора із сегментів електротехнічної сталі, стягнутих натискними шайбами та шпильками. Осердя статора набране з листів товщиною 0,5 мм сталі Е-43; має 144 паза та 120 вентиляційних отворів діаметром 27 мм. Від «розпушування» зубці осердя оберігаються натискними пальцями.

Обмотка статора двошарова, хвильова, стрижнева. Обмотка виконана з мідного ізолюваного проводу розміром 2,1×9,3 мм (рис. 5.4) і покладена в пази. Крок по пазах 1–13. Опір однієї фази за 20 °С – 0,0011 Ом. Ізоляція обмотки класу Н. Пайка котушок між собою і до вивідних шин проводиться срібним припоєм, а для захисту від попадання бруду, пилу котушки закриті пресованими ізоляційними коробочками.

Обмотки в пазах закріплені пластмасовими клинами; лобові частини – спеціальними колодками, притягнутими до ізолюваних кілець 12 (див. рис. 5.3), укріплених на ребрах натискних шайб.

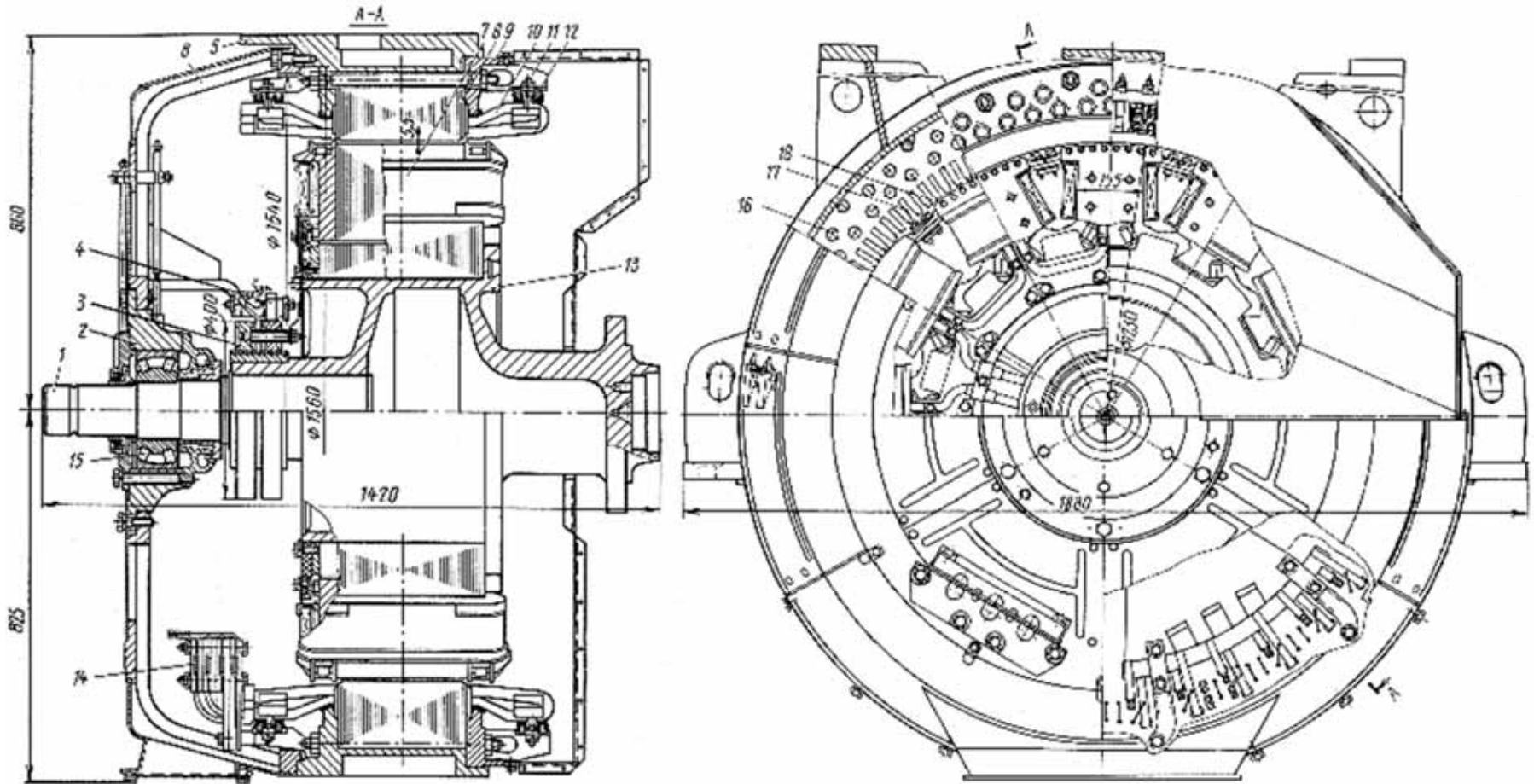


Рис. 5.3. Синхронний тяговий генератор:

1 – вал; 2 – капсула (маточина); 3 – контактні кільця; 4 – щіткотримач; 5 – станина; 6 – підшипниковий щит; 7 – котушка полюса ротора; 8, 10 – осердя та обмотка статора; 9 – натискна шайба; 11 – ребра; 12 – кільце; 13 – корпус ротора; 14 – виводи; 15 – підшипник; 16 – вентиляційний канал; 17 – паз; 18 – демпферна обмотка

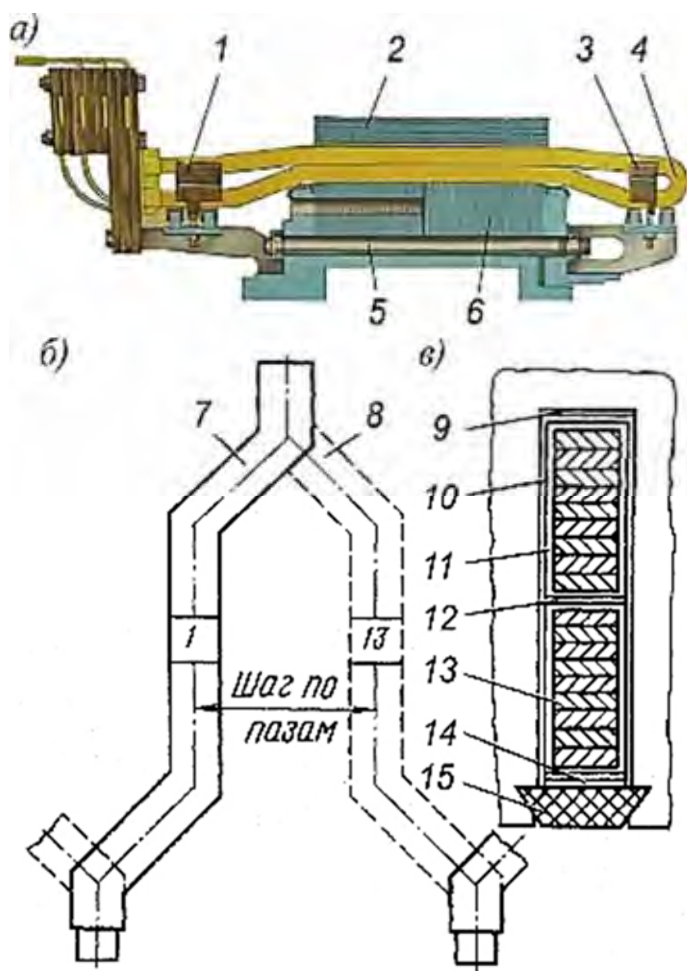


Рис. 5.4. Обмотки статора генератора ГС-501А:

а) обмотка статора; б) схема котушки; в) перетин обмотки в пазу осердя; 1, 3 – обмоткотримач; 2 – осердя полюса; 4 – обмотка статора; 5 – стяжна шпилька; 6 – осердя статора; 7, 8 – верхня і нижня сторони котушки; 9, 12, 14 – ізоляційні прокладки; 10 – ізоляційна прокладка паза; 11, 13 – ізоляція та дріт котушки; 15 – пазовий клин

Генератор має десять виводів – шість від двох зірок, два від нульових точок обмоток статора і два від обмотки збудження. Схема з'єднання обмоток синхронного генератора показана на рис. 5.5.

5.2. Тягові агрегати

На тепловозах потужністю 2800 і 4200 кВт для зниження маси, зменшення габаритних розмірів, кількості машин і полегшення компонування обладнання застосовані тягові агрегати, що включають в себе тяговий синхронний генератор СГ і генератор власних потреб ГВП (допоміжний). Параметри тягового агрегата наведено в табл. 5.1.

Тяговий агрегат має захищене виконання і незалежну нагнітальну систему охолодження. Статор синхронного тягового генератора – це основна несуча частина тягового агрегата (рис. 5.6).

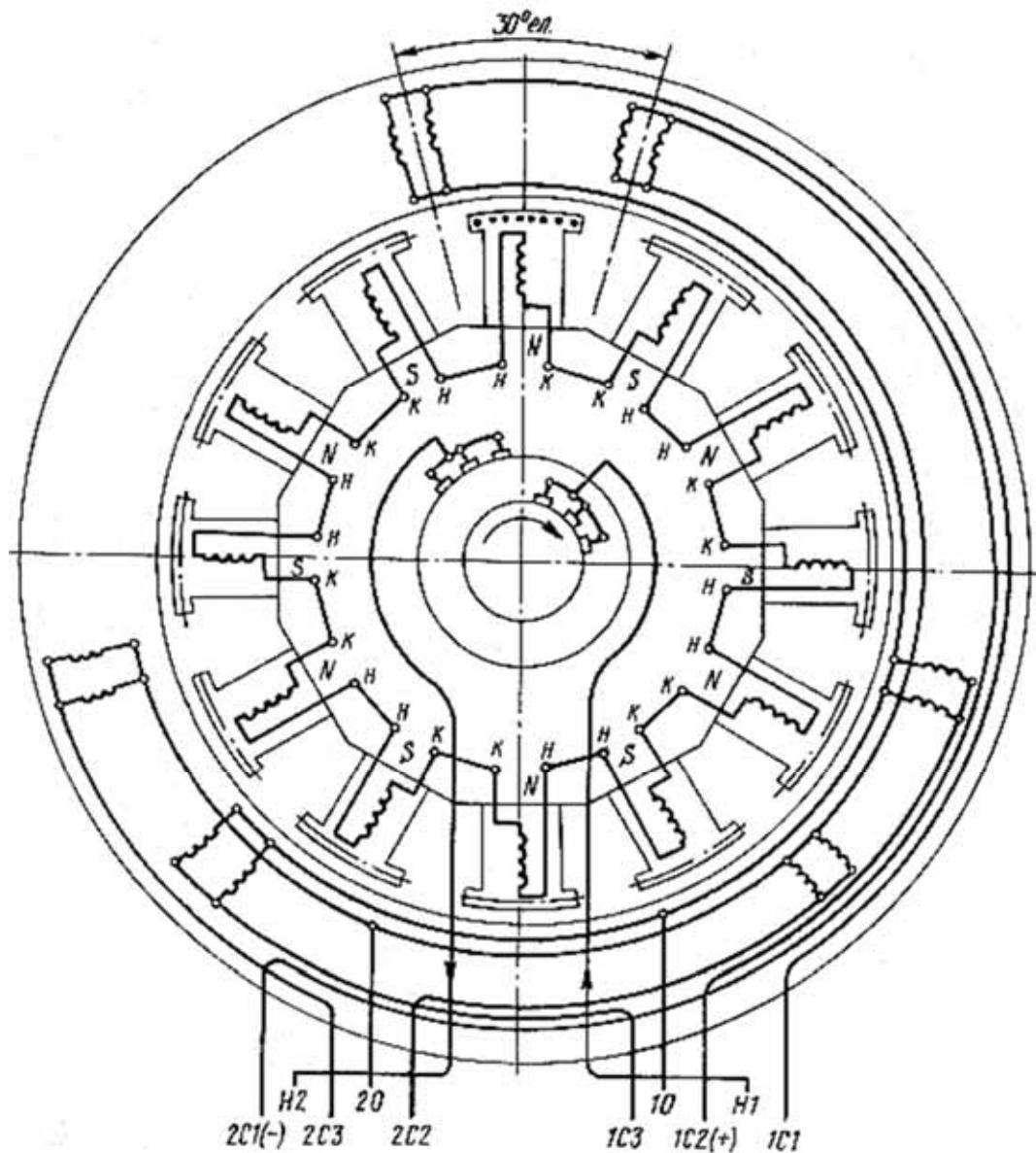


Рис. 5.5. Схема з'єднання обмоток генератора ГС-501А:
н, к і *H1, H2* – початок і кінець котушок полюсів і обмотки ротора; *1C1, 1C2, 1C3* і *2C1, 2C2, 2C3* – кінці фаз зірок обмотки статора; *10, 20* – виводи нульових точок зірок обмотки статора

Для розташування генератора власних потреб агрегат має проміжний щит і подовжену станину (порівняно зі станиною тягового синхронного генератора). Станина агрегату має лапи для кріплення на піддизельній рамі та ребра жорсткості, в яких знаходяться отвори, використовувані при транспортуванні. На станині статора розташовані підставки для монтажу блоків випрямної установки.

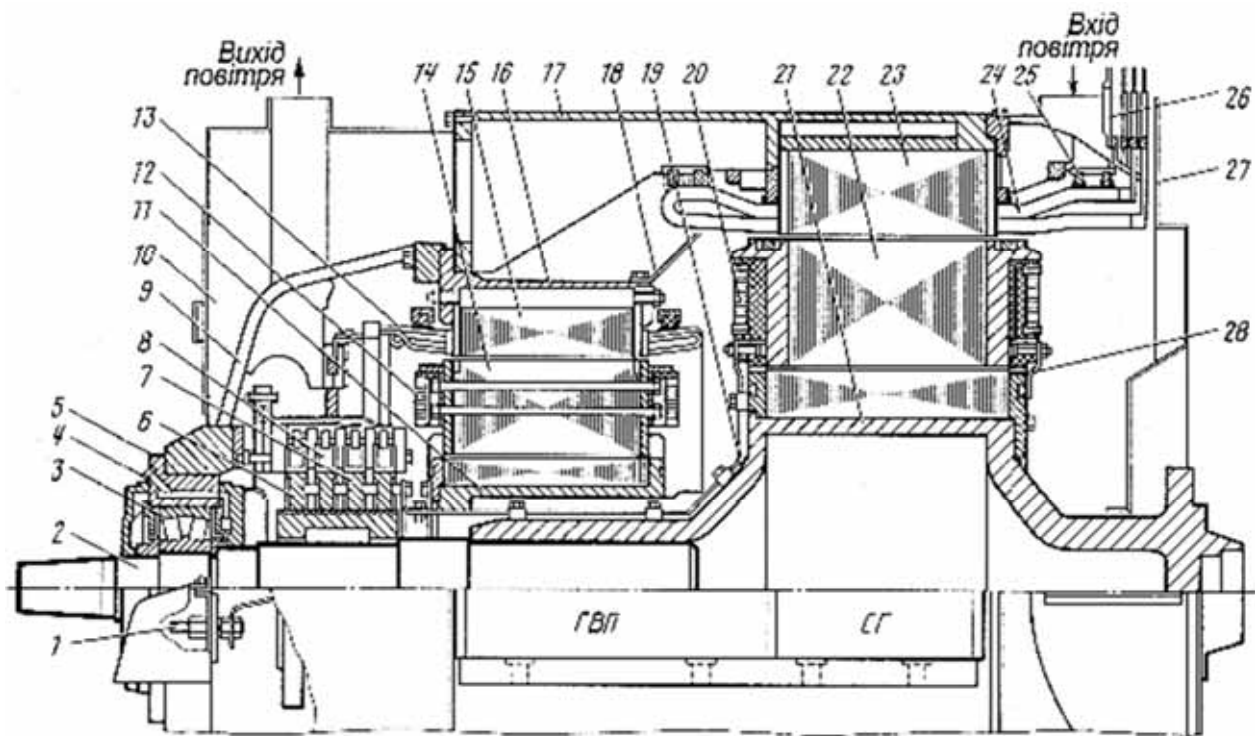


Рис. 5.6. Тяговий агрегат А-714:

1 – виводи обмоток ротора; 2 – вал; 3 – підшипник; 4 – маслянка; 5 – виймальна маточина; 6, 7 – контактні кільця; 8 – щіткотримачі; 9 – підшипниковий щит; 10 – патрубок для виходу охолоджувального повітря; 11, 21 – остови ротора допоміжного та тягового генераторів; 12, 20 та 14, 22 – котушки та осердя полюсів роторів; 13, 24 та 15, 23 – обмотки та осердя статорів; 16, 17 – корпуси статорів генераторів; 18 – направляючий щиток; 19 – з'єднання обмотки ротора з контактними кільцями; 25 – кріплення лобових частин обмотки; 26 – виводи фаз і нульових точок зірок обмотки статора; 27 – патрубок для виходу повітря; 28 – з'єднання котушок полюсів ротора

Станина генератора власних потреб, що служить одночасно передньою натискною шайбою для осердя статора, впирається в торець проміжного щита, чим забезпечується необхідна жорсткість конструкції. Торцевий підшипниковий щит агрегата по конструкції подібний щиту синхронного тягового генератора. Ротори агрегата мають спільний зварно-литий безвальної конструкції корпус. На корпусі розташовані дві самостійні системи полюсів – тягового генератора і генератора власних потреб. За генератором власних потреб розташовані контактні кільця обох машин. Конструкція тягового синхронного генератора СГ подібна описаній вище.

Генератор власних потреб забезпечує живлення обмотки збудження тягового генератора, приводу допоміжних механізмів, пристроїв автоматики та ін. Збудження ГСН здійснюється за принципом самозбудження. Генератор власних потреб – явнополюсна машина, що має 12 полюсів, розташованих на роторі і одержують живлення від власної статорної обмотки.

У пазах статора розташовуються дві трифазні обмотки, зсунуті на 30° ел.

Осердя статора СГ виконано з листів сталі Е-43 товщиною 0,5 мм, в яких виштампувано 40 вентиляційних каналів. У пазах статора покладена хвильова обмотка, що має ізоляцію класу Н. Лобові частини обмотки статора кріпляться до корпусу статора спеціальними обмоткотримачами. Осердя полюсів ротора набрані з листів сталі товщиною 1,4 мм, спресовані і стягнуті шпильками.

Обмотки полюсів виконані з мідної стрічки ЛММ $1,08 \times 22$ мм, намотаною на ребро і мають ізоляцію класу F типу «Монолит-2».

Агрегат має 20 виводів. Вісім виводів від обмотки статора тягового генератора розташовані з боку дизеля, з них шість від двох зірок і два від нульових точок. Дванадцять виводів розташовані з боку контактних кілець – шість від двох зірок обмотки статора генератора власних потреб, два від нульових точок і чотири від обмоток збудження СГ та ГСН.

5.3. Тягові електродвигуни змінного струму

Асинхронні короткозамкнені електродвигуни дуже прості за конструкцією, вони мають високу надійність в експлуатації, низьку вартість виготовлення та ремонту, менші габаритні розміри і масу в порівнянні з електродвигунами постійного струму, не вимагають особливого догляду, крім спостереження за підшипниками, ізоляцією, контактними з'єднаннями, і мають задовільні тягові властивості. При підвищенні частоти обертання ротора вище синхронної (частоти обертання магнітного поля) автоматично переходять у генераторний режим без яких-небудь переключень, що спрощує електричну схему при використанні електричного гальмування.

Поряд з достоїнствами асинхронні електродвигуни мають ряд недоліків, що ускладнюють їх використання на рухомому складі. Пускова характеристика двигуна з короткозамкненим ротором при постійній частоті струму не забезпечує високих прискорень, так як момент при русанні відносно малий і збільшується до максимального значення із зростанням швидкості. Управління частотою обертання електродвигуна утруднено. Повітряний зазор між статором і ротором дуже малий. Збільшення зазору підвищує масу і збільшує розміри двигуна. Пуск електродвигуна з короткозамкненим ротором пов'язаний з великими втратами потужності та нагріванням обмоток.

Успіхи силової напівпровідникової техніки та засобів автоматики дозволяють створити надійні та економічні статичні перетворювачі частоти з прийнятними для тепловозів розмірами та масою. Цим обумовлюється практичне застосування в тепловозній тязі передачі змінного струму з асинхронними короткозамкненими електродвигунами, тим більше що для тепловозів з дизелями потужністю більше 2940 кВт в секції при використанні тягових електродвигунів постійного струму доведеться значно ускладнювати їх конструкцію (застосовувати збірні або зварні остови, компенсаційні обмотки та ін. або збільшувати число осей). Харківський завод «Електроважмаш» та Луганський тепловозобудівний завод створили макетний тепловоз ТЕ120 потужністю 2940 кВт з передачею змінного струму, на якому використовуються асинхронні короткозамкнені тягові електродвигуни ЕД-900 (рис. 5.7) з опорно-рамною підвіскою.

У тягових машинах змінного струму магнітопровід, що складається з листів електротехнічної сталі, не може служити одночасно остовом машини (недостатня стійкість його форми), тому він закріплений в корпусі статора. Товщина стінок корпуса (остова) визначається з умов міцності і сполучення з іншими частинами машини: підшипниковими щитами, деталями повітропроводу та ін.

Основні частини двигуна: статор, ротор та торцеві щити з підшипниками. Статор включає корпус 9, осердя 8, обмотку 7 і натискні шайби. Литий круглий корпус має внутрішні осьові ребра жорсткості, що утворюють канали для проходу охолоджуючого статор повітря. Для входу та виходу повітря остов має два люки. Вихідний люк забезпечений захисним кожухом, що оберігає від попадання всередину двигуна води (при митті візків).

Пакет статора набирають з листів електротехнічної сталі на спеціальні призми та закріплюють натискними шайбами. Обмотку статора (двошарову петльову) укладають у пази осердя статора та закріплюють у них ізоляційними клинами. Лобові частини котушки обмотки статора закріплюють конусними кільцями. Обмотаний статор обточують по призмам і запресовують в корпус. Ізоляція від корпусу обмотки статора виконана з поліамідної плівки. Ротор включає вал 1, втулку (остов) 5, осердя 6 і обмотку 11.

На вал напресована втулка у вигляді труби, а на неї – осердя ротора, набране з листів електротехнічної сталі.

Короткозамкнена обмотка виконана у вигляді «білячої клітки» шляхом заливання пазів і торців осердя алюмінієвим сплавом. Повітряний зазор між статором і ротором 1,5 мм. Конструкція підшипникових вузлів

подібна підшипниковим вузлам тягових електродвигунів постійного струму.

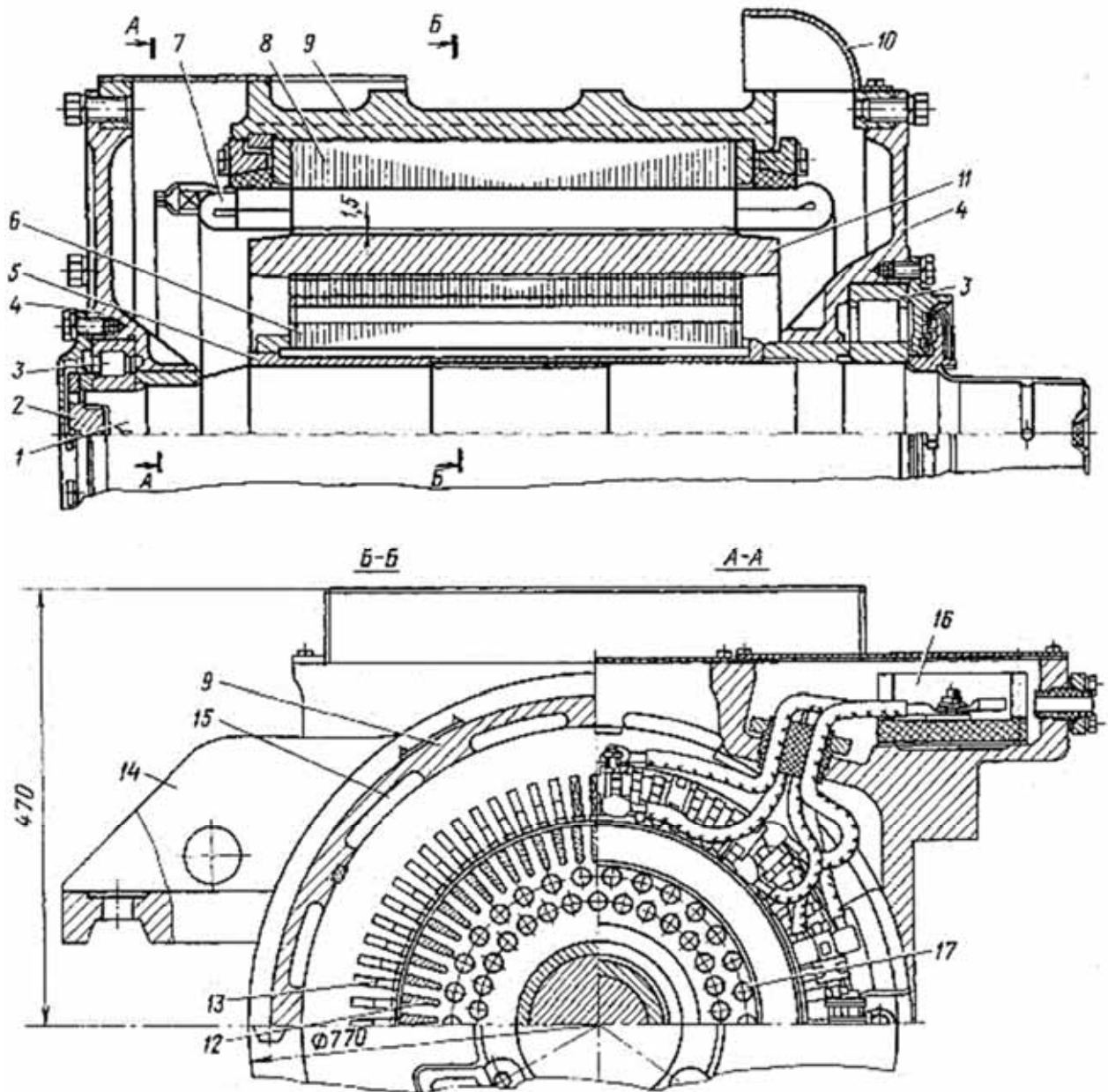


Рис. 5.7. Тяговий асинхронний електродвигун ЕД-900
(повздовжній і поперечний розрізи):

1 – вал; 2 – шайба; 3 – роликові підшипники; 4 – підшипникові щити; 5 – втулка; 6 – осердя ротора; 7 – обмотка статора; 8 – осердя статора; 9 – корпус (остов); 10 – кожух захисний; 11 – короткозамкнена обмотка ротора; 12 – паз осердя ротора; 13 – паз осердя статора; 14 – прилив; 15 – вентиляційний канал; 16 – коробка затискачів; 17 – вентиляційні отвори в осерді ротора

Параметри тягового асинхронного електродвигуна ЕД-900, потужність $P_d = 380$ кВт, напруга $U_d = 720/960$ В, струм $I_d = 413/290$ А, частота

обертання ротора $n_{\text{макс}} = 2460 \text{ хв}^{-1}$, к.к.д. $\eta_{\text{макс}} = 91\text{--}93,5 \%$, вага $G = 2300 \text{ кг}$, частота змінного струму напруги живлення $f_p = 0,4\text{--}125 \text{ Гц}$.

Запитання до самоконтролю

1. Основні параметри тягових синхронних генераторів.
2. Устрій тягового генератора ГС-501А.
3. Будова ротора тягового синхронного генератора ГС-501А.
4. Призначення та устрій тягового агрегата А-714.
5. Загальні характеристики тягових електродвигунів змінного струму.
6. Устрій тягового асинхронного електродвигуна ЕД-900.

ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНЕ ГАЛЬМУВАННЯ ТЕПЛОВОЗІВ

6.1. Призначення електричного гальмування

Однією із важливих якостей тепловозів з електричною передачею є можливість застосування електричного гальмування. Звідси і постійний інтерес до застосування електродинамічного гальма, суть якого – переведення тягових електродвигунів локомотива з тягово-моторного режиму в генераторний, що не викликає технічних труднощів у зв'язку з оборотністю електричних машин. Працюючи в генераторному режимі, електричні машини перетворюють кінетичну енергію поїзда в електричну, яка залежно від її подальшого використання визначає вид гальмування – реостатне або рекуперативне. Електродинамічне гальмування не виключає застосування колодкового гальма.

Незалежно від виду гальмування його застосування дає економічний ефект за рахунок економії гальмівних колодок, скорочення зносу гальмівних приладів, важільних передач, витрати піску. Все в сумі дає 12 % економії експлуатаційних витрат. При рекуперативному гальмуванні додається економія за рахунок повернутої в мережу електроенергії. Області застосування умовно можна розділити таким чином: реостатне гальмування-область низьких швидкостей, так як таким способом можна гальмувати до повної зупинки. Рекуперативне гальмування – гальмування високих швидкостей, в основному воно використовується на електрорухомому складі. Для пасажирського транспорту, з метою підвищення безпеки руху, застосовують комбіноване рекуперативно-реостатне гальмування, що дає можливість застосувати електричне гальмо від початку гальмування при високій швидкості до повної зупинки поїзда.

Вимоги до електродинамічних гальмів. До системи електричного гальмування пред'являється ряд вимог: ефективна дія гальма в заданому діапазоні швидкостей, гнучкість управління та автоматичне регулювання за заданими характеристиками, мінімальний час підготовки до гальму-

вання, стійкість режимів гальмування, мінімальне ускладнення електричної передачі і висока надійність.

Всі ці вимоги досить повно виконуються на вітчизняних машинах, таких, як тепловози 2ТЕ116, ТЕП70, обладнаних автоматизованими системами реостатного гальма, а також практично на всіх серіях електрорухомого складу, де застосовуються як реостатне, так і рекуперативне гальмо.

Поряд з безперечними достоїнствами електродинамічних гальм вони мають і суттєві недоліки. Основна принципова особливість електродинамічного гальма – гальмування одним локомотивом, враховуючи, що гальмівна сила при тих же струмах машин більше ніж сила тяги (до гальмівної сили треба віднести і механічні втрати, які при тяговому режимі віднімаються), поздовжня динаміка поїзда різко погіршується і вимагає від машиніста локомотива більшої обережності при управлінні гальмом.

При застосуванні електродинамічних гальм з'являються особливості в роботі колійного пристрою. Зосередження всього гальмівного зусилля на колесах локомотива призводить до різкої концентрації (у десять і більше разів) потужності та енергії втрат на тертя. Знос рейок і бандажів при електричному гальмуванні перевищує в кілька разів знос в режимі тяги, що не завжди враховується при застосуванні електричного гальмування.

Рекуперативне гальмування для ефективного застосування вимагає виконання таких умов:

- застосовуватися в якості екстреного воно не може, тому що вимагає досить тривалого часу на підготовку та початок гальмування, тому застосовується як службове і дає результати тільки на тривалих ухилах;

- рекуперирована електроенергія повинна бути використана з контактної мережі без повернення на тягову підстанцію, а тому на даній ділянці енергопостачання повинен знаходитися поїзд, локомотив якого працює в моторному режимі. Це можливо, але викликає ускладнення в організації руху;

- перевищення напруги рекупируючого локомотива не повинно шкідливо позначатися на роботі електрообладнання локомотива, який цю енергію споживає.

Введення реостатного гальма на тепловозах ускладнює їх устрій, знижуючи загальну надійність. Особливо це відноситься до гальмівних резисторів і систем їх охолодження. Конструктивно блок резисторів теплового являє собою автономний агрегат, який включається в роботу тільки під час електричного гальмування. Двигун вентилятора охолодження резисторів, отримує живлення від тягових електродвигунів, що працюють в генераторному режимі, тому кількість подаваного повітря залежить від гальмівного струму. В якості гальмівних резисторів застосовуються

резистори більшої потужності типу ЛСО (стрічкові резистори обдувані), виконані з фехралевої стрічки з виштампованими на ній турболізаторами. Стрічка вигнута зигзагоподібно та закріплена за допомогою утримувачів між ізоляторів.

При переведенні тягових електродвигунів в гальмівний режим необхідно відключити їх від тягового генератора та замкнути на гальмівні резистори.

Особливістю роботи двигунів при гальмуванні є швидке та значне зростання напруги на їхніх затискачах. Тому, як правило, включаються вони по одному на гальмівний резистор R_T (рис. 6.1).

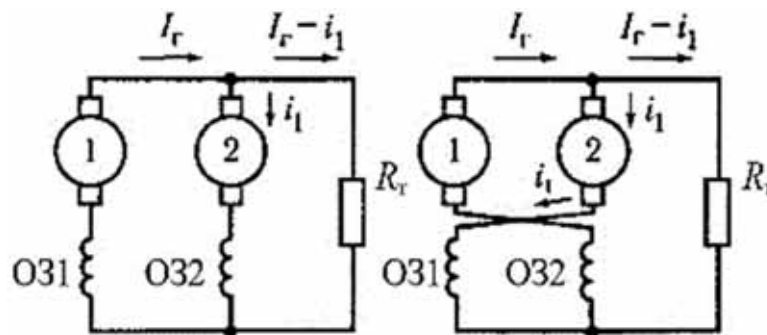


Рис. 6.1. Паралельне з'єднання електродвигунів при реостатному гальмуванні

При паралельному з'єднанні машин, в силу різниці їх характеристик, виникають струми, що проходять не тільки через гальмівний резистор, а й через сусідні машини, що, враховуючи розбіжність їхніх характеристик (див. рис. 6.1, а), може призвести до переходу сусідніх машин в рушійний режим. Схема в принципі електрично нестійка. Забезпечення стійкості досягається перехресним включенням обмоток (див. рис. 6.1, б), в цьому випадку напруга машин зрівнюється. На тепловозах це питання вирішується введенням незалежного збудження від тягового генератора з підключенням до кожної машини свого гальмівного опору (рис. 6.2).

Принцип роботи електричного гальмування. Електричне гальмування (ЕГ) на тепловозах з електричною передачею може бути порівняно легко здійснено. У цьому випадку тягові електродвигуни переводяться в генераторний режим роботи. Отримана при гальмуванні електрична енергія розсіюється у вигляді тепла в гальмівних резисторах і частково використовується для живлення агрегатів власних потреб, наприклад для приводу електродвигунів вентиляторів, що охолоджують гальмівні резистори. Електричне гальмування дає можливість збільшити швидкість руху па спусках, а отже, забезпечити більш економічне ведення поїзда;

мінімально використовувати пневматичні гальма (ПГ), що знижує знос гальмівних колодок і бандажів колісних пар тепловозу і вагонів; підвищити безпеку руху поїздів (наявність двох гальм ЕГ і ПГ); реалізувати більш високі гальмівні зусилля, обмежені за умовами зчеплення коліс з рейками.

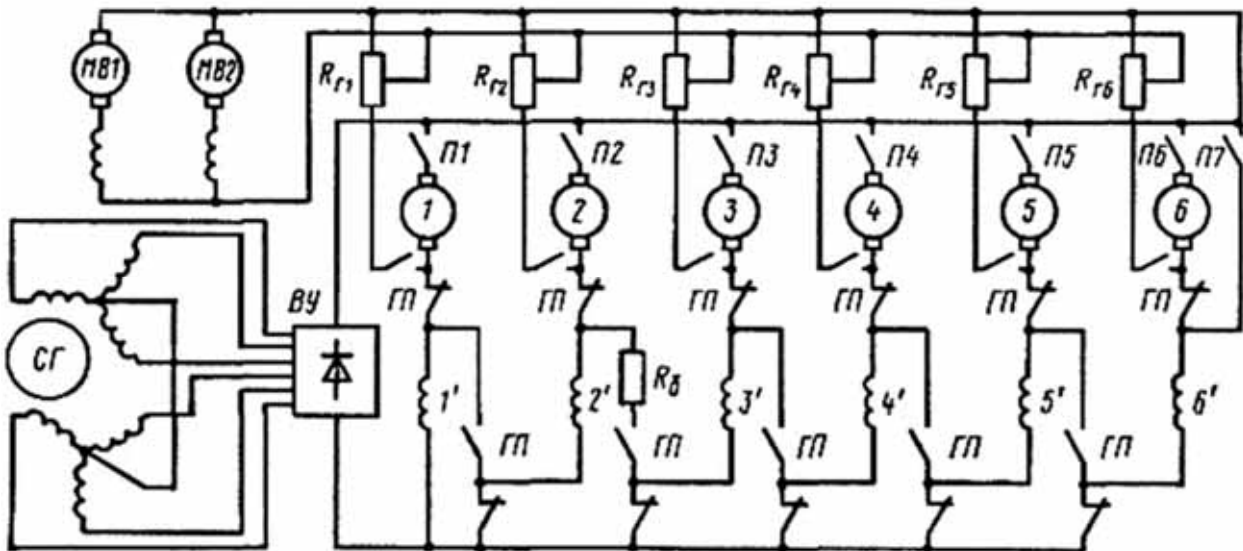


Рис. 6.2. Принципова електрична схема тепловоза при реостатному гальмуванні:

CG – тяговий синхронний генератор; *BU* – випрямна установка; *1...6* – якорі тягових двигунів; *1'...6'* – обмотки збудження електродвигунів; *R_{r1}... R_{r6}* – гальмівні резистори; *ГП* – гальмівний перемикач; *П1...П7* – силові контактори; *R_б* – баластний резистор; *MB1, MB3* – двигуни вентиляторів охолодження

Електричне гальмування має ряд переваг порівняно з ПГ. Це і плавність гальмування, швидкість дії, можливість регулювання гальмівного зусилля і незалежність його впливу навколишнього середовища. Тривалість роботи ЕГ не обмежена, що особливо важливо при роботі на затяжних спусках. Застосування ЕГ передбачається на всіх перспективних магістральних тепловозах.

Регулювання гальмівної сили та системи електричного гальмування. При ЕГ електродвигуни відключаються від тягового генератора. Обмотки якорів підключаються до гальмівних резисторів, а обмотки збудження – до тягового генератора. Тягові електродвигуни за ЕГ мають незалежне збудження. Це забезпечує гнучкість управління швидкістю руху при плавному регулюванні гальмівної сили в широкому діапазоні її зміни.

На тепловозах, що мають передачу змінно-постійного струму, в якості збудника використовується тяговий синхронний генератор *CG*, до якого

через випрямну установку ВУ підключаються обмотки збудження двигунів 1...6, з'єднані послідовно (див. рис. 6.2). Якір кожного електродвигуна включається на окремий гальмівний резистор $R_{Г1}...R_{Г6}$.

6.2. Способи регулювання гальмівної сили та гальмівні характеристики

Гальмівна сила найчастіше регулюється магнітним потоком, тобто зміною напруги генератора шляхом регулювання частоти обертання валу дизеля або зміною струму збудження збудника. В більшості випадків напруга тягового генератора регулюють за рахунок зміни струму збудження при незмінній частоті обертання (незмінної позиції контролера). Гальмівна сила може регулюватися також зміною опору гальмівного резистора, але це вимагає додаткових перемикаючих апаратів.

У найбільш часто зустрічаючихся схемах електродинамічного (реостатного) гальмування тепловозів для переключення ТЕД в гальмівний режим їх відключають від тягового генератора, якоря приєднують до гальмівних резисторів (рис. 6.3), а обмотки збудження – до джерела живлення (тягового генератора).

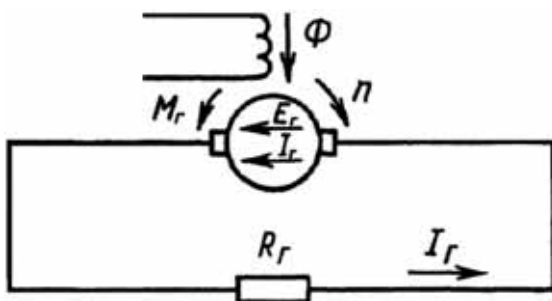


Рис. 6.3. Робота електродвигуна в гальмівному режимі

Електромагнітний момент, що розвивається на валу двигуна в гальмівному режимі:

$$M_{Г} = c_{М} I_{Г} \Phi, \quad (6.1)$$

де $I_{Г}$ – гальмівний струм, А.

Для кола гальмівного струму можна написати рівняння рівноваги ЕРС

$$c_{e} n \Phi = I_{Г} R_{Г} \quad c_{e} n \Phi = I_{Г} R_{Г}, \quad (6.2)$$

де n – частота обертання валу тягового електродвигуна, хв^{-1} ;

$R_{Г}$ – опір кола гальмівного струму, Ом.

Розв'яжемо рівняння відносно струму $I_{Г}$ і потоку Φ :

$$I_{\Gamma} = \frac{c_e \Phi n}{R_{\Gamma}} \quad \text{і} \quad \Phi = \frac{I_{\Gamma} R_{\Gamma}}{c_e n}. \quad (6.3)$$

Підставивши послідовно отримані вирази у вихідне рівняння (6.1) для M_{Γ} , отримаємо:

$$M_{\Gamma} = \frac{c_e c_m \Phi^2}{R_{\Gamma}} n = Kn \quad \text{за} \quad \Phi = \text{const}; \quad (6.4)$$

$$M_{\Gamma} = \frac{c_m R_{\Gamma} I_{\Gamma}^2}{c_e n} = K \frac{1}{n} \quad \text{за} \quad I_{\Gamma} = \text{const}. \quad (6.5)$$

Маємо за $\Phi = \text{const}$ лінійну залежність гальмівного моменту від частоти обертання і за $I_{\Gamma} = \text{const}$ – гіперболічну залежність M_{Γ} від частоти обертання тягових електродвигунів в гальмівному режимі.

На рис. 6.4 показаний перехід від моменту на валу гальмівної машини до гальмівної сили B

$$B = \frac{2M_{\Gamma} \mu m}{D_k \eta}; \quad V = 0,188 \frac{D_k n}{\mu}, \quad (6.6)$$

де μ – передаточне число тягового редуктора;

m – число тягових двигунів локомотива;

η – к.к.д. тягового редуктора.

Залишається нанести на графік (див. рис. 6.4) гальмівних характеристик $B = f(V)$ обмеження: по максимальній швидкості початку гальмування, зчепленню, максимальному гальмівному току та потоку збудження, так звані – граничні характеристики. Граничні характеристики:

– максимальний струм збудження тягового електродвигуна, допустимий за умовами нагрівання котушок головних полюсів;

– максимальний гальмовий струм, обмежуваний нагріванням обмотки якоря тягового двигуна і гальмівних резисторів;

– максимальне значення реактивної ЕРС в секції обмотки якоря. Цей параметр, що є критерієм задовільною комутації, може бути виражений як добуток струму якоря тягового електродвигуна на його частоту обертання;

– максимальна гальмівна сила за умови зчеплення коліс з рейками (лінія KL).

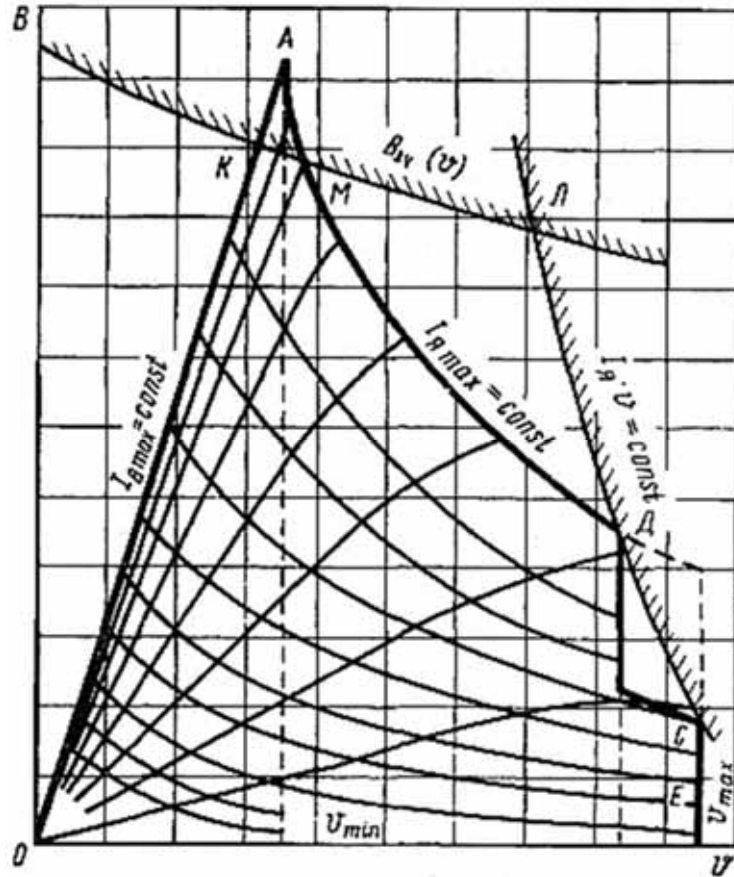


Рис. 6.4. Гальмівні характеристики тягового двигуна

Максимальний струм збудження тягового електродвигуна за тривалому або короткочасному режимах визначає граничну гальмівну характеристику OA (див. рис. 6.4). Ці характеристики визначаються звичайно розрахунковим або дослідним шляхом. Максимальний струм збудження може прийматися менше тривалого струму збудження в тяговому режимі з метою забезпечення мінімальної швидкості, при якій використовується номінальна потужність гальмівної системи. Зазвичай мінімальна швидкість приймається в межах 35–55 % максимальної швидкості тепловоза.

Максимальний гальмівний струм (тривалий або короткочасний) визначає граничну гальмівну характеристику AD за умови нагріву обмотки якоря та гальмівних резисторів. Цей струм рекомендується приймати менше тривалого струму електродвигуна в тяговому режимі з тим, щоб використовувати проміжну ступінь частоти обертання вала дизель-генератора для забезпечення необхідного охолодження тягових електродвигунів.

За високих швидкостях руху в момент початку гальмування гальмівна

сила обмежується комутаційними та потенційними умовами на колекторі CE . Критерієм задовільної комутації є допустима реактивна ЕРС $e_{Г доп}$ в секції обмотки якоря, яка не повинна перевищувати 8 В.

Залежність $B(V)$ при постійному значенні $e_{Г доп}$ представлена кривою $ЛС$ (див. рис. 6.4).

Поряд з обмеженням по комутації є обмеження по потенційним умовам на колекторі, що перевіряється за значенням максимальної напруги між сусідніми колекторними пластинами $U_{к max} \leq 35-45$ В.

Для тепловозних тягових електродвигунів лімітуючим обмеженням є реактивна ЕРС.

Гранична залежність гальмівної сили за умовами зчеплення $B_{зч}$ повторює залежність коефіцієнта зчеплення ψ_k від швидкості (крива $КМ$). З графіка гальмівних характеристик випливає, що гальмування можна здійснювати як зміною гальмівного струму, так і магнітного потоку. В ідеальному випадку можлива підтримка гальмівної сили постійною при зміні швидкості руху (рис. 6.5).

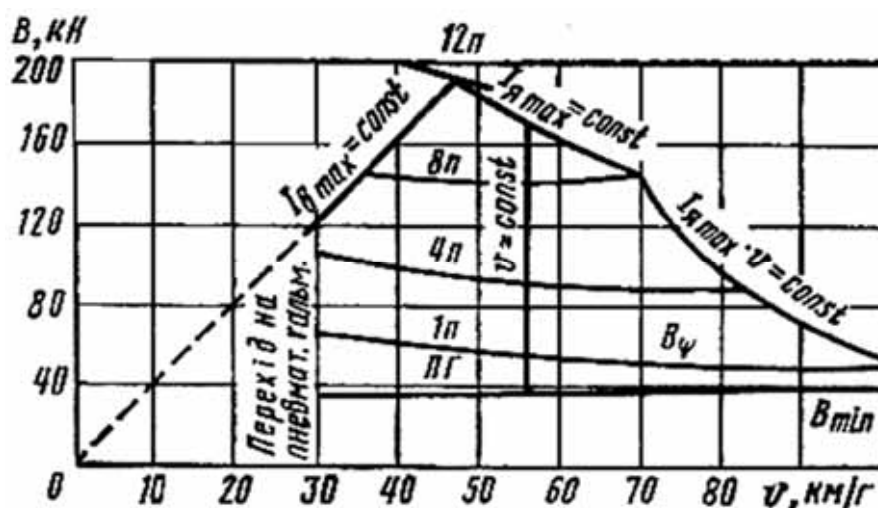


Рис. 6.5. Гальмівні характеристики тепловоза:
 $ПГ$ – попереднє гальмування; $1n - 12n$ – позиції гальмівного контролера

Регульовальні характеристики можуть мати різний вигляд залежно від того, який параметр ЕТ обраний при гальмуванні. Для зупиночного гальмування зручно використовувати характеристики з постійним зусиллям, тому що можна задавати значення уповільнення поїзда незалежно від швидкості руху. Такі характеристики узгоджуються з характеристиками $ПГ$ складу. При гальмуванні на спусках необхідно забезпечити стале підтримання швидкості поїзда. У цьому випадку можна використовувати характеристики регулювання по струму збудження і гальмівної сили.

6.3. Системи електродинамічного гальмування тепловозів

На тепловозах 2ТЕ116, ТЕП70, що мають передачу змінно-постійного струму, застосовуються системи електродинамічного гальмування. Якір тягового електродвигуна включається на окремий гальмівний резистор (рис. 6.6).

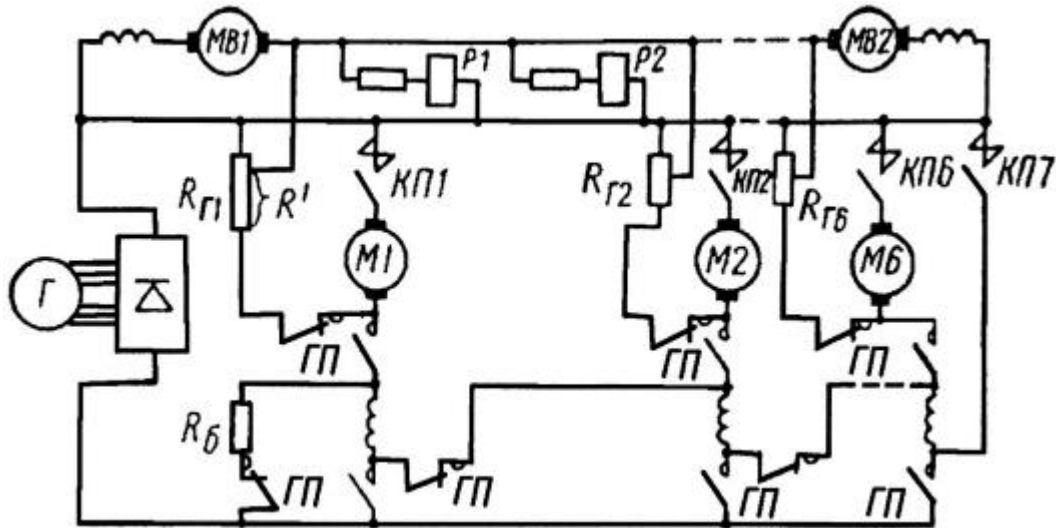


Рис. 6.6. Силова схема електродинамічного гальмування тепловоза

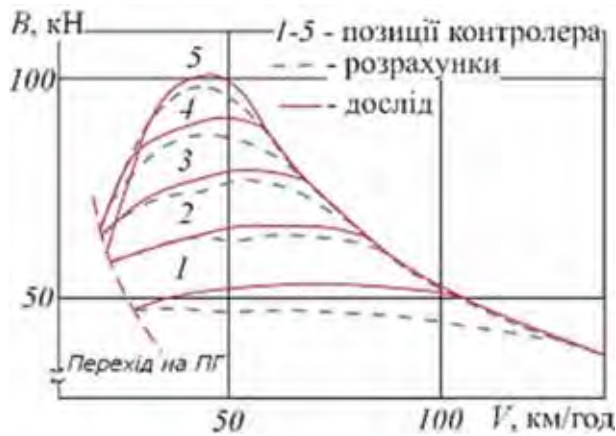


Рис. 6.7. Гальмівні характеристики тепловоза потужністю 2900 кВт

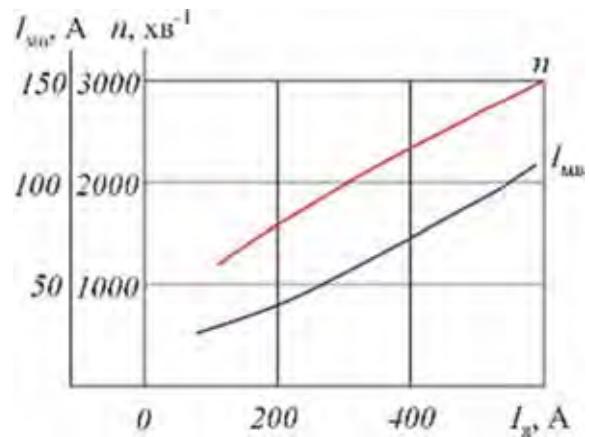


Рис. 6.8. Характеристики електродвигуна вентилятора охолодження гальмівних резисторів:

- n – частота обертів мотор-вентилятора;
- $I_{мв}$ – струм електродвигуна вентилятора;
- $I_я$ – струм якоря тягового двигуна

В якості збудника використовується тяговий синхронний генератор $СГ$, до якого через випрямну установку $ВУ$ під'єднують обмотки збудження тягових електродвигунів, з'єднаних послідовно. Так як кола обмоток збудження має малий опір, то для стійкої роботи тягового синхронного генератора в колі обмоток збудження включаються баластні резистори R_6 . Крім того, баластні резистори знижують постійну часу кола, що підвищує фізичну стійкість систем зміни швидкості руху і гальмівної сили при гальмуванні. Для охолодження гальмівних резисторів використовується два вентилятора з електродвигунами послідовного збудження. Електродвигуни отримують живлення від кола гальмівних резисторів. Кожен електродвигун включений на частину гальмівного резистора. Перехід передачі з тягового режиму в гальмівний здійснюється гальмівним перемикачем $ТГ$. Живлення обмотки збудження тягового синхронного генератора, як і в тяговому режимі, походить від збудника через керований випрямляч. Це дає можливість плавно змінювати струм збудження тягових двигунів в необхідних межах.

Приклад розрахункових гальмівних характеристик $B = f(V)$ електродинамічного гальмування для п'яти позицій до схеми (див. рис. 6.6) з тяговими двигунами ЕД-118 показаний на рис. 6.7. Максимальна швидкість тепловоза 140 км/год; передаточне відношення тягового редуктора 3,15; діаметр колеса 1050 мм; номінальна потужність на виводах тягових двигунів 1300 кВт.

У режимі електричного гальмування на тепловозах дизель працює на 11-й позиції контролера. Для зменшення витрат палива частота обертання могла б бути меншою, але достатньою, щоб забезпечити охолодження тягових електродвигунів (рис. 6.8).

На тепловозах **2ТЕ116, ТЕП70, ТЕП75** в подальшому почали використовувати схеми систем електричного гальмування, що виключають баластні резистори, внаслідок чого підвищується ефективність електричного гальмування. На баластному резисторі, включеному в колі обмоток збудження електродвигунів, виділяється тепло, на утворення якого витрачається до 15 % потужності дизеля.

При виключенні баластного резистора з кола збудження електродвигунів система обладнується пристроєм реалізації жорсткого зворотного зв'язку для розмагнічування тягового синхронного генератора.

Для отримання необхідних гальмівних характеристик локомотива служать автоматичні системи регулювання (АСР з блоком КУА-14Б) швидкості руху та гальмівної сили. Системи працюють в режимах: службового пригальмовування на ухилах з автоматичним підтриманням $V = \text{const}$; службового зупинкового гальмування із заданою гальмівною

силою за однією з характеристик $B(V)$ (див. рис. 6.5), екстреного гальмування по максимально допустимим значенням I_a, I_b . На початку гальмування при всіх режимах вмикається ступінь попереднього гальмування для стиснення складу поїзда.



Рис. 6.9. Пасажирський тепловоз ТЕР70 з електродинамічним гальмуванням

Маневрові тепловози серій ЧМЕЗ. Близько 10 % локомотивного парку України 1991 року склали маневрові тепловози серій ЧМЕЗЕ і ЧМЕЗТ з електронними регуляторами GC40P, GC35P, GC43P та GC74P. Електронні регулятори вказаних серій відрізняються конструкцією і кількістю функціональних блоків. Тепловоз ЧМЕЗТ (рис. 6.11) має електронний регулятор для автоматичного управління режимами тяги та електродинамічного гальмування.

Електрична схема тепловоза ЧМЕЗТ (рис. 6.12) складає шість тягових електродвигунів, з'єднаних по два послідовно 1–2, 3–4, 5–6, паралельно яким контакторами КТ1, КТ2 і КТ3 підключаються гальмівні резистори RT1–RT2, RT3–RT4, RT5–RT6 з рівним опором. Гальмівний струм опорів тягових електродвигунів виміряють датчиками ДТ1–ДТ3, а струм збудження – датчиком ДТ7. Більш ширше застосування на тепловозах ЧМЕЗТ має електронний регулятор GC43P (рис. 6.13), який складається з трьох рівнів – А, В, С.

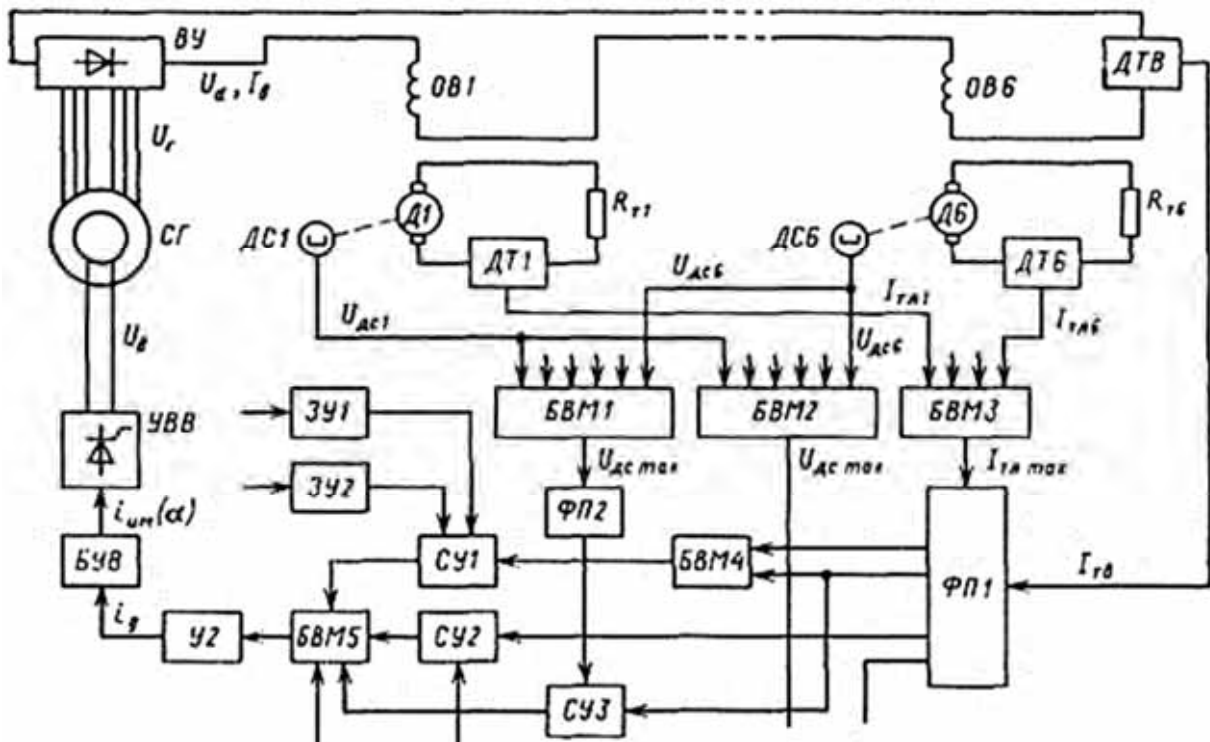


Рис. 6.10. Схема автоматичної системи регулювання швидкості та гальмівної сили тепловоза з електричною передачею змінно-постійного струму:

CG – синхронний генератор; *BY* – випрямна установка; *OB1*, *Д1* – *OB6*, *Д6* – тягові електродвигуни; *RT1* – *RT6* гальмівні резистори; *УВВ*, *БУВ* – випрямляч збудження з блоком управління; *ДС1* – *ДС6*, *ДТ1* – *ДТ6*, *ДТВ* – датчики швидкості руху колісних пар, гальмівного струму та струму збудження двигунів; *БВМ1* – *БВМ4*, *ЗУ1* – *ЗУ3*, *СУ1* – *СУ3*, *ФП1* – *ФП2* – блоки автоматичної системи регулювання електродинамічного гальмування тепловоза



Рис. 6.11. Маневровий тепловоз ЧМЕЗТ з електродинамічним гальмуванням

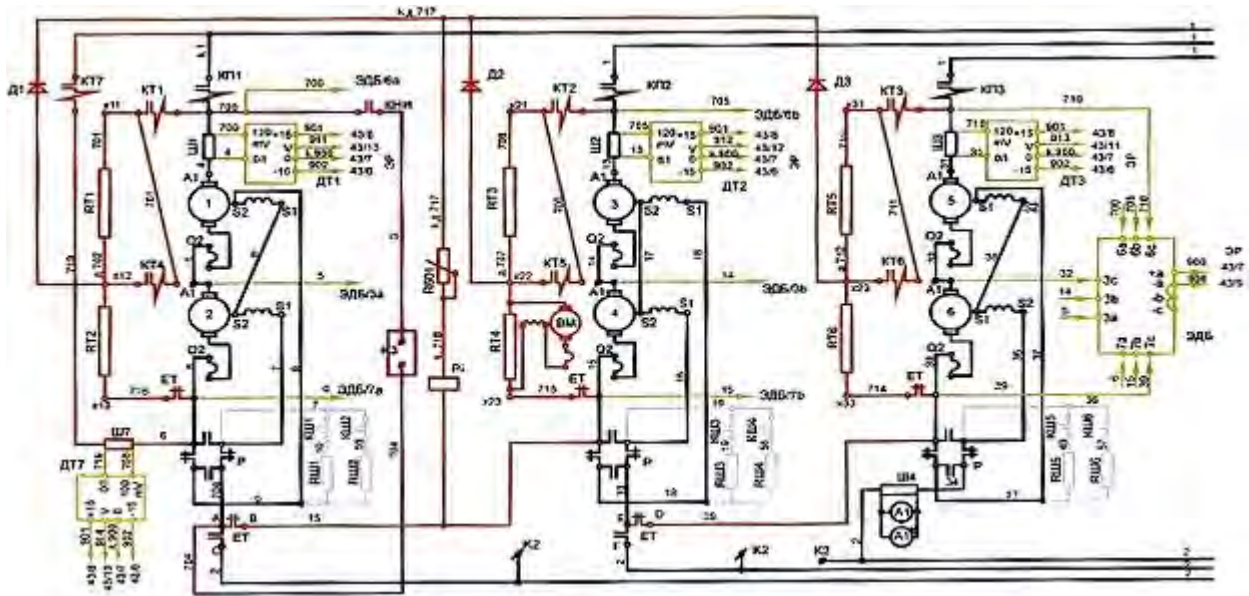


Рис. 6.12. Електрична схема тепловоза ЧМЕЗТ

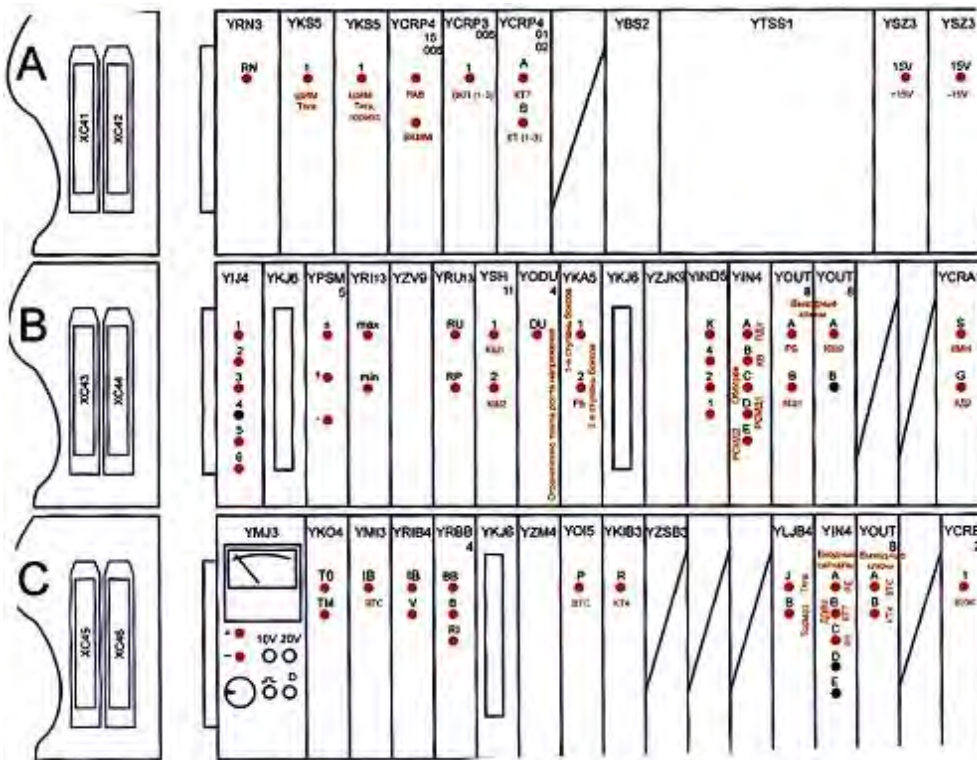


Рис. 6.13. Електронний регулятор GC43P тепловоза ЧМЕЗТ

В першому рівні (А) знаходяться блок живлення, стабілізатори напруги та регулятор напруги допоміжного генератора, реле часу. Другий рівень (В) містить блоки управління тяговим режимом, а блоки рівня (С) регулюють режимом електродинамічного гальмування тепловоза.

Під час гальмування тепловоза на четвертій позиції та швидкості руху 30 км/год струм якорів і гальмівних резисторів складає приблизно 900 А. При зменшенні швидкості до 8 км/год і гальмівному струмі 650 А включаються контактори КТ4 – КТ6, опір гальмівних резисторів зменшується в два рази. Працюють тільки гальмівні резистори RT2, RT4, RT6. Це так звана друга ступінь електродинамічного гальмування. При подальшому зниженні швидкості до 2 км/год і гальмівному струмі приблизно 400 А включаються до зупинки пневматичні гальма. Схема електродинамічного гальмування тепловоза при цьому розбирається.

Тепловози з асинхронними тяговими двигунами. До локомотивів нового покоління можливо віднести, наприклад, тепловоз ТЕ33А та маневровий тепловоз ТЕМ21. Вказані тепловози з асинхронними тяговими двигунами.

До перших зразків тягового рухомого складу з машинами змінного струму та перетворювачами частоти відноситься тепловоз ТЕ120.

Тепловоз ТЕ120, потужністю 2942 кВт, був створений з експериментальними цілями та призначений для визначення принципів властивостей електричної передачі з асинхронними тяговими електродвигунами і перетворювачами частоти випрямно-інверторного типу.

На структурній схемі електропередачі тепловоза ТЕ120 (рис. 6.14) дизель приводить в обертання тяговий агрегат типу А-711, що об'єднує в одному корпусі два синхронних генератора: тяговий генератор СГ1 потужністю 2600 кВт і допоміжний генератор СГ2 потужністю 400 кВт.

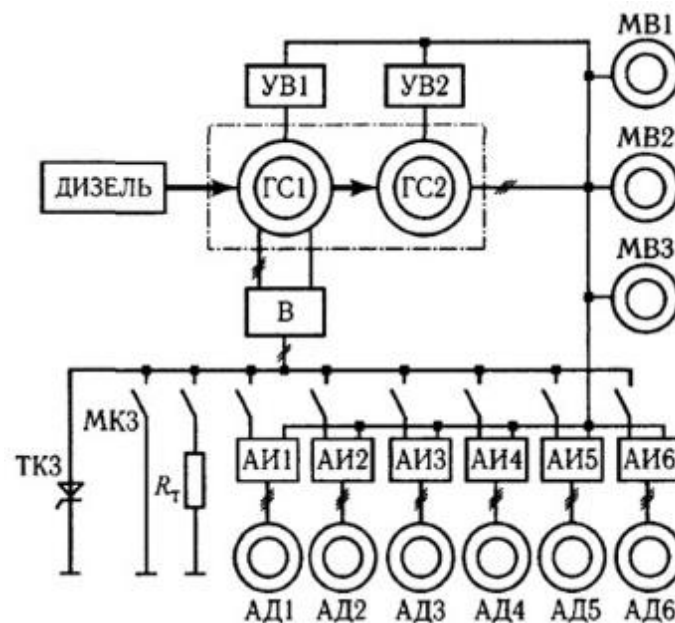


Рис. 6.14. Структурна схема електропередачі тепловоза ТЕ120

Допоміжний генератор призначений для живлення споживачів власних потреб тепловоза: асинхронних електродвигунів привода вентиляторів камери охолоджувального пристрою тепловоза МВ1, МВ2, вентиляторів тягових електродвигунів переднього і заднього візків МВ3, вентилятора перетворювальної установки, тиристорних випрямлячів УВ1 і УВ2 відповідно обмоток збудження генераторів СГ1 і СГ2. Тяговий генератор СГ1 через перетворювач частоти, що складається з випрямної установки і шести автономних інверторів напруги АИ1-АИ6, живить шість тягових асинхронних електродвигунів АД1-АД6. На тепловозі були застосовані тягові АД типу ЕД900. Регулювання швидкості і тягового зусилля тепловоза здійснюється зміною напруги на виході випрямляча В (див. рис. 6.13) заданням необхідного збудження тягового генератора СГ1 і зміною частоти напруги на виході тягових інверторів в межах 0,4 – 125 Гц.

Регулювання гальмівного зусилля здійснюється переходом АД в генераторний режим з гасінням енергії електродинамічного гальмування в загальному для всіх каналів АИ-АД (автономний інвертор – асинхронний двигун) блоці гальмівних резисторів R_r . Тягові АД працюють при цьому в режимі самозбудження.

Запитання до самоконтролю

- 1. Основні умови електродинамічного гальмування.*
- 2. Вимоги до електродинамічних гальм.*
- 3. Регулювання гальмівної сили та системи електричного гальмування.*
- 4. Гальмівні характеристики тягового електродвигуна та тепловоза.*
- 5. Система електродинамічного гальмування тепловоза серії 2ТЕ116.*
- 6. Система електродинамічного гальмування тепловоза серії ТЕП75.*
- 7. Система електродинамічного гальмування тепловоза серії ЧМЕЗТ.*

ДОПОМІЖНІ ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ ТЕПЛОВОЗІВ

7.1. Призначення та умови роботи допоміжних машин

За призначенням допоміжні машини тепловозів можна розділити на кілька груп.

1. Машини-регулятори, що виконують основні функції з регулювання енергетичного кола тепловоза. До цієї групи відносяться багатообмоточні збудники постійного струму спеціального виконання. Вони приймають сигнали за різними параметрами енергетичного кола (напруга та струм тягового генератора, швидкість дизеля і т. п.), керуючи збудженням головного генератора у відповідності з цими сигналами та забезпечують потрібну характеристику передачі.

2. Машини, які передають сигнали від тиристорних і магнітних підсилювачів до системи збудження генератора. Для цієї мети використовуються збудники постійного або змінного струму.

3. Машини змінного струму, що живлять силові обмотки магнітних підсилювачів (підзбудник). Ці машини зазвичай мають підвищену частоту (400 Гц) з метою зменшення розмірів магнітних підсилювачів і самої машини.

4. Машини, що здійснюють зворотний зв'язок по частоті обертання дизеля (тахогенератори), які з'єднані з валом.

5. Машини – джерела живлення електричних кіл керування локомотивів. Допоміжні генератори працюють паралельно з акумуляторною батареєю і живлять кола управління апаратів.

6. Електродвигуни допоміжних агрегатів (мотор-вентилятори та мотор-компресори). Мотор-вентилятори призначені для подачі охолоджуючого повітря в тягові електричні машини. Мотор-компресори забезпечують живлення стисненим повітрям пневматичних гальм, роботу електричних апаратів з пневматичним приводом.

7. Пускові електродвигуни (стартер-генератори). На тепловозах з гідравлічною і механічною передачами, а також з тяговими генераторами змінного струму для пуску дизеля застосовують двигуни постійного струму, що живляться від акумуляторної батареї.

Допоміжні генератори тепловозів приводяться в обертання безпосередньо від колінчастого валу дизеля через спеціальні редуктори, а електродвигуни живляться від допоміжних генераторів, тягових генераторів або генераторів власних потреб.

При розташуванні допоміжних машин у кузові локомотива поліпшується захист від пилу, вологи та інших зовнішніх впливів. Однак при цьому підвищується температура навколишнього повітря за рахунок теплоти, що виділяється працюючим в кузові обладнанням.

Електродвигуни вентиляторів і генератори управління зазвичай працюють у тривалому режимі. Пуск електродвигунів вентиляторів також супроводжується різкими кидками струму, що досягають семиразового номінального значення. Тому двигуни вентиляторів часто залишаються включеними не тільки при русі локомотива, а й на зупинках. Електродвигуни компресорів працюють у режимі повторних включень, частота та тривалість циклу яких залежать від витрати стисненого повітря та режиму тяги поїзда локомотивом.

Незважаючи на істотні відмінності допоміжних машин за призначенням, потужності, характеристикам та іншими показниками, вони мають спільні елементи конструкції.

Розподіл допоміжних електричних машин постійного та змінного струмів по типам, параметрам і серіям тепловозів наведено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Параметри допоміжних електричних машин тепловозів

Електрична машина	Тип	Рід струму	Потужність, кВт	Напруга, В	Струм, А тривалий
1	2	3	4	5	6
Двомашинні агрегати					
Підбуджувач	ГС500	змінний	0,55	120	10
Тахогенератор	ТГ83/35	постійний	0,12	24	5
Збудник	В-600	постійний	22,5	180	125
Допоміжний генератор	ВГТ275/150	постійний	12	75	160
Збудник	МВТ 25/9	постійний	5,6	75	75

Продовження табл. 7.1

1	2	3	4	5	6
Допоміжний генератор	МВТ 25/11	постійний	5,75	75	66
Збудник	ВТ275/120	постійний	10	107	95
Допоміжний генератор	ВГТ275/150	постійний	8	75	106
Збудник	ВС650ВУ2	змінний	26	287	146
Підзбуджувач	ВС652У2	змінний	0,55	110	10
Стартер-генератор	ПСГУ2	постійний	50	110	455
Електродвигуни					
Приводу компресора	2П2К02	постійний	37	110	400
Приводу маслопрокачуєчого насоса	П41	постійний	4,2	64	84
Приводу паливопідкачуєчого насоса	П21М	постійний	0,5	75	9,6
Вентилятора кузова	П11М	постійний	0,29	110	4,06
Приводу маслопрокачуєчого насоса	ПНЖ132М02	постійний	4,0	64	81
Вентилятора кузова	ПНЖ90М02	постійний	0,25	75	5,3
Осьового вентилятора Холодильної камери	АМВ37-03	змінний	37	400	56
	АМВ-75	змінний	75	400	–
Вентилятора охолодження тягових двигунів	А2-82-6-100 4АЖ225М60 2	змінний	24 45	400 400	48 72
Вентилятора охолодження випрямної установки	АОС-2-62-6-100	змінний	8	400	19,5

7.2. Допоміжні машини постійного струму

Збудники та допоміжні генератори. Збудники призначені для живлення постійним струмом обмотки незалежного збудження тягового генератора безпосередньо або через випрямляч (синхронні), а допоміжні генератори – для живлення різних навантажень власних потреб тепловоза. Збудники і допоміжні генератори постійного струму мають уніфіковану конструкцію і виконуються у вигляді двомашинних агрегатів із загальним валом. Завдяки цьому зменшуються габаритні розміри та маса, а також спрощується монтаж і привід їх на тепловозі. Найбільш поширеними та характерними з улаштування та експлуатації збудників і допоміжних

генераторів є агрегати А-706Б і МВТ-25/9 + МВГ-25/11. Характеристики збудників і допоміжних генераторів наведено в табл. 7.1.

Двомашинний агрегат А706Б. Розглянемо конструкцію агрегату А706Б, що об'єднує збудник В600 і допоміжний генератор ВГТ 275/150 (рис. 7.1). Корпуси 12 машин круглої форми жорстко з'єднані між собою болтами. Торцеві частини корпусів – це зварні ребристі конструкції, що утворюють підшипникові щити 7.

Якоря машин мають загальний вал 19, який отримує обертання від валу дизеля. Збудник і допоміжний генератор мають одне і те ж число колекторних пластин, пазів, а також однакові розміри паза та довжину осердя. Колекторні пластини закріплені на втулці 9 обпресуванням теплостійкою (класу Н) пластмасою 3. На подовжену втулку колектора допоміжного генератора (випуска до 1980 р.) насаджено контактні кільця 18 для живлення змінним струмом деяких пристроїв автоматики.

Осердя якорів набрані з окремих листів електротехнічної сталі. В їх пази укладені хвильові обмотки, які закріплені дротяними бандажами. Кожна машина агрегату має шість щіткотримачів 6, закріплених на ізоляційних кільцевих траверсах. Натискання на щітку 1,1–2,0 Н.

Збудник і допоміжний генератор мають по шість головних полюсів, а додаткових полюсів у збудника чотири, а у генератора – п'ять. Котушки головних полюсів збудника мають дві обмотки: незалежного збудження та розмагнічуючу, а допоміжний генератор тільки паралельну обмотку. На литих осердях додаткових полюсів розміщені котушки, які залиті епоксидним компаундом.

Охолоджуюче повітря всмоктується через відкриті нижні частини підшипникових щитів, проходить між полюсами магнітних систем і через отвори в осердях якоря викидається через вентиляційні люки. Схема з'єднання обмоток машин наведена на рис. 7.2.

Збудник МВТ25/9 і допоміжний генератор МВТ25/11. Конструктивною особливістю збудника МВТ25/9 (рис. 7.3) є розщеплені полюси. Збудники з розщепленими полюсами використовуються для отримання гіперболічної характеристики тягового генератора (тепловоз ТЕМ3). Вони мають дві практично незалежні магнітні системи: насичену і ненасичену.

У передачах потужності постійного струму використовуються два типи збудників: з поздовжнім (аксіальним) і поперечним (радіальним) розщепленням полюсів. Збудник МВТ25/9 з поздовжнім розщепленням полюсів має чотири головних полюси, осердя яких розділені уздовж осі на дві нерівні частини (рис. 7.4, а).

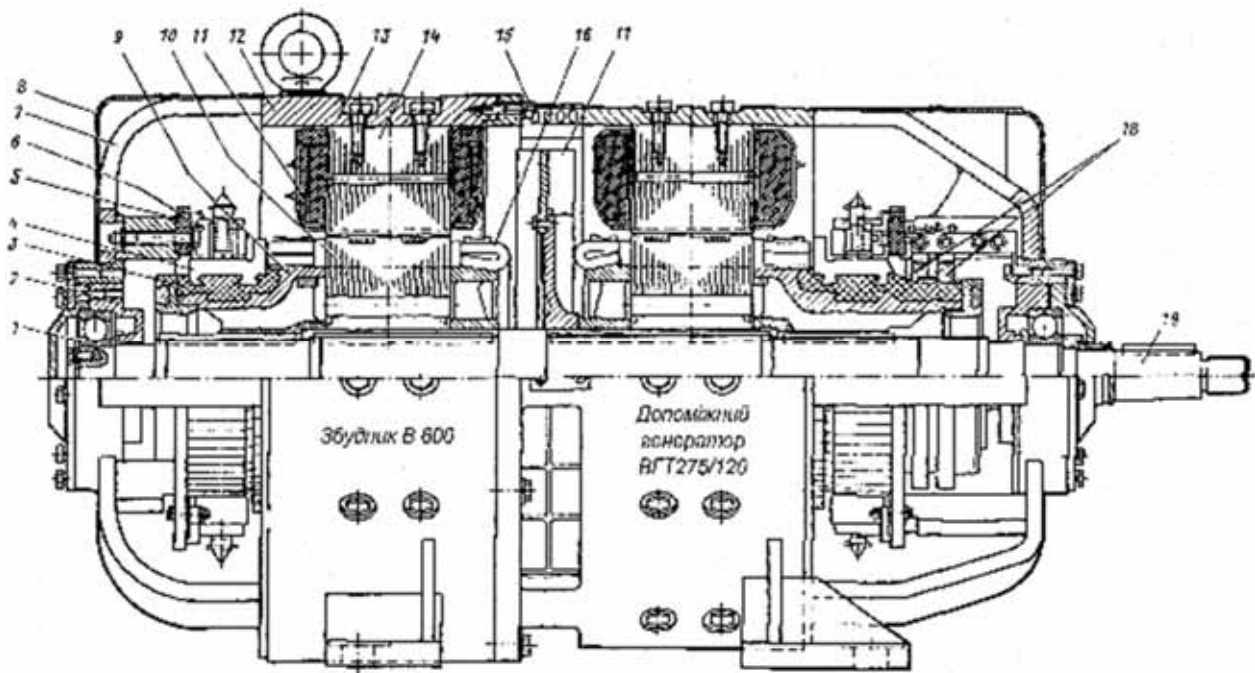


Рис. 7.1. Двомашинний агрегат типу А706Б:

1 – підшипник; 2 – капсула; 3 – пластмаса; 4 – колекторна пластина; 5 – траверса; 6 – щіткотримач; 7 – каркас; 8 – кришки; 9 – втулка; 10 – осердя якоря; 11 – розмагнічувальна котушка; 12 – корпус; 13 – котушка незалежного збудження; 14 – осердя головного полюса; 15 – болти, що з'єднують корпуси машин; 16 – обмотка якоря; 17 – вентилятор; 18 – контактні кільця; 19 – кінець вала

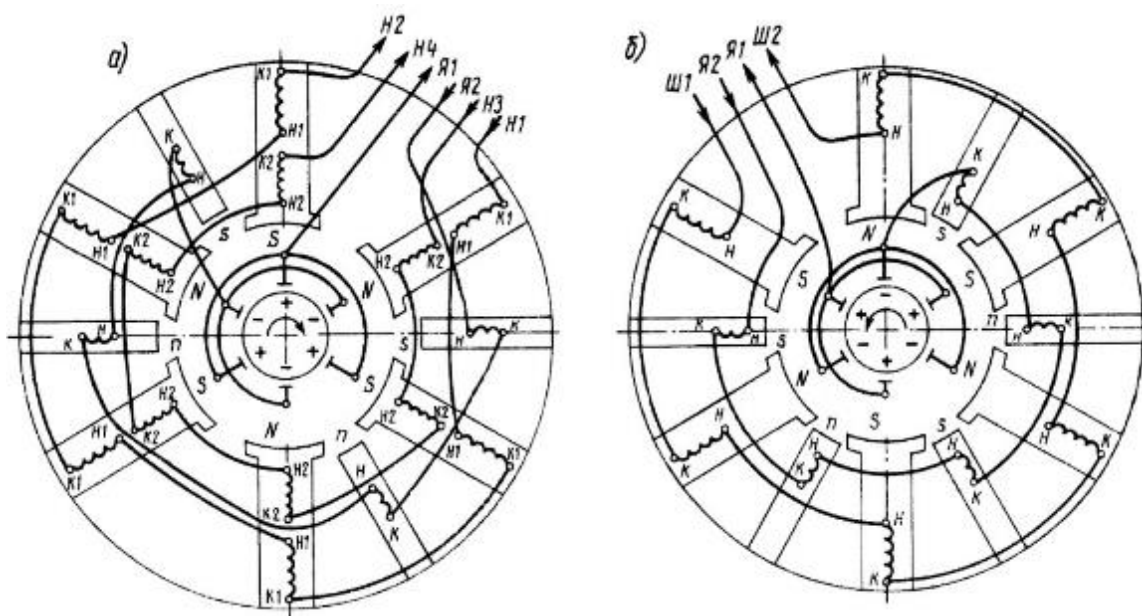


Рис. 7.2. Схема з'єднання обмоток машин агрегату А706Б:

а) збудник В600; б) допоміжний генератор ВГТ 275/150

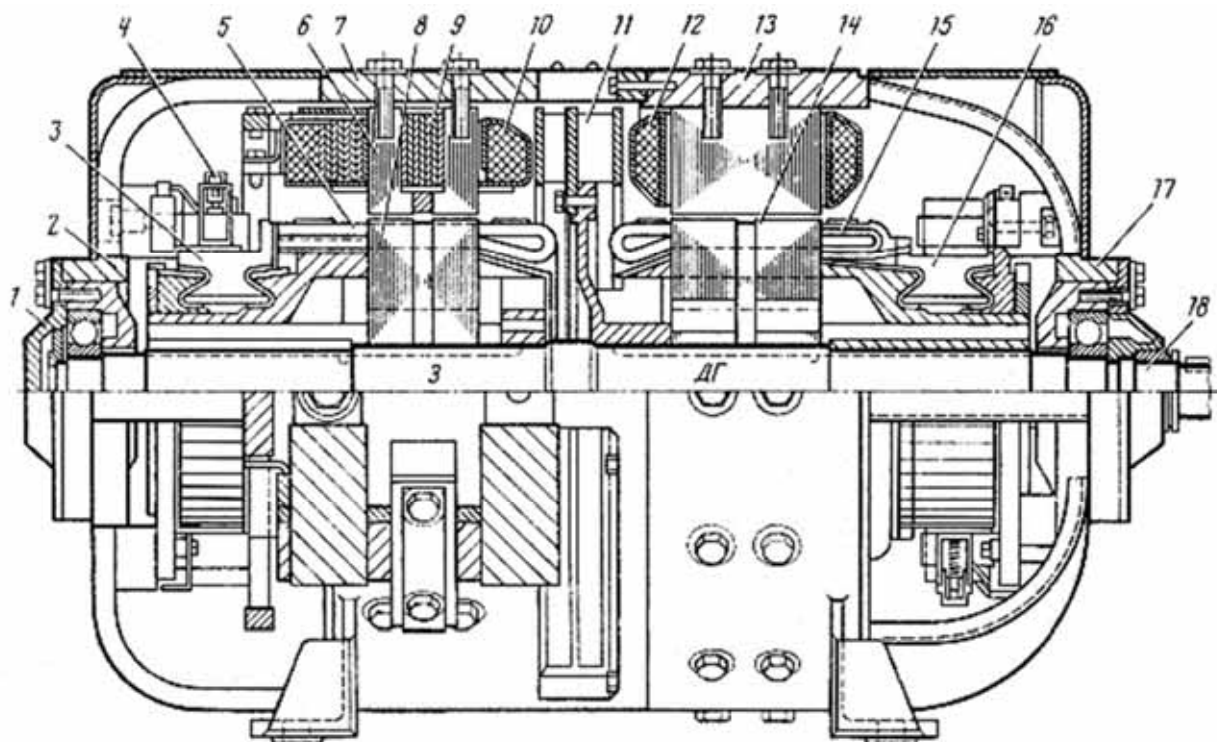


Рис. 7.3. Двохмашинний агрегат зі збудником (3) типу МВТ25/9 і допоміжним генератором (ДГ) типу МВТ25/11:

1 – шарикопідшипник; 2, 17 – підшипникові щити; 3, 16 – колектори; 4 – щіткотримач; 5, 15 – обмотки якоря; 6 – осердя полюса; 7, 13 – станини збудника та генератора; 8, 14 – якорі; 9 – диференціальна обмотка; 10 – незалежна обмотка; 11 – вентилятор; 12 – головний полюс; 18 – вал

Насичена частина має менші розміри і магнітні містки у вигляді вирізів на осерді та сталевих пластин між осердям і корпусом. На кожному полюсі збудника розташовані дві обмотки: одна охоплює обидві частини осердя і живиться від допоміжного генератора і якоря самого збудника (її будемо називати незалежною), інша, диференціальна, намотана на насичену частину осердя. Незалежна обмотка має 242 витка з ізольованого мідного дроту. Диференціальна обмотка виконана з міді розміром 2,63×47 мм, має сім витків.

Осердя якоря збудника набраний з листової електротехнічної сталі, приблизно в середині він має 25 латунних листів товщиною 0,5 мм. Обмотка якоря збудника проста хвильова, одновиткова виконана з прямокутної міді розміром 1,16×6,9 мм. Кожна секція складається з трьох провідників. У пазах обмотка утримується гетинаксовими клинами, а лобові частини – дротяними бандажами. Колектор складається з 135 пластин. У кожному щіткотримачі (їх чотири) поміщена одна щітка марки ЕГ–14 розміром 44×12,5×40 мм, з натисканням 9,8–10,8 Н.

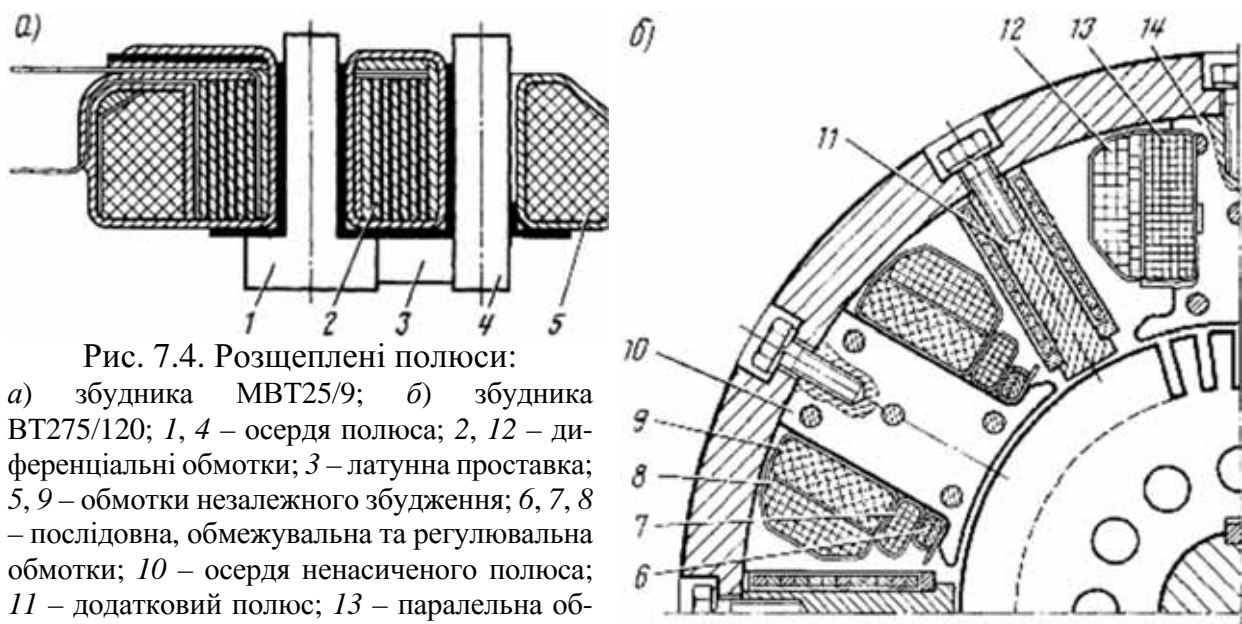


Рис. 7.4. Розщеплені полюси:

а) збудника МВТ25/9; б) збудника ВТ275/120; 1, 4 – осердя полюса; 2, 12 – диференціальні обмотки; 3 – латунна проставка; 5, 9 – обмотки незалежного збудження; 6, 7, 8 – послідовна, обмежувальна та регульовальна обмотки; 10 – осердя ненасиченого полюса; 11 – додатковий полюс; 13 – паралельна обмотка; 14 – осердя насиченого полюса

Допоміжний генератор типу МВГ25/11 має шість головних і шість додаткових полюсів. Збудження паралельне. Обмотка якоря проста хвилюва, двохвиткова виконана з прямокутної міді розміром 1,56×5,1 мм.

Стартер-генератор ПСГ. На сучасних тепловозах для приводу допоміжних механізмів витрачається до 12–14 % номінальної потужності дизеля, тому вибору системи приводу надається велике значення. Електричний привід полегшує компонування агрегатів на тепловозі і автоматичне керування допоміжними механізмами.

Стартер-генератор застосовується на тепловозах з електропередачою змінно-постійного струму, використовується короткочасно в якості електродвигуна для пуску дизеля (з живленням від акумуляторної батареї) і постійно – як допоміжний генератора, що здійснює живлення кіл керування, освітлення та зарядки акумуляторних батарей. Стартер-генератор – це чотирьохполюсна електрична машина постійного струму з незалежним збудженням і самовентиляцією (рис. 7.5).

Особливостями конструкції стартер-генератора є наявність пускової обмотки на головних полюсах магнітної системи (для роботи в режимі електродвигуна при пуску дизеля). Режим роботи в якості генератора – тривалий. Стартер-генератор живить електродвигуни приводу компресорів, забезпечує зарядку акумуляторної батареї та інші допоміжні навантаження.

Електродвигуни приводу допоміжних агрегатів. Електродвигуни 2П2К і 2П2. Дані електродвигуни мають потужність 37 кВт і 25 кВт відповідно і частоту обертання 1450 об/хв. Вони призначені для приводу

компресора тепловозів 2ТЕ116, ТЕП70 і ТЕМ7 і живляться від стартер-генератора номінальною напругою постійного струму 110 В.

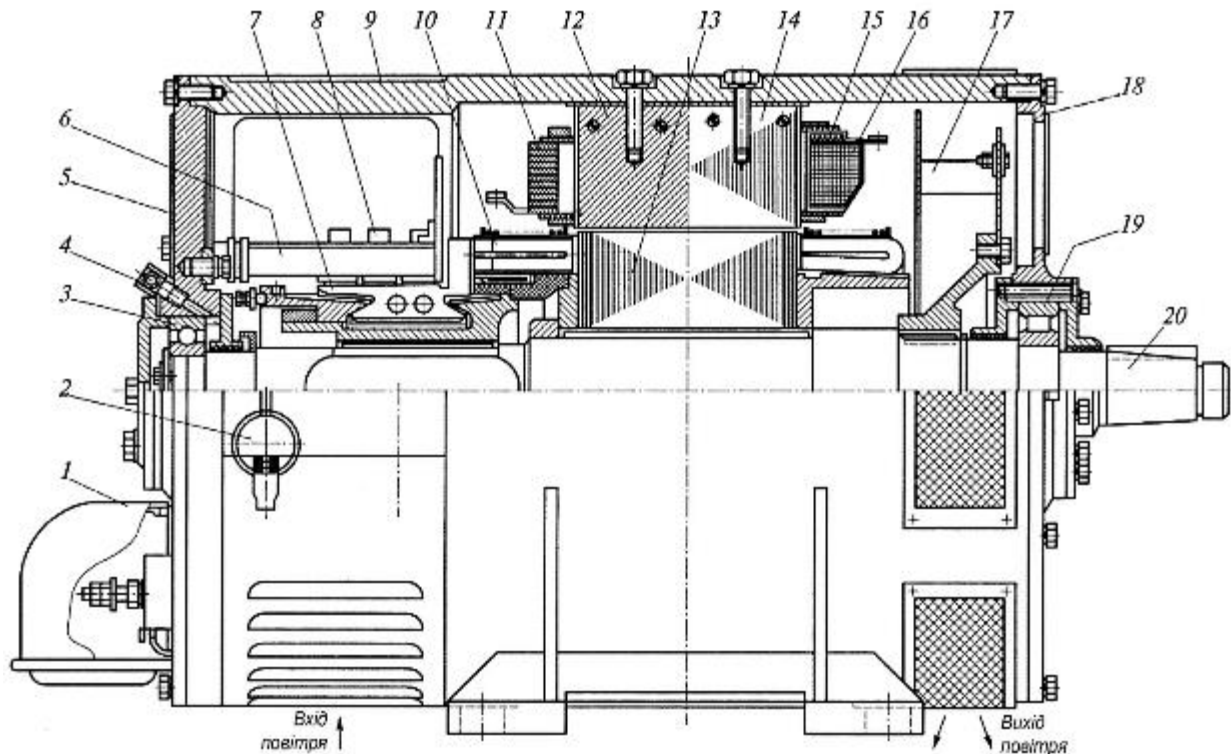


Рис. 7.5. Стартер-генератор ПСГ:

1 – коробка виводів обмоток; 2 – кільцевий замок; 3, 19 – підшипники; 4 – маслянка; 5, 18 – підшипникові щити; 6 – кронштейн; 7 – колектор; 8 – щіткотримач; 9 – станина; 10 – обмотка якоря; 11 – котушка додаткового полюса; 12 – осердя додаткового полюса; 13 – осердя якоря; 14 – осердя головного полюса; 15 – пускова обмотка; 16 – обмотка незалежного збудження; 17 – вентилятор; 20 – вал

Електродвигун 2П2К (рис. 7.6) являє собою чотирьохполюсну електричну машину постійного струму зі змішаним збудженням і конструктивно виконаний аналогічно стартер-генератору ПСГ.

Електродвигуни малої потужності серії П. Електродвигуни (рис. 7.7) призначені для приводу маслопрокачуючого П41 і паливопідкачуючого П21 насосів, вентилятора кузова і калорифера кабіни машиніста П11. Це самовентильюючі машини постійного струму захищеного виконання, обладнані перешкодоподавляючими фільтрами, що складаються з конденсаторів, розташованих під затискною дошкою. Електродвигуни типів П11 і П21 мають два головних і один додатковий полюс, а двигуни П41 – чотири головних і чотири додаткових полюса. Конструкція їх основних частин не відрізняється від вже описаних машин. На ряді тепловозів встановлюються електродвигуни серії ПНЖ.

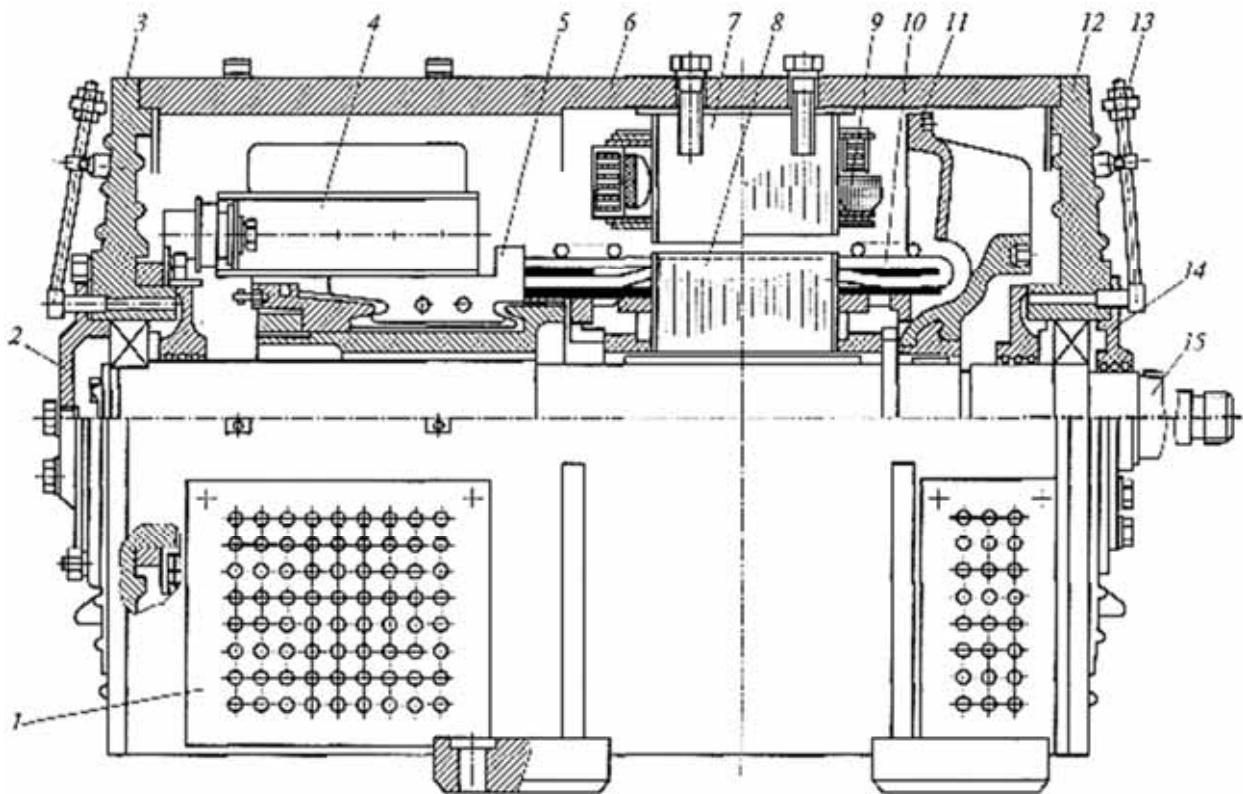


Рис. 7.6. Електродвигун 2П2К приводу компресора:

1 – вентиляційна решітка; 2, 14 – кришки підшипників; 2, 12 – підшипникові щити; 4 – щіткотримач; 5 – колектор; 6 – станина; 7 – осердя головного полюса; 8 – якір; 9 – обмотка збудження; 10 – обмотка якоря; 11 – вентилятор; 13 – трубка для змащення; 15 – вал

7.3. Допоміжні машини змінного струму

Умови роботи допоміжних електричних машин. Допоміжні електричні машини змінного струму, встановлювані на рухомому складі, мають спеціальне виконання.

Асинхронні трифазні допоміжні двигуни тепловозів повинні нормально працювати за таких умов:

- при відхиленні напруги живлення від номінального ($-25\dots+15\%$) і одночасної асиметрії напруги;
- при затяжних і повторних пусках при зниженій напрузі;
- при вібрації і поштовхах;
- за температури навколишнього повітря від -50 до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості повітря до 95% .

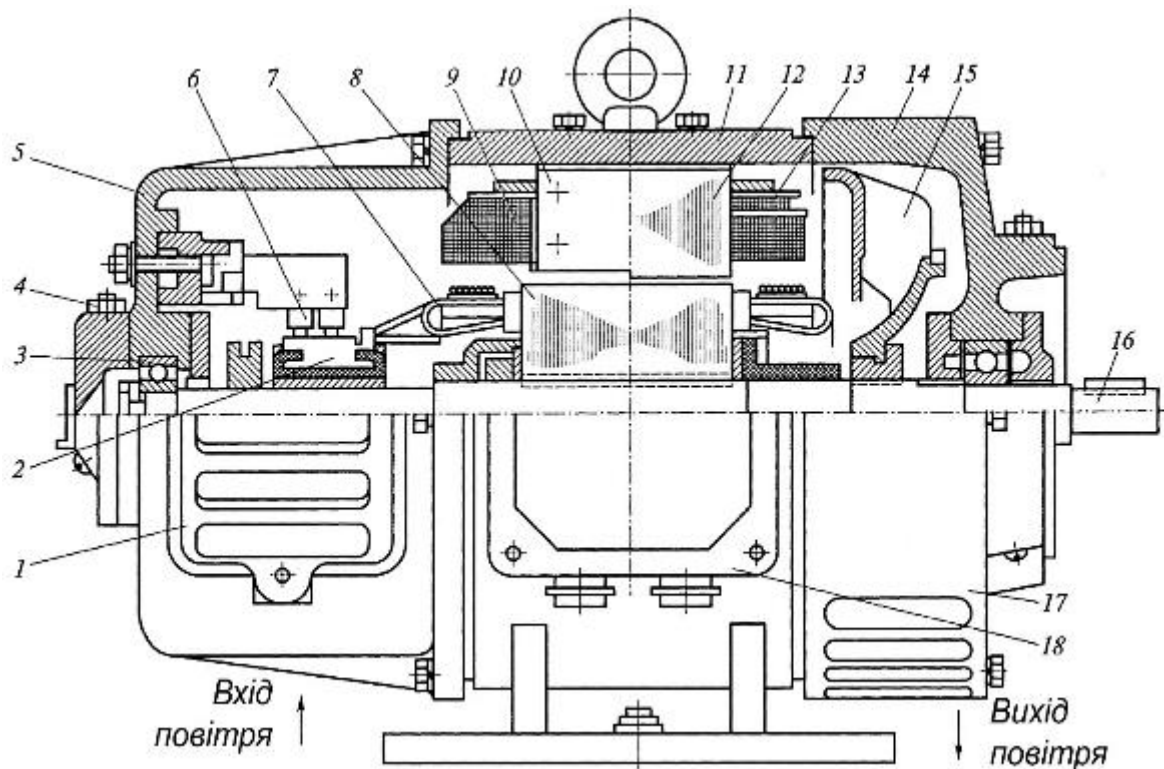


Рис. 7.7. Електродвигун серії П:

1, 17 – кришки люків; 2 – колектор; 3 – підшипник; 4 – прес-маслянка; 5, 14 – підшипникові щити; 6 – щіткотримач; 7 – обмотка якоря; 8 – осердя якоря; 9 – обмотка додаткового полюса; 10 – осердя додаткового полюса; 11 – станина; 12 – осердя головного полюса; 13 – обмотка головного полюса; 15 – вентилятор; 16 – вал; 18 – коробка виводів

З підвищенням напруги в асинхронному двигуні збільшується магнітний потік і реактивна потужність, у зв'язку з чим знижується коефіцієнт потужності, зростають втрати в сталі осердь і міді обмоток.

Одночасно знижується робочі струми в фазах. При зниженні напруги та незмінному навантаженні на валу збільшується активні складові струмів статора і ротора. Ковзання двигуна при зміні напруги живлення змінюється приблизно обернено пропорційно квадрату напруги. Величина напруги значно впливає на механічну характеристику двигуна. Обертаючий момент двигуна пропорційний квадрату прикладеної напруги, тому з зменшенням напруги знижується пусковий і максимальний моменти двигуна, а також стійкість його роботи.

Синхронний збудник ВС-650ВУ2. На тепловозах 2ТЕ116, ТЕП70 і ТЕМ7 для живлення обмоток збудження тягового генератора використовується синхронний генератор однофазної напруги (збудник) ВС-650ВУ2 (рис. 7.8). Ця електрична машина змінного струму, незалежного збудження, захищеного виконання. Збудник складається з станини 11, рото-

ра, підшипникових щитів 8 і 20, підшипників 4 і щіткотримачів 7. Поліус збудника складається з осердя, двох обмоток незалежного збудження та демпферної обмотки.

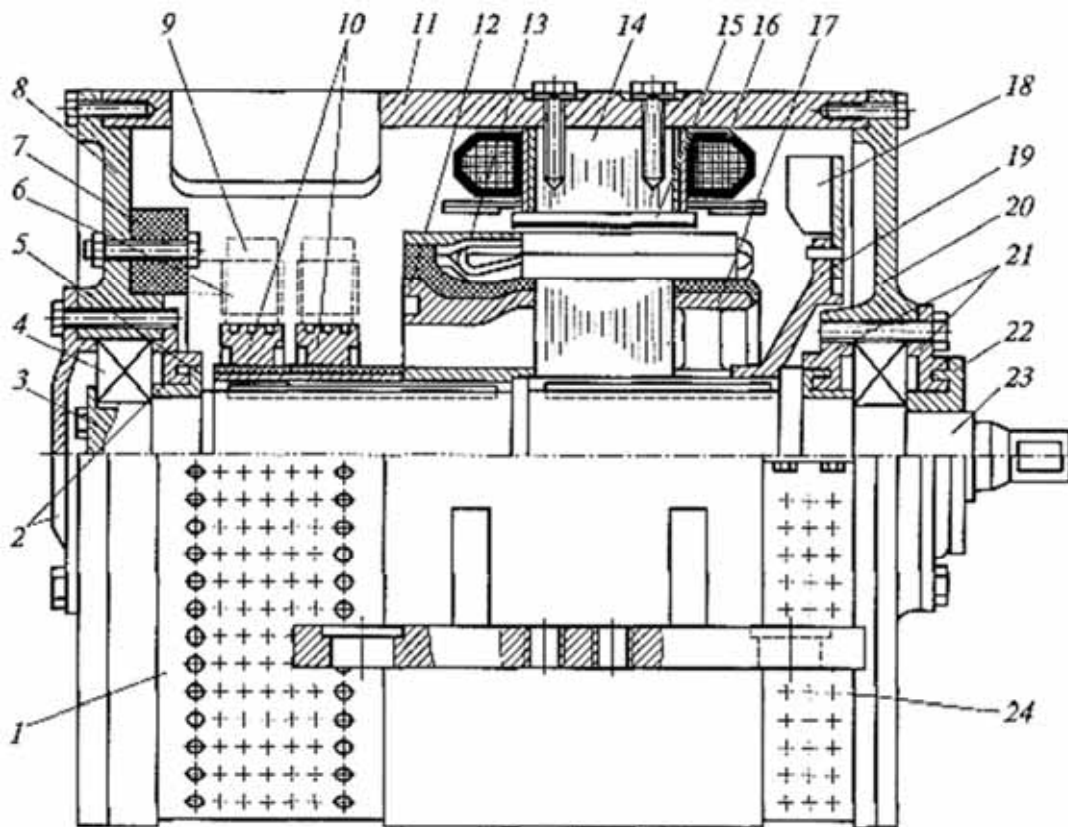


Рис. 7.8. Синхронний збудник ВС-650ВУ2:

1, 24 – вентиляційні решітки; 2, 21 – кільця ущільнювачів; 3 – натискна шайба; 4 – підшипник; 5, 22 – лабіринтові кільця; 6 – щіткотримач; 7 – ізолятор щіткотримача; 8, 20 – підшипникові щити; 9 – щітка; 10 – контактні кільця; 11 – станина; 12 – ротор; 13 – обмотка ротора; 14 – осердя полюса статора; 15 – черевик осердя полюса; 16 – обмотка статора; 17, 19 – втулки вентилятора; 18 – вентилятор; 23 – вал

Шість щіткотримачів (по три на кожне контактне кільце) закріплені за допомогою куточків зі спеціального сплаву на виконаній з ізоляційного матеріалу траверсі, з'єднаних між собою шинами. Ротор 12 збудника складається з вала 23, осердя, обмоткотримачів, контактних кілець 10, втулки 19 для кріплення вентилятора 18 і обмотки ротора 13, що складається з окремих котушок.

Система вентиляції включає в себе вентилятор, вентиляційні канали в роторі і магнітній системі (міжполюсний простір і зазори між полюсами і ротором), а також люки в станині, які захищені кришками з вентиляційними отворами в нижній частині.

Синхронний підбудник типу ВС-652. Для живлення робочих обмоток магнітних підсилювачів і трансформаторів в системі збудження збудника тягового генератора встановлений підбудник змінного струму (однофазна машина) з нерухоною обмоткою збудження, захищеного виконання з одним вільним кінцем валу.

В якорі для знімання напруги є два контактних кільця 5 (рис. 7.9). На кожному кільці встановлено по два щіткотримача 4, сполучених струмозбираючими шинами. Якір обертається на двох шарикопідшипниках 1, вбудованих в підшипникові щити 3.

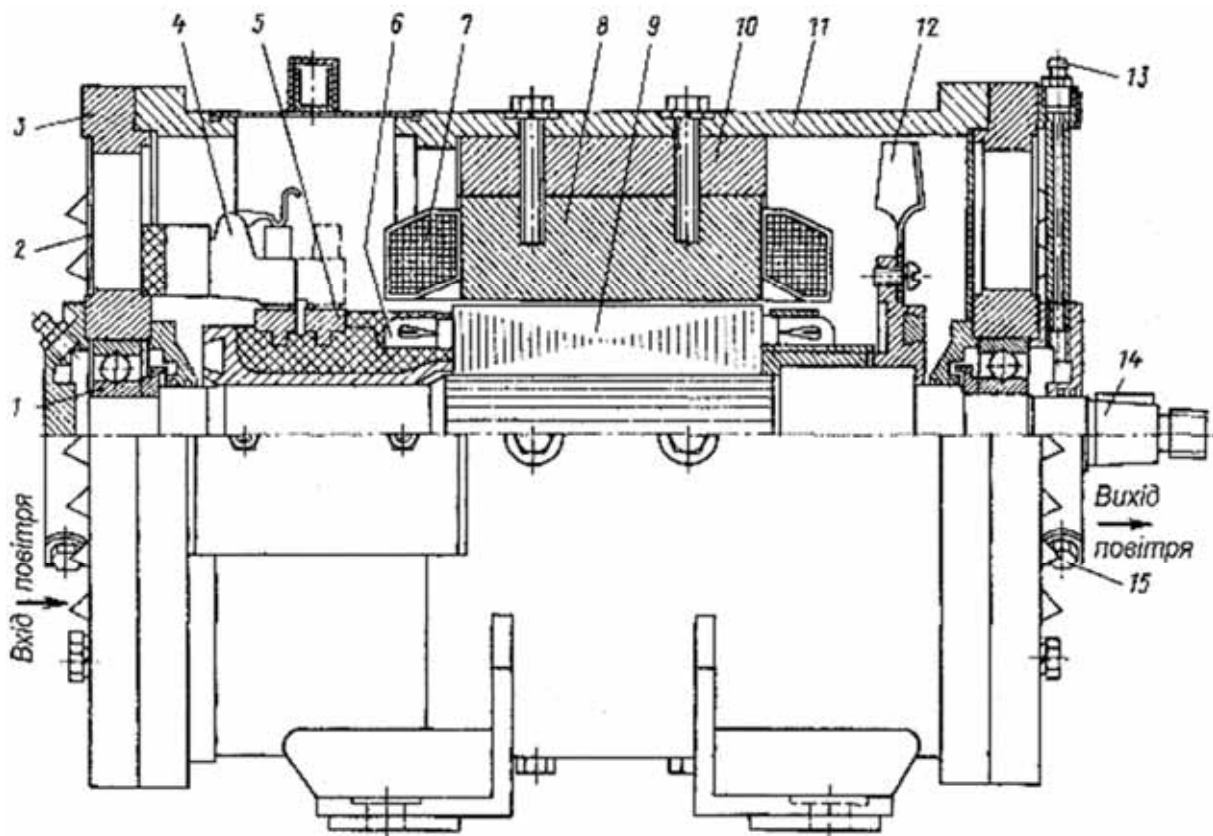


Рис. 7.9. Синхронний підбудник типу ВС-652:

1 – шарикопідшипник; 2 – жалюзні заслінки (щитки); 3 – підшипниковий щит; 4 – щіткотримач; 5 – контактні кільця; 6, 9 – обмотка та осердя якоря; 7, 8 – котушка незалежного збудження та осердя полюса; 10 – магнітопровід; 11 – корпус; 12 – вентилятор; 13 – маслянка; 14 – привідний кінець вала; 15 – пробка підшипника

Синхронний підбудник ВС-652 встановлюється на тепловозах серій ТЕ10, М62 і живить змінною напругою робочі кола магнітного підсилювача та трансформаторів в системі збудження збудника тягового генератора. Підбудник є однофазною чотириполюсною електричною машиною захищеного виконання з самовентиляцією. Його параметри: потужність

1,1 кВт, напруга 110В, струм 10 А, частота обертання 4000 хв⁻¹.

Електродвигуни приводу власних потреб. Для приводу допоміжних механізмів на тепловозах застосовуються різні типи електродвигунів змінного струму.

Електродвигун АМВ37-03. Електродвигун (рис. 7.10) вбудований у вентилятор і позначається як мотор-вентилятор МВ11. Він служить для охолодження води та мастила дизеля. Ротор з короткозамкненою обмоткою обертається навколо нерухомого статора з трифазною обмоткою. Такого типу двигуни прийнято називати зверненими (із зовнішнім ротором).

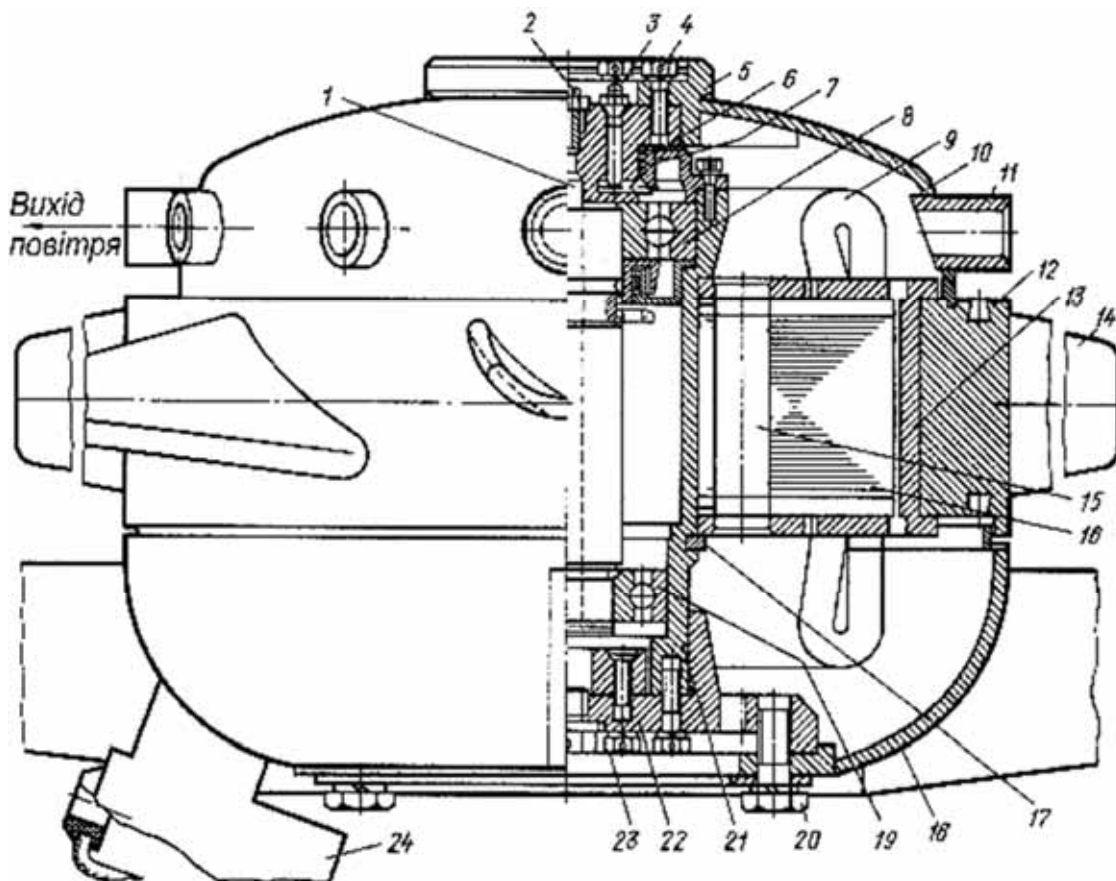


Рис. 7.10. Мотор-вентилятор МВ11, асинхронний електродвигун АМВ 37-03:
1 – вал; 2, 3 – прес-маслянки; 4, 20, 23 – болти; 5 – маточина; 6 – фланець; 7 – лабіринтові ущільнювачі; 8, 19 – підшипники; 9 – обмотка статора; 10, 18 – днища; 11 – сопла; 12 – осердя ротора; 13 – короткозамкнена обмотка ротора; 14 – лопаті; 15 – канали; 16 – осердя статора; 17 – кільце; 21 – остов статора; 22 – основа; 24 – коробка виводів

Ротор електродвигуна, що включає вал 1 з торцевим днищем і осердя (індуктор) 12 з короткозамкненою обмоткою 13 (білячою кліткою) з алюмінієвого сплаву, обертається навколо статора, прикріпленого болтами до основи.

До індуктора ротора, слугуючого корпусом електродвигуна, за зовнішнім периметром приварені лопатки 14 осьового вентилятора. Вал через фланець кріпиться болтами до маточини сферичного днища та обертається разом з ним в двох підшипниках. На остов насаджено осердя статора 16, в пазах якого по зовнішньому периметру розміщена обмотка 9. Кінці обмотки приєднані до коробки виводів 24.

Конструкція асинхронних електродвигунів. Електродвигун 4АЖ225. На тепловозі 2ТЕ116 для приводу вентиляторів охолодження тягового генератора, випрямної установки, тягових електродвигунів переднього та заднього візків використовується двигун 4АЖ225 (рис. 7.11).

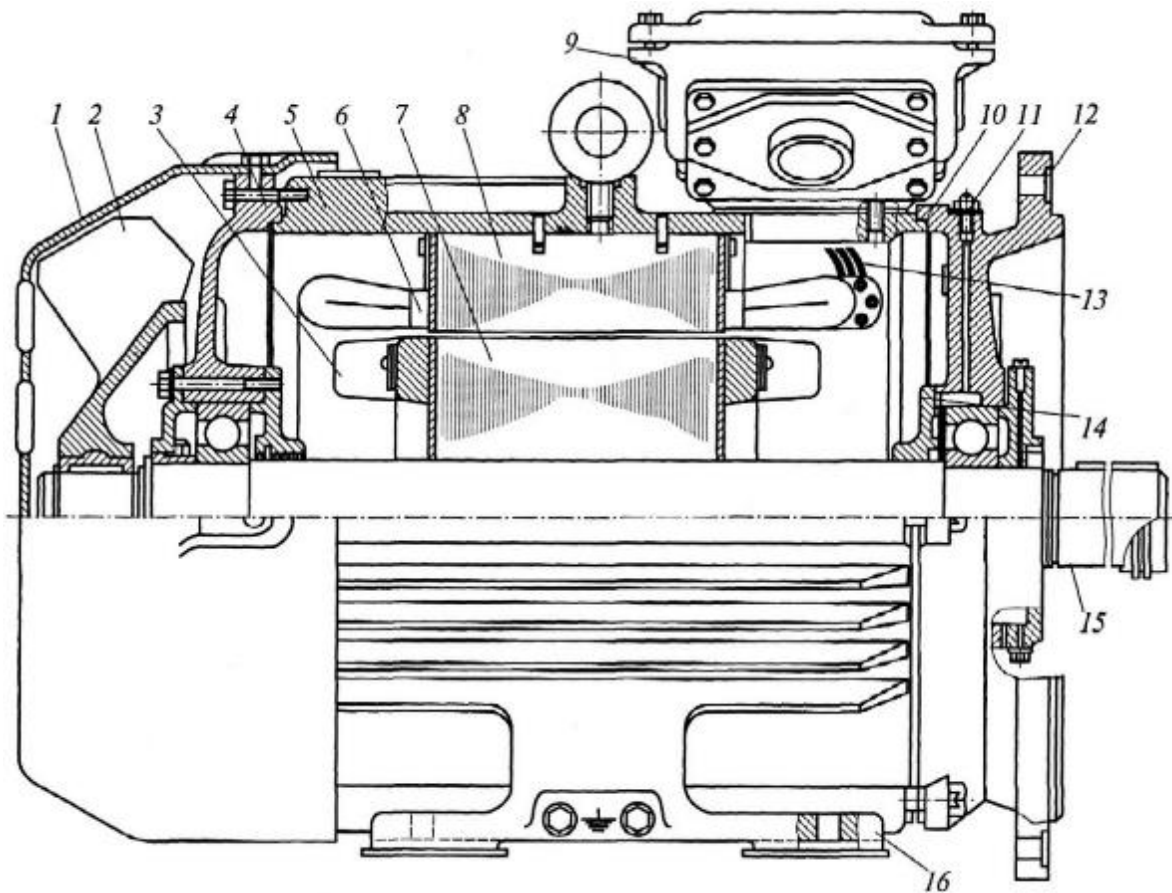


Рис. 7.11. Асинхронний електродвигун 4АЖ225:

1 – захисний кожух; 2 – вентилятор; 3 – обмотка ротора; 4, 10 – підшипникові щити; 5 – корпус; 6 – обмотка статора; 7 – осердя ротора; 8 – осердя статора; 9 – коробка виводів; 11 – маслянка; 12 – фланець; 13 – виводи обмотки статора; 14 – ущільнювач; 15 – вал; 16 – опора

Ця асинхронна машина з короткозамкненим ротором, закритого виконання випускається спеціально для роботи на тепловозах. Вона має литі чавунні корпус 5 з опорами 16 для установки та підшипникові щити 4 і 10. Статор двигуна 4АЖ225 виконаний аналогічно двигуну МВ-11.

Осердя 7 ротора набрана з штампованих листів електротехнічної сталі і має 56 пазів під обмотку. Пази ротора залиті алюмінієвим сплавом у вигляді «білячій клітини».

Запитання до самоконтролю

- 1. Різновиди допоміжні машини тепловозів.*
- 2. Основні параметри допоміжних електричних машин тепловозів.*
- 3. Призначення збудників та допоміжних генераторів.*
- 4. Устрій двомашинного агрегата А706Б.*
- 5. Устрій збудника МВТ25/9 та допоміжного генератора МВТ25/11.*
- 6. Призначення та устрій стартер-генератора ПСГ.*
- 7. Устрій електродвигунів привода компресора та маслопрокачуючого насоса.*
- 8. Особливості умов роботи допоміжних електричних машин.*
- 9. Устрій синхронного збудника ВС-650ВУ2.*
- 10. Устрій синхронного підзбудника типу ВС-652.*
- 11. Устрій електродвигунів приводу власних потреб.*

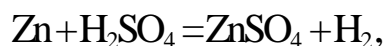
АКУМУЛЯТОРНІ БАТАРЕЇ ТЕПЛОВОЗІВ

8.1. Хімічні джерела електричної енергії

Загальні поняття. Хімічними джерелами електричної енергії називають пристрої, в яких енергія хімічних процесів перетворюється безпосередньо в електричну енергію.

До хімічних джерел електричної енергії відносять гальванічні елементи та акумулятори. В основі роботи всіх хімічних джерел струму є окислювально-відновні процеси, в яких відбувається зміна валентності елементів. Окислення відбувається при віддачі електронів атомами або іонами одного з елементів, а відновлення – при одержанні електронів.

Наприклад, при взаємодії атома цинку з сірчаною кислотою одержують сульфат цинку і водень



де атом цинку віддав два електрони (окислення), а іон водню одержав електрон (відновлення).

Процеси окислення і відновлення в цьому випадку просторово не розділені, тому вся хімічна енергія процесу перетворюється в теплову енергію, нагріваючи реагуючу суміш. Для перетворення хімічної енергії процесу в електричну необхідно просторово розділити обидва процеси, тобто створити пристрій, в якому окислення цинку проходило б на поверхні цинку, а водень виділявся окремо від цинку. Це було зроблено в 1799 р. італійським фізиком Вольтом, який вперше створив найпростіший гальванічний елемент.

Акумулятори відносяться до хімічних джерел електричної енергії, де хімічні реакції оборотні, тобто хімічні речовини після їх спрацювання, можна відновлювати шляхом робочих циклів заряд-розряд. Акумулятори здатні віддавати електричну енергію лише після їх зарядження. Без попередньої зарядки акумулятори не є джерелом електричної енергії. Вони

здатні акумулювати електричну енергію після пропускання через них електричного струму від стороннього джерела постійного струму і віддавати цю енергію споживачам при необхідності.

В наш час широке застосування мають лужні (кадмієво-нікелеві, залізо-нікелеві, срібно-цинкові) і кислотні (свинцеві) акумулятори.

В розчині електроліту виникає розпад молекул на заряджені частини – іони. Цей процес називають *електролітичною дисоціацією*. На границі електрод-розчин виникає різниця потенціалів, яку називають *електродним потенціалом*.

Електрорушійна сила хімічних джерел струму є різниця потенціалів позитивного і негативного електродів:

$$E = \varphi_{(+)} - \varphi_{(-)},$$

де E – е.р.с., В;

$\varphi_{(+)}$ – потенціал позитивного електрода;

$\varphi_{(-)}$ – потенціал негативного електрода.

Гальванічні батареї складаються з декількох елементів, відповідно з'єднаних між собою.

Для одержання напруги, більшої за напругу одного елемента, відповідну кількість елементів з'єднують послідовно, тобто, позитивний електрод попереднього елемента з'єднують з негативним електродом наступного елемента і т.д. Загальна е.р.с. в цьому випадку дорівнює сумі е.р.с. окремих елементів

$$E_{\text{заг}} = E_1 + E_2 + \dots + E_n .$$

Якщо за умовою роботи кола необхідно одержати великі розрядні струми при відносно малій напрузі, необхідну кількість елементів з'єднують паралельно, тобто всі полюси однакових полярностей з'єднують між собою. В цьому випадку е.р.с. всієї батареї дорівнює е.р.с. одного з елементів, а ємність її збільшується в n раз, де n – кількість елементів в батареї.

Хімічні джерела струму мають свої *електричні* та *експлуатаційні характеристики*. До електричних характеристик відносяться електрорушійна сила, напруга, ємність, внутрішній опір, віддача по ємності та енергії, саморозряд тощо. До експлуатаційних – термін служби, термін зберігання, здатність працювати в різних температурних умовах.

Внутрішній опір r елементів визначається омичним опором електро-

дів та електроліта, а також опором поляризації, що виникає при зміні електродних потенціалів.

З рівняння електричної рівноваги $U = E - I \cdot r$ можна знайти внутрішній опір елемента, включаючи явище поляризації

$$r = \frac{E - U}{I}.$$

Внутрішній опір гальванічних елементів в процесі зберігання та експлуатації весь час зростає. У сучасних гальванічних елементів з великою ємністю внутрішній опір лежить в межах десятих часток Ома, а у малих – десятки Ом.

Ємність, або заряд хімічних джерел струму, характеризує кількість електричної енергії, яку може віддати елемент до кінцевої напруги. Ємність виражається як добуток середнього значення струму навантаження на час і вимірюється в ампергодинах $Q = I_{\text{ср}} \cdot t$, А·год.

Віддачою хімічного джерела струму називається відношення енергії, витраченої джерелом, до енергії активних мас його електродів.

Саморозряд – це втрата елементом ємності в процесі зберігання. Виникає він внаслідок взаємодії активних мас з електролітом.

Термін зберігання елементів подається на кожному елементі і означає час, протягом якого елемент витрачає біля 30 % початкової ємності.

Лужні та кислотні акумулятори. **Акумулятором** називається вторинне хімічне джерело, яке здатне накопичувати (акумуляувати) електричну енергію і в міру потреби віддавати її споживачам. Накопичування електричної енергії в акумуляторі відбувається при пропусканні через нього електричного струму від стороннього джерела. Цей процес називають **зарядкою** акумулятора, при якій відбувається перетворення електричної енергії в хімічну, внаслідок чого акумулятор стає джерелом електричної енергії.

При розрядці акумулятора на будь-який споживач електричної енергії відбувається зворотне перетворення хімічної енергії в електричну.

В залежності від роду електроліта акумулятори поділяють на **лужні** і **кислотні** (рис. 8.2)

Акумуляторні батареї призначені для живлення струмом тягового генератора при пуску дизеля та живлення кіл управління, допоміжним машинам та освітлення при непрацюючому дизелі. Конструкція та ємність акумуляторів визначаються пусковим режимом – короткочасним розрядом, при якому струми досягають до 2500 А. При цьому напруга батареї

повинна забезпечувати необхідну для пуску частоту обертання дизеля при прокручуванні.

Основні технічні характеристики акумуляторних батарей наведені в табл. 8.1.

Таблиця 8.1

Основні технічні характеристики акумуляторних батарей

Тип батареї	Номінальна ємність, А·год	Номінальна напруга, В	Тренувальний розряд		Голчковий розряд (пуск дизеля)		Маса акумулятор (з електролітом), кг	Напруга джерела, В	Початковий струм заряду, А	Серія тепловоза
			Тривалість та струм, год/А	Кінцева напруга, В (не менше)	Струм, А	Напруга, В (не менше)				
32ТН-450	450	64	10/45	57,6	1700	32	38	75	40–50	ТЕМ2, 2М62
48ТН-450	450	96	10/45	86,6	1700	48	38	110	40–50	2ТЕ116
48ТН-350	350	96	10/35	86,6	1800	48	30	110	40–50	2ТЕ121, ТЕП70
46ТПНЖ-550	550	57,5	5/110	46	2200	25	45	75	150	серії 2ТЕ10Л(В,М)

Промисловістю випускаються кислотні акумуляторні батареї 48ТН-350 і лужні нікель-залізні 68ТПНЖК-250, 48ТНЖТ-400, нікель-кадмієві 72ТПНК-250-02 та ін.

На тепловозах застосовуються кислотні (свинцеві) і лужні акумуляторні батареї. Основними типами батарей для тепловозів є кислотні акумуляторні батареї 32ТН-450, 32ТН-550 або 48ТН-450, що складаються в залежності від напруги допоміжних кіл тепловоза з 32 ($U_{Вг} = 75$ В) або 48 ($U_{Вг} = 110$ В) елементів (акумуляторів) з номінальною ємністю 450 або 550 А·год. Номінальна ємність може бути отримана при розряді акумуляторів 10-годинним струмом, значення якого визначається діленням номінальної (паспортної) ємності на 10. Всі акумулятори з'єднані послідовно (див. рис.8.1). Контактні виводи і між елементні з'єднання виготовлені із міді та латуні. Для недопускання корозії їх покривають свинцем.

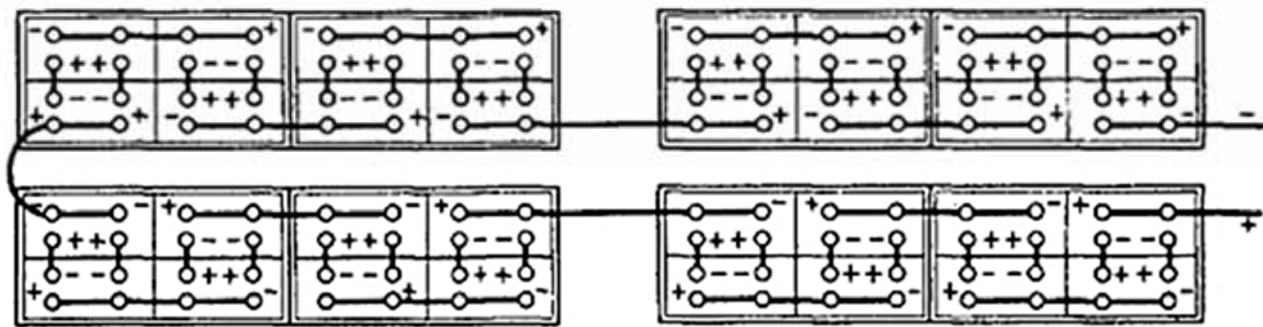


Рис. 8.1. Схема з'єднання елементів теплової акумуляторної батареї 32ТН-450

8.2. Кислотні акумуляторні батареї

Конструкція та принцип дії. На тепловозах використовують кислотні (свинцеві) і лужні (нікель-залізні і нікель-кадмієві) акумулятори, які відрізняються один від одного матеріалом пластин і складом електроліту (див. рис. 8.2). В більшості випадків це є кислотні 32ТН-450, 48ТН-450, 48ТН-450У2 і лужні 46ТПНЖ-550, 72ТПНК-250-02У2 батареї. В умовному позначенні: 32, 46, 48 – кількість послідовно з'єднаних елементів; букви ТП означають призначення – Тепловозна (Пускова); Н – тип позитивних пластин – намазні; числа 450, 550 – ємність батареї в ампер-годинах; НЖ – нікель-залізні, НК – нікель-кадмієві; К, Т – конструкція електродів – комбінована, таблеточна; У – для помірного клімату; 2 – категорія розміщення – у кузові, у металевій шафі.

Три або чотири елемента кислотної батареї складають секцію і монтується в дерев'яному ящику. Це створює гарне транспортування і предохраниє бак акумулятору від пошкоджень. Зовнішня і внутрішня поверхня ящика покриті чорним кислото-упорним лаком.

Найпростіший **кислотний акумулятор** (рис. 8.2, а) являє собою ємність з водним розчином сірчаної кислоти (електролітом), в який занурено два електрода (свинцеві пластини). В кислотних акумуляторах активною масою позитивних пластин служить двоокис свинцю (PbO_2) темно-коричневого кольору, а негативних – губчастий (чистий) свинець (Pb) сірого кольору. При розрядці струм всередині елемента протікає від негативної пластини до позитивної, активна маса переходить в сірчано-кислий свинець ($PbSO_4$), на що розходжується сірчана кислота, замість якої утворюється вода, плотність електроліту знижується.

Під час зарядження струм від зовнішнього джерела підводиться до

позитивної пластини і проходить по електроліту до негативної пластини. Сірчаноокислий свинець на негативній пластині відновлюється в губчастий свинець, а на позитивній пластині перетворюється в двоокис свинцю. При цьому утворюється сірчана кислота, а так як на її утворення розходжується вода, то щільність електроліту підвищується.

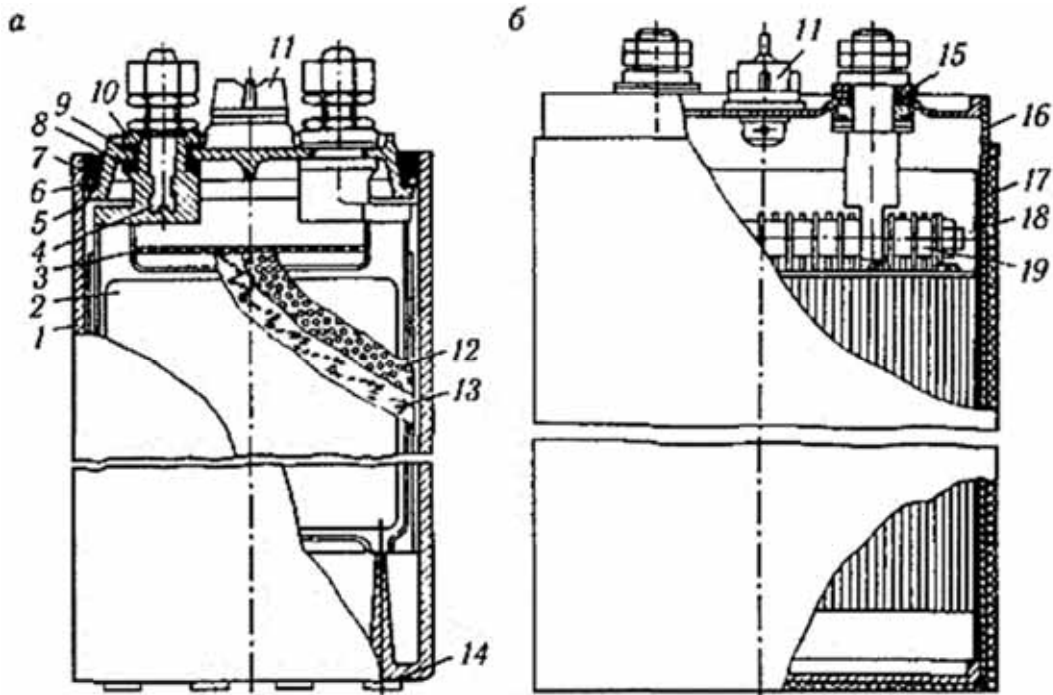


Рис. 8.2. Тепловозні акумулятори:

а) кислотний; б) лужний; 1 – бак; 2 – пластини; 3 – щиток; 4 – контакт; 5 – кришка; 6 – азбестовий шнур; 7 – мастика; 8, 9 – гумові шайби; 10 – конусне кільце; 11 – пробка; 12, 13 – сепаратори; 14 – гумові амортизаційні смуги; 15 – кільце ізоляційне; 16 – судина металева; 17 – чохол гумовий; 18 – електроліт; 19 – блок пластин

Струмом в електроліті акумуляторної батареї є потік позитивних та негативних іонів. Акумулятор після заряду приходиться в той же стан, в якому знаходився до розряду.

Елемент тепловозної кислотної акумуляторної батареї (див. рис. 8.2, а) складає з ебонітового бака 1 і двох полублоків позитивних і негативних пластин 2, що розділений сепараторами 12 і 13. На дні бака є чотири виступи, на яких опираються ніжки пластин, а знизу – чотири резинових амортизуючи полоси 14.

В кришці 5 елемента п'ять отворів, чотири з яких призначені для контактних виводів (борнів) і одне – для заливання електроліту. Цей отвір закритий пробкою 11 особливої конструкції з вертикальним і горизонтальними каналами і відражаючим щитком. По каналам виходять зовні

гази, що утворюються в елементі при роботі, а щиток 3 не допускає вибуху електродів. До полублоків припаяні контакти, що складаються із мідного штиря і свинцево-сурмянистої наплавки. Контакти ущільнені в кришці резиновими кільцевими прокладками. Зазори між кришкою і баком заливають кислотійкою мастикою. В кожному елементі 19 позитивних і 20 негативних пластин за ємності батареї 450 А·год. Пластини виготовлені в вигляді решіток, відлитих із свинцево-сурмянистого сплаву (95 % свинцю та 5 % сурми) і заповнені (методом намазування) активною масою.

Один із сепараторів, що розділяє різнойменні пластини, виготовлений із листового пористого міпласта, інший – із скловолосна. В кислотній батареї тепловоза електролітом служить розчин акумуляторної сірчаної кислоти H_2SO_4 в дистильованій воді. Щільність електроліту для південних районів повинна бути 1,24 – 1,25 г/см³, в інших – 1,24 – 1,25 г/см³ в літній час і 1,26 – 1,27 г/см³ в зимовий.

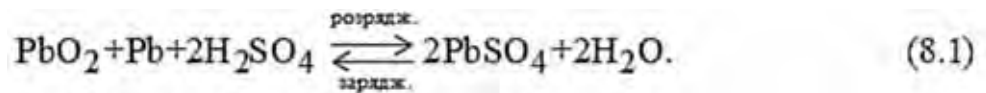
Акумулятор, як і кожне інше джерело електричної енергії, має внутрішній опір $R_{вн}$, саме тому напруга U , підведена до акумулятора при заряді, більше е.р.с. акумулятора E : $U = E + IR_{вн}$.

При розряді напруга на затискачах акумулятора менше його е.р.с. на значення внутрішнього падіння напруги $U = E - IR_{вн}$.

Під час зарядження напруга акумулятора змінюється. На початку напруга елементу майже не змінюється, а до кінця зарядження (приблизно через 3,5 год) піднімається до 2,6–2,7 В, при цьому біля пластин інтенсивно виділяються гази (електроліт кипить). Після відключення акумулятора від джерела струму напруга елементу швидко знижується до 2,1–2,2 В. Під час розрядження напруга акумулятора швидко падає до 2 В, а потім повільно зменшується до 1,8 В. Якщо продовжувати розрядження далі, то напруга почне різко падати. Для уникнення пошкодження акумулятора, при нарузі 1,7 В розрядження зупиняють.

Напруга та е.р.с. кислотного акумуляторного елементу незалежно від розмірів акумулятора при нормальній щільності електроліту і середній температурі складають 2–2,1 В; зі збільшенням щільності електроліту е.р.с. елементу збільшується. Якщо зовнішнє коло розімкнуте, то е.р.с. і напруга акумулятора рівні між собою.

Під час роботи акумулятора на його електродах відбувається окислювально-відновні реакції. Таким чином, хімічні процеси, що виникають під час зарядження і розрядження оборотні і їх можна виразити таким рівнянням:



Графіки зміни напруги під час розряджання та заряджання кислотного (свинцевого) акумулятора зображено на рис. 8.3.

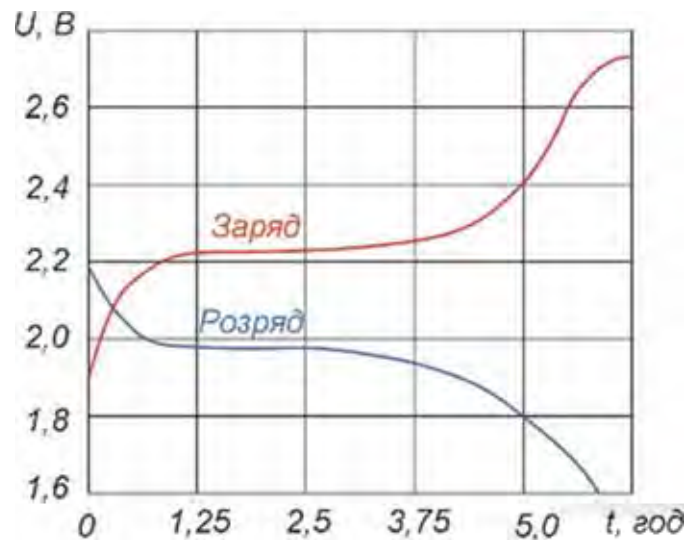


Рис. 8.3. Графіки зміни напруги кислотного акумулятора при заряді та розряді

При розряді акумулятора (рис. 8.4) на пластинах обох полярностей утворюється сульфат свинцю (PbSO_4), і щільність електроліту при цьому знижується. Сульфатація відбувається також при систематичному недозаряду батареї, занадто глибокому розряді, застосуванні електроліту з підвищеною щільністю, роботі батареї при високій температурі електроліту, забрудненні його і тривалому зберіганні акумуляторів без підзаряду.

Після заряду частина сульфату залишається, що може викликати несправності акумуляторів: зниження корисної ємності і напруги при розряді; внутрішні замикання пластин і їх прискорений саморозряд.

8.3. Лужні акумуляторні батареї

Лужні акумулятори (див. рис. 8.2, б) використовуються двох типів: нікель-залізни та нікель-кадмієві.

Активна маса позитивних пластин в цих акумуляторах складається з окислу нікеля, змішаного для збільшення електропровідності з графітом. Ця маса розміщена в тонкі залізни оболонки з мілкою перфорацією.

Негативні пластини виготовлені із губчастого заліза (нікель-залізні акумулятори) або з губчастого кадмію з додаванням губчастого заліза.

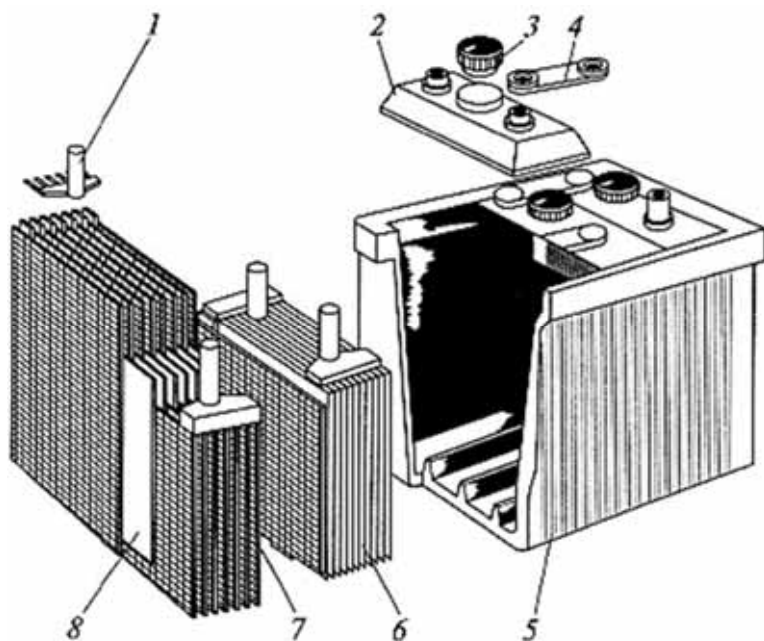


Рис. 8.4. Конструкція кислотного акумулятора:
1 – борн (вивід); 2 – кришка;
3 – пробка; 4 – перемичка; 5 – ебонітовий корпус; 6 – блок негативних пластин; 7 – блок позитивних пластин; 8 – сепаратор

В якості електроліту використовують розчин їдкого калію в дистильованій воді. При розряді акумулятора окисли нікелю в позитивних пластинах переходять в гідрат окислу заліза. Особливістю лужних акумуляторів є те, що концентрація їдкого калію при розряді залишається незмінною. Саме тому напруга лужних акумуляторів майже не залежить від щільності електроліту і визначається ступенем окислення активної маси. Під час заряду відбувається зворотній процес – на позитивних пластинах утворюються окисли нікелю, а на негативних відновлюється губчасте залізо.

Повністю заряджений акумулятор має е. р. с. рівну приблизно 1,45 В. Про закінчення заряду лужного акумулятора судять по напрузі. Після того, як напруга під навантаженням досягає 1,83 В, заряд продовжують ще протягом 30–40 хв, а потім припиняють. Тривалість заряду досягає 6–7 г. В началі розряду напруга досить швидко падає до 1,3 В, потім повільно знижується до 1,1 В; при такій напрузі розряд потрібно зупинити, бо напруга почне різко падати.

Елемент тепловозної лужної акумуляторної батареї має два публока позитивних і два від'ємних пластин, які розміщені в сталевому баку 1 і ізолювані від нього вініпластовою плівкою (див. рис. 8.2, б).

Пластини 2 мають коробчасту форму та виготовляються із сталевій перфорованій стрічки. Пластини різної полярності ізолювані перфорованими сепараторами із вініпласту або резиновими шнурами. Публоки

збираються із пластин однакової полярності за допомогою шпильки (або зварки) і мають по одному виводу 4. Виводи від кришки баку ізольовані пластмасовими кільцями, втулками і ущільнені резиновими кільцями 10, що не допускають витoku електроліту. Для заливки електроліту в кришці є горловина, закрита пластмасовою пробкою 11, в якій є канал для виходу газів. Бак покритий лужностійким лакофарбовим матеріалом і захищений ізоляційним резиновим чохлам 17.

Електролітом лужної батареї служить 20 % водний розчин їдкого калію КОН (щільність 1,19...1,21 г/см³) в дистильованій воді з додаванням 20 г/л моногідрату їдкого літію, що збільшує строк експлуатації батареї, особливо при підвищених температурах. За низьких температурах (нижче – 15 °С) потрібно використовувати розчин чистого їдкого калію з щільністю 1,24–1,27 г/см³; це запобігає електроліт від замерзання. Електроліт приготують в сталевій зварній посудині. Забороняється користуватись посудинами – оцинкованою, лужною, мідною, свинцевою і керамічною.

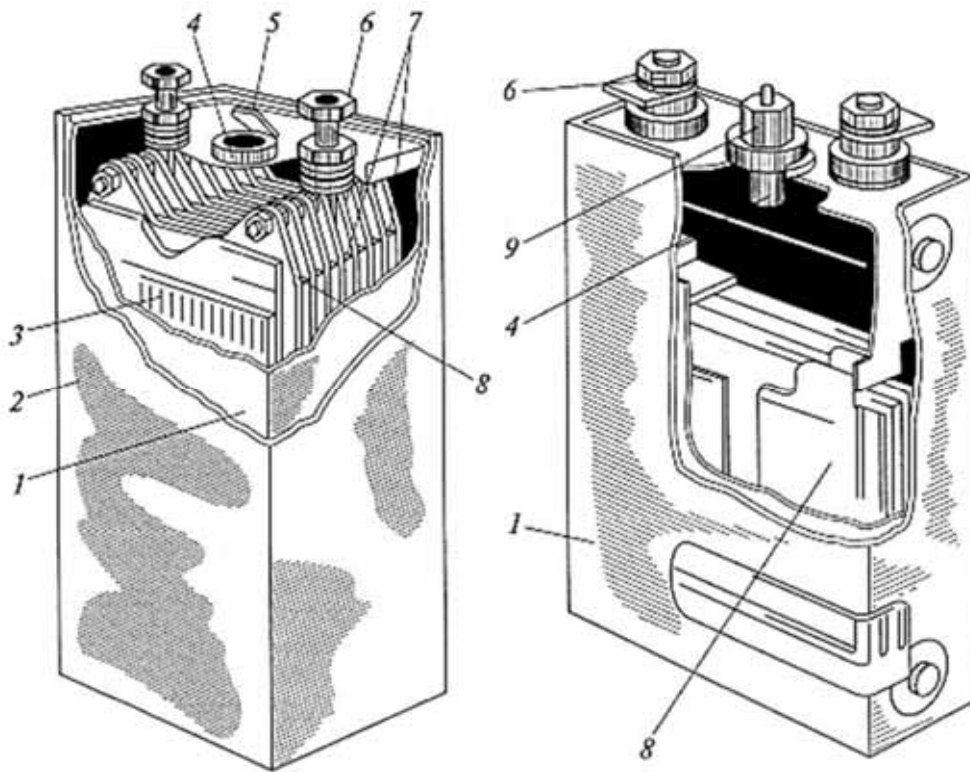


Рис. 8.5. Варіанти виконання лужного акумулятора:

1 – банка; 2 – ізоляція банки; 3 – блок пластин; 4 – клапан; 5 – кришка клапана; 6 – борн; 7 – сепаратори; 8 – сталеві ребра; 9 – пробка

Лужні акумулятори мають ряд переваг перед кислотними: збільшений

строк експлуатації (5–7 років замість 2–3), використання для виготовлення менш дефіцитних матеріалів, вони повільніше, ніж свинцеві, саморозряджаються (при цьому не руйнуються пластини), відсутність «сульфатації», яка згубно діє на кислотні акумулятори, мають більшу механічну міцність і невелику чутливість до перезаряду чи недозаряду, а також до великих розрядних струмів, потребують простішого обслуговування і ремонту.

Електроліт лужних акумуляторів в реакції не бере участь, і щільність його під час роботи батареї не змінюється. Це дещо ускладнює контроль за станом батареї в експлуатації. Недоліком лужних акумуляторів можна вважати велику масу і погану роботу при зниженні температури електроліту до 0 °С.

Робота обох типів акумуляторів заснована на окислювально-відновних реакціях при розряді і заряді.

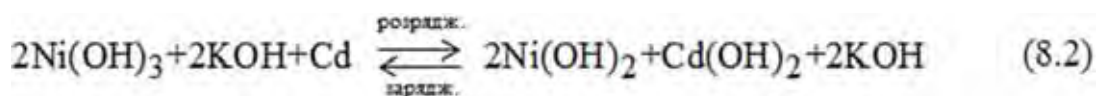
Розглянемо електрохімічні процеси, що відбуваються на електродах кадмій-нікелевого акумулятора.

При розрядці на позитивному електроді гідроксид нікеля $\text{Ni}(\text{OH})_2$, а на негативному електроді кадмій переходить в гідроксид кадмію $\text{Cd}(\text{OH})_2$.

Електрони, що утворюються в процесі реакцій, переходять по зовнішньому колу через споживачі електричної енергії, виконуючи певну роботу.

При зарядці акумулятора під дією електричної енергії, що надходить від зовнішнього джерела струму, відбувається окислення активної маси позитивних пластин, що супроводжується переходом гідроксиду нікеля $\text{Ni}(\text{OH})_2$ в гідроксид нікеля $\text{Ni}(\text{OH})_3$. В цей час активна маса негативних пластин відновлюється з утворенням губчастого кадмію Cd .

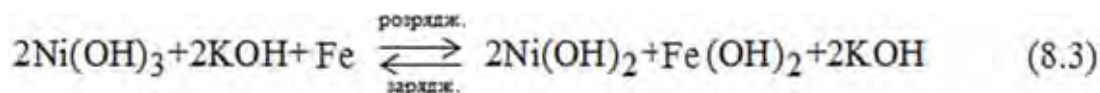
Результуюче хімічне рівняння розряд-заряд кадмій-нікелевого акумулятора можна виразити:



Електроліт в процесі хімічних реакцій не витрачається, тому його густина не змінюється. Він забезпечує рух іонів.

Всі хімічні процеси, що виникають у залізо-нікелевому акумуляторі, аналогічні, лише замість кадмію Cd в рівняння входить залізо Fe .

Окислювально-відновна реакція залізо-нікелевого акумулятора під час заряджання і розряджання виглядає так:



Повністю заряджений акумулятор має е.р.с. біля 1,5 В. Напруга акумулятора значно нижча ніж е.р.с. внаслідок великого внутрішнього опору.

В процесі зарядки та розрядки акумулятора його напруга змінюється. При розрядці напруга спочатку швидко спадає до 1,3 В, а потім повільно до 1 В, в цей момент розрядку слід припинити. При зарядці напруга спочатку швидко піднімається до 1,7 В і далі повільно піднімається до 1,8 В.

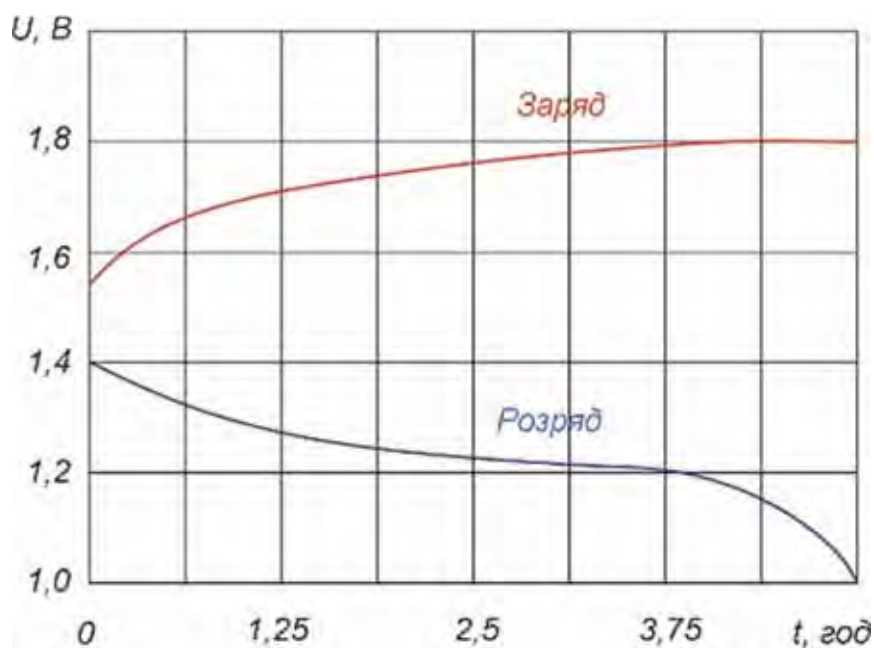


Рис. 8.6. Графіки зміни напруги лужного акумулятора при заряді і розряді

Необхідність збереження достатньої для запуску дизеля напруги в будь-яких умовах експлуатації і при великих розрядних струмах призводить до збільшення розмірів і кількості пластин в акумуляторі. Одночасно з збільшенням робочої поверхні пластин зростає номінальна ємність, так як збільшується кількість активних матеріалів. Існує кілька методів розрахунку ємності і зовнішніх характеристик тепловозних акумуляторів, рівноцінних за своєю точністю та практичного застосування. Аналіз всіх існуючих методів розрахунку показує, що найбільш правильним є визначення потужних характеристик акумуляторів. Для оцінки пускових властивостей батареї необхідно визначити, як змінюється її пускова потужність від ряду факторів.

Аналіз процесу пуску дизеля показує, що піковий струм значно

перевершує необхідний для створення «моменту відриву» вала дизеля. Існує кілька способів зменшення пікового струму. Найбільшого поширення набуло паралельне включення акумуляторних батарей двох секцій тепловоза. При такій схемі пуску піковий струм акумуляторів скорочується в два рази (рис. 8.7).

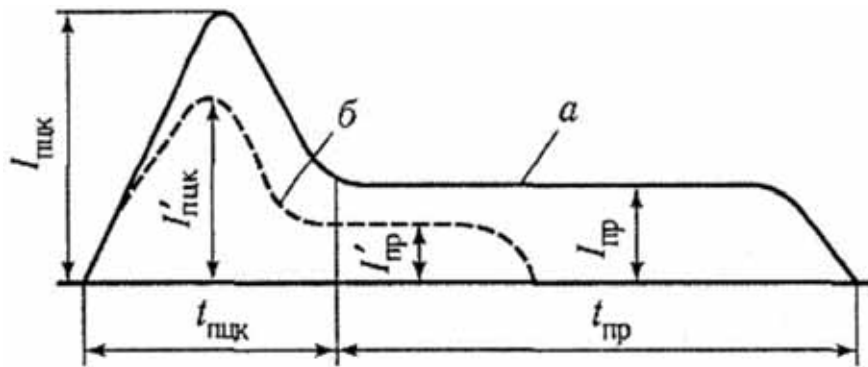


Рис. 8.7. Зміна струму акумуляторної батареї при пуску дизеля:
a – пуск без прискорювача з однією батареєю; *б* – пуск з прискорювачем двома батареями, з'єднаними паралельно

Запитання до самоконтролю

1. Процеси, що відбуваються у хімічних джерелах електричної енергії.
2. Характеристики та параметри хімічних джерел електричної енергії.
3. Типи акумуляторних батарей, їх недоліки та переваги.
4. Устрій та принцип дії кислотної акумуляторної батареї.
5. Реакції, що відбуваються під час роботи кислотної акумуляторної батареї.
6. Устрій та принцип дії лужної акумуляторної батареї.
7. Реакції, що відбуваються під час роботи лужної акумуляторної батареї.

ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ

9.1. Електричні контакти

Класифікація апаратів. Електричні апарати тепловозів в залежності від їх призначення можна поділити на такі групи: комутаційні апарати, реле, регулятори, магнітні й напівпровідникові пристрої, контрольно-вимірювальні прилади, допоміжне електрообладнання.

Комутаційні апарати – контактори, реверсори, контролери, роз'єднувачі та ін. Призначені для перемикачів в певній послідовності електричних кіл тягових електродвигунів, генераторів, допоміжних машин, пристроїв управління і регулювання.

Проміжні або спеціальні реле управління, переходу, буксування, заземлення, часу, температури, тиску служать для замикання і розмикання електричних кіл, автоматичного включення і відключення схем в залежності від заданих умов, зміни розрахункових параметрів або зовнішніх впливів.

Регулятори напруги, потужності призначені для автоматичної зміни режимів роботи електричного обладнання або підтримки в заданих межах регульованих величин.

У середині кожної групи можна виділити підгрупи за родом струму та напруги, типу приводу, виду контактів і пристрою дугогасіння. Конструктивне виконання тягових апаратів багато в чому визначається особливостями їх розміщення і умовами роботи на тепловозах. Це обмежені габарити для встановлення апаратів у високовольтних камерах і кабінах управління, відносно висока частота включення, вплив вібрацій і ударів при русі і маневровій роботі, широкий діапазон зміни навколишньої температури (від -50 до $+70$ °С) і вологості повітря, значне відхилення живлячої напруги. На умови роботи тепловозних електричних апаратів значний вплив мають вібрації дизеля, забруднення навколишнього повітря парами масел та палива.

На сучасних тепловозах широко використовуються магнітні підсилю-

вачі та напівпровідникові прилади. У порівнянні з електромеханічними пристроями безконтактні апарати мають ряд переваг: високу чутливість і надійність, швидкодію, малі витрати на обслуговування та ремонт, високий ККД. Особливі вимоги до тягових апаратів, визначаються спеціальними стандартами.

Електричним контактом називається поверхня двох або декількох провідників, через які протікає струм. Контактими називають також спеціальні деталі, при зіткненні яких здійснюється електричне з'єднання кіл. Наприклад, головні контакти 6, 7 електропневматичного контактора ПК-753Б (рис. 9.1).

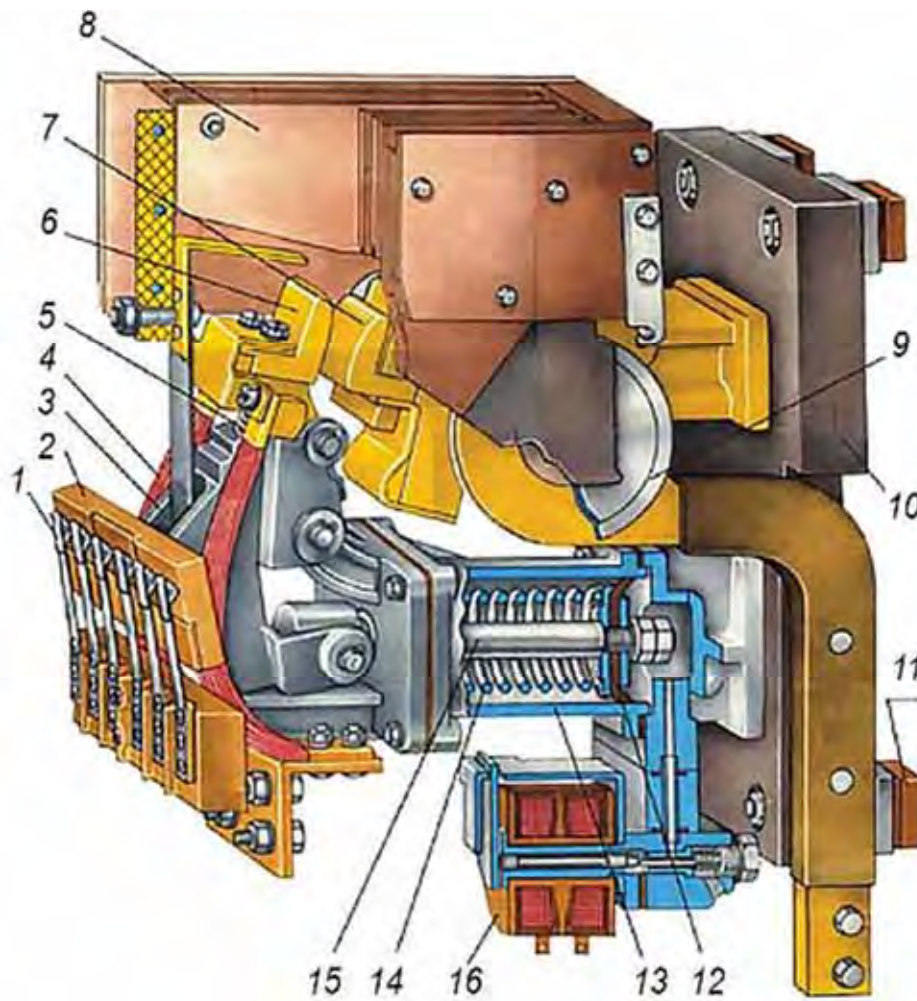


Рис. 9.1. Електричні контакти електропневматичного контактора ПК-753Б:
 1 – блокувальні пальці (допоміжні контакти); 2 – колодка блокувальних контактів; 3 – важіль;
 4 – мідний шунт; 5 – притиральна пружина; 6 – рухомий головний контакт; 7 – нерухомий головний контакт; 8 – дугогасильна камера; 9 – дугогасильна котушка; 10 – панель; 11 – ізолюваний болт; 12 – поршень; 13 – повітряний циліндр; 14 – пружина; 15 – шток, 16 – електропневматичний вентиль

За своїм призначенням електричні контакти можна поділити на *з'єднувальні* та *комутаційні*, по характеру роботи – на *рухомі* та *нерухомі*. Рухомі призначені для комутації струму в електричних колах. Це основний вид контактів комутаційних апаратів. До нерухомих контактам відносяться шинні та кабельні з'єднання, проміжні затиски, з'єднання болтами, пайкою, сваркою.

За формою дотичних поверхонь контакти поділяються на *точкові*, *плоскі* і *лінійні*; за конструктивним виконанням – на *мостові*, *клинові*, *ковзаючі* й *штирові*.

Точкові контакти можуть бути утворені в результаті дотику двох сферичних поверхонь або сферичної та плоскої поверхонь. Практично поверхню їх дотику являє собою окружність малого радіусу. Ці контакти забезпечують досить високі питомі натискання та широко використовуються за невеликі струми, наприклад, в блокувальних контактах реле.

Плоскі (поверхневі) контакти застосовуються в тих апаратах, які вимагають високих контактних натискань при великих навантаженнях і відносно рідкісних вимкненнях. Різновидом плоских контактів є *клинові*, які використовуються у вмикачах і роз'єднувачах.

Лінійні контакти утворюються у разі зіткнення двох циліндричних поверхонь або циліндра з площиною. Поверхня дотику практично являє собою вузьку прямолінійну смугу. При цьому можуть бути отримані високі питомі натискання. Лінійні контакти знайшли широке застосування в сучасних комутаційних апаратах, робота яких характеризується частими включеннями і відключеннями. Такі контакти мають в основному Г-подібну форму та широко використовуються в контакторах і контролерах (рис. 9.2).

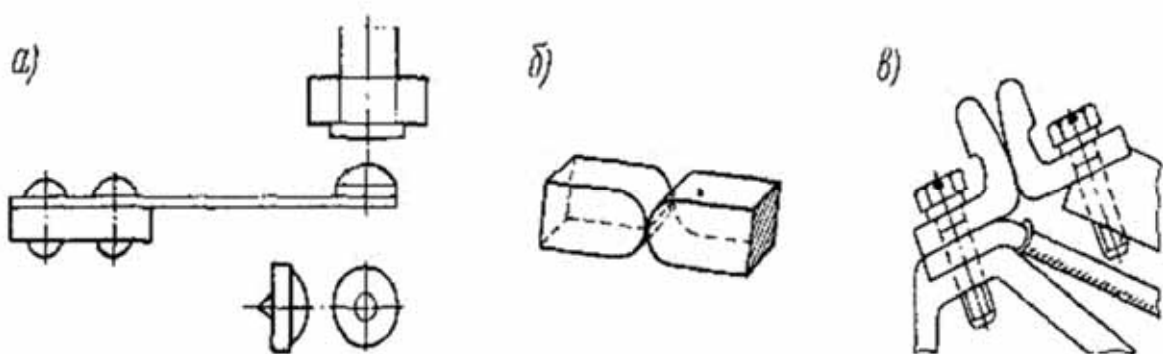


Рис. 9.2. Форми контактних поверхонь:
а) точкові; б), в) лінійні

Характерним для всіх контактних з'єднань є наявність в місці контак-

ту *перехідного опору*, який залежить від сили натискання, матеріалу, температури і якості обробки дотичних поверхонь. Навіть при дуже якісній обробці деталей торкання відбувається не по площині, а в окремих обмежених поверхнях, число та стан яких і визначають перехідний контактний опір. Чим більше контактне натиснення і м'якше матеріал контакту, тим більше площа реального з'єднання і менше перехідний опір. Однією з причин луження мідних контактів є зниження перехідного опору за рахунок їх покриття більш м'яким матеріалом.

Електричний струм викликає нагрів контактів, що, в свою чергу, призводить до окислення поверхонь і, отже, до зростання контактного опору. При збільшенні контактного опору підвищуються теплові втрати і контакти можуть перегріватись. Граничний струм у колі апарату визначається допустимою температурою нагріву контактів. Максимально допустиме падіння напруги на замкнених контактах $\Delta U_k = 0,09 - 0,13$ В.

Якість контактного з'єднання значною мірою залежить від властивостей матеріалу контактних деталей: питомого опору, дуго- і зносостійкості, стійкості проти окислення і електропровідності оксидів, температури плавлення. Найбільш широке застосування в якості матеріалу силових контактів отримала мідь, яка хоча і відносно легко окислюється, але відрізняється високою електро- і теплопровідністю, механічною міцністю та зносостійкістю. Мідні контакти допускають більше натискання, що полегшує усунення оксидів з їх поверхні.

Для запобігання окислення контакти покривають шаром олова, срібла або іншого антикорозійного металу. Срібло має менше питомий опір, ніж мідь, і менше піддається окисленню. Перехідний опір срібних контактів менше, ніж мідних, тому срібні і посріблені мідні контакти забезпечують найбільш стійкі з'єднання. Такі контакти широко застосовуються в тяговій електроапаратурі.

Для підвищення зносостійкості контактів електричних апаратів, розрахованих на комутацію великих струмів, застосовуються металокерамічні контакти (срібно-кадмієві, срібно-вольфрамові та ін.). Наприклад, головні контакти групових електропневматичних контакторів сучасних тепловозів виконуються з металокерамічними напайками з матеріалу СОК-15 (15 % срібла, 85 % оксиду кадмію).

Основними величинами, що характеризують роботу рухомого контактного з'єднання, є «розхил», початкове та кінцеве натискання, «провал». Нагрівання контактів в значній мірі залежить від кінцевого натискання, Найкоротша відстань між контактними поверхнями рухомого та нерухомого контактів в розімкнутому положенні називається «розхилом». «Розхил» створює необхідний ізоляційний проміжок між контактами. Сила

натискання рухомого контакту на нерухомий в момент їх дотику під час включення апарату називається початковим натисканням, а при повністю закінченому русі контактів – кінцевим.

У процесі включення контактів відбувається їх відносне ковзання та перекочування. Ковзання руйнує плівку поверхневого окислення, а перекочування видаляє робочу точку контактів від місця включення і відключення, тобто від місця розриву дуги. Це зменшує знос контактів і оберігає їх робочу поверхню від обгорання.

Процес спільного ковзання і перекочування контактів від точки дотику до кінцевого робочого положення називається притиранням контактів. Притирання забезпечується провалом рухомого контакту – відсіданням, на яке може переміститись рухомий контакт, якщо у включеного апарату видалити нерухомий контакт (рис. 9.3).



Рис. 9.3. Схема вимірювання провалу контактів електричних апаратів:
1 – нерухомий контакт; 2 – рухомий контакт; 3 – контактотримач; П – провал

9.2. Електрична дуга та дугогасильні пристрої

Дугогасильний пристрій. Процес відключення електричного кола під струмом за допомогою комутаційних апаратів майже завжди супроводжуються утворенням електричної дуги. Перед розмиканням контактів значно збільшується перехідний опір внаслідок різкого зменшення натискання на поверхні дотику. Контакти в цьому місці дуже нагріваються. У результаті створюється потік електронів (термоелектронна емісія), який рухається від катода і іонізує навколишнє повітря. Тому коло відразу не розривається, і якийсь час через іонізоване середовище тече струм. Крім того, дуга виникає під дією електричного поля, яке прискорює електрони, що виходять з поверхні катода (автоелектронна емісія) і стикаються з нейтральними атомами.

Температура дуги досягає 3000–5000 °С. Щоб уникнути пошкоджен-

ня контактів та інших деталей апаратів її необхідно швидше гасити. Дуга, як будь-який провідник, має певний опір, залежний від її довжини, перерізу та умов охолодження. Для виникнення дуги напруга між контактами має бути вище 10–20 В, а струм – більше 0,1 А. Величина струму та напруги, за яких утворюється дуга, значною мірою залежать від матеріалу контактів.

При горінні дуги відбуваються одночасно процеси іонізації та деіонізації. Електрична дуга може бути погашена в тому випадку, якщо процес деіонізації стовпа протікає з більшою швидкістю, ніж процес іонізації. Показником процесу гасіння дуги є безперервне зменшення струму в ній. На рис. 9.4 показані криві, що характеризують процес відключення струму в колі, що містить джерело живлення постійної напруги U , активний опір R та індуктивність L , t_d – час горіння дуги. Початкове значення струму кола $I_0 = U / R$, а напруга на контактах ΔU_k . Надалі струм дуги I_d зменшується, а напруга і далі зростає. В кінці процесу погашення, коли струм дуги різко зменшується за рахунок інтенсивного росту опору, виникають перенапруги U_{max} . Амплітуда, напруги визначається величиною індуктивності кола та швидкістю зниження струму. При цьому слід враховувати перенапруги не тільки на відключаємих контактах, але й на корпусній ізоляції машин і апаратів, які можуть досягти небезпечних значень.

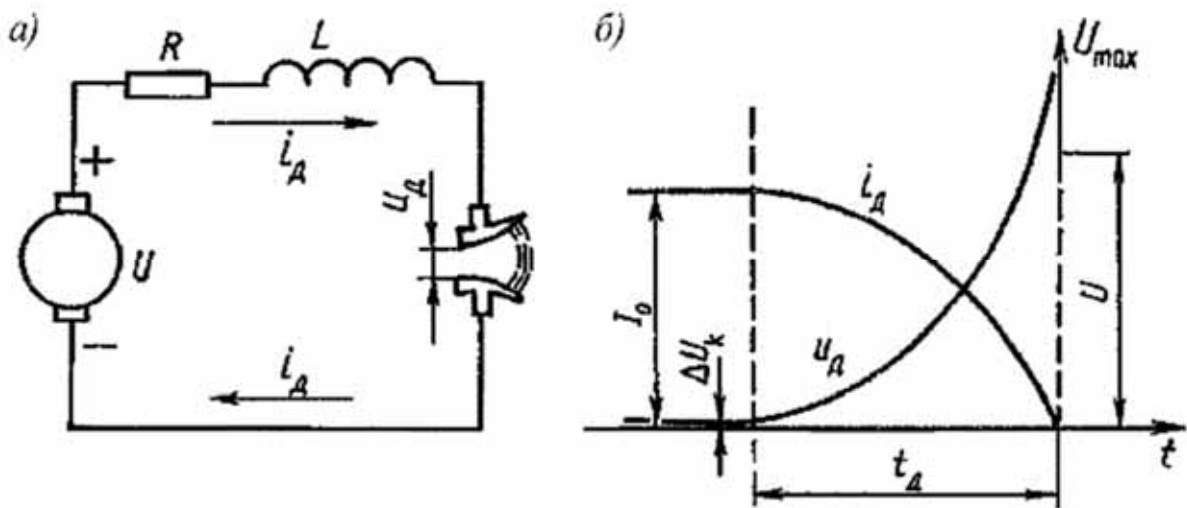
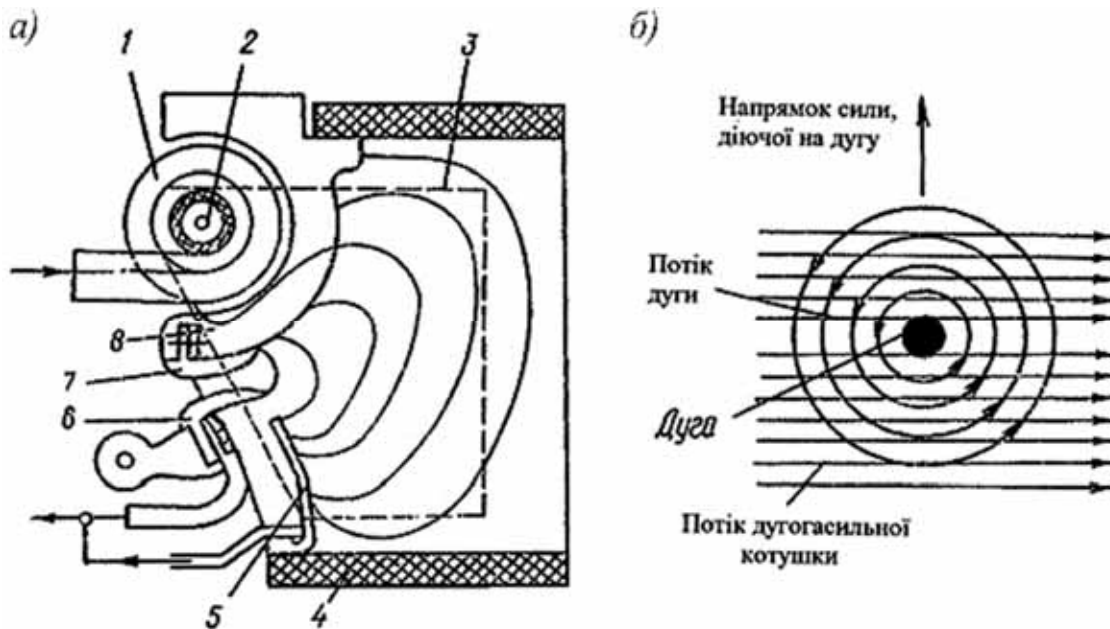


Рис. 9.4. Схема відключаемого контуру (а) і характер процесів при відключенні кола (б)

Деіонізація може бути забезпечена охолодженням стовпа дуги шляхом його подовження, зменшення перетину або переміщенням дуги в навколишньому її повітрі. Це досягається різними засобами гасіння та

дугогасильними пристроями.

У всіх силових комутаційних апаратах використовуються пристрої для магнітного гасіння (магнітного дуття) дуги з застосуванням спеціальних дугогасильних котушок. Розглянемо просту дугогасильну камеру з електромагнітним гасінням (рис. 9.5).



Принцип гасіння дуги заснований на взаємодії магнітних полів дугогасильної котушки та електричної дуги. Магнітне поле утворюється дугогасильною котушкою 1 зі сталевим осердям 2, включеної послідовно з рухомим та нерухомим контактами 6 – 7. До осердя примикають полюси 3 з листової сталі, між якими створюється магнітне поле. Полюси ізольовані від дуги азбоцементними стінками дугогасительной камери 4. У результаті взаємодії магнітних полів дуги та котушки виникає сила, що переміщає дугу всередину дугогасильної камери. Дуга перекидається на роги 5, 8, швидко подовжується і при зіткненні зі стінками камери гасне. Для прискорення гасіння дуги в дугогасильних камерах встановлюються поздовжні та поперечні перегородки, що збільшують поверхні охолодження та інтенсивність деіонізації повітря. У електричних апаратах тепловозів широко застосовуються лабіринтово-щілинні камери.

9.3. Приводи електричних апаратів

Приводи апаратів. Приводом апарату називається пристрій, що приводить в рух подвійний контакт для включення або відключення електричного кола. Розрізняють приводи безпосередні і непрямі, індивідуальні та групові.

У *безпосередньому* (ручному) приводі зусилля рухомої частини апарату передається від руки машиніста через систему механічних передач. Безпосередній привід застосовується в рубильниках, контролерах, вимикачах, роз'єднувачах і інших апаратах, розрахованих на малі струми і напруги або перемикаючі без струму. Силкові апарати, розраховані на відносно великі струми і напруги, як правило, виконуються з непрямим приводом. Непрямий привід мають також індивідуальні контактори та реле. На тепловозах найбільш розповсюджені непрямі приводи – електромагнітний і електропневматичний.

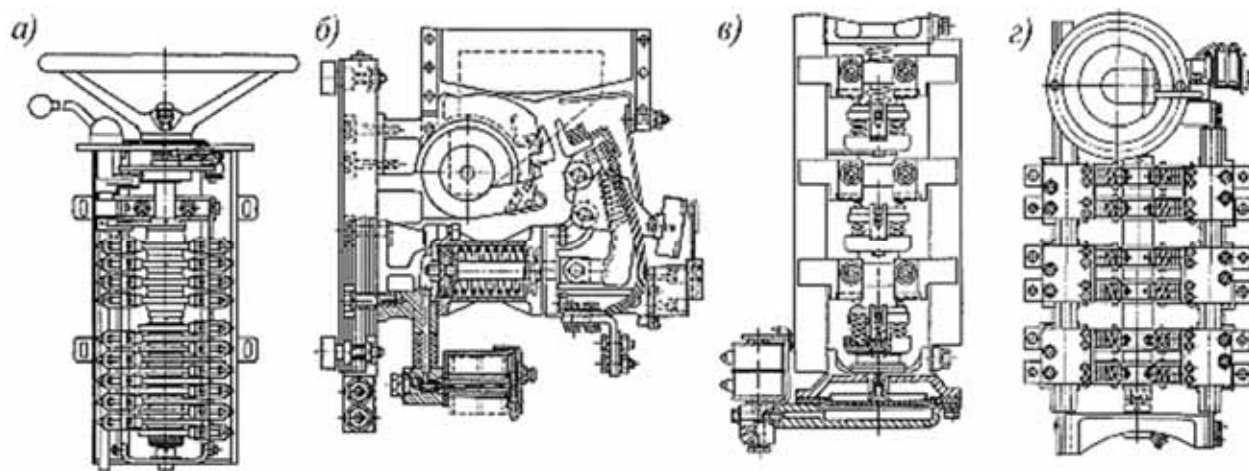


Рис. 9.6. Приводи електричних апаратів:

а) безпосередній (ручний) привід контролера машиніста; б) електропневматичний непрямий індивідуальний привід; в), з) електропневматичний непрямий груповий привід контакторів

Індивідуальний привід – це такий, при якому взаємодія може бути передана на систему рухомих контактів одного апарату, які вмикають тільки одну комутаційну операцію. При **груповому** приводі вплив передається на групу комутуючих елементів, що діють у певній послідовності або одночасно. Непрямі індивідуальні приводи виконуються в основному електромагнітними і електропневматичними, а групові – електропневматичними (рис. 9.6, б), в)).

В електромагнітному приводі використовується сила притягання яко-

ря до осердя електромагніту, а в пневматичному – тиск стисненого повітря на поршень, рух якого передається рухомим контактом апарату через проміжні механізми. Пневматичні приводи при відносно великих натисканнях контактів мають менші розміри, ніж електромагнітні, і забезпечують великі переміщення рухомих частин апаратів. Пневматичний привід являє собою циліндр, в якому знаходяться шток з поршнем і пружиною. Доступом стисненого повітря в циліндр управляє електропневматичний вентиль (див. рис. 9.1).

В апаратах тепловозів з відносно малими переміщеннями поршня (до 50 мм) застосовуються діафрагмові приводи. В діафрагмовому приводі стиснене повітря надходить у камеру, яка укладена між корпусом і діафрагмою, виконаної з гуми або гумовотканинного матеріалу. Діафрагма, прогинаючись, впливає через шток на рухому частину апарату (рис. 9.6). У окремих випадках застосовуються двохпозиційні (двосторонні) приводи, що мають дві камери, діафрагми яких пов'язані повідцем або зубчастою рейкою з валом апарату. Діафрагмові приводи прості у виготовленні і вимагають меншого догляду в експлуатації, ніж поршневі. Надійність їх значною мірою визначається якістю матеріалу діафрагми і його стійкістю при роботі в широкому діапазоні навколишньої температури. Габарити діафрагменного приводу більше, ніж поршневого, виконуючи ту ж роботу, оскільки переміщення діафрагми обмежено її пружністю.

Пневматичний привід у поєднанні з електропневматичними вентилями прийнято називати електропневматичним. Він отримав широке застосування в силових індивідуальних контакторах, реверсорах, групових апаратах, а також в колах управління різними допоміжними пристроями тепловозів.

Запитання до самоконтролю

- 1. Класифікація електричних апаратів тепловозів в залежності від їх призначення.*
- 2. Класифікація електричних контактів.*
- 3. Основні параметри та величини, що характеризують роботу рухомого контактного з'єднання.*
- 4. Процес виникнення електричної дуги, процеси іонізації та деіонізації.*
- 5. Принцип гасіння дуги, будова дугогасильного пристрою.*
- 6. Характеристики приводів електричних апаратів.*

КОМУТАЦІЙНІ ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ

10.1. Електропневматичні та електромагнітні контактори

Контактори – це електричні апарати з дистанційним управлінням, призначені для перемикання в силових і допоміжних колах під навантаженням. На тепловозах з електричними та гідравлічними передачами застосовується значна кількість різних контакторів, які відрізняються конструктивним виконанням, системою приводу, діапазоном номінальних струмів і напруг.

Електропневматичні контактори (рис. 10.1) встановлюються в силових колах з великими струмами (750–950 А), тому що вони забезпечують досить високі натискання та надійний контакт. Натискання контактів за тиском повітря в циліндрах приводу 0,5 МПа знаходиться в межах 550–650 Н. Це значно зменшує перехідний опір контактного з'єднання. Підключення тягових електродвигунів тепловоза до головного генератора здійснюється електропневматичними (поїзними) контакторами типів ПК-753Б і ПК-910.

Електропневматичний контактор ПК-753Б застосований на тепловозах багатьох серій, розрахований на тривалий струм 830 А і напругу 900 В.

Контактор (рис. 10.2) змонтовано на вузькій ізоляційній панелі 2, що дає змогу раціональніше використовувати наявну площу стінок апаратної камери. До верхнього кронштейна 10, відлитого з латуні, приклепаний один кінець дугогасильної котушки 9. Другий кінець котушки, що є виводом для приєднання проводів від тягового генератора, укріплений на правій торцевій стороні панелі 2. Кінець дугогасильної котушки шиною 15 з'єднаний з нерухомим контактом 17, укріпленим разом із дугогасильним рогом 16 на верхньому кронштейні 10. У середині котушки 9 вставлено ізольоване сталеве осердя 14 з прикріпленими на його торцях двома сталевими фланцями 11, ізольованими від котушки, що ізольовані від котушки та утримують осердя всередині неї.

a)



б)

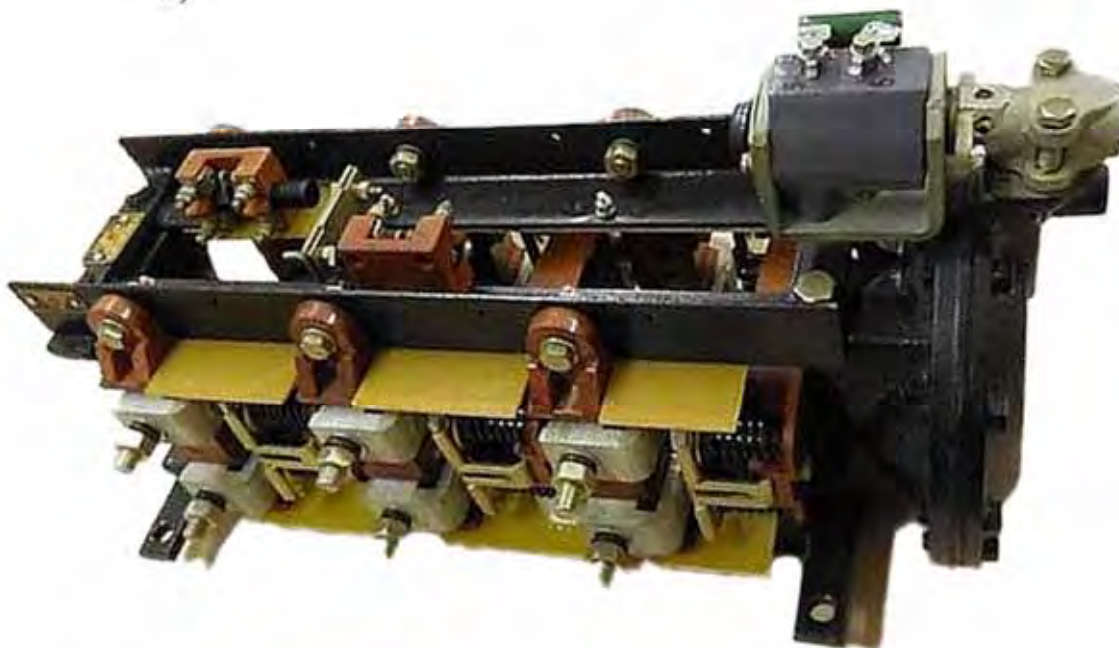


Рис. 10.1. Електропневматичні контактори:
a) ПК-753Б; *б)* ПКГ-565

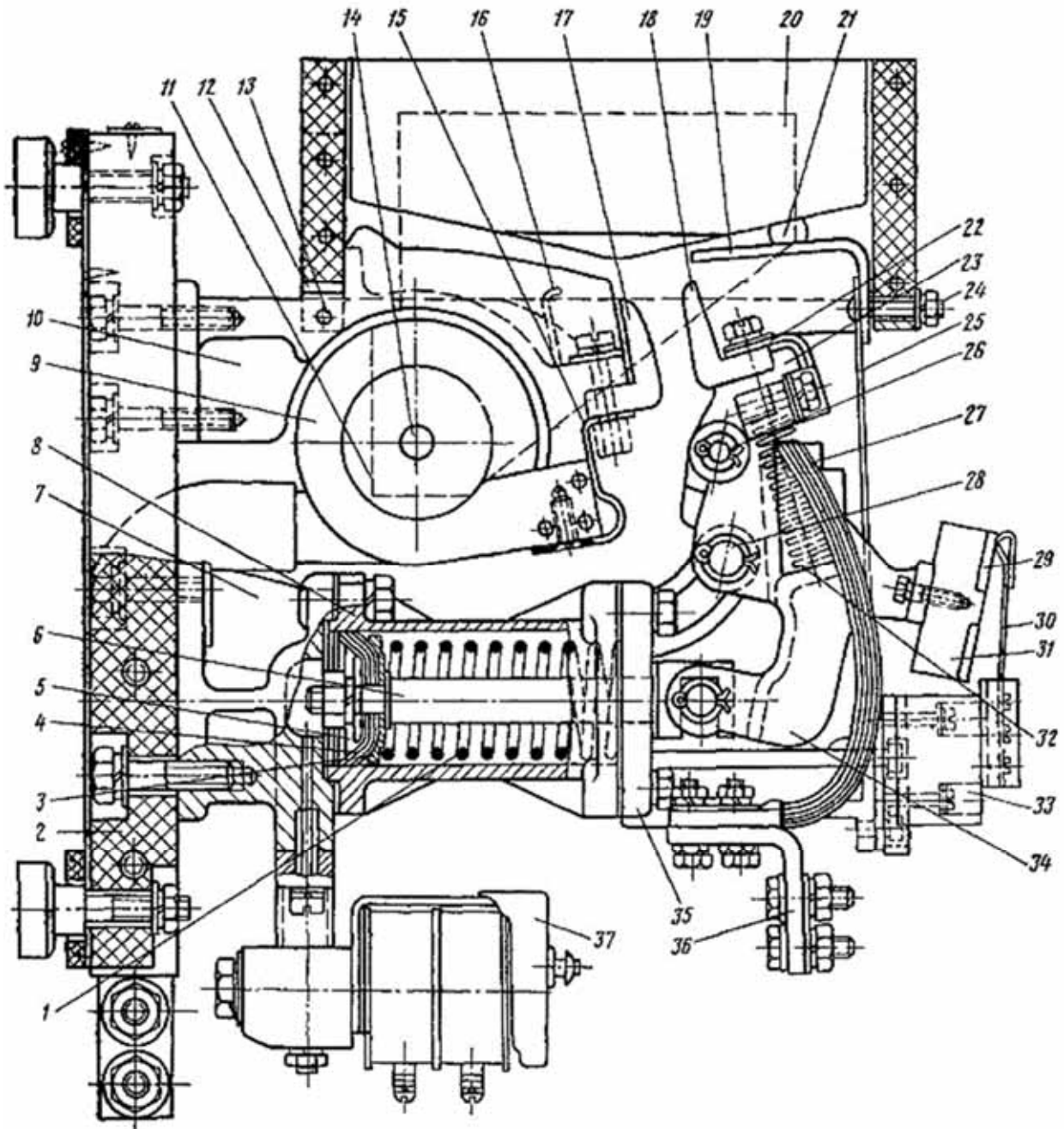


Рис. 10.2. Електропневматичний контактор ПК-753Б:

1, 5, 25, 32 – пружини; 2 – панель; 3 – чашка; 4 – шкіряна манжета; 6 – шток; 7, 10 – кронштейни; 3 – циліндр; 9 – дугогасильна котушка; 11 – фланець; 12 – гак; 13, 24 – штифти; 14 – осердя; 15, 22 – шини; 16, 19 – роги; 17 – нерухомий контакт; 18 – рухомий контакт; 20 – дугогасильна камера; 21 – полюс; 23 – контактотримач; 26, 28 – валики; 27 – гнучке з'єднання; 29 – мідна планка; 30 – контактний палець; 31, 33 – колодки; 34 – важіль; 35 – кришка; 36 – косинчик; 37 – вентиль

На нижньому литому чавунному кронштейні 7 внизу прикручений електропневматичний вентиль 37, що включає, і пневматичний привід.

Останній складається з чавунного циліндра 8, усередині якого міститься шток 6 з поршнем, виконаним з декількох шкіряних манжет 4, затягнутих між чашкою 3 та чашоподібною пружиною 5. Поршень відтиснутий від сталеві кришки 35 циліндра 8 пружиною 1.

Кінець штока 6, що проходить через кришку 35, шарнірно пов'язаний з важелем 34, що повертається, встановленим на припливі кришки за допомогою валика 28. Угорі важеля 34 за допомогою валика 26 шарнірно укріплений контактотримач 23, до якого прикручений рухомий контакт 18, виконаний, як і нерухомий контакт 17, із твердотягнутої міді.

Контактотримач 23 при відключеному положенні контактора під дією пружини повертається проти годинникової стрілки в крайнє положення (до упору кінця контактотримача в важіль 34). Рухомий контакт 18 шиною 22 та гнучким з'єднанням 27 приєднується до укріпленого на припливі кришки 35 косинця 36, що є виводом для під'єднання проводів до тягових електродвигунів. На припливі кришки 35 укріплена також дерев'яна колодка 33 зі сталевими контактними пальцями 30 блокувальних контактів. Рухомі контакти блокувальних контактів виконані у вигляді мідних пластинок 29 і закріплені на пластмасовій колодці 31, встановленій на важелі 34, що повертається.

У верхній частині контактора розташована дугогасна камера 20. Її азбоцементні стінки та перегородки скріплені між собою болтами. Нижні частини сталевих плоских полюсів 21 у бічних стінок камери надіті на осердя дугогасильної котушки.

Встановлення камери виконано швидкознімним. Щоб надіти камеру, штифт 24 вводять в отвір сталеві плоскі пружини 25 та дугогасильного рогу 19 та, відтискаючи пружину в бік панелі 2, камеру повертають проти годинникової стрілки так, щоб гаки 12 завелися за штифти 13, запресовані в кронштейн 10. Для зняття віджимають пружину в бік панелі, гаки виводять із зачеплення зі штифтами і камеру з деяким поворотом за годинниковою стрілкою знімають.

На рис. 10.2 контактор зображений у відключеному стані. Під час під'єднання котушки вентиля 37 до ланцюга живлення стиснене повітря через вентиль надходить у простір під поршень циліндра. Поршень, відтискаючи пружину 1, разом зі штоком 6 переміщається вправо і повертає важіль 34 з контактотримачем 23 до зіткнення рухомого контакту з нерухомим. Контакти стикаються у верхній частині. Під час подальшого повороту важеля 34 контактотримач 23 повертатиметься навколо валика 26 за годинниковою стрілкою, стискаючи пружину 32, а рухомий контакт перекочуватиметься нерухомим із деяким прослизанням. Переміщення

місця зіткнення та деяке прослизання-контактів отримало назву «притирання» контактів.

Переміщення точки зіткнення контактів припиняється під час зіткнення нижньої площини з правого боку контактотримача з верхньою частиною важеля 34. При цьому контакти стикаються в нижній частині. Струмом навантаження, що проходить по дугогасильній котушці, створюється магнітний потік, який за допомогою полюсів 21 розподіляється усередині дугогасильної камери перпендикулярно її перегородкам.

Під час вимкнення вентиля 37 порожнина над поршнем циліндра сполучається з атмосферою, і під дією пружини 1 шток 6 переміщається вліво, повертаючи важіль 34 за годинниковою стрілкою. Унаслідок цього контактотримач 23 під дією пружини 32 повертається проти годинникової стрілки, а рухомий контакт із деяким прослизанням перекочується по нерухомому та точка їхнього зіткнення переміщується вгору. При упорі нижнього кінця контактотримача в важіль 34 поворот контактотримача припиняється і рухомий контакт разом з контактотримачем почне відходити від нерухомого як одне ціле з важелем 34.

Електрична дуга, що виникає під час розмикання контактів, під дією сил взаємодії магнітного поля, створеного в камері між полюсами дугогасильної котушки, і струмом переміщається вгору по контактах, потім перекидається на роги 16 і 19, чим запобігає підгорянню контактів. Надалі дуга втягується між перегородками дугогасильної камери, розтягується та гасне всередині камери. Поділ дуги на кілька частин між перегородками, зіткнення дуги з ними, а також зі стінками прискорюють процес гасіння, запобігаючи перекиданню її на навколишні апарати.

У результаті переміщення місця зіткнення контактів під час розмикання усувається можливість підгоряння робочої поверхні їх від дії дуги, а під час прослизання внаслідок тертя забезпечується очищення контактної поверхні від оксидів і забруднень. У зв'язку з цим в експлуатації під час зачищення контактів необхідно зберігати їхній профіль, що забезпечує «притирання» і, отже, працездатність.

Зважаючи на великий струм, що проходить через контакти у ввімкненому положенні контактатора, в експлуатації повинна перевірятися величина кінцевого натискання контактів. Недостатнє натискання спричиняє перегрівання контактів, їхнє окислення та вихід з ладу. Велике зусилля натискання призводить до підвищеного зносу контактів у процесі притирання. Також слід перевіряти зусилля початкового натискання, створюване притиральною пружиною в точці початкового зіткнення, оскільки недостатнє натискання може призводити до відскакування рухомого контакту від нерухомого, утворення дуги та підгоряння.

Збільшене значення початкового натискання може викликати нечітке спрацьовування контактора – застрявання його в проміжному положенні. Крім того, перевіряється відповідність технічним даним таких характеристик, як «розхил» і «провал» контактів. «Розхилом» контактів називається найкоротша відстань між рухомим і нерухомим контактами за вимкненого положення контактора. «Провал» – це відстань дійсного положення точки кінцевого дотику рухомого контакту до положення, в якому вона перебувала б за відсутності нерухомого контакту та незмінного положення приводу.

Крім перевірок технічних характеристик, догляд зводиться до зачищення головних контактів, видалення кіптяви і частинок розплавленого металу з внутрішніх стінок і перегородок дугогасильної камери, періодичного змащення внутрішньої поверхні циліндра і прожирування шкіряних манжет поршня циліндра, а також перевірки витоку повітря з приводу. Витік повітря призводить до млявої роботи контакторів.

У разі обгорання головних контактів поверхню їх зачищають «оксамитовим» напилком з мінімальним зняттям металу та збереженням профілю контактів, а також з подальшим протиранням ганчіркою. Не дозволяється чистити наждачним полотном, оскільки кристали наждаку вриваються в матеріал контакту та надійність контактування знижується. Також не допускається змащування контактів, оскільки воно вигорає від дуги та контактна поверхня забруднюється продуктами горіння.

Групові електропневматичні контактори типів ПКГ-560, ПКГ-565, ПКГ-640 застосовуються на тепловозах 2ТЕ10Л (В, М), ТЕМ7 для підключення шунтуючих резисторів паралельно обмоткам збудження тягових електродвигунів при ослабленні поля. Ці контактори мають діафрагмовий привід, керований електропневматичним вентилем.

Контактна система контактора ПКГ-565 (рис. 10.3) складається з рухомого штока 5, поєднаного з діафрагмовим приводом 7, на якому з двох сторін розташовані шість груп контактів. Нерухомі головні контакти 6 укріплені попарно пластмасовими контактотримачами 5 на кутових стійках рами 2. Рухомі силові контакти 4 мостового типу з пружинами встановлені на контактотримачах центрального штока 3. Контактотримачі є ізоляторами. Головні контакти мають металокерамічні накладки із срібла та оксиду кадмію, які мають високу дугостійкість і низький перехідний опір. Виконані вони без дугогасильного пристрою.

При спрацьовуванні електропневматичного вентиля 1 стиснуте повітря надходить під гумову діафрагму 8 приводу.

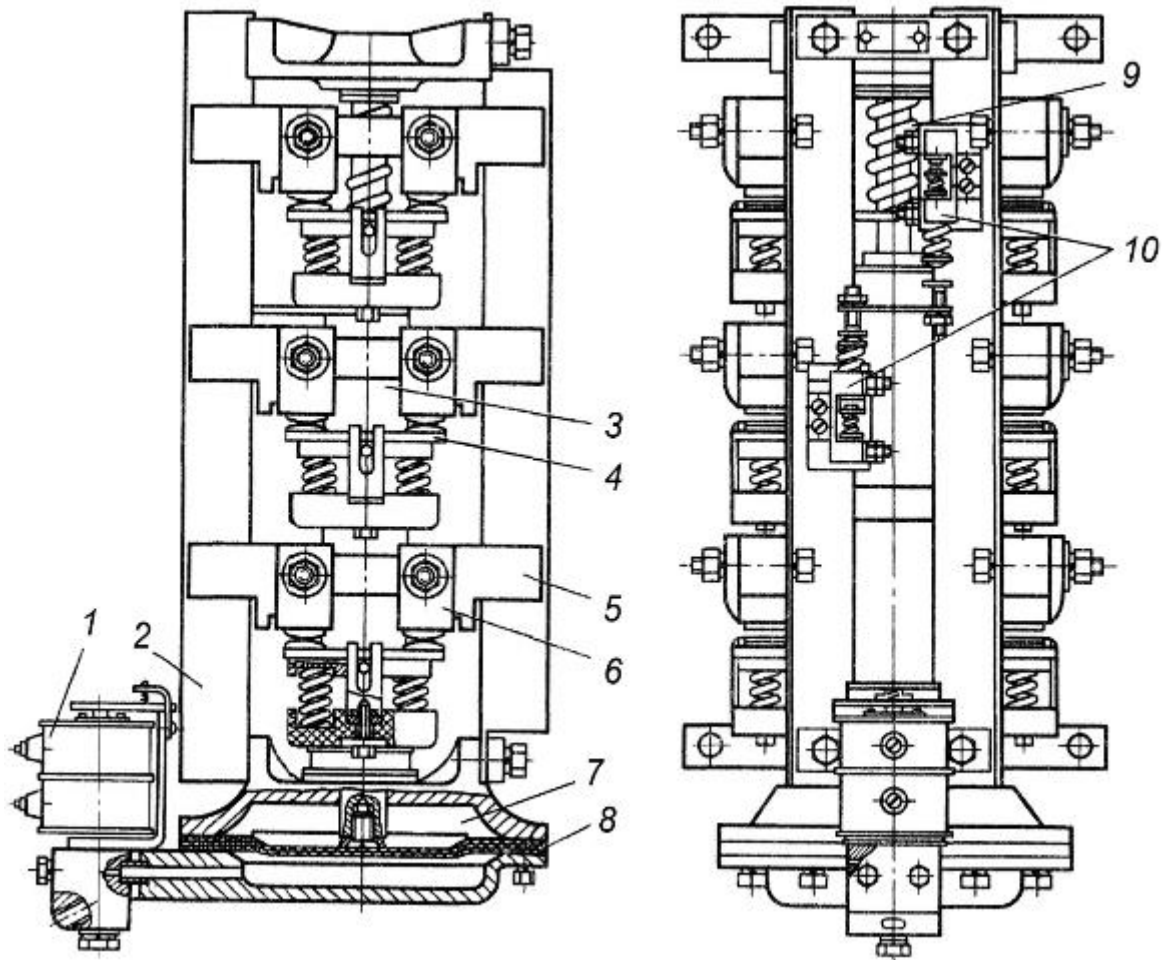


Рис. 10.3. Груповий електропневматичний контактор ПКГ-565

Діафрагма прогинається, шток 3 переміщається вгору і замикає головні контакти. Відключення контактора відбувається при знятті напруги з котушки вентиля. Стиснуте повітря виходить з діафрагмової камери, шток контактора переміщається в нижнє положення під дією сили тяжіння рухомих частин і відключаючої пружини 9, а контакти розмикаються. Крім головних контактів груповий контактор забезпечений двома парами допоміжних мостових контактів 10.

Основні параметри контактора ПКГ-565: номінальний струм головних контактів 450 А, напруга між контактами 20 В, контактне натискання 2×120 Н, провал контактів 6 мм.

Електромагнітні контактори (рис. 10.4) застосовуються в колах, збудження збуджувачів і головних генераторів, пуску дизеля, ослаблення поля тягових електродвигунів, вмикання електричних машин допоміжних агрегатів при струмах до 400 А. Електромагнітні контактори досить різноманітні за конструкцією, однак принципових відмінностей між

ними немає. Контактори мають один або два головних контакти. За наявністю допоміжних контактів контактори виконуються у варіантах – з одним розмикаючим і одним замикаючим контактами, двома замикаючими та двома розмикаючими, а також без допоміжних контактів.

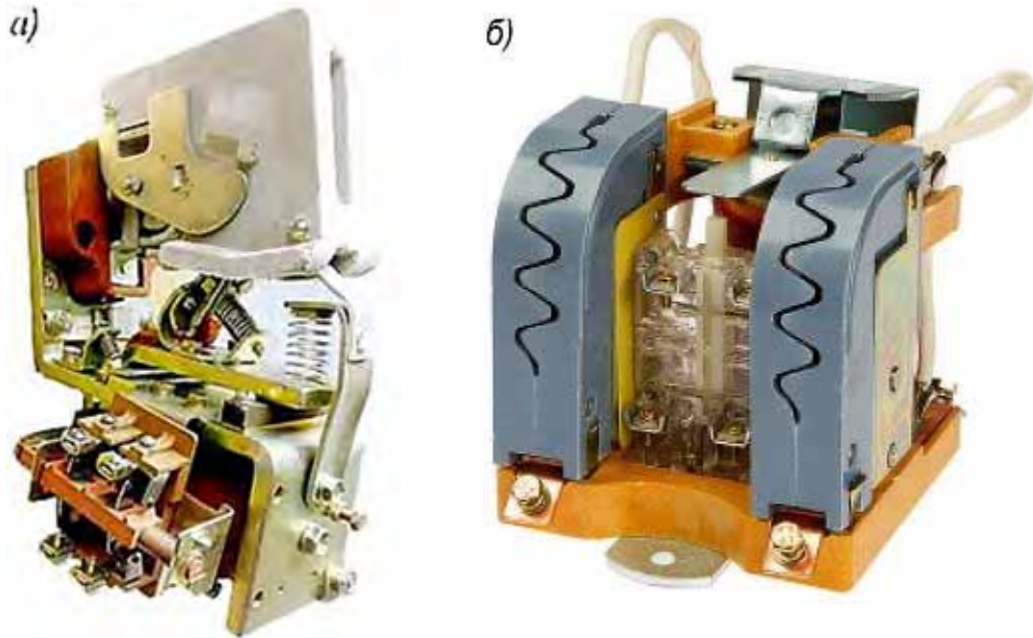


Рис. 10.4. Електромагнітні контактори
а) КПВ-604; б) ТКПМ-121

Найбільшого поширення в колах пуску дизеля отримали контактори КПВ-604 (ТЕМ2, 2ТЕ10М), ТКПД-114В і ТКПМ-121 (ТЕМ7, ТГМ4, ТГМ4А, ТТМ6А). В цілях збудження збудників і головних генераторів, включення електродвигунів масляних і паливних насосів застосовуються контактори ТКПМ-111, ТКПМ-121, ТКПД-114В.

Електромагнітний контактор КПВ-604 (рис. 10.5) застосовано на тепловозах для під'єднання до акумуляторної батареї тягового генератора, що працює в режимі електродвигуна, для прокручування колінчастого вала та запуску дизеля. Контактор зібраний на основній скобі 23 магнітопроводу, встановленій на ізоляційній азбоцементній панелі 1. Крім цієї скоби, магнітна система контактора складається з осердя 22, прикріпленого до неї болтом, і якоря 20, який притискається до призми 4 двома пружинами 5.

Одна полиця якоря перебуває під впливом поворотної пружини 19, що спирається на скобу 21, прикручену до основної скоби магнітопроводу, на якій зі свого боку встановлений дугогасильний риг 17. На другій полиці

якоря прикручена натискна пластинка 3, що є приводом блокувальних контактів 2. Втягувальна котушка 24, надіта на осердя 22, забезпечує надійну роботу контактора в разі зниження напруги до 85 % номінальної при гарячій котушці.

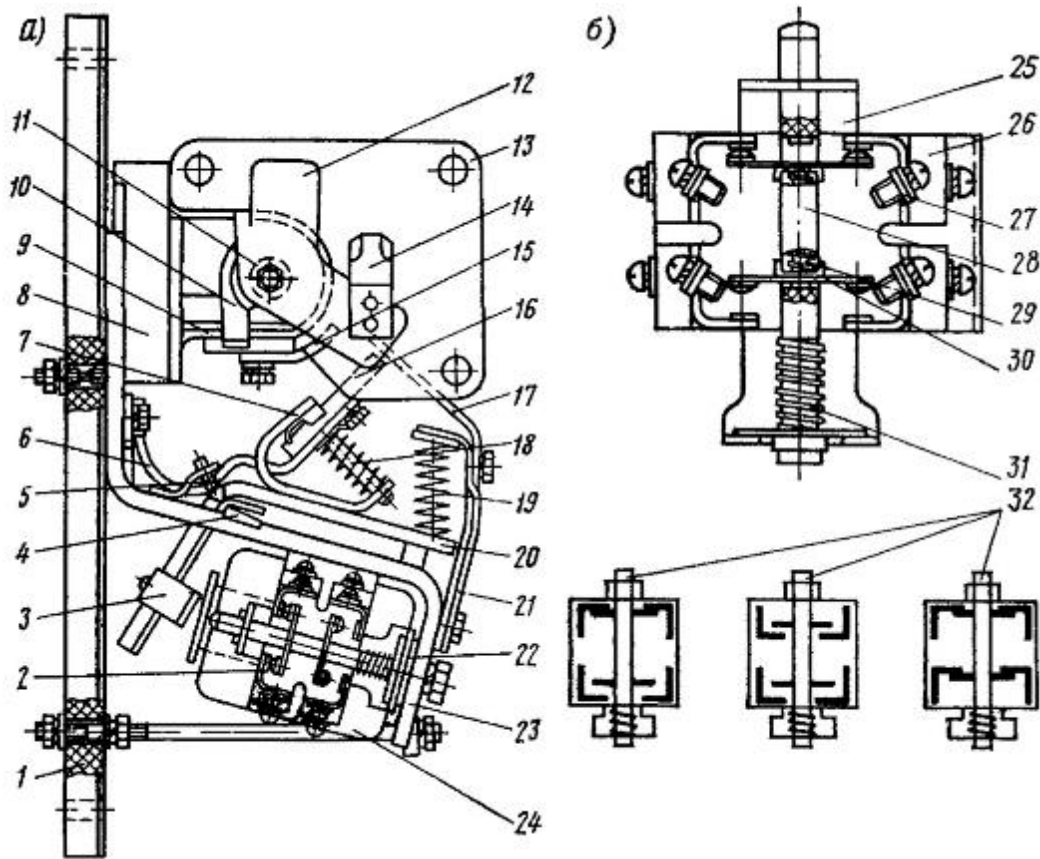


Рис. 10.5. Електромагнітний контактор КПВ-604 (а) та його блок-контакти (б):
 1 – панель; 2 – блок-контакти; 3 – натискна пластинка; 4 – призми; 5 – пружина; 6 – гнучке з'єднання; 7, 9, 21, 25 – скоби; 8 – пластмасова колодка (підстава); 10 – дугогасительна котушка; 11 – осердя; 12 – полюс; 13 – дугогасительна камера; 14 – притискна пластинка; 15, 27 – нерухомі контакти; 16 – рухомий контакт; 17 – дугогасильний ріг; 18 – притиральна пружина; 19 – поворотна пружина; 20 – якір; 22 – осердя; 23 – скоба магнітопроводу; 24 – котушка втягувальна; 26 – пластмасова підстава; 28 – траверса; 29 – контактна пружина; 30 – контактний міст; 31 – поворотна пружина; 32 – схема переставляння блок-контактів

На якорі змонтовано скобу 7, один кінець якої є опорою пружини 18, що притирає, а на другому встановлений рухомий головний контакт 16, з'єднаний гнучким з'єднанням 6 із контактним затискачем.

Дугогасильна система контактора встановлена на ізоляційній пластмасовій колодці 8 основної скоби магнітопроводу 23. До колодки 8 жорстко прикріплена скоба 9, що несе на собі всі деталі цієї системи та одночасно є дугогасильним рогом нерухомого контакту. До нижньої полиці

скоби 9 прикріплений нерухомий головний контакт 15 та приєднаний один кінець дугогасильної котушки 10. Другий кінець цієї котушки є контактним затискачем. У середині котушки вставлено сталевий сердечник 11, стягнутий загальним болтом разом із полюсами 12, які, крім того, у верхній частині прикріплені до скоби 9. Дугогасильну камеру 13 вставляють між полюсами, і вона своїми виступами заходить на відгини пружних притискних пластинок 14. Для знімання камери її верхню частину необхідно повернути вгору.

Головні контакти знімні. Рухомий контакт виконаний плоским, нерухомий має циліндричну робочу поверхню, що забезпечує притирання контактів під час увімкнення контактора, тобто перекочування рухомого контакту нерухомим із деяким прослизанням. Як у початковий момент дотику, так і у ввімкненому стані контакти торкаються лінійно. При цьому прилягання контактів має бути не менше 75 % ширини контактів.

Контактор виконано з чотирма блок-контактами 2, розташованими по два праворуч і ліворуч від втягувальної котушки. На пластмасовій основі 26 прикріплено нерухомі контакти 27, траверсу 28 з рухомими контактними містками 30, яку відтискає зворотна пружина 31, і скобу 25, що є направляючою для траверси та з'єднує всі деталі блок-контактів у єдиний вузол. Робочі накладки нерухомих контактів і контактних містків виконані зі срібла. Конструкція блок-контактів дає змогу здійснювати перестановку контактів завдяки зміні положення деталей.

Контактор призначений для переривчасто-тривалого режиму роботи. Під час роботи в тривалому режимі робочий струм має бути знижений не менше ніж на 20–30 % щодо номінального. Однак контактор дає змогу вимикати навантаження за струмів, що значно перевищують номінальні, за умови відносно рідкісних увімкнень, що запобігає неприпустимому нагріву контактів і різкому скороченню терміну служби дугогасильної камери.

Під час під'єднання втягувальної котушки до ланцюга живлення постійного струму її намагнічувальною силою створюється магнітний потік, унаслідок чого якір притягується до сердечника, долаючи зусилля поворотної пружини. Якір повертається навколо кромки призми, приводить у зіткнення рухомий контакт 16 з нерухомим 15 і, впливаючи на траверсу блок-контактів, здійснює їхнє перемикання. Після увімкнення контактора контактне натискання головних контактів здійснюється пружиною 18, що притирає.

Під час відключення втягувальної котушки якір під впливом поворотної пружини 19 відходить від осердя, розмикаючи головні контакти та перемикаючи блок-контакти. Електрична дуга під час розмикання

головних контактів під впливом магнітного потоку між полюсами 12, створеного силою дугогасильної котушки, що намагнічує, перекидається на роги, чим усувається підгоряння контактів.

В умовах експлуатації періодично перевіряють розчин, провал і початкове натискання головних контактів, а також стан контактів і очищують вузли контактора від пилу та забруднення. Практично замір провалу контактів проводять за зазором, утвореним між собою, на яку спирається рухомий контакт у разі вимкненого положення контактора, і рухомим контактом у разі замкнутого стану контактів. Контакти підлягають заміні, якщо цей зазор зменшується до $1/5$ номінального його значення.

Регулювання початкового натискання проводять підкладанням шайб під фасонний штифт, на який спирається притиральна пружина 18. Перевіряють також, чи немає жорсткого удару натискної пластинки 3 по пластмасі траверси блок-контактів під час увімкнення контактора. Перевірку проводять переміщенням траверси від руки на себе; наявність люфту між штовхачем траверси та натискною пластинкою у ввімкненому положенні контактора свідчить про правильне встановлення блок-контактів. Для забезпечення надійного контактування провал блок-контактів має бути близько 2–4 мм.

У разі обгорання головних контактів поверхню їх зачищають «оксамитовим» напилком з мінімальним зняттям металу, збереженням профілю контактів і подальшим притиранням ганчіркою. Не дозволяється зачищення контактів наждачним полотном, а також змашування контактів. Срібні накладки блокувальних контактів протирають безворсовими серветками, змоченими бензином. Застосування наждачного полотна для цих цілей не допускається. Поглиблення, що утворилися на поверхні срібних контактів, а також окисні плівки не виводять, оскільки вони не збільшують перехідного опору.

Електромагнітний контактор ТКПД-114В застосовується на тепловозах з гідравлічною передачею (ТГМ4, ТГМ4А, ТГМ6А) для підключення електростартера до акумуляторної батареї під час запуску дизеля, а на тепловозах з електричною передачею (ТЕМ2) використовується в колах ослаблення поля тягових електродвигунів. На тепловозі ТЕМ7 з електричною передачею змінно-постійного струму за допомогою контакторів ТКПД-114В ротор тягового синхронного генератора підключається до регульованого випрямляча, а електродвигун компресора – до стартера-генератора.

Контактор ТКПД-114В складається з двох основних систем – магнітної та дугогасильної, встановлених на загальній ізоляційній панелі. В магнітну систему входять ярмо, осердя з втягуючою котушкою та якір. Вся

магнітна система кріпиться кронштейном до панелі. При відключенні котушки якір, який не має зворотної пружини, повертається в початковий стан під дією власної маси. Цьому допомагають також посилені пружини допоміжних контактів.

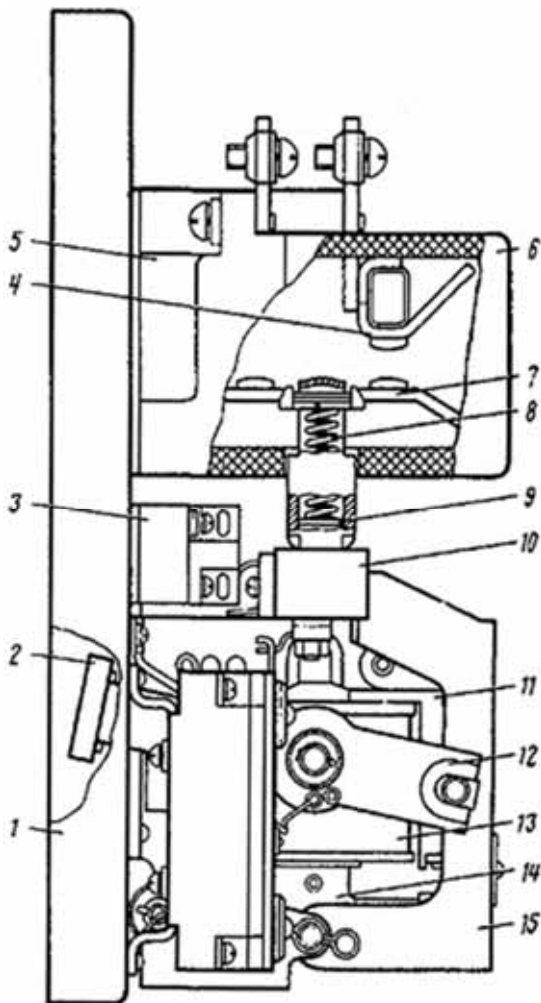


Рис. 10.6. Триполюсний електромагнітний контактор змінного струму КМ-2334

Дугогасна система, що складається з дугогасильних рогів у вигляді скоби, котушки з осердям, полюсів і камери, кріпиться до ізоляційної панелі. Інший дугогасильний ріг закріплюється на ярмі втягуючої котушки. Головні контакти контактора виготовляються з'ємними і мають металокерамічні накладки. Номінальний струм контактів 400 А при силі натискання 32 Н. Робоча частина допоміжних контактів мостового типу виконана у вигляді срібних напайок.

Електромагнітний контактор ТКПМ-111 змонтований на металевій планці, за допомогою якої він кріпиться до каркаса апаратної камери. Магнітна система складається з ярма, виконаного у вигляді кутника, втягуючої котушки і якоря, закріпленого на ярмі скобою. На якорі встановлена ізоляційна колодка, несуча головний рухливий контакт. Нерухомий головний контакт, дугогасильна система і вузол допоміжних контактів

змонтовані на ізоляційній пластмасовій основі. Конструкція і матеріал головних і допоміжних контактів такі ж, як і в контакторі ТКПМ-114В.

Контактор ТКПМ-121 (див. рис. 10.4, б) відрізняється від контактора ТКПМ-111 тим, що має дві пари головних контактів. На ізоляційній основі з правого боку контактора встановлений другий нерухомий контакт і дугогасильний пристрій. Контактори ТКПМ-111 і ТКПМ-121 розраховані на струм 80 А при натисканні контактів 7 Н.

Триполюсний електромагнітний контактор змінного струму типу КМ-2334 (рис. 10.6) використовується для включення мотор-вентилято-

рів холодильної камери. Електромагнітна система контактора складається з осердя 11, якоря 14 Т-подібної форми та двосекційної котушки 13 постійного струму. З якорем шарнірно пов'язана рухлива система, що складається із скоби 15 та планки 10, до якої кріпляться рухомі головні контакти 7 та допоміжні контакти 3. Рухлива система урівноважена важелями 12 та вантажем противаги 2. Натиснення контактів 7 створюється пружиною 8 та регулюється шайбами 9. Контактна система місткового типу. Нерухомі головні контакти 4 розташовані в камері дугогасіння. Гасіння електричної дуги відбувається в замкнутому просторі дугогасильної камери 5, що має підставу та кришку 6, виготовлені з дугостійких матеріалів. Усі частини контактора змонтовані на підставці 1.

10.2. Контролери машиніста

Контролер машиніста служить для дистанційного керування роботою дизеля і рухом тепловоза шляхом перемикання електричних кіл в певній послідовності. Застосовуються на тепловозах наступні типи контролерів: КВ-0800 (ТЕМ1), КВП-0854, КВП-0854М, КВП-0855М (ТЕМ2, ТЕМ7, ТГМ4, ТГМ4А, ТГМ6А), що мають вісім робочих позицій; КВ-1501, КВ-1508, КВ-1509, КВ-1552 (2ТЕ10Л, 2ТЕ10В, 3ТЕ10М) з 15 робочими позиціями; КВ-16А-12 (ТЕ3) з 16 робочими позиціями.

Контролер машиніста має дві рукоятки – головну та реверсивну. Реверсивна (з'ємна) рукоятка служить для управління електропневматичними вентилями приводу реверсора при зміні напрямку руху тепловоза і має два робочих положення: «Вперед» і «Назад». У середньому нейтральному положенні реверсивної рукоятки контролер замкнений у вимкненому стані. За допомогою головної рукоятки контролера машиніст діє на вентилі приводу регулятора частоти обертання валу дизеля, а також виробляє перемикання в колах управління при рушанні тепловоза з місця та регулюванні швидкості руху. На нових типах контролерів головні рукоятки замінюються штурвальними колесами.

Контролери машиніста КВ-0800, КВ-0801, КВ-16А-12, КВ-1501, КВ-1508, КВ-1509, КВ-1552 за конструкцією подібні. Контролер КВ-16А-12 (рис. 10.7) має зварний каркас, в якому встановлений головний вал 9. У верхній його частині знаходиться головна рукоятка 1, а в нижній – головний барабан, що складається з набору кулачкових пластмасових шайб 25 з вирізами по колу.

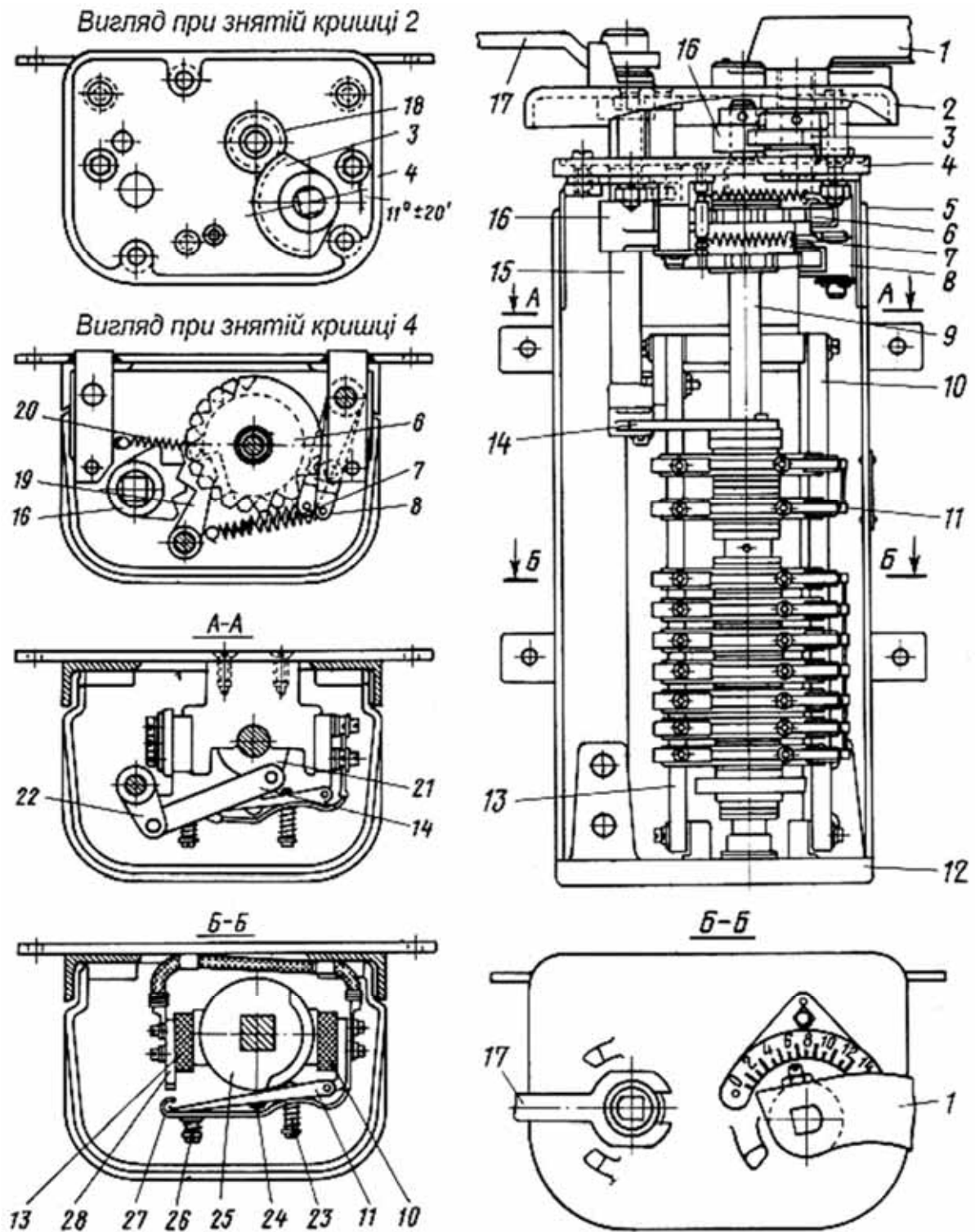


Рис. 10.7. Контролер машиніста типу КВ-16А:

1 – головна рукоятка; 2, 4 – кришки; 3 – зубчастий сектор; 5 – стінка; 6 – храповик головного барабана; 7, 20, 23, 26 – пружини; 8 – важіль із роликом; 9, 15 – вали; 10, 13 – стійки текстолітові; 11 – важіль пальця; 12 – днище; 14 – тяга реверсивного барабана; 16 – храповик реверсивного барабана; 17 – рукоятка реверсивна; 18 – шестерня; 19 – фіксатор; 21, 22 – важелі; 24 – ролик; 25 – шайба кулачкова; 27 – контактний палець; 28 – нерухомий контакт

У верхній частині вала 9 розташований реверсивний барабан, який являє собою циліндр з двома шайбами. Він вільно обертається на головному валу та приводиться до руху за допомогою важеля 22 і тяги 14 від реверсивного вала 15, з'єданого з реверсивної рукояткою 17.

З лівої і правої сторін від головного вала встановлені ізоляційні стойки 10, 13, на яких розміщені рухомі та нерухомі контакти.

Рухомий контакт пальцевого типу має в середній частині ролик 24, що вільно обертається на осі. При повороті вала ролик перекочується по профілю кулачкової шайби 25. Доки ролик котиться за окружністю шайби, контакти 27 і 28 розімкнуті. Коли ролик попадає в виріз шайби, рухомий контакт 27 під дією пружини 23 замикається з нерухомим 28. Таким чином, положення вирізів на шайбах визначає послідовність замкнення контактів і включення відповідних апаратів кіл управління тепловоза в залежності від позиції контролера. Робоча частина контактів 27, 28 виконана з срібними пластинками.

Головний вал на кожній позиції рукоятки фіксується храповиками 6, в вирізи яких западають сталеві ролики, які закріплені на двох важелях 8.

Фіксуючі рукоятки за допомоги пружин 7 притискають ролики до храповиків 6. Реверсивний вал фіксується храповиком 16 і фіксатором 19, що притискається пружиною 7. При цьому на кожному із трьох положень реверсної рукоятки зуб фіксатора 19 входить в вирізи храповика 16. Фіксатор виконує одночасно функції запираючого пристрою контролера. В нейтральному (виключеному) положенні реверсної рукоятки зуб фіксатора входить в середній менший виріз храповика 16. При цьому виступ з другої сторони фіксатора заходить в паз сектора храповиків 6, і обертання головного вала 9 являється неможливим.

Після переведення реверсивної рукоятки в одне із крайніх положень і головної рукоятки в одне із робочих положень фіксатор 19 не дозволяє випадково повернути реверсну рукоятку, так як він упирається в циліндричну поверхню храповиків 6 головного вала. Така проста механічна блокування забезпечує перевід головної рукоятки контролера тільки при робочому положенні реверсивної рукоятки та переведення реверсної рукоятки тільки після установки головної рукоятки в нульове положення (холостий хід). Крім того, на кришці контролера передбачено спеціальні приливи, що дозволяють витягти реверсну рукоятку тільки на нейтральному положенні і неможливо при положеннях «Вперед» або «Назад». Реверсивна рукоятка зазвичай знаходиться у машиніста та є ключем, без якого неможна перемістити головну рукоятку та привести тепловоз до руху.

На серійних тепловозах (ТЕМ2, ТЕМ7, ТГМ4А, ТГМ6А, 2ТЕ10М)

встановлюються контролери типів КВП-0854М, КВП-0855М і КВ-1552. Контролер машиніста КВ-1552 (рис. 10.8) складається із зварного корпусу 3, головного 6 та реверсивного 4 барабанів, набору кулачкових шайб 7, реверсивної рукоятки 1, штурвала 2. Позиції головного та реверсивного барабанів фіксуються посадженими на їх вали храповиками 12. Храповики фіксуються на кожній позиції штурвала або реверсивної рукоятки спеціальним важелем 10, фіксатором 9 та пружинами 8, 11. Принцип роботи фіксуючого пристрою залишається таким самим.

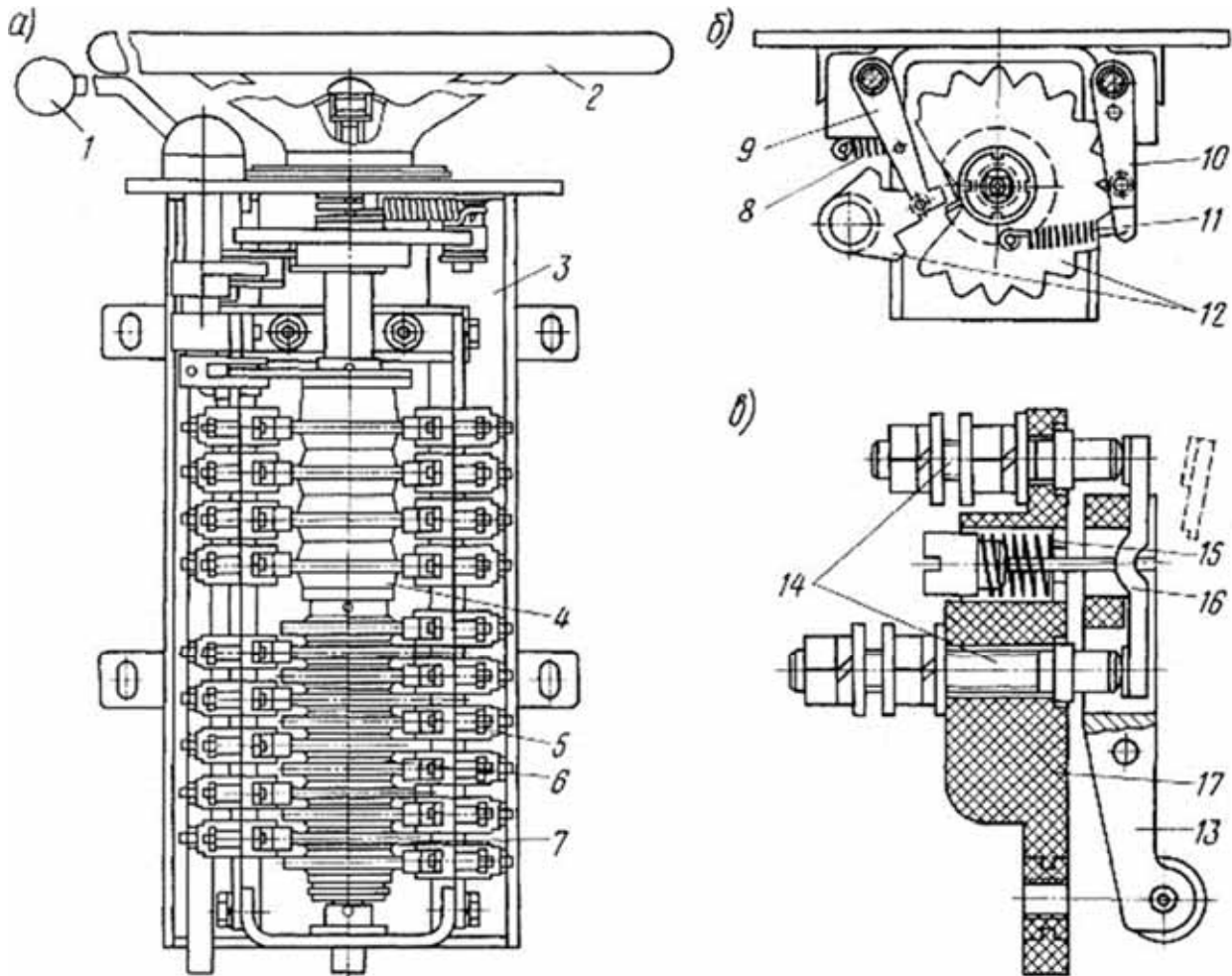


Рис. 10.8. Контролер машиніста КВ-1552:
а) загальний вид; б) фіксувальний механізм; в) контактний елемент

Контролер машиніста КВП-0855М обладнаний додатково дистанційно управляючим пневматичним приводом головного та реверсного барабанів, що складається із чотирьох циліндрів – набору та скидання позицій, переключення реверсивного вала та швидкого скидання позицій (рис. 10.9).

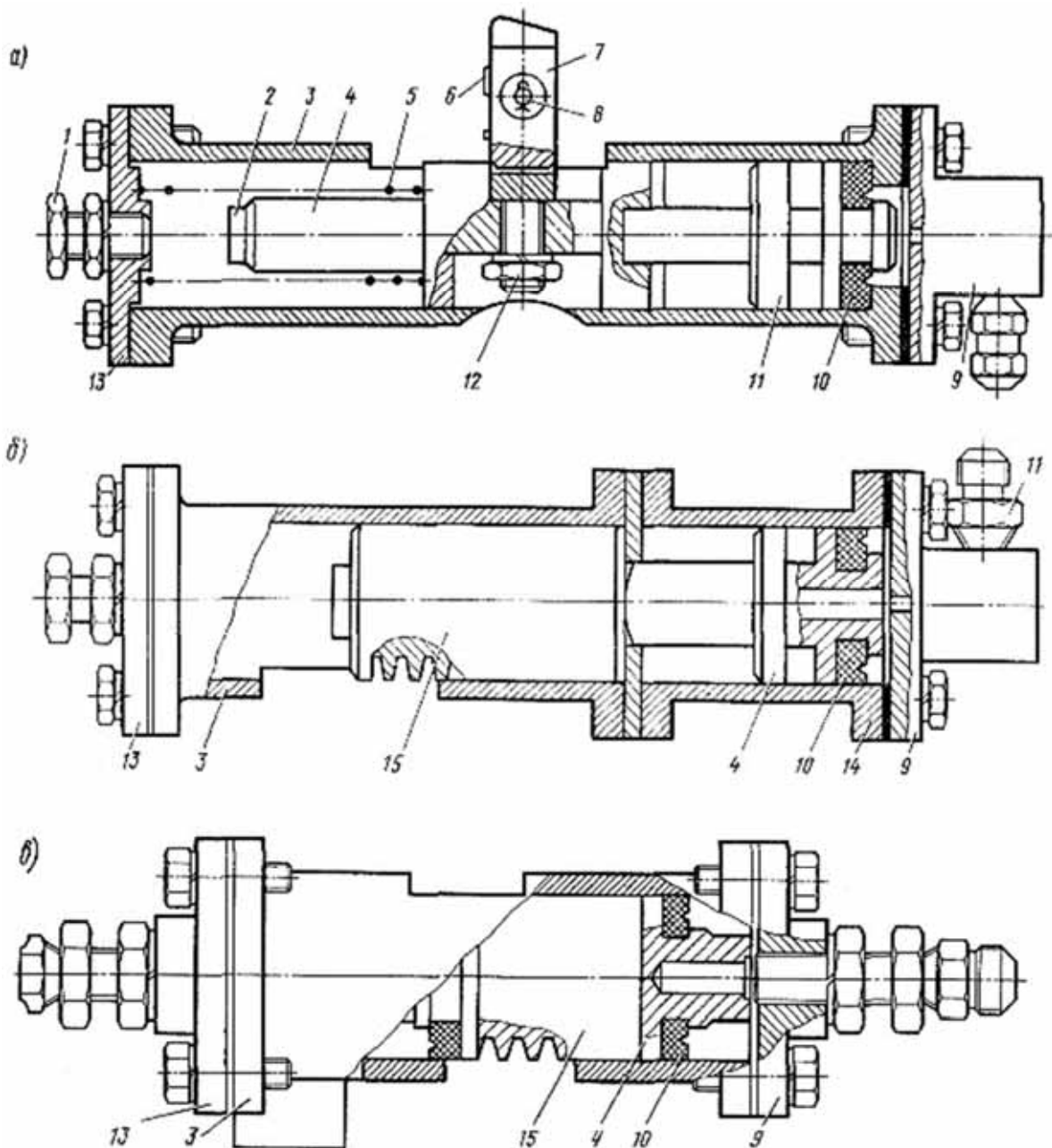


Рис. 10.9. Контролер машиніста КПВ-0854М:

- а) привід збільшення або зменшення позицій; б) привід скидання позицій;
 в) привід перемикання реверсивного валу

Контролери КВ-1552 і КВП-0855М мають контактну систему мостового типу. Контактний елемент (див. рис. 10.8) з подвійним розривом контактів складається з пластмасового ізолятора 17, важеля 13, контактних болтів 14, мостового контакту 16, тримача та пружини 15, що забезпечують початкове та кінцеве притискання. На важелі 13 закріплений ролик, що замикає або розмикає контактний елемент 5 при переміщенні його по

поверхні кулачкової шайби. Матеріал контактів – металокераміка.

Контактні напайки виконані із металокерамічної композиції на основі срібла та мають стабільний перехідний опір і достатню дугостійкість.

Основні технічні дані контактів контролерів: номінальна напруга 75–110 В, подовжений струм 20 А, розхил контактів 6–8 мм, провал 2,5–3,5 мм, контактне натискання 4–6 Н.

10.3. Реверсори

Реверсори – це комутуємі апарати з груповим приводом, призначені для переключення обмоток збудження тягових електродвигунів з ціллю змінення в них напрямку струму. При цьому змінюється напрямок обертання якорів тягових електродвигунів і, відповідно, напрямок руху тепловоза. Контакти реверсора виконуються без дугогасіння і таким чином зазначене перемикання може відбуватись тільки за відсутності струму в силовому колі.

За конструкцією контактів розрізняють реверсори *барабанні* та *кулачкові*, а за типом привода – *поршневі* та *діафрагмові*. На тепловозах ТЕЗ, ТЕМ1, ТЕМ2 застосовуються реверсори барабанного типу ПР-1М та ПР-720 з діафрагмовим приводом. Кулачкові реверсори типів ППК-8061, ППК-8063, ППК-8041, ППК-8042 і ППК-8023 установлюються на тепловозах 2ТЕ10Л (В, М), ТЕМ7, ТЕМ2.

Реверсор ПР-720 (рис. 10.10) та аналогічний йому ПР-1М призначений для перемикання обмоток збудження тягових електродвигунів з метою зміни напрямку струму в них, унаслідок чого змінюється напрямок обертання якорів тягових електродвигунів, а отже, напрямок руху тепловоза. Реверсор, який є перемикачем силового кола з електропневматичним приводом, складається з таких основних вузлів: діафрагмового приводу 1 з електропневматичним вентилям 4, сегментного барабана 6, укріпленого на шестигранному валу, нерухомих силових контактів 9 із лівого й правого боків барабана 6 та барабана 5 блокувальних контактів, розміщеного між приводом і головним барабаном.

Силіві нерухомі контакти виконані у вигляді мідних пальців 8, шарнірно встановлених по 4 шт. на сталевих пальцетримачах 12, закріплених на ізольованих шестигранних стійках. Контактний палець спирається на пальцетримач за допомогою штифта 11 і внаслідок цього самовстановлюється контактною поверхнею на сегменті барабана 6.

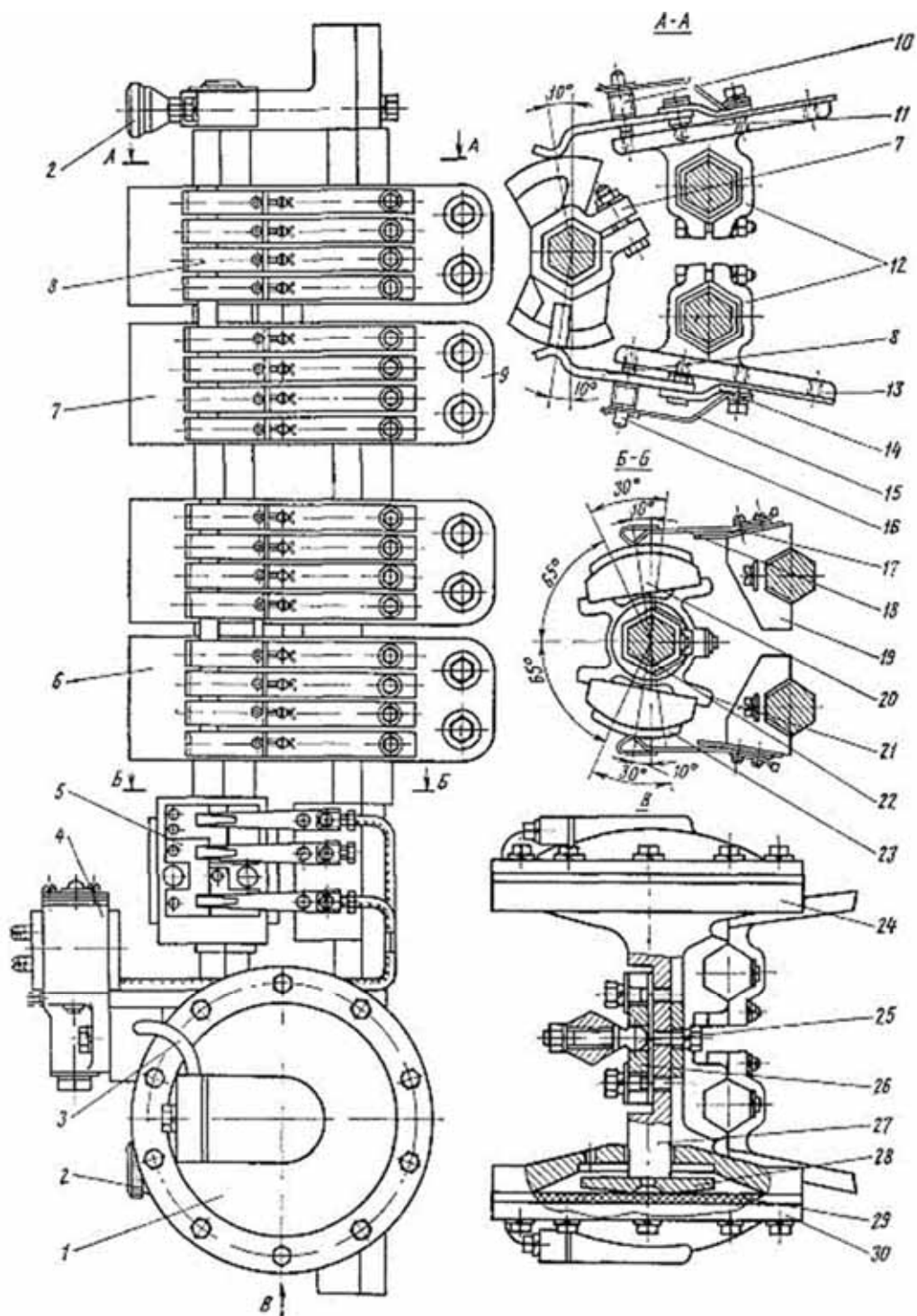


Рис. 10.10. Реверсор типу ПР-720:

1 – діафрагмовий привід; 2 – маслянка; 3 – повітропровід; 4 – електропневматичний вентиль; 5 – барабан блокувальних контактів; 6 – барабан сегментний; 7 – рухомі силові контакти; 8, 13 – пальці контактні; 9 – нерухомі силові контакти; 10 – пружина; 11 – штифт; 12 – пальцетримач; 13 – планка мідна; 14 – гнучке з'єднання; 15 – скоба; 16 – гвинт регулювальний; 17 – пластинка сталевая; 19 – колодка дерев'яна; 20 – сегмент дерев'яний; 21 – сегмент-тримач; 22 – вал; 23 – пластинка мідна; 24 – корпус привода; 25 – поводиток; 26 – планка; 27 – шток; 28 – шайба упорна; 29 – діафрагма; 30 – кришка

Контактне натискання здійснюється пружиною 10, що спирається на скобу 15, яка за допомогою шплінта оберігає регульовальний гвинт 16 від самовідгвинчування. Відведення струму від контактних пальців до контактних затискачів виконується гнучким з'єднанням 14 і мідною планкою 13.

Силові рухомі контакти 7 зроблені з латуні у вигляді литих фігурних сегментів, змонтованих попарно у дві групи та закріплених на ізольованому шестигранному валу. Права частина сегмента в кожній парі розташована навпроти сусіднього та відділяється від нього фібровою прокладкою. Вал сегментного барабана встановлюється у верхньому і нижньому підшипниках ковзання з маслянками 2 для змащення.

Нерухомі блокувальні контакти виконано у вигляді контактного пальця 18 із пружинної сталі, укріпленого за допомогою сталевий пластинки 17 на дерев'яній колодці 19, просоченій ізолювальним складом. Дерев'яні колодки прикручені гвинтами до шестигранних стійок.

Рухомі блокувальні контакти виготовлено з мідних пластинок 23 і укріплено шурупами на просочених ізолювальною сумішшю дерев'яних сегментах 20, які, своєю чергою, укріплено гвинтами на литому сталевому сегментотримачі 21 з шестигранним отвором. Сегментотримач гранями шестигранного отвору притиснутий болтами до граней шестигранного вала 22.

Електропневматичний привід складається з корпусу 24, між фланцями якого і кришками 30 є порожнини, усередині яких кришками 30 затиснуті по колу гумотканинні діафрагми 29. Між діафрагмами в свердлінні корпусу розміщений шток 27 з двома упорними шайбами 28. До штока прикручена планка 26, у свердління якої заведена сферична головка поводка 25, жорстко закріпленого на шестигранному валу сегментного барабана б. На корпусі приводу встановлено два електропневматичні вентиля 4, отвір для повітря, що виходить, кожного з яких сполучається повітропроводом 3 із простором між діафрагмою 29 і кришкою 30.

У нейтральному положенні сегментний барабан перебуває в середньому положенні, а нерухомі праві контактні пальці перебувають на фібрових ізоляційних прокладках. Під час установа реверсивної рукоятки контролера машиніста в одне з положень "Вперед" або "Назад" умикається один із вентилів, подаючи повітря під одну з діафрагм. Діафрагма, віджимаючись через упорну шайбу 28, переміщує шток 27 в одне з крайніх положень. Відповідно переміщується головка поводка 25 і повертається барабан б на 15° , створюючи ланцюг струму обмоток збудження тягових електродвигунів.

Під час перемикання реверсивної рукоятки контролера машиніста

вмикається другий електропневматичний вентиль, а перший вимикається. У цьому разі повітря подається під іншу діафрагму і шток 27, переміщаючись, повертає сегментний барабан у протилежному напрямку на 30°.

Фіксація сегментного барабана б у робочих положеннях здійснюється стисненням повітрям, що подається електропневматичним вентилем. У разі припинення подачі повітря сегментний барабан стійко зберігає робоче положення завдяки силам тертя, створюваним переважно натисканням контактних пальців нерухомих силових контактів на сегменти силових рухомих контактів.

Основні технічні дані реверсора: напруга максимальна 900 В; струм тривалий 830 А; робочий тиск 0,5 МПа; тиск максимальний 0,7 МПа; тиск мінімальний 0,375 МПа; хід штока ± 8 мм; натискання силових контактів 50–60 Н; натискання блокувальних контактів 9–22,5 Н; провал контактів силових і блокувальних 3–2 мм; маса 90 кг.

Груповий кулачковий перемикач (реверсор) типу ППК-8063 (рис. 10.11, а)) встановлюють на тепловозах 2ТЕ10В (М і С). Схема роботи кулачкового реверсора показана на рис. 10.11 б), в).

Пневматичний привід 3 реверсора (див. 10.11, а) діафрагмового типу і кронштейн 9 пов'язані з шістьма ізольованими стійками 7. До чотирьох стійок кріпляться нерухомі контакти 5, а до двох – рухомі 2.

Фігурні пластмасові кулачкові шайби 8 посаджені на вал 1, який повертається двохпозиційним приводом, керованим двома електропневматичними вентилями. Привід управляється електропневматичними вентилями 4 типу ВВ-32. Перемикач має пристрій для ручного повороту та фіксації контактів у нейтральному положенні. За кількістю тягових електродвигунів перемикач має шість електричних груп, кожна з яких складається з чотирьох нерухомих контактів, укріплених на стійках, і рухомих, змонтованих на двох хитних важелях б. Кожен важіль управляється однією кулачковою шайбою 8.

При повороті вала кулачкова шайба натискає на ролик, виготовлений у вигляді голчастого підшипника або втулки, і повертає важіль навколо осі до замикання контактів. Профіль шайби 8 обраний так, що забезпечує одночасне замикання тільки двох пар контактів кожної групи. При цьому, контакти залишаються замкнутими при знятті напруги з котушок вентилів або відсутності повітря в циліндрах приводу. Кулачковий перемикач має допоміжні контакти мостового типу, використовувані в колах управління тепловозом і в першу чергу для фіксації кінцевих положень вала.

Перемикання в обмотках збудження двигунів можуть здійснюватися тільки в знеструмленому стані, оскільки реверсор не має дугогасильних

пристроїв. Управління реверсором здійснюється реверсивною рукояткою контролера машиніста.

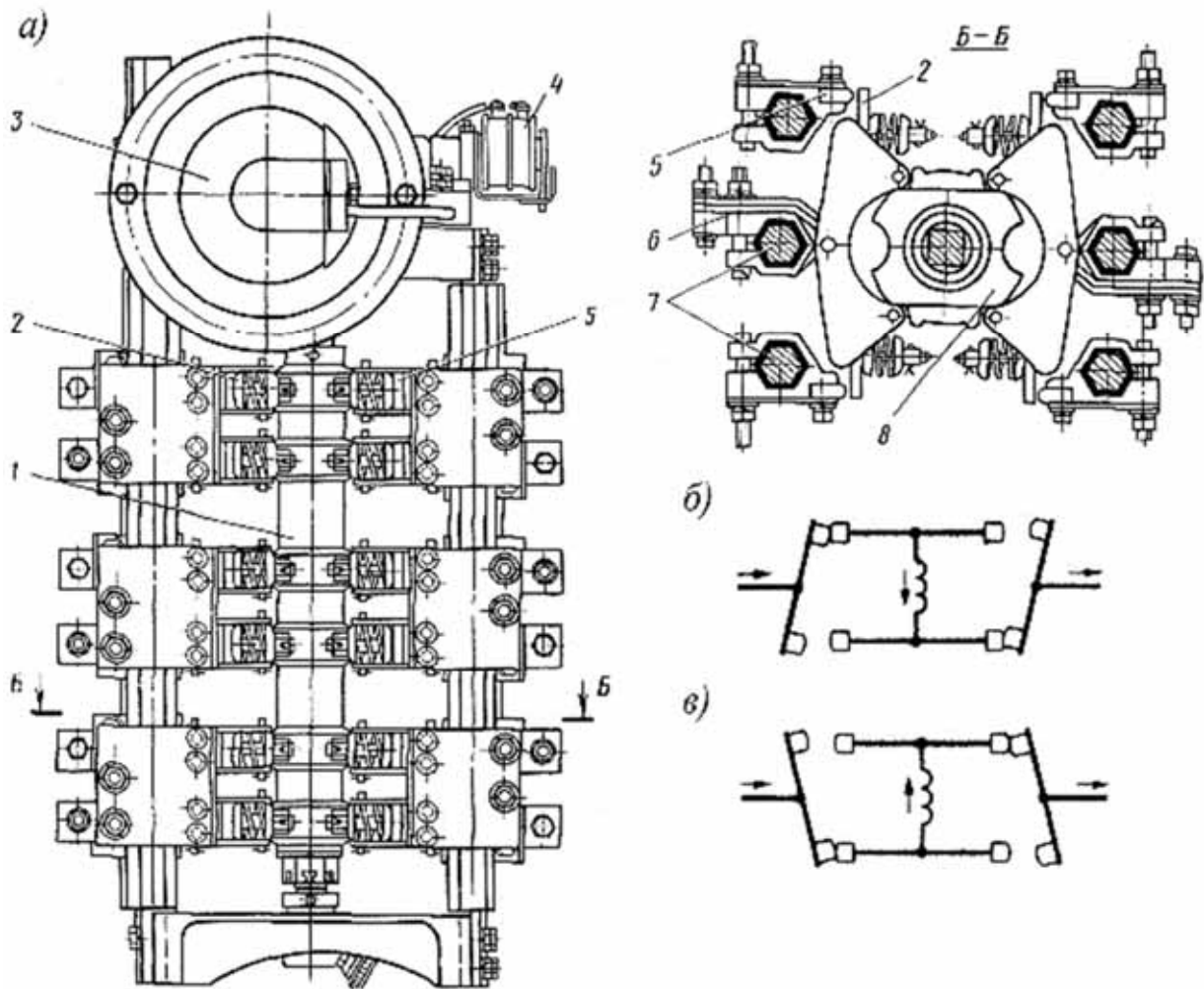


Рис. 10.11. Кулачковий перемикач ППК-8063:

а) будова перемикача; б), в) схемі роботи кулачкового елемента реверсора – б) положення "Вперед", в) положення "Назад" (стрілки показують напрямок струму в обмотці збудження)

Кулачковий перемикач ППК-8023, використовуваний як, реверсор на тепловозі ТЕМ2, значно простіше ППК-8063, оскільки має тільки дві групи контактів, розташованих з одного боку, і призначений для реверсування двох кіл тягових електродвигунів.

Основні технічні дані кулачкових перемикачів: тривалий струм 850 А; номінальний струм 1000 А; номінальна напруга 900 В; розмикання головних контактів 10 мм; контактне натискання 300 Н.

Запитання до самоконтролю

1. *Класифікація контакторів та їх характеристики.*
2. *Призначення, принцип дії та устрій електропневматичного контактора ПК-753Б.*
3. *Призначення, принцип дії та устрій групового електропневматичного контактора ПКГ-565.*
4. *Призначення, принцип дії та устрій електромагнітного контактора КПВ-604.*
5. *Призначення, принцип дії та устрій триполюсного електромагнітного контактора змінного струму типу КМ-2334.*
6. *Призначення, принцип дії та устрій контролера машиніста типу КВ-16А.*
7. *Призначення, принцип дії та устрій контролера машиніста типу КВ-1552.*
8. *Призначення, принцип дії та устрій реверсора типу ПР-720.*
9. *Призначення, принцип дії та устрій кулачкового перемикача типу ППК-8063.*

АПАРАТИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ, КОНТРОЛЮ І ЗАХИСТУ

11.1. Реле управління та заземлення

Класифікація реле. Реле призначені для автоматизації процесів управління та захисту електричного обладнання, дизеля і інших пристроїв, тепловоза. За принципом дії реле діляться на *контактні* (електромагнітні, електродинамічні, теплові, пневматичні, механічні) і *безконтактні* (магнітні і напівпровідникові). За родом контрольованого параметра розрізняють реле *струму*, *напруги*, *часу*, *тиску* і т.д. За реагуванням на вимірювану величину реле розділяють на *максимальні* і *мінімальні*. Реле, що спрацьовують на різницю двох контрольованих параметрів, називають *диференціальними*. Залежно від призначення бувають реле *управління*, *захисту*, *автоматики*, *реле-датчики*, *проміжні* та *спеціальні*.

Реле управління. Електромагнітні реле типу Р-45М (рис. 11.1, а) застосовуються на тепловозах для дистанційного управління колами малої потужності. Є різні модифікації цих реле в залежності від числа і типу контактів. Реле виконуються з двома видами контактів – пальцьовими і мостиковими.

Магнітна система реле Р-45М-22 складається з ярма, осердя та котушки, встановлених на ізоляційній панелі. На кромці ярма кронштейном укріплений якір, в нижній частині якого розташовані ізоляційна колодка з рухомими пальцьовими контактами. Нерухомі контакти виконані у вигляді шпильок і укріплені на панелі. Шпилька розмикаюча пряма, а замикаюча вигнута у вигляді скоби. Контакти мають срібні напайки. При відсутності струму в котушці пружина віджимає якір до упорної шпильки. Коли по котушці протікає струм, створюване магнітним потоком зусилля долає опір пружини, якір повертається навколо кромки ярма та притягається до осердя, перемикаючи контакти. Реле має одну пару замикаючих і одну пару розмикаючих допоміжних контактів мостикового типу.

Якір 3 реле вільно гойдається на кронштейні 4. Коли котушка 1 зне-

струмлена, пружина 6 віджимає якір від осердя 2, при цьому контакти розімкнуті. Коли котушка обтікається струмом, якір притягується до осердя 2, долаючи опір пружини, при цьому контакти 7 і 8 реле замикаються.

Реле регулюють на необхідне значення струму спрацьовування змінною затягування пружини гвинтом 5. Пружина 9 служить для притирання контактів.

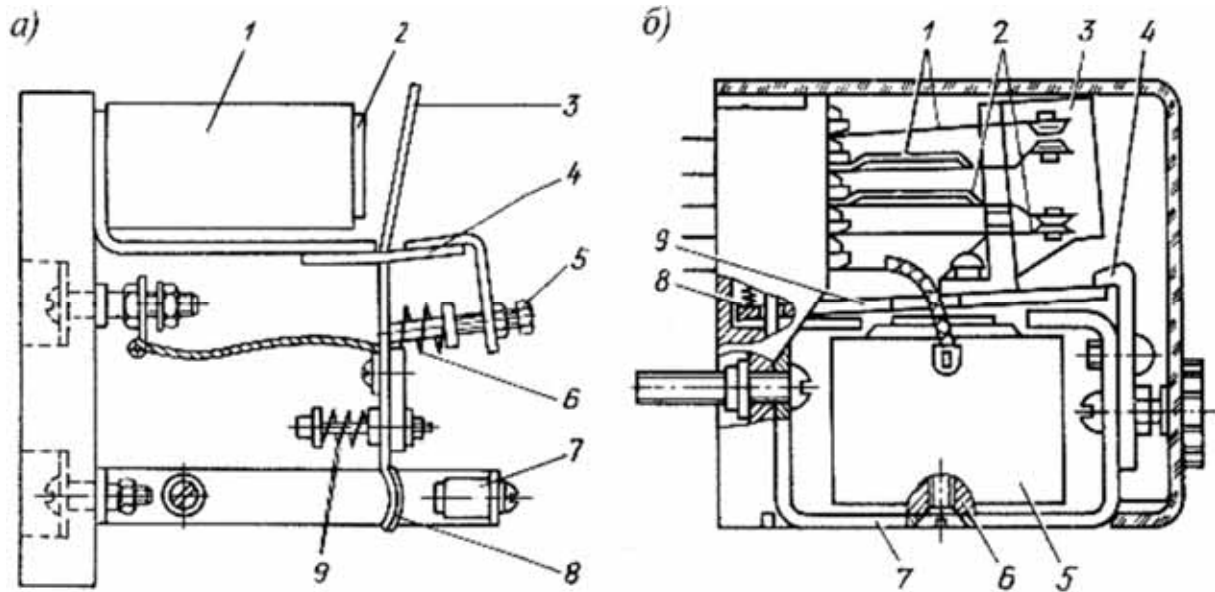


Рис. 11.1. Реле управління типу Р-45М (а) і ТРПУ-1 (б)

На тепловозах встановлюють також реле типу ТРПУ-1 (рис. 11.1, б). Живлення його може здійснюватися постійним струмом напруги 24, 75 і 110 В. Контакти реле розраховані на струм тривалого режиму 6 А. Реле ТРПУ-1 працює на електромагнітному принципі та складається з магнітопровода у вигляді скоби 7, котушки 5 з осердям 6, якоря 9, контактів, що замикають 1 й розмикають 2. На якорі встановлена пластмасова траверса 3, що впливає на рухомі пластини контактів. На траверсі є три перегородки, що розділяють вертикальні ряди контактів, для перешкоджання перекиданню дуги. Реле закриті прозорим кожухом. При проходженні струму по котушці якір притягується до осердя та через траверсу перемикає контакти. Після зняття напруги пружина 8 встановлює якір у вихідне положення, при цьому замикальні контакти розмикаються, а розмикальні замикаються. Хід якоря обмежується косинцем 4.

Контакти реле виконуються з срібними наплавленнями. Реле стійко працює в умовах різких коливань температури.

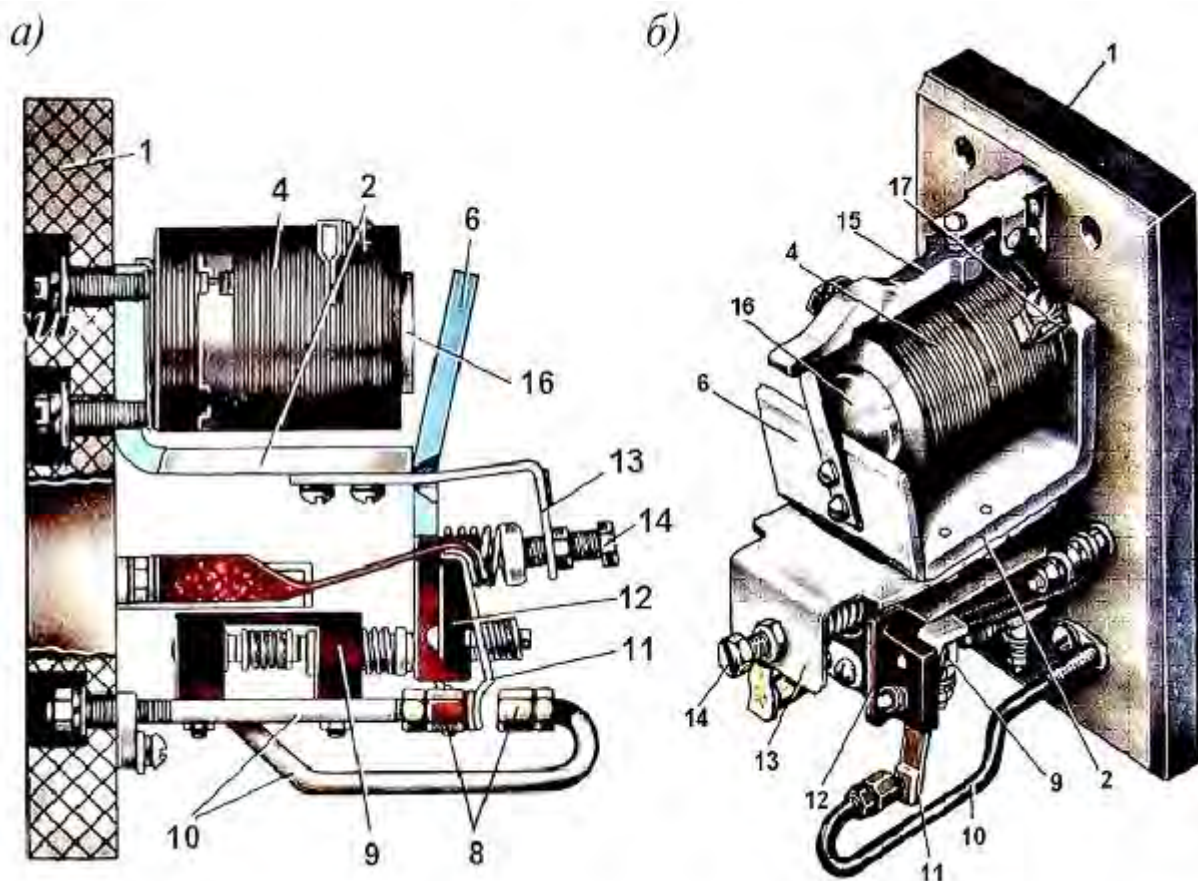


Рис. 11.2. Реле управління Р-45М (а) та заземлення Р-45Г (б)

Реле заземлення типу Р-45Г (рис. 11.2, б) служить для захисту електрообладнання силового кола від струмів короткого замикання у разі пробією ізоляції на корпус тепловоза. Випускається у двох виконаннях: Р-45Г2-11 і Р-45Г2-12. Вони відрізняються обмотувальними даними котушок. Майже на всіх тепловозах встановленні реле типу Р-45Г2-11. За конструкцією реле заземлення відрізняється від реле управління типу Р-45М наявністю механічної засувки, що утримує якір у включеному положенні, а також посиленою ізоляцією котушки.

У разі пробією ізоляції, наприклад, тягових електродвигунів, реле заземлення спрацьовує, якір стає на засувку, а контакти його розривають кола живлення котушок контакторів збудження збуджувача та головного генератора. Напруга генератора при цьому зменшується до нуля. У початкове положення реле повертається переміщенням засувки вручну. Особливість реле полягає в тому, що пробій ізоляції на ділянках кола, розташованих поблизу підключення котушки, не викликає його включення з причини низького падіння напруги, меншої напруги спрацьовування. Це є істотним недоліком реле заземлення типу Р-45Г. Тому цілий ряд елементів силового кола – обмотки збудження тягових електродвигунів, ревер-

сор, контактори і резистори ослаблення поля не захищені від замикань на корпус (рис. 11.3).

Основні технічні характеристики реле управління і заземлення: номінальний струм пальцевих контактів 10 А; мостикових 2 А при контактному натисканні відповідно 2,7–3,3 Н та 1,1–1,5 Н. Струм спрацьовування реле Р-45Г2 становить 10 А, а реле Р-45Г3-0,19 А.

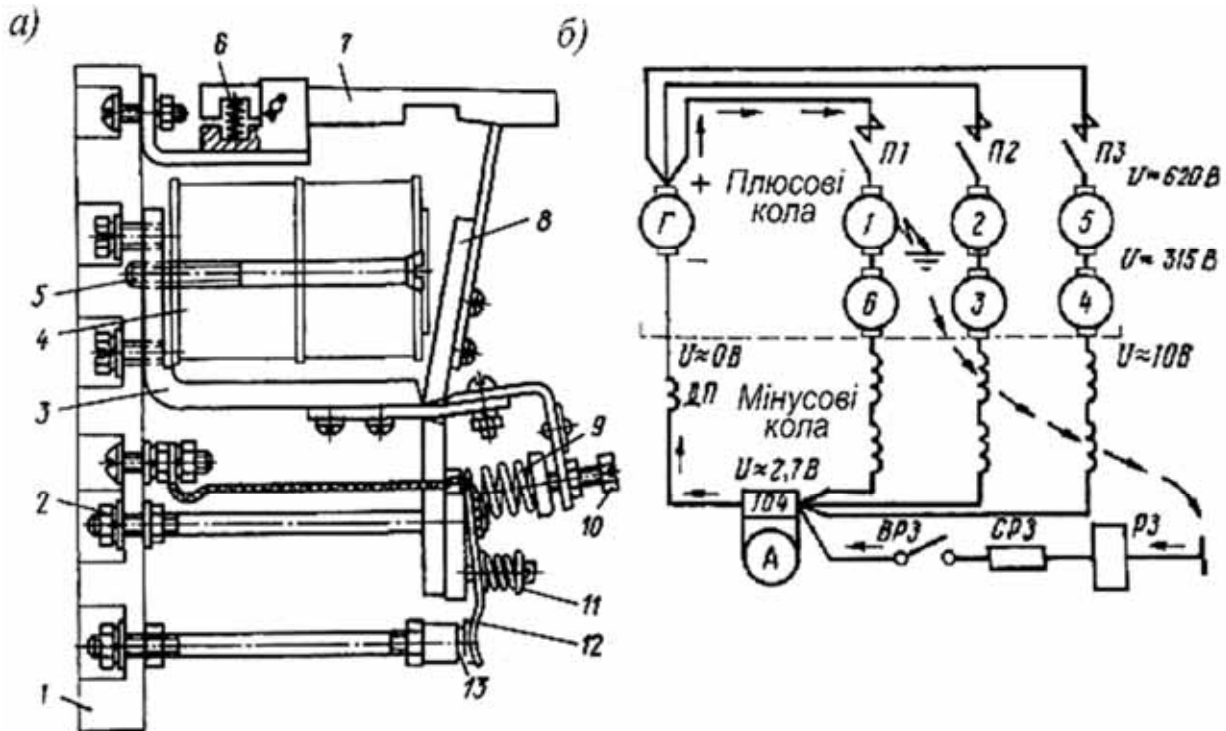


Рис. 11.3. Реле заземлення типу Р-45Г:

а) конструкція; б) схема включення на тепловозах;

1 – панель; 2 – упорна шпилька; 3 – магнітопровід (скоба); 4 – котушка; 5 – осердя; 6, 9, 11 – пружини; 7 – важіль засувки; 8 – якір; 10 – гвинт; 12 – рухомий контакт; 13 – нерухомий контакт; U – падіння напруги за $I_T = 2000$ А та $U_T = 620$ В; стрілки – напрямок струму при заземленні в силовому колі

Для підвищення надійності тепловозів за рахунок своєчасного виявлення замикань на корпус в будь-якій точці силового кола останнім часом застосовуються **реле заземлення типу РМ-1110**. Реле складається з електромагніту 1 і блоку контактів, встановлених на панелі 5 (рис. 11.4, а). Електромагніт включає в себе ярмо 12, якір 9, осердя 11, утримуючу РЗ (У) і робочу РЗ (Р) котушки. Якір 9 прикріплений на противазі 9, що повертається навколо осі 4, розміщений в пазу ярма 12. Осердя 11 електромагніту закріплено на ярмі за допомогою пружинного плоского кільця 14. Блок контактів складається з колодки, на якій укріплені один замикаючий

і один розмикаючий контакти. Кожен контакт має дві пари контактів, з'єднаних послідовно. При включенні електромагніта траверса 6 переміщує рухомі контакти 7, внаслідок чого замикаючий контакт замикається з нерухомим 8, а розмикаючий – розмикається. Контакти реле мають срібні наплавлення. Реле закрито кожухом. Для регулювання натискання поворотної пружини 3 використовується гвинт (упор) 13. Обмотки котушок розміщені в пластмасових обіймах і залиті епоксидним компаундом. Хід якоря регулюється гвинтом (упором) 10. Реле має таку технічну характеристику: номінальна напруга 110 В; напруга ізоляції 900 В; номінальний струм 1 А; струм робочої котушки (струм установки) 0,04 А; струм утримуючої котушки 0,16 А; розхил контактів 1–1,5 мм; кінцеве натискання контактів 0,25–1 Н.

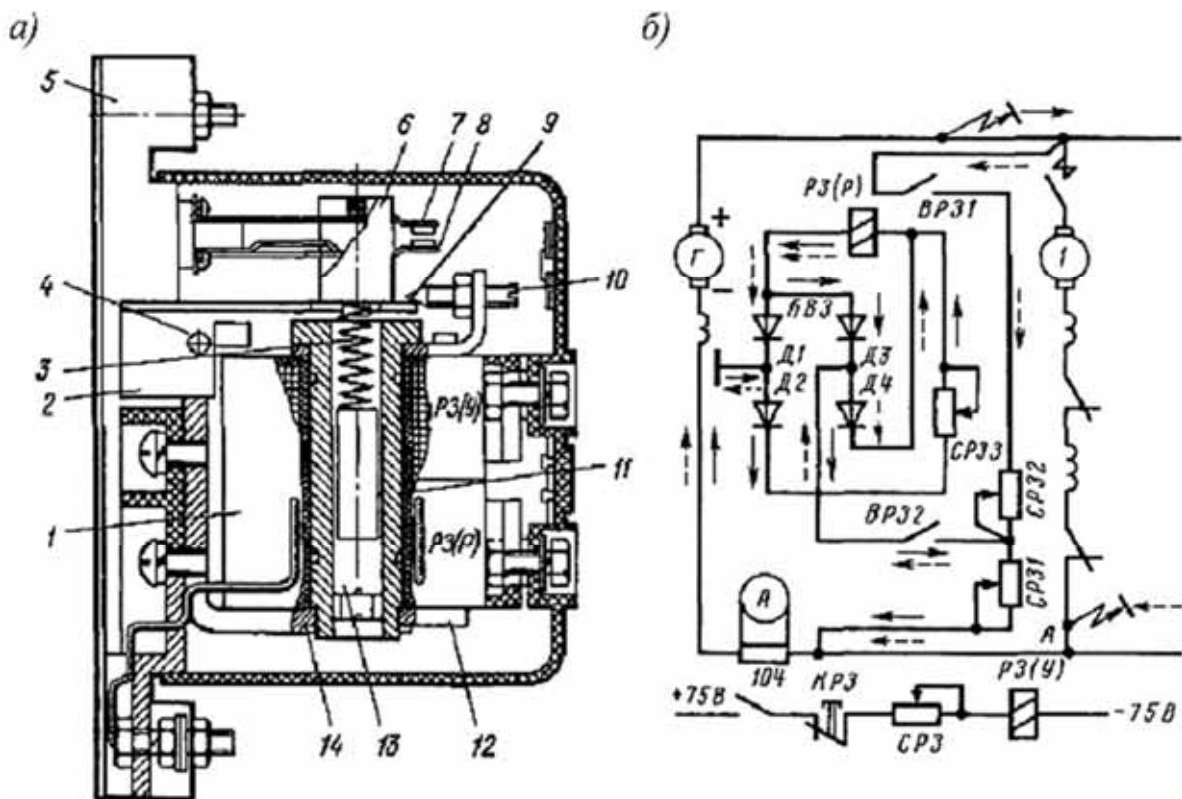


Рис. 11.4. Реле заземлення типу РМ-1110:
а) конструкція; б) схема включення на тепловозах 2ТЕ10М та 2ТЕ116

Утримуюча котушка постійно включена на напругу кола управління тепловоза 75 або 110 В через відповідний резистор (440 або 605 Ом), але її МРС недостатня для включення реле. Якщо в силовому колі тепловоза сталося замикання на корпус, то через робочу котушку реле буде протікати струм. Тому що МРС обмоток $P3(P)$ і $P3(U)$ спрямовані узгоджено,

то в результаті їх спільної дії реле включиться і якір притягнеться до осердя. Траверса, що прикріплена до якоря, призведе перемикання контактів. При знятті напруги з котушки $P3 (P)$ реле залишиться під дією МРС котушки $P3 (У)$ у включеному стані. Для його відключення необхідно зняти напругу з утримуючої котушки з допомогою кнопки $KP3$ (рис. 11.4, б). Для підвищення швидкодії, реле не має засувки, а її функції виконує котушка $P3 (У)$.

Налаштування реле відбувається таким чином: встановлюється в утримуючій котушці струм 0,16 А, регулюючи гвинтом $I3$ натискання поворотної пружини 3 (див. рис. 11.4, а) домагаються, щоб реле спрацювало при струмі в робочій котушці 0,04 А. Відключення реле повинне відбутися при струмі котушки $P3 (У)$ в межах 0,112–0,008 А і вимкненою котушці $P3 (P)$.

Котушка $P3 (P)$ підключена до випрямного мосту $БВ3$, який з'єднаний з корпусом тепловоза і через рубильник $ВР32$ з дільником напруги $СР32 – СР31$. Резистор $СР31$ з'єднаний з «мінусом» тягового генератора $Г$, а $СР32$ через рубильник $ВР31$ – з його «плюсом». Таке підключення котушки $P3 (P)$ забезпечує спрацювання реле заземлення при пошкодженні ізоляції на будь-якій точці силового кола. Наприклад, при замиканні на корпус плюсового проводу струм по робочій котушці потече по наступному колу: плюс генератора $Г$, корпус тепловоза, діод $Д2$, резистор $СР33$, котушка $P3(P)$, діод $Д3$, рубильник $ВР32$, резистор $СР31$, шунт амперметра $I04$, обмотка додаткових полюсів, мінус $Г$ на рис. 11.4, б) суцільні стрілки.

Якщо сталося замикання мінусового проводу в точці A , то створюється наступне коло: плюс $Г$, рубильник $ВР31$, резистор $СР32$, рубильник $ВР32$, діод $Д4$, котушка $P3(P)$, діод $Д1$, корпус тепловоза, місце пробною A , шунт амперметра $I04$ і далі на мінус $Г$, (на рис. 11.4, б) показано штриховою лінією стрілки). Струм незалежно від місця пошкодження ізоляції по робочій обмотці $P3 (P)$ протікає в одному напрямку.

11.2. Реле переходу та боксування

Реле переходу (РП1, РП2). Вони служать для автоматичного керування режимами роботи тягових електродвигунів в залежності від швидкості руху тепловоза. Застосовуються для цих цілей реле типів Р-42Б і

РД-3010. За допомогою зазначених реле виконуються вмикання та вимикання контакторів ослаблення поля та перемикання схеми з'єднання тягових електродвигунів (тепловоз ТЕМ1).

В даний час на всіх тепловозах з електричною передачею встановлюються диференціальні реле РД-3010, що реагують на різницю струмів у котушках, які живляться від різних кіл. Магнітна система реле (рис. 11.5, а) складається з ярма 3 (П-подібної форми), осердь з котушками 1, 2 і якоря 4 (Г-подібної форми), закріпленого на стійці 8 за допомогою осі 9. На нижній полиці ярма магнітопровода розташована котушка напруги 1, а на верхній – струмова 2. Рухомі контакти 7 встановлені на якорі, а нерухомі 6 – на ізоляційній колодці. Реле має один замикаючий контакт з подвійним розривом.

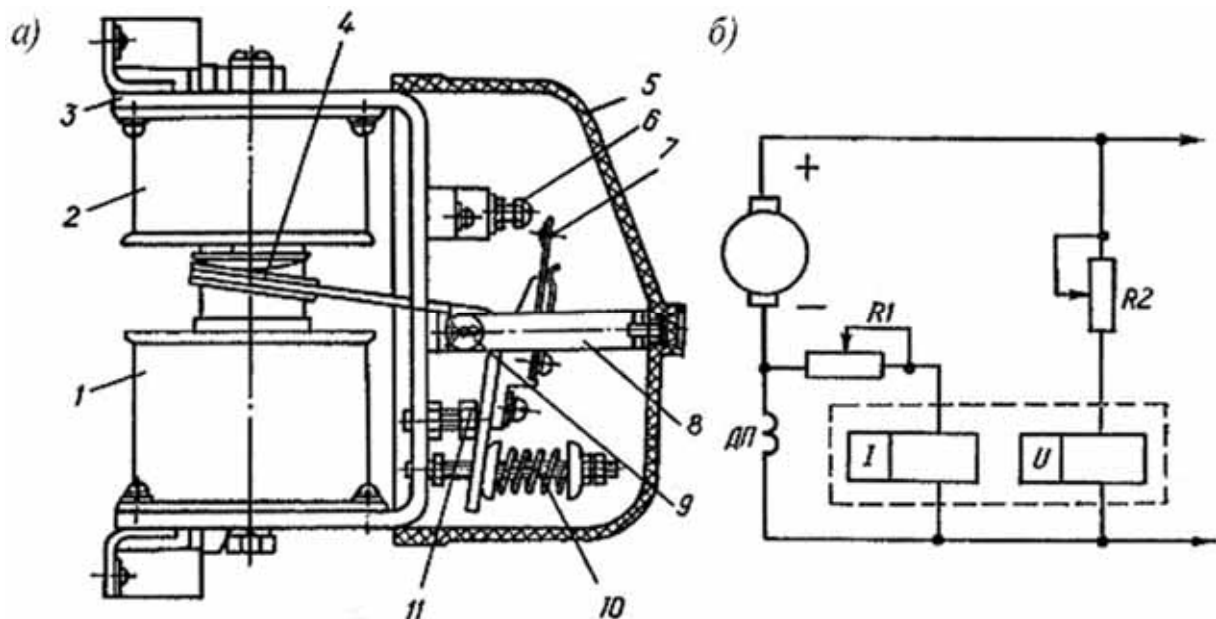


Рис. 11.5. Диференціальне реле типу РД-3010:
а) конструкція; б) схема включення

Контактна система закрита прозорим кожухом 5. Виводи котушок і контактів з'єднані з затискачами, розташованими на ізоляційній панелі. При знеструмлених котушках якір 4 притиснутий пружиною 10 до струмової котушки і регульовального гвинта 11. У цьому положенні контакти реле розімкнуті.

Котушки реле включені так (рис. 11.5, б), що струми в їх колах пропорційні напрузі та струму тягового генератора. При цьому намагнічуючі сили котушок спрямовані зустрічно та створюють магнітні потоки, кожен з яких замикається через осердя, якір і верхню або нижню частину ярма.

Зусилля, створені магнітними потоками кожної котушки, прагнуть притягти якор до свого осердя. Реле спрацьовує під дією зусилля, що створюється котушкою напруги, якому протидіє зусилля струмової котушки та натискної пружини. Реле переходу РД-3010 має наступну технічну характеристику контактів: розхил 2 мм, натискання 0,4 Н, номінальний струм 3 А.

Котушка напруги при зростанні струму в ній (напруги генератора) викликає спрацьовування реле, а котушка струму при зростанні струму в ній (струму тягового генератора) викликає відпадання реле. Завдяки цьому характеристики реле переходу мають вигляд, показаний на рис. 11.6. На цьому рисунку характеристики реле нанесені на зовнішні характеристики тягового генератора, оскільки спрацьовування та відпадання реле відбуваються в залежності від певного співвідношення напруги та струму генератора.

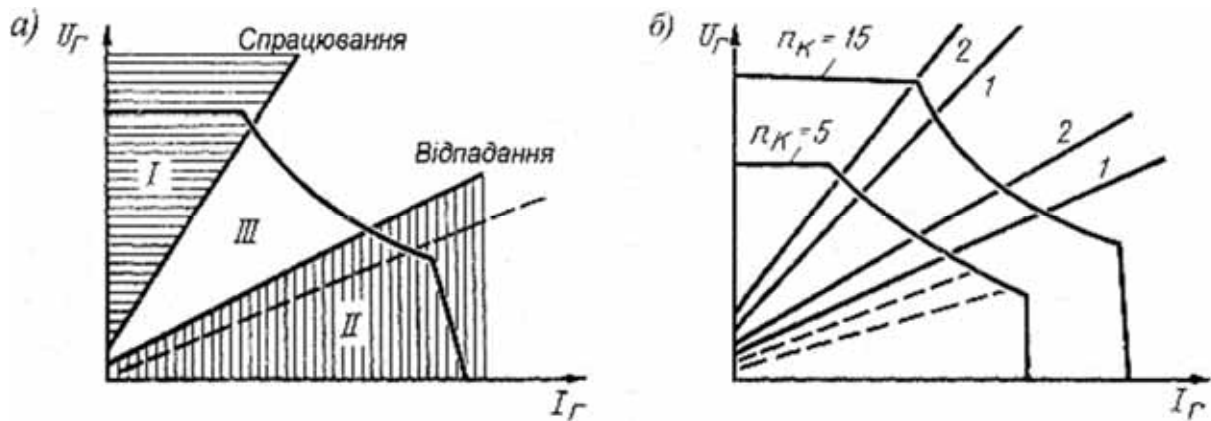


Рис. 11.6. Характеристики реле переходу:

а) зони спрацьовування і відпадання; б) перехід на ступені ослаблення збудження; U_G – напруга генератора; I_G – струм генератора; 1, 2 – спрацьовування та відпадання реле при I-у та II-у ступенях ослаблення збудження

Верхня частина характеристики (рис. 11.6, а) є характеристикою спрацьовування, в будь-якій її точці реле спрацьовує та залишається включеним до тих пір, поки не буде досягнута нижня частина характеристики відпадання. Таким чином, в зоні I реле завжди включено, в зоні II реле завжди вимкнено, а в зоні III реле може бути і включено, і вимкнено залежно від того, в якій зоні (I або II) на зовнішній характеристиці працювала електропередача до цього. Як видно з рис. 11.6, б) спрацьовування реле відбувається тоді, коли напруга генератора наближається до максимального значення. В результаті включення ослаблення збудження струм генератора стрибком збільшується уздовж гіперболічної характеристики.

Похилені характеристик 1, 2 реле переходу дозволяють зручно управля-

ти переходом не тільки при крайньому положенні рукоятки контролера машиніста, але і на цілій групі нижчих позицій. Однак на нижчих позиціях небезпека виникнення дзвінкової роботи зростає, оскільки інтервал між характеристиками спрацьовування і відпадиння реле зменшується. Регулювання переходу на тепловозі проводиться за допомогою резисторів $R1$ і $R2$ (див. рис 11.5, б).

На тепловозах типу 2TE10M, 2TE116 та ін. Встановлюють два реле переходу, які управляють включенням і відключенням 1-го та 2-го ступенів ослаблення збудження (ОП1 і ОП2).

Характеристику першого та другого реле налаштовують таким чином, щоб вони були трохи зрушені одна відносно іншої (див. рис. 11.6, б). Завдяки цьому спочатку спрацьовує реле першого ступеня. Реле другого ступеня включається після того, як напруга генератора знову піднімається по гіперболічній характеристиці під час розгона тепловоза з поїздом.

На стенді регулювання реле переходів (рис. 11.7, а) перевіряють двома амперметрами, якими фіксують струми в котушках в момент вмикання та вимикання реле (табл. 11.1). У невеликих межах струми включення та вимикання можуть регулюватися зміною затягування пружини.

Таблиця 11.1

Параметри настройки реле РД-3010

Положення контактів	Струм котушки, А	
	струмової	напруги
Замикаються	0	0,075
Розмикаються	0	0,022
Замикаються	1	0,155
Розмикаються	1,3	0,052

Реле боксування (РБ1, РБ2, РБ3). Вони призначені для автоматичного зниження потужності дизель-генератора при боксуванні колісних пар. При цьому знижується сила тяги тепловоза та припиняється боксування, тим самим здійснюється захист тягових електродвигунів від надмірного збільшення частоти їх обертання якорів. Реле боксування – це чутливе електромагнітне реле з високим коефіцієнтом повернення (0,85–0,9). Найбільше поширення отримало реле типу Р-46Б-1. За конструкцією воно аналогічне реле управління, але виконано з більш легким якорем для збільшення чутливості та великим числом витків котушки.

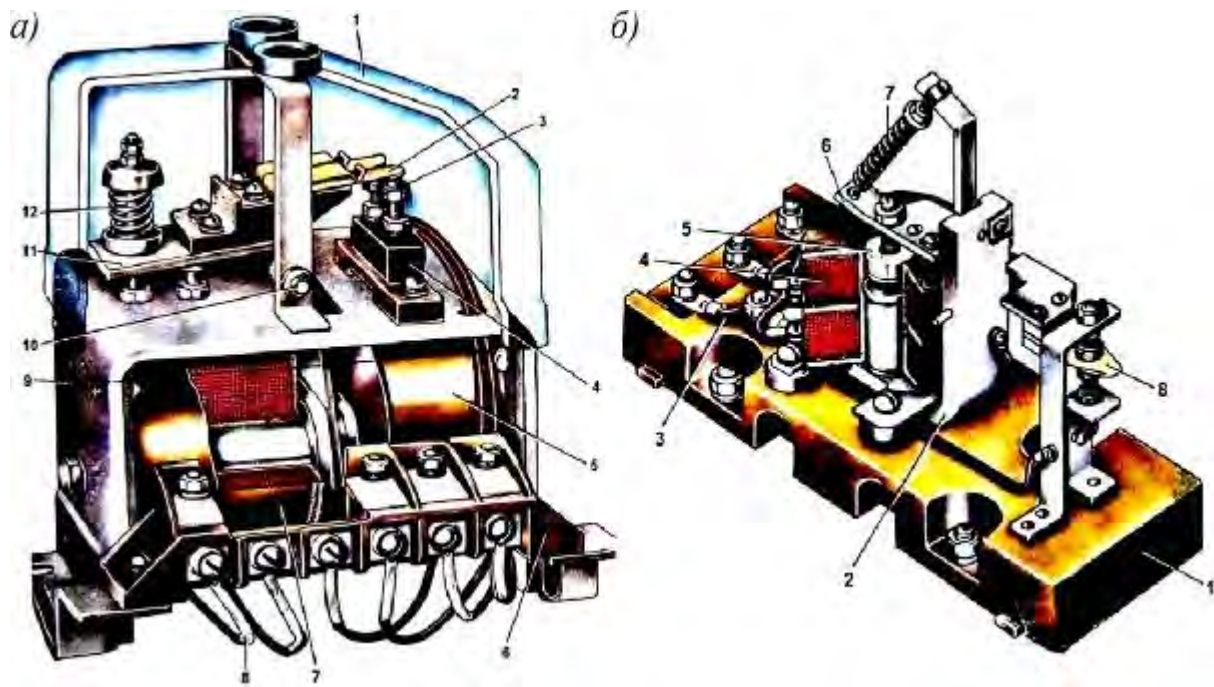


Рис. 11.7. Реле диференціальне типу РД-3010 (а) та боксування типу РК-211 (б)

На тепловозі три реле Р-46Б-1 разом з додатковими резисторами встановлені на загальній панелі та утворюють блок боксування ББ-301. На сучасних тепловозах встановлюється блок реле боксування ББ-303, який складається з трьох реле типу РК-111. На тепловозі ТЕМ7 застосовуються блок боксування ББ-320, що має два реле типу РК-221 (рис. 11.7, б), закритих кожухом. Реле РК-211, РК-221 відрізняються від реле Р-46Б-1 обмотувальними даними котушок.

Реле боксування РК-211 (рис. 11.8, а) має незамкнену магнітну систему, встановлену на ізоляційній панелі 1 і складається з ярма (магнітопроводу) 3, котушки 2 з коротким осердям 11, якоря 8 з немагнітного матеріалу та плунжера 10. Якір з виразом в середній частині шарнірно з'єднаний з ярмом за допомогою осі 7. До нижньої частини якоря кріпиться поворотна пружина 9, а до верхньої – двосторонній рухомий контакт 5, виконаний у вигляді плоскої пружини. Нерухомі контакти 4, 6 укріплені на стійках. Контакти реле мають срібні напайки. Котушка реле боксування включається в діагональ моста, утвореного якорями тягових електродвигунів, їх обмотками збудження або додатковими резисторами (рис. 11.8, б), в).

Під час боксування колісної пари різко збільшується частота її обертання, струм в колі тягового електродвигуна зменшується, а напруга збільшується. Це призводить до перерозподілу напруги якорів електродви-

гунів і появи струму в котушці, що викликає спрацювання реле. Створюється магнітний потік, що замикається через осердя *11*, ярмо *3*, плунжер *10*, повітряні зазори. Контакти реле перемикаються, розриваючи при цьому коло живлення котушки контактора збудження збуджувача, напруга тягового генератора і тягових електродвигунів зменшується, і боксування припиняється. Одночасно включається зумер. Машиністу подаються звуковий та світловий сигнали про боксування коліс. Для запобігання прилипання до осердя *11* плунжера *10* на його торець кріпиться латунний диск завтовшки 0,38 мм. На сучасних тепловозах використовується схема включення реле боксування (рис.11.8, *з*), яка заснована на порівнянні потенціалів точок *а–в* за допомогою діодного моста.

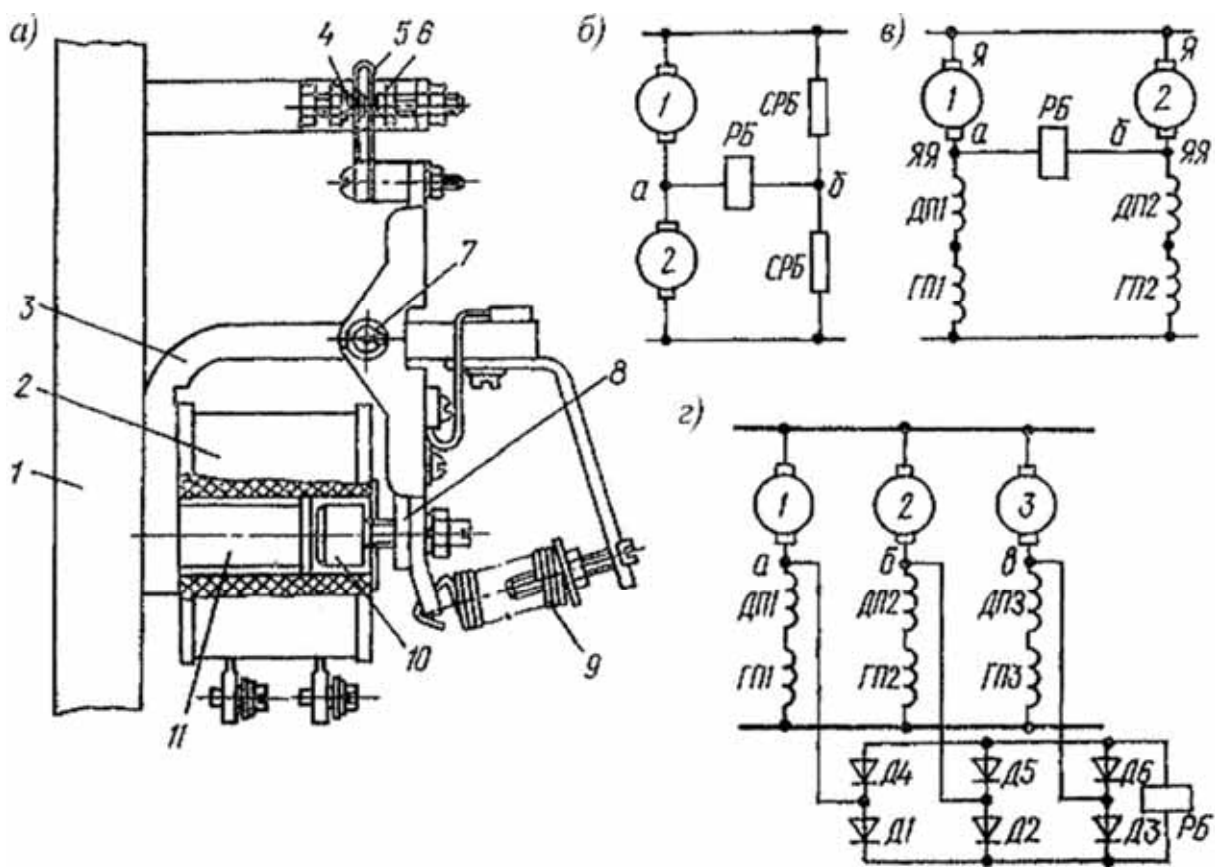


Рис. 11.8. Реле боксування РК-211:

а) будова; *б), в), з)* схеми включення котушки реле при послідовному та паралельному з'єднанні двигунів

Величина струму спрацювання реле Р-46Б-1 становить 0,05 А, струму відпадання 0,042-0,045 А. Реле РК-211 спрацьовує при струмі 0,05 А, а реле РК-221 – при напрузі 2,65 В. Коефіцієнт повернення реле визнача-

ється відношенням струмів відпадання до спрацювання $K_{\Pi} = I_{\text{в}} / I_{\text{с}}$. Наприклад, $K_{\Pi} = 0,045 / 0,05 = 0,9$.

Три реле РК-221, з'єднані на панелі разом, утворюють **блок ББ-320** (рис.11.9). На тепловозах 2ТЕ10М, 2ТЕ116 застосовують блок боксування типу ББ-320А з двох реле РК-221 та одного РК-231. Під час боксування колісних пар спочатку спрацьовує реле РБ1. Якщо боксування продовжується спрацьовує реле РБ2. При боксуванні тягових електродвигунів в режимі ослаблення поля спрацьовує реле РБ3 через реле управління РУ16. В схемі захисту відбуваються переключення, як і при спрацюванні реле РБ2.

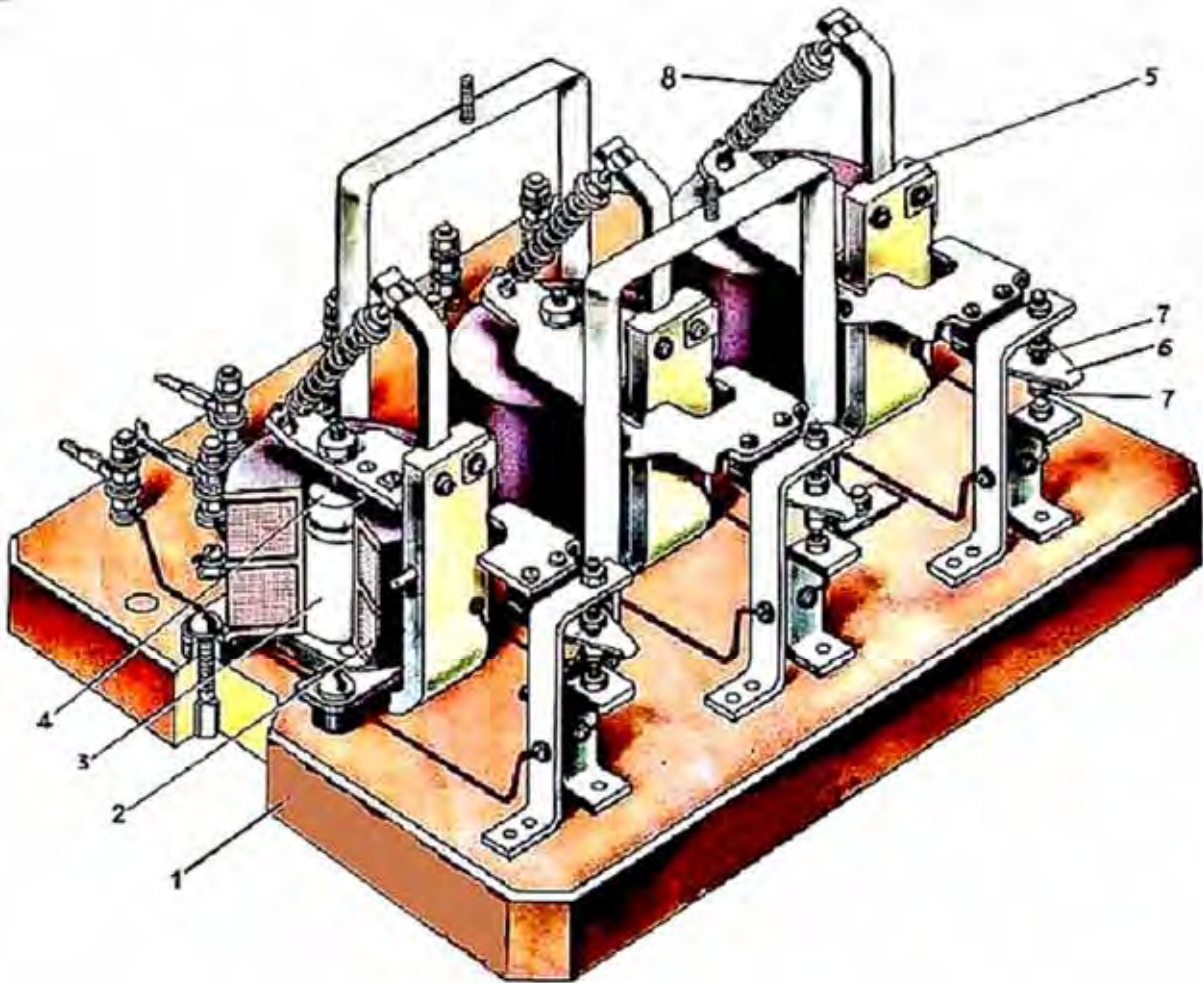


Рис. 11.9. Блок боксування типу ББ-320

11.3. Реле тиску масла, повітря. Температурне реле. Реле часу

Реле тиску масла (РДМ1, РДМ2). Вони служать для захисту деталей та вузлів дизеля від недопустимого зниження тиску масла в системі змащення, яке може викликати появу задирів на тертьових поверхнях дизеля, а також погіршення охолодження поршнів. На тепловозах ТЕМ1 і ТЕМ2 встановлюється по одному реле тиску масла, які служать для зупинки дизеля при падінні тиску масла нижче 160 кПа. На тепловозах 2ТЕ10М застосовуються два реле тиску масла (РДМ-1, РДМ-2). Реле РДМ-1 контролює тиск масла на нижчих позиціях контролера, РДМ-2 – на вищих. При зменшенні тиску масла на вищих позиціях до 100 кПа навантаження з дизеля знімається, а при 50 кПа він зупиняється.

Широке поширення на тепловозах ТЕМ1, ТЕМ2, 2ТЕ10М отримали реле тиску масла типів РДМ-1А-1 і РДМ-20. На маневрових і промислових тепловозах нових серій застосовуються комбіновані реле типів КРД-1 і КРД-4 для контролю температури та тиску в системах змащення й охолодження дизеля. В якості реле тиску масла на тепловозах ТЕМ7, ТГМ6А – застосовано реле КРД-4.

Реле РДМ-20 показано на рис. 11.10.

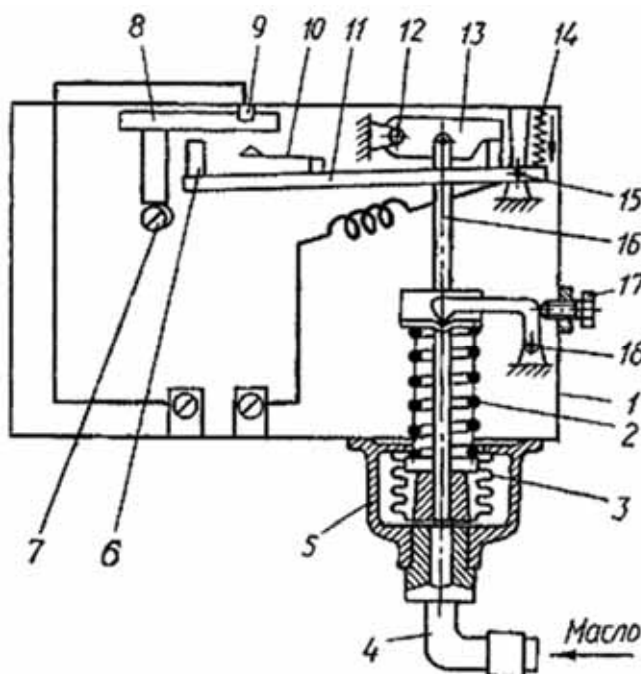


Рис. 11.10. Схема реле тиску масла РДМ-20

Всі вузли реле змонтовані в корпусі 1. Датчиком тиску є сильфон (гофрована трубка) 3, який через шток шарнірно з'єднаний з текстолітовою колодкою 13, яка спирається на якір 11 реле. На якорі кріпляться рухомий контакт 10 та обмежувач ходу 6. Пружина 14 якоря стиснута та прагне повернути його так, щоб контакти 9, 10 реле замкнулися. Цьому перешкоджає текстолітова колодка 13. Порожнина між корпусом датчика 5 та сильфоном 3 з'єднана трубкою 4 з масляною системою дизеля.

У разі підвищенні тиску масла сильфон стиснюється та переміщує колодку 13. Якір 11 повертається, замикаючи контакти 9, 10. Налаштування реле виконується регулюючим гвинтом 17.

Реле тиску масла РДК-3 показана на рис. 11.11. При збільшенні тиску масла вище заданого значення важіль 3 повертається проти годинникової стрілки (під дією тиску P), а його правий кінець звільняє кнопку мікроперемикача 8 і контакти замикання. Якщо тиск зменшився, важіль під дією пружини 4 почне повертатися за годинниковою стрілкою, і при досягненні встановленого тиску правий кінець важеля натисне на кнопку мікроперемикача та контакти розімкнуться. Налаштування реле здійснюється зміною затягування пружини. Після налаштування гвинт 6 стопориться пробкою 7. Налаштовується реле на спрацювання 0–250 кПа.

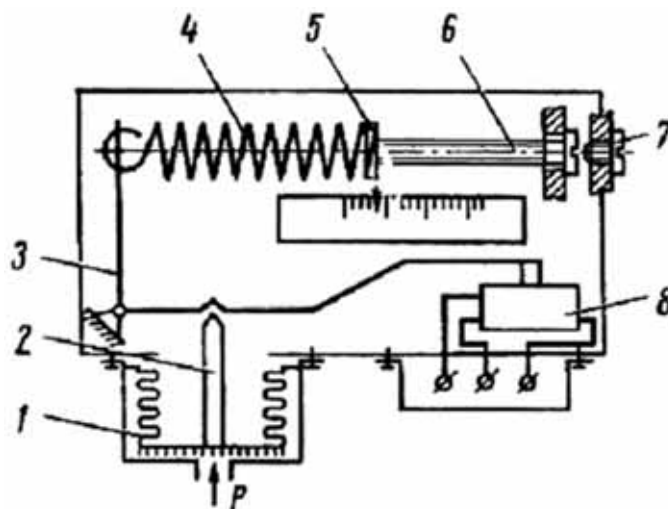


Рис. 11.11. Реле тиску масла типу РДК-3:

1 – сильфон; 2 – шток сильфона; 3 – важіль; 4 – пружина; 5, 7 – пробки;
6 – гвинт ходовий; 8 – мікроперемикач

Реле комбіноване КРМ (рис. 11.12) контролює тиск масла в масляній системі дизеля та температуру води та масла в системах тепловоза. Контакти реле в електричній схемі запобігають пуску дизеля та знімають

навантаження з дизеля, якщо тиск масла нижче допустимого, також знімається навантаження з дизеля, якщо температура води та масла в системі тепловоза досягла граничних значень.

Комбіноване реле виготовляють з датчиками тиску або з датчиками температури. Уставка спрацювання реле 0,01–1 МПа та 0–125 °С. Принцип дії реле заснований на зрівноважуванні сили, створеної тиском контрольованого середовища на сильфон і пружину.

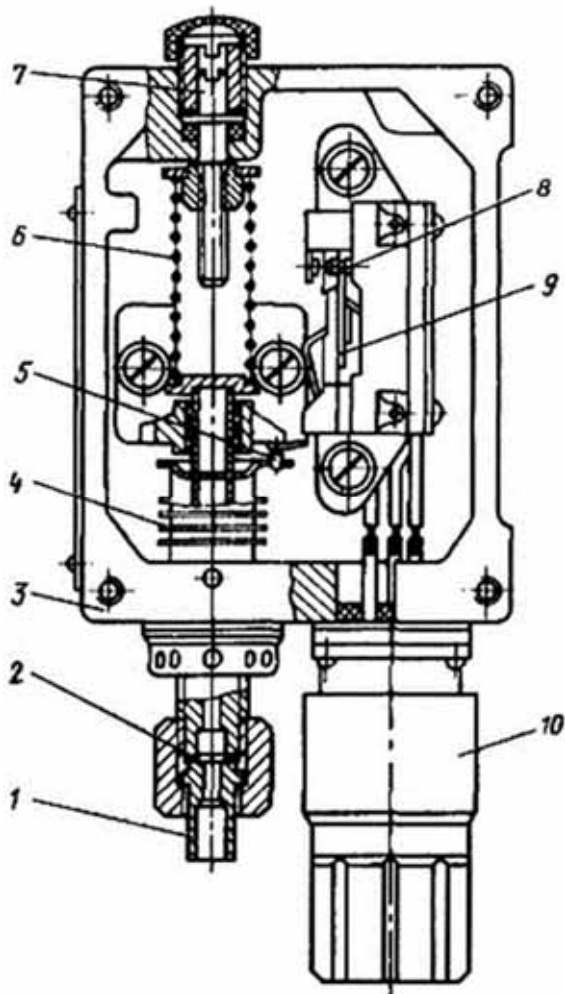


Рис. 11.12. Реле комбіноване КРМ:
1 – ніпель; 2 – прокладки; 3 – корпус;
4 – сильфон; 5 – штовхач; 6 – пружина;
7 – гвинт; 8 – контакти; 9 – перемикач;
10 – роз'єм штепсельний

Реле, що вимірюють температуру, мають датчик, що являє собою термобалон, заряджений спеціальним наповнювачем, який спільно з капілярною трубкою і сильфоном утворює герметичну термосистему. При зміні температури контрольованого середовища сильфон 4 розтягується, здолавши опір пружини 6 (див. рис. 11.12), і разом з штовхачем 5 переміщується вгору, натискає на важіль перемикача 9, контакти 8 перемикаються. У разі зменшенні тиску пружина стискає сильфон, що призводить до зворотного переключення контактів. Для налаштування приладу служить гвинт 7. З 1985 р. замість температурних реле КРМ на тепловозах встановлюють датчики – реле температури Т-35.

люють датчики – реле температури Т-35.

Реле тиску повітря (РДВ) типу АК-11Б (рис. 11.13) контролює тиск повітря в гальмівній магістралі. При тиску менше 0,35 МПа реле скидає навантаження з дизеля, чим запобігає зрушення тепловоза за недостатньому тиску повітря в гальмівній магістралі. Реле замикає свої контакти при тиску повітря понад 0,5 МПа.

На рис. 11.13 реле показано в стані, коли тиск повітря малий і контакти реле розімкнуті. У разі збільшення тиску повітря мембрана 8 разом зі штоком 3 переміщуються вліво, долаючи зусилля пружини 2 і повертаю-

чи важіль 4 навколо осі 7. Рухомий контакт 6 замикається з нерухомим контактом 5, створюючи коло живлення контакторів збудження генератора та збудника. Реле регулюється на замикання контактів гвинтом 1, а на розмикання гвинтом 5. Розхил контактів 6–12 мм.

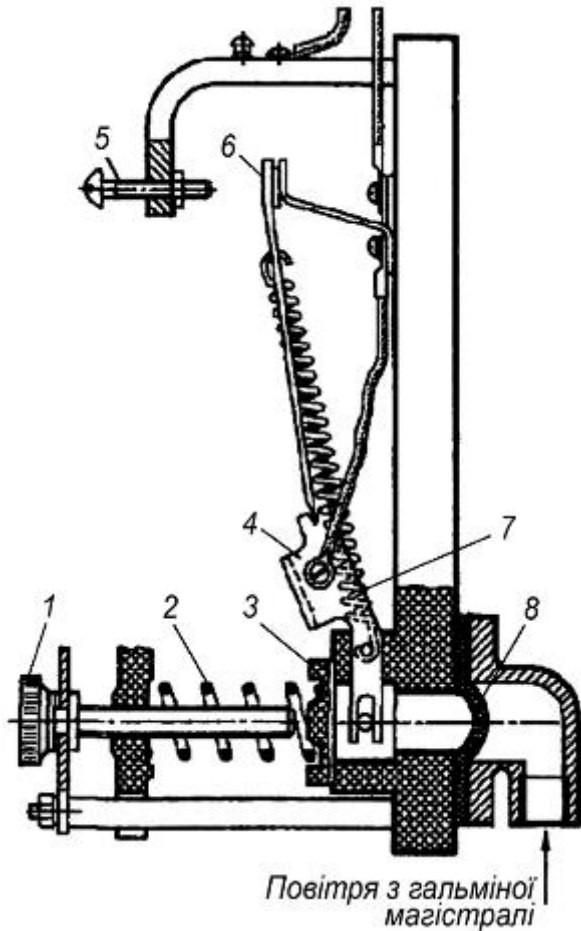


Рис. 11.13. Реле тиску повітря АК-11Б

ється в правому каналі настільки, що замикає контакти, чим створюється коло живлення котушки реле зупинки дизеля.

Реле часу. Призначені вони для витримки часу при вмиканні та вимиканні апаратів в колах управління та захисту. За допомогою реле часу встановлюються задані тривалості ряду процесів: попереднього прокачування масла перед запуском дизеля, прокручування вала дизеля при пуску, спрацювання реле переходів, відпадання силових контактів в колах тягових електродвигунів після відключення контакторів збудження та ін. Найбільш широко застосовуються для цих цілей електропневматичні РВП-22 і електромагнітні РЕВ-812, РЕВ-814 реле. На тепловозах ТЕМ7, 2ТЕ10М, ТГМ4А, ТГМ6А замість електропневматичних реле часу РВП-

Диференціальний манометр (КДМ) призначений для вимірювання розрідження в картері дизеля та зупинки його в тому випадку, якщо в картері з'явиться тиск. Канали манометра заповнені рідиною (підсолена вода з хромпиком). Лівий канал з'єднаний трубою з картером дизеля, а в правий вставлена колодка з контактами, які включені в коло котушки реле управління РУ-7 зупинки. У верхній частині манометра розташований отвір, для поєднання з атмосферою; до передньої частини прикручена шкала. При дизелі в обох каналах рідина повинна встановлюватися на нульовому діленні, а при роботі в картері дизеля повинно бути розрідження в межах 0,1–0,6 кПа. Контакти не повинні торкатися один одного; їх встановлюють на 15 мм вище нульового розподілу. При підвищенні тиску до 0,3–0,35 кПа рідина підніма-

1М, РВП-2 застосовуються напівпровідникові реле часу ВЛ-31 і ВЛ-50.

Реле часу РВП-22 (рис. 11.14) використовують на тепловозах для забезпечення необхідного часу попереднього автоматичного прокачування масла перед запуском дизеля.

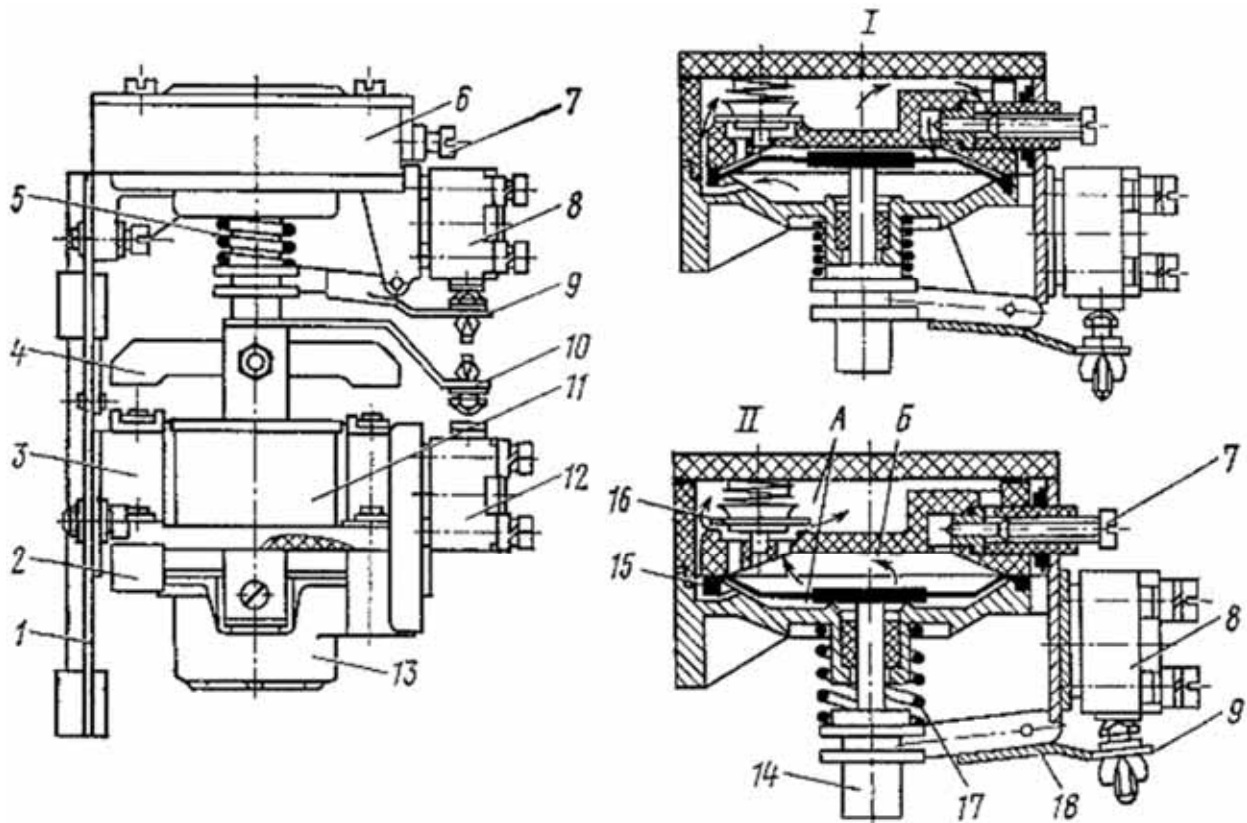


Рис. 11.14. Електропневматичне РЕЛЕ часу РВП-22:

1 – основа; 2 – електромагнітний привод; ГЗ – ярмо електромагніту; 4 – ярмо електромагніту; 5, 17 – пружини; 6 – пневматична приставка; 7 – регульовальний гвинт; 8, 12 – мікроперемикачі; 9, 10 – важелі; 11 – котушка електромагніту; 13 – поворотна пружина; 14 – шток; 15 – мембрана; 16 – клапан; 18 – вісь; I – фаза зведення; II – фаза витримки часу

Принцип дії реле ґрунтується на отриманні витримки часу завдяки надходженню повітря через регульований отвір з однієї пневматичної камери в іншу. Реле складається з пневматичної приставки часу 6 і електромагнітного приводу 2, встановлених на загальній основі 1. На приставці змонтовано мікроперемикач 8 з витримкою часу, а на приводі мікроперемикач 12 без витримки часу. Кожен із мікроперемикачів має один замикаючий і один розмикаючий контакти без спільної точки. Робочий цикл реле складається з двох фаз: перша – зведення, друга – витримка часу. У разі відключення котушки електромагніта 11 від кола живлення ярмо 4 під дією поворотної пружини 13 впливає вгору на шток 14 і

жорстко з'єднану з ним мембрану 15, яка розділяє пневматичні камери *A* і *B*. При цьому повітря з камери *B* мембраною 15 витісняється через клапан 16 у камеру *A* і мембрана встановлюється у верхнє положення. При цьому важелі 9 і 10 звільняють штифти мікроперемикачів 8 і 12 і контакти перемикаються.

Під час під'єднання котушки електромагніту до кола живлення якір, долаючи зусилля поворотної пружини, притягається до ярма 3 і важелем 10 здійснюється натискання на штифт мікроперемикача 12 і, відповідно, перемикання контактів без витримки часу. Одночасно якір звільняє шток 14, який під дією пружини 17 прагне перемістити мембрану 15 у нижнє положення (фаза витримки часу). Однак переміщенню мембрани вниз перешкоджає розрядження, що виникає в камері *B*, оскільки клапан 16 закритий і повітря в камеру *B* через нього не надходить. У зв'язку з розрядженням у камері *B* повітря в неї починає надходити з камери *A* через дросель, прохідний перетин якого регулюють гвинтом 7.

У міру надходження повітря в камеру *B* з камери *A* мембрана та пов'язаний з нею шток 14 опускаються вниз, повертаючи важіль 9 навколо осі 18, який після закінчення деякого часу натискає на штифт верхнього мікроперемикача 8 і здійснює перемикання контактів з витримкою часу.

Регулювання витримки часу здійснюють регулювальним гвинтом 7, що змінює прохідний переріз дроселя, а отже, швидкість заповнення повітрям камери *B*, а отже, і швидкість повороту важеля 9, і час перемикання верхнього мікроперемикача після вимкнення котушки електромагніту реле від кола живлення.

Реле часу типу РЕВ-812. Тепловозне реле часу РЕВ-812 (рис. 11.15) з витримкою часу 1,5 с призначене для затримки відключень поїзних контакторів після зняття збудження з тягового генератора (РВЗ), а також для ступеневої відновлення навантаження тягового генератора після припинення буксування (РВ5). Реле має блокову конструкцію. Нерухома частина магнітного осердя виконана з двох окремих частин: осердя і косиця, на якому кріпиться пластинка. Якір обертається відносно нерухомої частини. На якорі зміцнюється скоба, що несе колодку з рухомими контактами. Робота реле заснована на електромагнітному принципі. Під час протікання по втягувальній котушці струму під дією електромагнітних сил відбувається втягування якоря та перемикання контактів.

Під час відключення котушки внаслідок зменшення магнітного поля з'являються індукційні струми в мідній гільзі 2 і алюмінієвому короткозамкнутому витку 8 (знімний демпфер), які затримують згасання поля та тим самим збільшують час відпадання якоря. Витримка часу регулюється

підбором товщини немагнітних прокладок 5 (грубе регулювання) та зміною натягу пружини 9 (точне регулювання). Збільшення товщини прокладок і затягування пружини зменшує витримку часу реле під час розмикання. Межі регулювання витримки часу 0,8–2,5 с. Котушка електромагніту реле має 6750 витків із дроту марки ПЕВ-1.

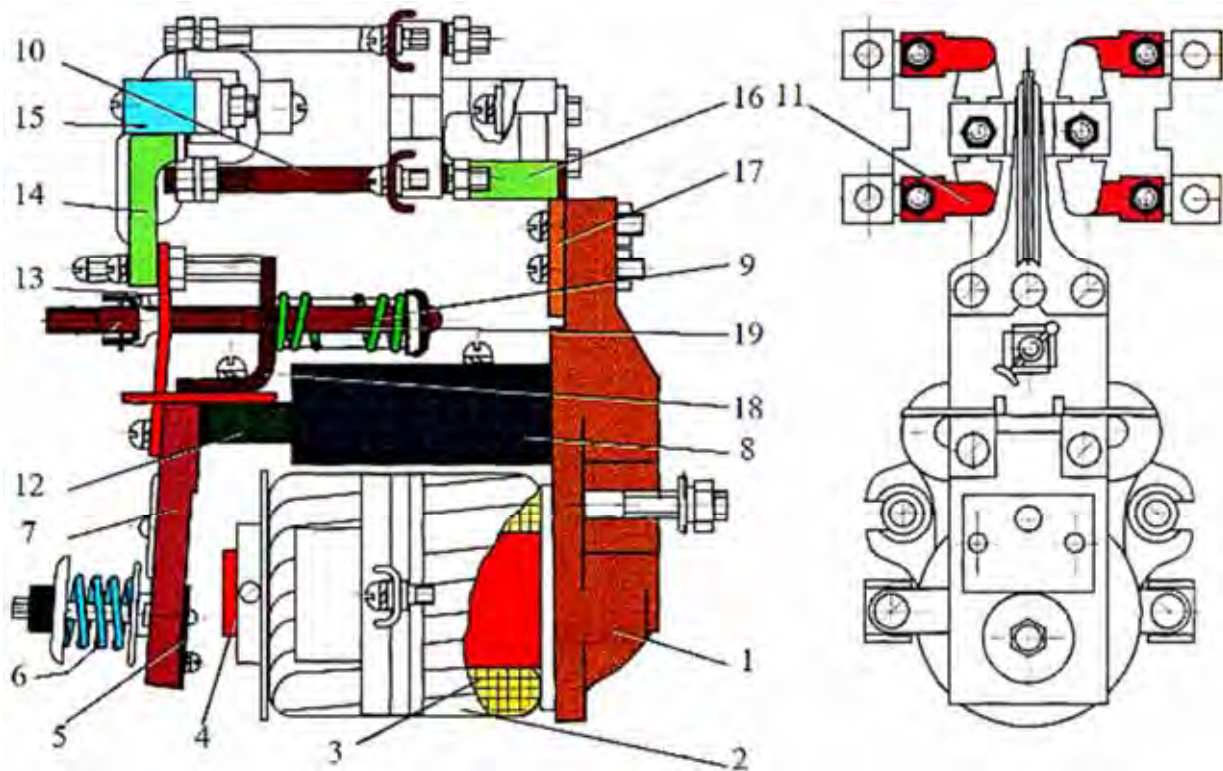


Рис. 11.15. Електромагнітне реле часу РЕВ-812:

1 – алюмінієва основа; 2 – мідна гільза; 3 – котушка; 4 – осердя; 5 – немагнітні прокладки; 6 – віджимна пружина; 7 – яркір; 8 – виток короткозамкнений; 9 – поворотна пружина; 10 – рухомі контакти; 11 – нерухомі контакти; 12 – скоба; 13, 17 – планки; 14, 16 – ізоляційні колодки; 15 – вузол рухомого контакту; 18 – кутник; 19 – шпилька

Контакти реле являють собою вузол, що дає змогу за необхідності шляхом перестановки одних і тих самих деталей отримати будь-яку комбінацію контактів у межах наявної загальної кількості. Для перестановки контактної вузли необхідно зняти вузол рухомого контакту, повернути його та встановити на зворотному боці ізоляційної колодки, у нерухомих контактів зняти контактні пластинки та перевернути їхніми контактними накладками в протилежний бік. Контактні накладки нерухомих контактів і контактних містків виготовляють зі срібла.

Для здійснення плавного регулювання витримки часу на яркір встановлено регульовальну віджимну пружину 6. З протилежного боку яркіря встановлено немагнітну прокладку 5, що слугує для усунення його зали-

пання під час відключення котушки. Точність витримки часу забезпечується рівною $\pm 10\%$ за умови, що прикладена до котушки напруга не буде меншою за 60% номінальної, а котушка перебуває в холодному стані (температура $20 \pm 5^\circ\text{C}$). У разі збільшення температури котушки витримка часу зменшується, у разі зменшення – зростає.

Реле часу типів ВЛ31 і ВЛ50 (РВ1, РВ2). Реле використовують для обмеження часу роботи маслопідкачуючого насоса дизеля (90 с) і часу розкрутки вала дизеля при його пуску. Розглянемо роботу напівпровідникового реле ВЛ31 (рис. 11.16, а). При подачі напруги на вхід реле, спрацьовує електромагнітне реле $P2$ і створює розмикаючими допоміжними контактами коло заряду конденсатора C через високоомний резистор R . В результаті потенціал точки a підвищується, і коли він перевищить потенціал точки b , то через діод D потече струм і почнеться заряд конденсатора $C1$.

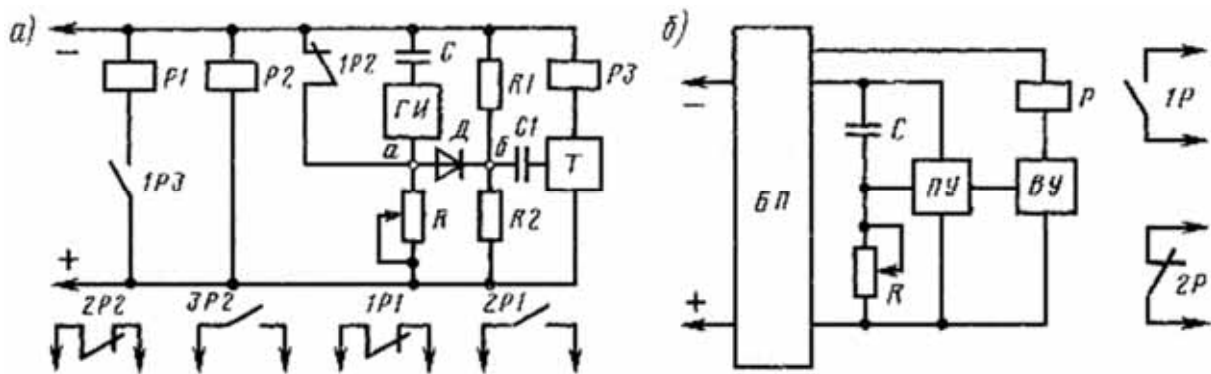


Рис. 11.16. Схеми напівпровідникових реле типу: а) ВЛ31; б) ВЛ50

За певне значення напруги на конденсаторі, яке підсумовується з імпульсами, що посиляються від генератора імпульсів $ГИ$, відбудеться спрацювання чутливого тригера T і струм, що крізь нього проходить, ввімкне електромагнітне реле $P3$. Замикаючі контакти реле $P3$ створять коло живлення котушки електромагнітного реле $P1$. Напівпровідникове реле має по одному замикаючому і одному розмикаючому контакту миттєвої дії ($2P2$ і $3P2$) і по одному розмикаючому і по одному замикаючому контакту з витримкою часу ($1P1$ і $2P1$). Витримка часу забезпечується параметрами RC -кола і опорного діода D . Регулюючи опір резистора R , можна змінювати швидкість заряду конденсатора C , а отже, і витримку часу реле. Реле має такі виконання: 0,5–50 с, 1–100 с, 2–200 с залежно від напруги живлення відповідно 50, 75 і 100 В.

З 1983 р. замість реле ВЛ31 на тепловозах встановлюється напівпро-

відниковоє реле часу ВЛ50, що забезпечує велику витримку часу, високу надійність і малі габаритні розміри. Реле складається (рис. 11.16, б) з блоку живлення БП, RC-кола, що визначає витримку часу, порогового підсилювача ПУ, що відкриває вихідний пристрій ВУ, в результаті чого спрацьовує реле Р і перемикає вихідні контакти (1Р, 2Р).

Запитання до самоконтролю

1. *Призначення, принцип дії та устрій реле управління типу Р-45М та ТРПУ-1.*
2. *Призначення, принцип дії та устрій реле заземлення типу Р-45Г.*
3. *Призначення, принцип дії та устрій реле заземлення типу РМ-1110.*
4. *Призначення, принцип дії та устрій диференціального реле типу РД-3010.*
5. *Характеристики реле переходу.*
6. *Призначення, принцип дії та устрій реле боксування РК-211.*
7. *Призначення, принцип дії та устрій реле тиску масла.*
8. *Призначення, принцип дії та устрій комбінованого реле типу КРМ.*
9. *Призначення, принцип дії та устрій реле тиску повітря типу АК-11Б.*
10. *Призначення, принцип дії та устрій реле часу РВП-22, РЕВ-812, ВЛ31 та ВЛ50.*

БЕЗКОНТАКТНІ ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ

12.1. Магнітні апарати

Трансформатори постійного струму (ТПС) і напруги (ТПН) застосовуються в системах регулювання тягових генераторів. Ці апарати призначені для вимірювання струму і напруги тягових електричних машин і перетворення їх в форму, зручну для подальшого використання в системах регулювання. Вони виконують функції магнітних датчиків струму та напруги. По принципу дії і характеристиках ці апарати представляють собою простіші магнітні підсилювачі без зворотних зв'язків та з виходом на постійному струмі.

Трансформатори ТПС і ТПН складаються з двох (рис. 12.1) тороїдальних осердь, виконаних із пермалоя. На кожному осердді розміщені робочі обмотки з однаковим числом витків, які з'єднані між собою послідовно і зустрічно. В ТПН обмотка управління або підмагнічування загальна та охоплює два осердя. В ТПН спеціальної обмотки управління немає, а її роль виконують один чи два силових кабелів тягового генератора або електродвигунів, які проходять крізь центральний отвір осердь. Осердя трансформаторів з обмотками та шпильками залиті епоксидним компаундом. До шпильок прикріплені кутки, за допомогою яких трансформатори встановлюються на тепловозі. Основні дані трансформаторів наведені в табл. 12.1.

Таблиця 12.1

Основні параметри трансформаторів за типами

Основні дані	Тип трансформатора		
	ТПТ-21	ТПТ-22	ТПН-3А
Діапазон вимірювань струму або напруги	300–1100А	200–800 А	25–750 В
Напруга живлення (ефективна), В	60	60	30
Номінальна частота, Гц	133	133	133
Похибка вимірювання, %	±2,5	± 2,5	3

Схеми включення ТПН і ТПТ, їх характеристики показані на рис. 12.2.

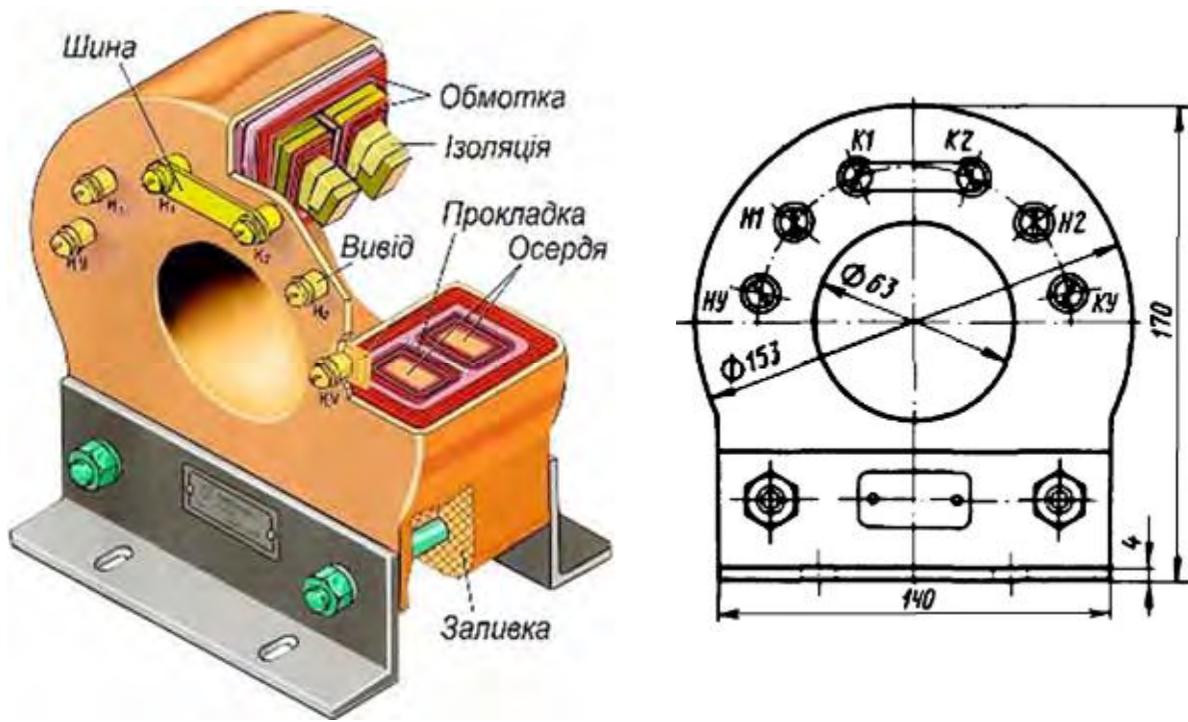


Рис. 12.1. Загальний вигляд трансформатора постійної напруги:
 $H1-K1, H2-K2$ – затискачі робочої обмотки; $H3-K3$ – затискачі управляючої обмотки

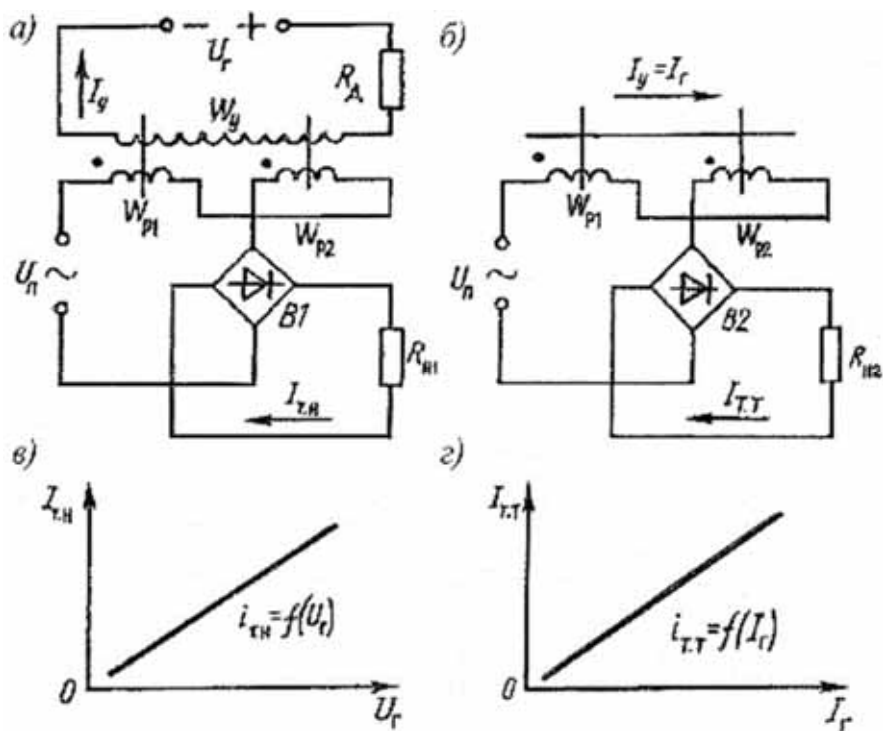


Рис. 12.2. Схеми трансформаторів постійної напруги і струму:
 $a), б)$ включення; $в), г)$ характеристики; W_{p1}, W_{p2}, W_y – робочі обмотки та обмотка управління;
 $B1, B2$ – випрямні мости; R_d, R_{n1}, R_{n2} – додатковий і навантажувальні резистори; $I_y, I_{z.n}, I_{t.t}$ –
 струми обмотки управління та навантаження; U_g, I_g – напруга та струм тягового генератора

У разі збільшенні напруги U_G та струму I_G тягового генератора зростає і струм I_y обмоток управління. Струм навантаження $I_{T.H}$, $I_{T.T}$ трансформаторів збільшується пропорційно змінам напруги U_G і струму I_G тягового генератора. На тепловозах різних серій застосовуються трансформатори: ТПТ-10, ТПТ-4Б, ТПТ-24, ТПН-3А, ТПН-4 та ін. (рис. 12.3). Основні технічні дані апаратів наступні: напруга живлення робочих обмоток 30–110 В; струм 1,1–2,6 А; частота 133–200 Гц; струм обмоток управління 0,7–1,6 А.

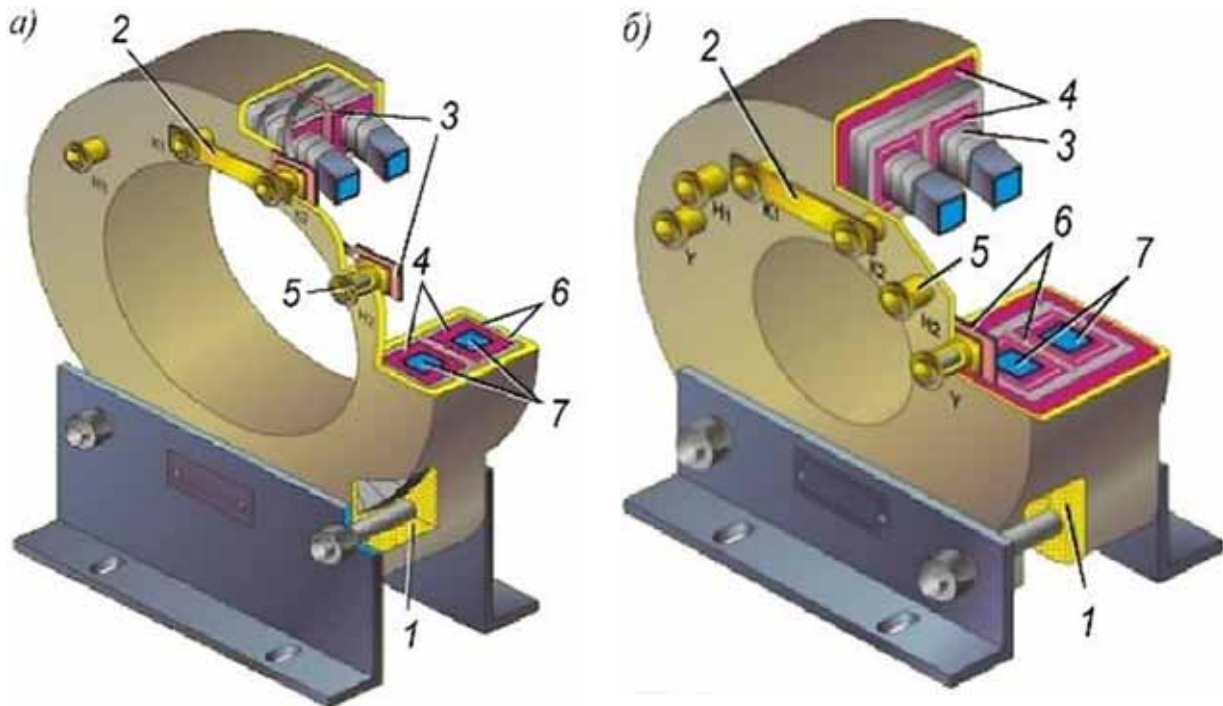
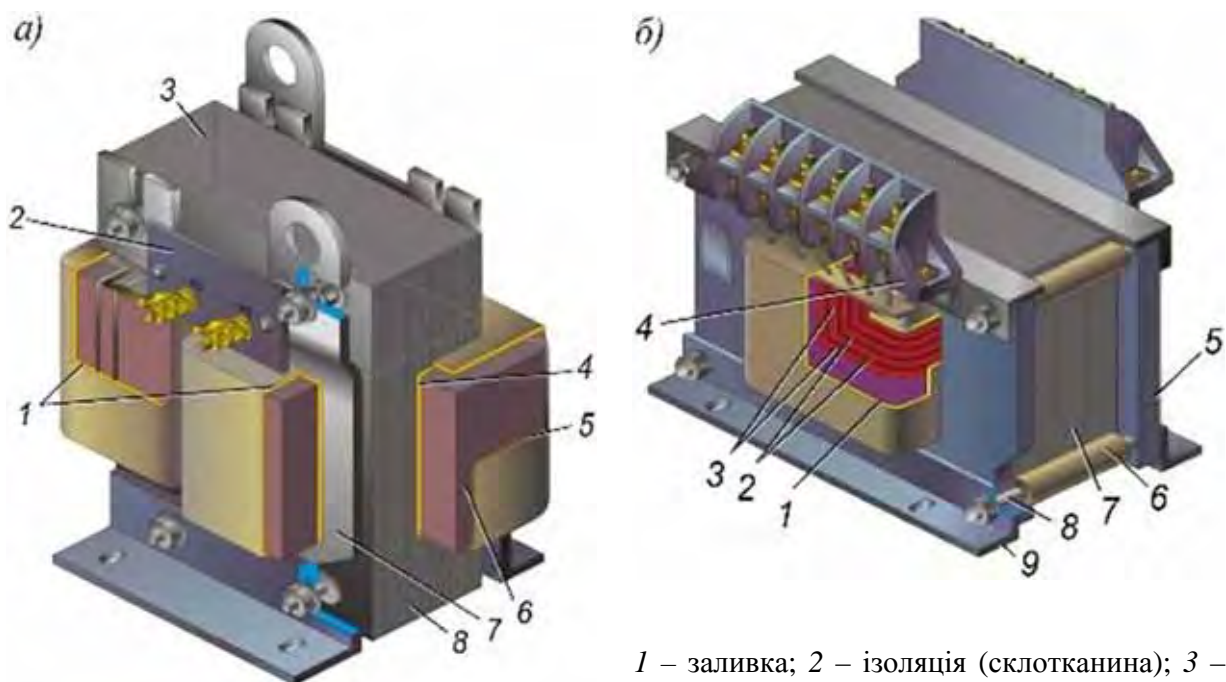


Рис. 12.3. Вимірювальні трансформатори струму (а) та напруги (б):
 1 – залівка; 2 – шина; 3 – ізоляція; 4 – обмотка; 5 – вивід;
 6 – ізолювальні прокладки; 7 – осердя

Трансформатор розподільчий (ТР) (рис. 12.4, а) служить для живлення кіл змінного струму: трансформаторів постійного струму, постійної напруги, амплістата збудження та індуктивного датчика.

Трансформатор стабілізуючий типу ТС-2 (рис. 12.4, б) усуває незгадані коливання вузла збудження при різких змінах навантаження. Трансформатор працює тільки під час перехідних процесів у системі.

Амплістат збудження типу АВ-3А (АВ). Амплістат призначений для регулювання струму збудження збудника B . Він являє собою магнітний підсилювач з внутрішнім зворотнім зв'язком. Амплістат має таку технічну характеристику: напруга живлення 60 В; напруга виходу 35 В; струм тривалого режиму 8,5 А; опір навантаження 6 Ом.



1 – заливка; 2 – ізоляційна панель; 3 – ярмо;
4 – ізоляційна прокладка; 5 – ізоляція; 6 – об-
мотка; 7 – скоба; 8 – осердя

1 – заливка; 2 – ізоляція (склотканина); 3 –
обмотка; 4 – клемна панель; 5 – стійка; 6 –
ізоляційний валик; 7 – осердя; 8 – шпилька;
9 – кутник

Рис. 12.4. Трансформатори: а) стабілізуючий ТС-2; б) розподільчий ТР-5

Амплістат (рис. 12.5) складається з двох магнітопроводів, на яких ро-
зташовано по одній робочій обмотці (обмотки змінного струму). Обмо-
тки підмагнічування – управління, задаюча, регульовальна, стабілізуюча
– охоплюють обидва магнітопровода. Котушки виконані без каркасу та
залиті епоксидним компаундом.

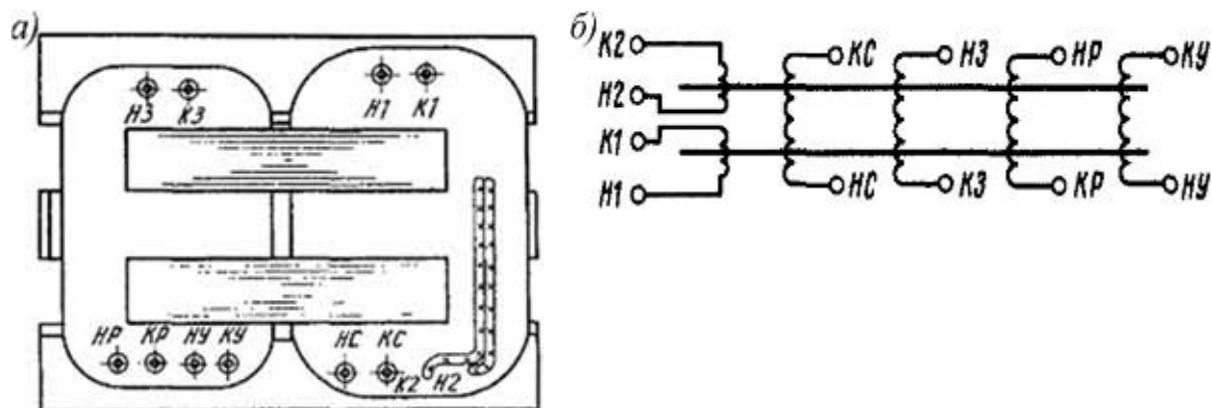


Рис. 12.5. Амплістат збудження АВ-3А:

а) загальний вигляд; б) схема; $H1-K1$, $H2-K2$ – початок і кінець робочих обмоток; $HC-KC$ –
стабілізуюча обмотка; $H3-K3$ – задаюча; $HP-KP$ – регульовальна; $H4-K4$ – управління

Результуюча магніторушійна сила обмоток управління амплістата

$$\sum F_y = F_z + F_p - F_y \pm F_c.$$

Номінальний струм обмоток управління амплістата АВ-3А (рис. 12. 6) дорівнює 1,4–1,7 А; напруга живлення робочих обмоток 60 В, струм тривалого режиму 8,5 А, частота 133 Гц.

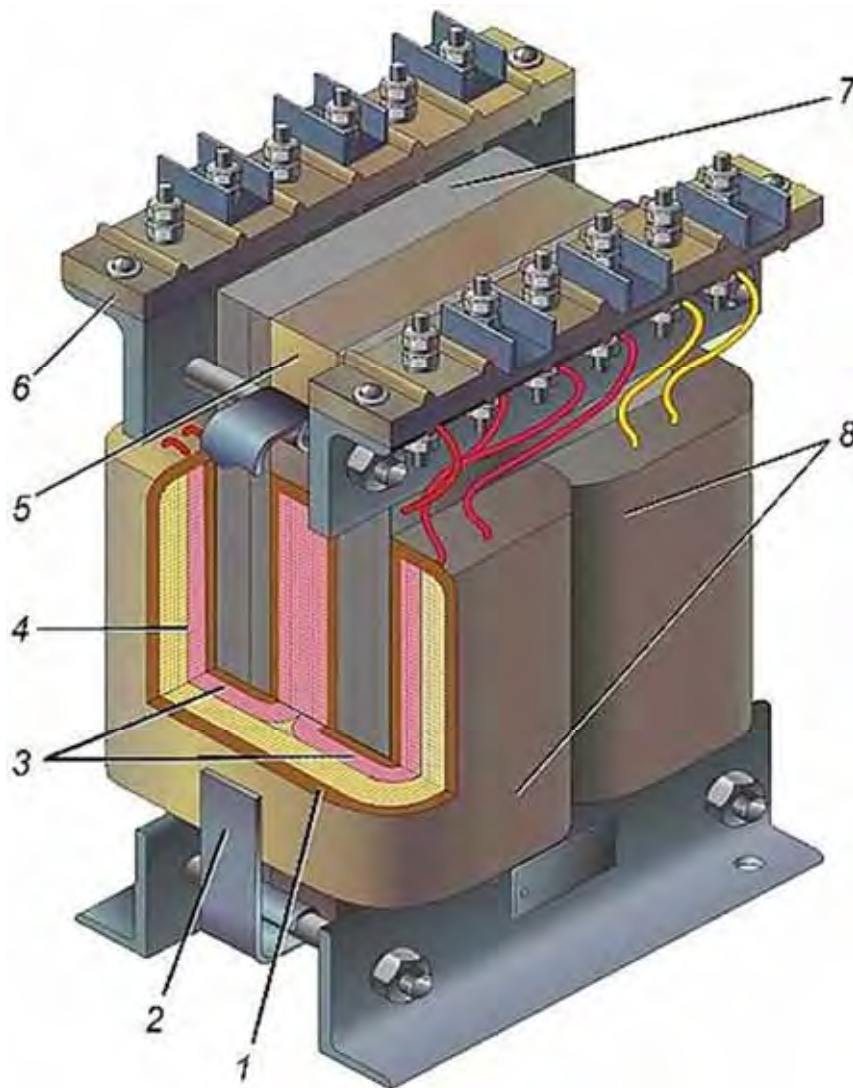


Рис. 12.6. Амплістат збудження типу АВ-3А:

1 – ізоляція; 2 – скоба; 3 – робочі котушки; 4 – обмотка; 5 – колодка; 6 – ізоляційна панель; 7 – сердечник; 8 – котушки; 9 – виводи

До схеми регулювання напруги тягового генератора постійного струму G (рис. 12. 7) входять: збуджував B , амплістат збудження АВ-3А, розподільчий TP та стабілізуючий $ТС$ трансформатори, селективний

вузол СУ з датчиками струму ТПТ та напруги ТПН, індуктивний датчик ІД і тахометричний блок БТ.

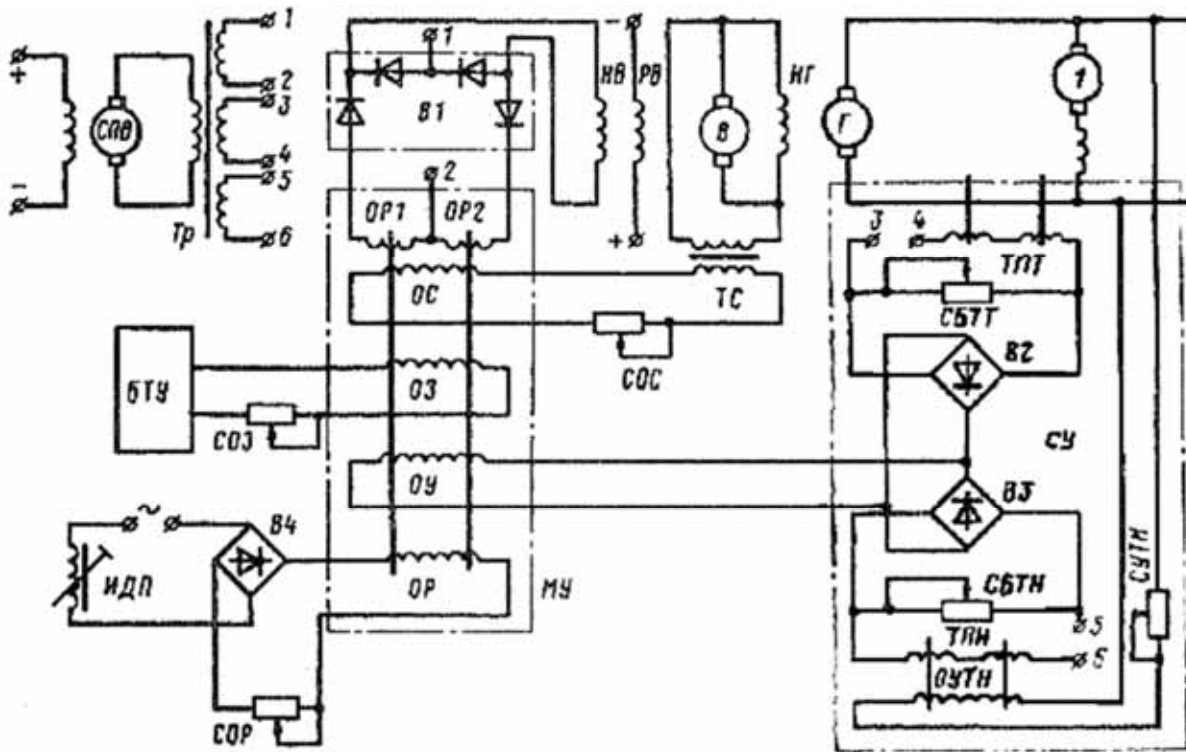


Рис. 12.7. Схема регулювання напруги тягового генератора постійного струму з амплістатом збудження АВ-3А

Індуктивний датчик (ІД). Датчик призначений для підтримки рівності ефективної потужності дизеля і потужності навантаження. Індуктивні датчики (рис. 12.8) типів ІД-10, ІД-31 встановлюють на тепловозах типу 2ТЕ10М та ІД-20, ІД-32 - на тепловозах типу 2ТЕ116. Індуктивний датчик перетворює механічне переміщення якоря в електричний сигнал. У корпусі 1 розміщена котушка 2, всередині якої може переміщатися якір 5. Якір з'єднаний зі штоком серводвигуна об'єднаного регулятора дизеля. Котушка живиться змінною напругою розподільчого трансформатора. Найбільший струм буде при мінімальній індуктивності котушки, тобто висунутому якорі, а найменший – при повністю всунутому якорі.

Індуктивний опір котушки датчика набагато більше активного, тому струм в регульовальній обмотці амплістата не залежить від позиції контролера, а залежить тільки від положення якоря в котушці (рис. 12.9). Датчики ІД-31 та ІД-32 між собою відрізняються лише параметрами, а від датчиків ІД-10 та ІД-20 - конструкцією кріплення до регулятора дизеля.

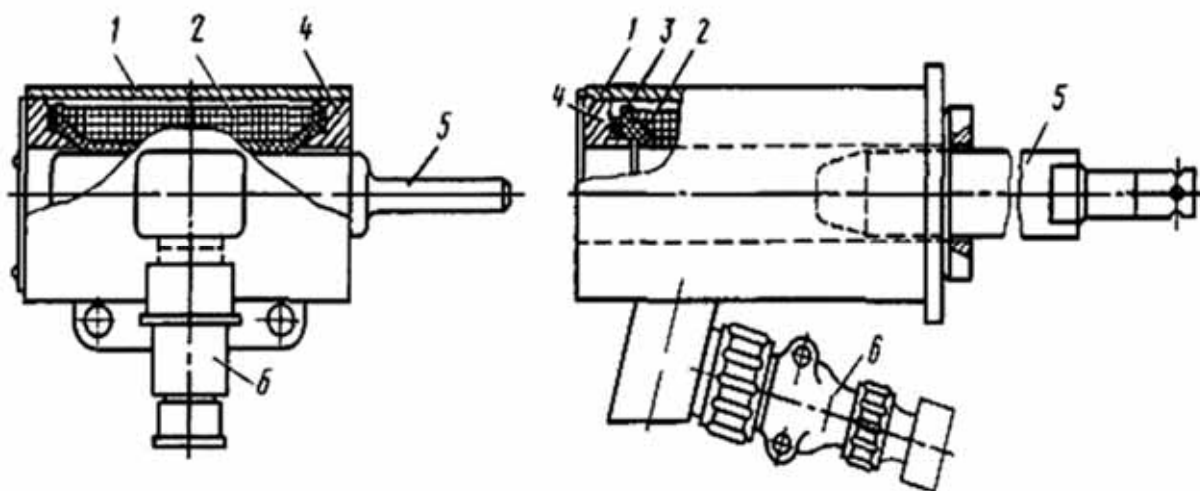


Рис. 12.8. Індуктивні датчики:

а) ІД-20; б) ІД-32;

1 – корпус; 2 – котушка; 3 – ізоляційний каркас; 4 – фланець; 5 – якір; 6 – штепсельний роз'єм

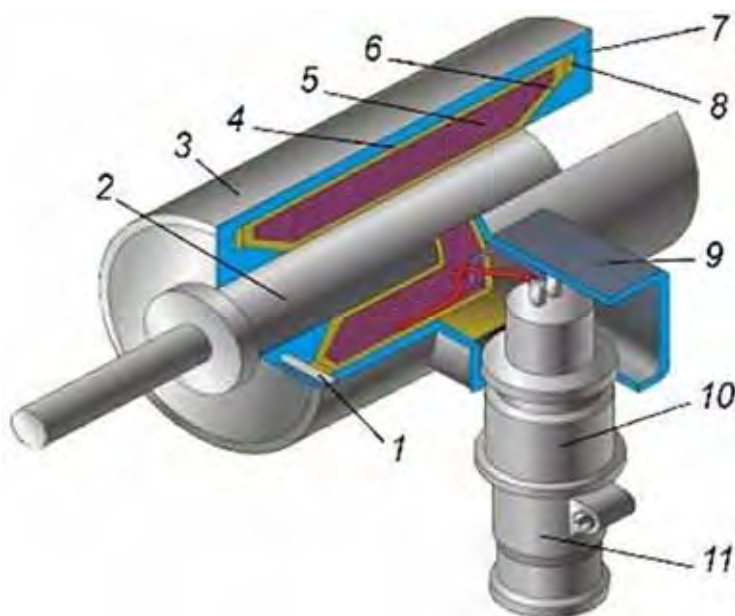


Рис. 12.9. Індуктивний датчик об'єднаного регулятора дизеля:

1 – штифт; 2 – якір; 3 – кожух; 4 – ізоляція; 5 – котушка; 6 – каркас;
7 – фланець; 8 – прокладка; 9 – коробка; 10 – колодка; 11 – вставка

Безконтактні тахометричні блоки БА-420 та БА-430 використовуються для отримання електричного сигналу пропорційного частоті обертання валу дизеля.

Тахометричний пристрій включає в себе: насичуючий трансформатор

$Tr1$ (рис. 12.10, а), компенсуючий трансформатор $Tr2$, випрямний міст B , згладжувальний фільтр, який складається з дроселя Dr , конденсатора C та резистора R . Тороїдальне осердя $Tr1$ виконаний з пермалоя, а осердя $Tr2$ – з альсіфера з малою магнітною проникністю. Обмотки трансформаторів залиті епоксидним компаундом.

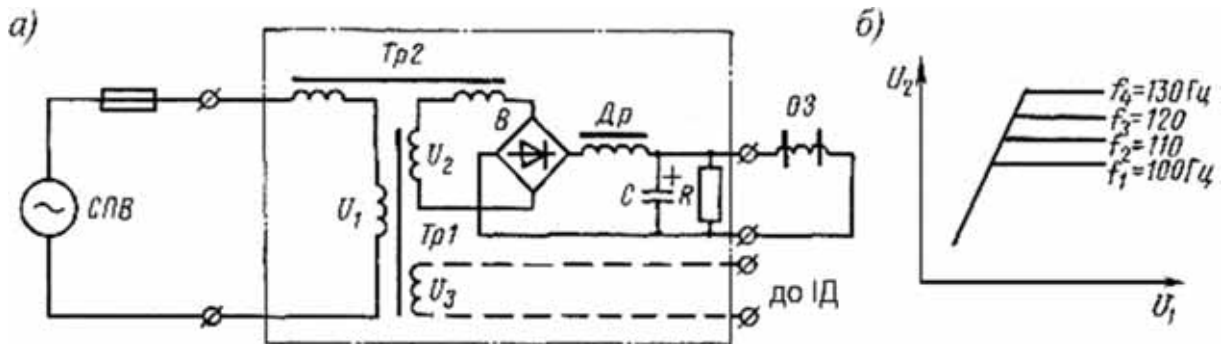


Рис. 12.10. Схема безконтактного тахометричного блоку БА-420 (а) та статична характеристика (б)

Напруга від синхронного підзбудника $СПВ$ подається на первинні обмотки трансформаторів $Tr1$ і $Tr2$, які включені послідовно та узгоджено. Середнє значення напруги вторинної обмотки U_2 трансформатора $Tr1$ залежить тільки від частоти живлячої напруги (рис. 12.10, б), тому що осердя цього трансформатора має прямокутну петлю гістерезису. У певний момент часу вхідної напруги осердя трансформатора $Tr1$ насичується. Наступного напівперіоду, коли вхідна напруга змінює знак, осердя перемагнічується. На вторинній обмотці трансформатора $Tr1$ напруга U_2 має форму імпульсів. Вихідна напруга блоку згладжена фільтром, пропорційно частоті f напруги $СПВ$, а отже, частоті обертання вала дизеля.

Для зниження похибки застосовано трансформатор $Tr2$, вторинні обмотки $Tr1$ і $Tr2$ включені послідовно та зустрічно. Електроорушійна сила вторинної обмотки $Tr2$ компенсує ту частину е.р.с. вторинної $Tr1$, яка викликається зміною намагнічуючого струму при насиченні осердя.

Конденсатор C і міст B фільтра змонтовані на ізоляційній панелі. Трансформатори встановлені один на одному та стягнуті шпилькою. Дросель Dr має Ш-подібне осердя, що дає можливість регулювати повітряний зазор. Блок забезпечений штепсельним роз'ємом.

Тахометричний блок типу БА-430 відрізняється від блоку БА-420 параметрами і додатковою вторинною обмоткою трансформатора $Tr1$ (на рис. 12.10, а) вона показана штриховою лінією) для живлення індуктивного датчика ІД. Напруга вихідна U_2 підводиться до обмотки завдання $OЗ$

магнітного підсилювача (амплістата АВ-3А) на тепловозах серії 2ТЕ10М, а на тепловозах з передачею змінно-постійного струму – до потенціометрів завдання (рис. 12.11).

Тахометричні блоки мають наступну характеристику.

	БА-420	БА-430
Напруга живлення, В	110	250
Частота, Гц	50–150	55–220
Номинальний струм навантаження, А	1,7	0,75

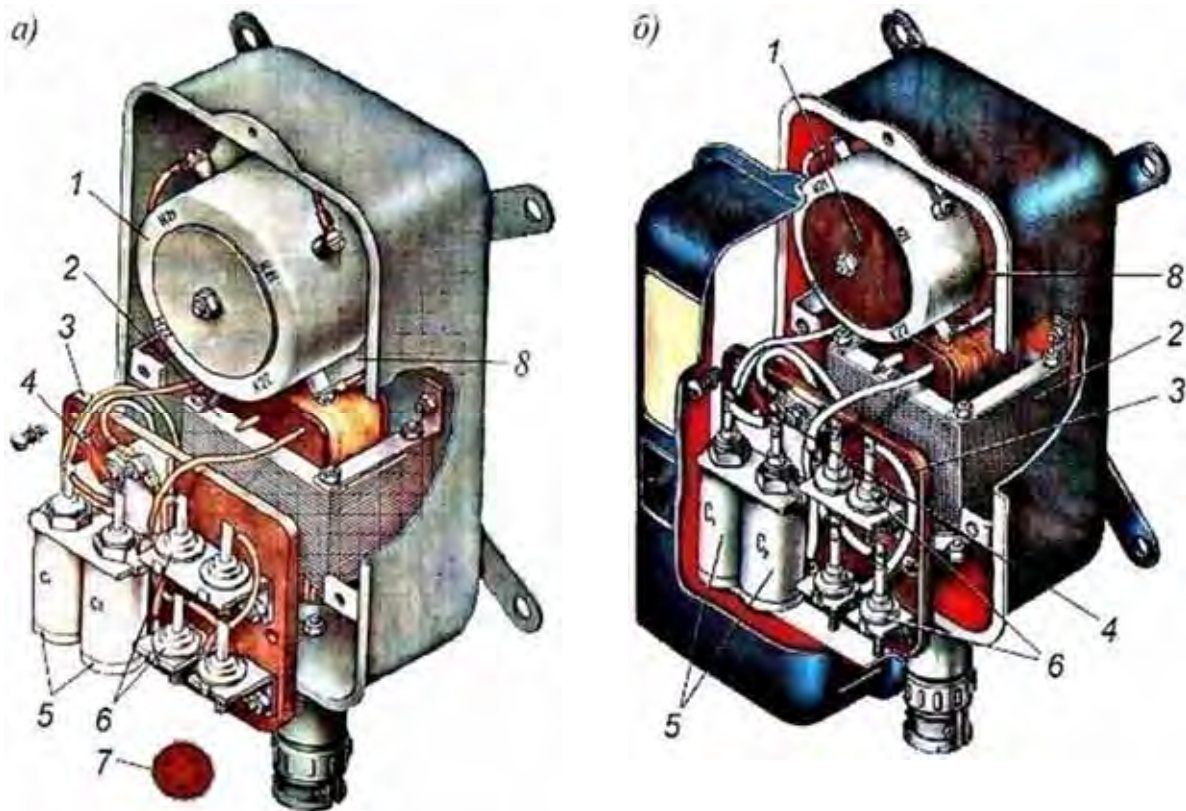


Рис. 12.11. Безконтактні тахометричні блоки типів: а) БА-420; б) БА-430
 1 – трансформатор компенсуючий; 2 – дросель; 3 – панель ізоляційна; 4 – резистор фільтра; 5 – електролітичні конденсатори; 6 – діоди; 7 – штепсельний роз'єм; 8 – насичуючий трансформатор

12.2. Напівпровідникові пристрої

Силкові випрямлячі тепловозів. До схеми електричної передачі змінно-постійного струму тепловозів 2ТЕ116, ТЕП70, ТЕМ7 входять:

тяговий синхронний генератор CG , силова випрямляюча установка BV та тягові електродвигуни постійного струму. Силовий випрямляч BV (рис. 12.12) виконаний на базі двох шестипульсових трифазних мостових випрямлячів, з'єднаних паралельно. Результируюча випрямна напруга виходить дванадцятипульсова, що дозволяє поліпшити умови роботи тягових електродвигунів без додаткових згладжувальних пристроїв, підвищити коефіцієнт потужності завдяки наближенню форми споживаючого струму до синусоїдальної. Загальний струм навантаження I_d розподіляється порівну між обома трифазними обмотками тягового синхронного генератора. Основні розрахункові залежності для кожної з випрямлених схем залишаються такими ж, як для шестипульсових схем випрямлення.

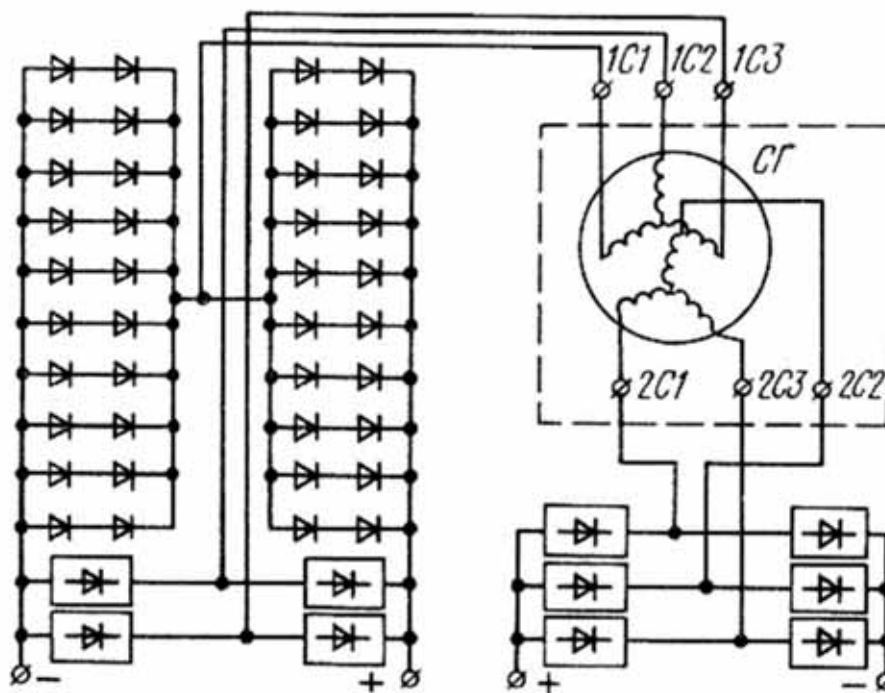


Рис. 12.12. Принципова схема випрямляючої установки:

CG – синхронний тяговий генератор; $1C1, 1C2, 1C3$ – затискачі першої зірки обмотки статора; $2C1, 2C2, 2C3$ – затискачі другої зірки

Генератор CG має дві статорні обмотки ($1C-1C3$ і $2C1-2C2$), (див. схему на рис. 12.12).

Силовий випрямляч УВКТ-5 тепловозів 2ТЕ116, ТЕП70 має такі номінальні параметри: $P_d = 4200$ кВт; $I_d = 5700$ А; $U_d = 750$ В; $\eta = 0,99$. Вказаний перетворювач виконаний на базі лавинних діодів ВЛ200-8 і містить паралельно-послідовне з'єднання вентилів. В кожному плечі випрямляча десять незалежних гілок по два послідовно включених діода ВЛ200-8

(рис. 12.13). Всього трифазний мостовий випрямляч містить 120 венти-лів, а випрямляюча установка УВКТ-5 має 240 діодів ВЛ200-8, тобто $(10 \times 2 \times 6) \times 2$.

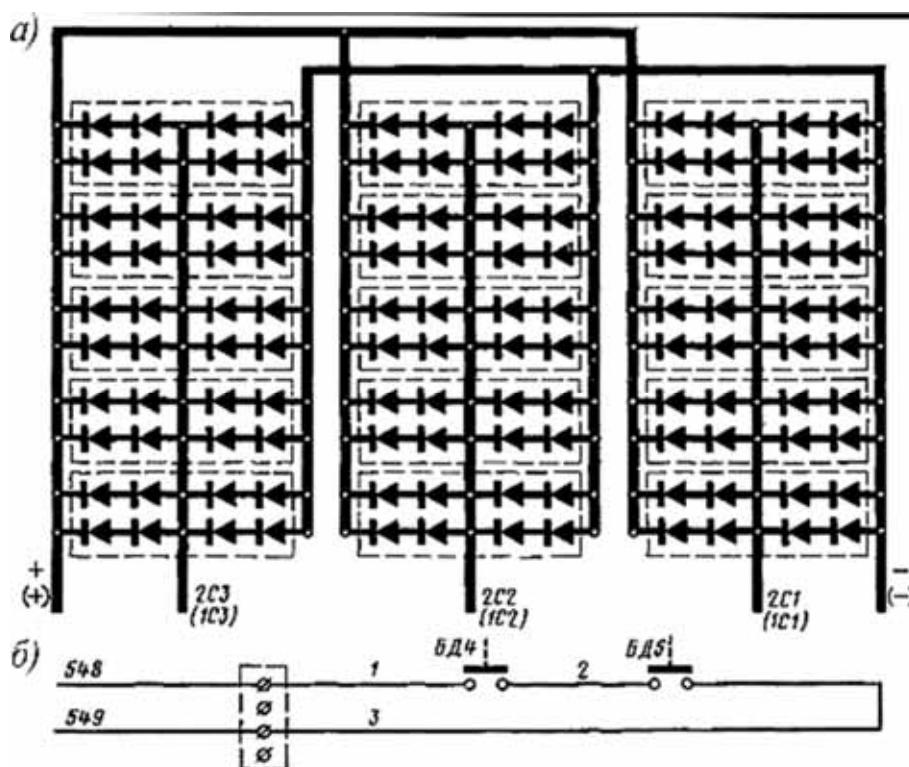


Рис. 12.13. Схема з'єднання вентилів (а) і кінцевих вимикачів (б) випрямної устано-вки УВКТ-5 (у дужках вказано маркування виводів протилежної секції установки)

Зовнішня характеристика $U_d = f(I_d)$ та залежність $\eta = f(I_d)$ випрямляю-чої установки УВКТ-5 показані на рис. 12.14.

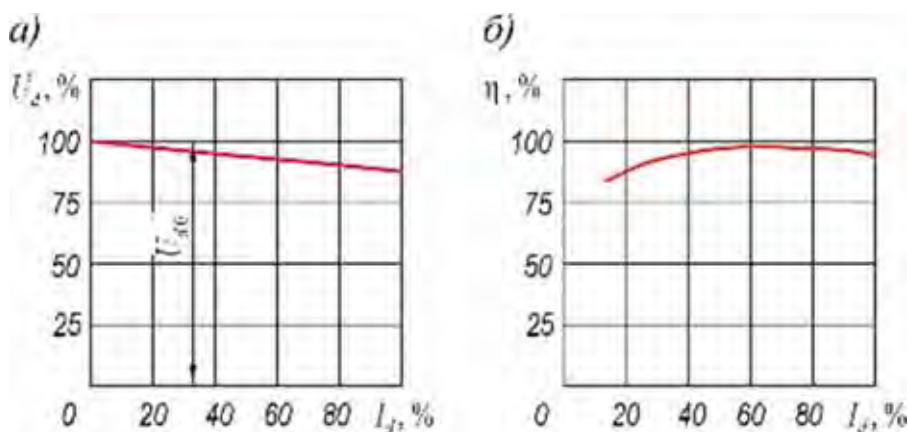


Рис. 12.14. Зовнішня характеристика (а) та залежність к.к.д випрямляча від навантаження (б)

Для забезпечення надійної роботи силових напівпровідникових приладів у разі групового з'єднання, як правило, повинні застосовуватися заходи для рівномірного розподілу струму при паралельному та напруги при послідовному з'єднанні. Число послідовно з'єднаних вентилів в кожному плечі мостової схеми визначають так:

$$n_{\text{пос}} = \frac{k_{\text{н}} k_{\text{п}} U_{\text{звор.мах}}}{k_{\text{в}} U_{\text{ном}}},$$

- де $k_{\text{н}}$ – коефіцієнт нерівномірності розподілу напруги по послідовно включених приладах. Для лавинних вентилів $k_{\text{н}}=1,0$; для інших $k_{\text{н}}=1,2-1,3$;
- $k_{\text{п}}$ – коефіцієнт перенапруг ($k_{\text{п}}=1,2$);
- $U_{\text{звор.мах}}$ – максимальна зворотна напруга за схемою, прикладена до вентиля, В;
- $k_{\text{в}}$ – коефіцієнт, який залежить від типу застосованих кремнієвих вентилів ($k_{\text{в}}=1,2$);
- $U_{\text{ном}}$ – номінальна зворотна напруга вентиля, В.

Кількість паралельно включених вентилів можна орієнтовно визначити виходячи із співвідношення:

$$n_{\text{пар}} = \frac{k_{\text{н}} k_{\text{п}} I_{d \text{ max}}}{I_{\text{ном}}},$$

- де $I_{d \text{ max}}$ – максимальний випрямлений струм, А;
- $k_{\text{н}}$ – коефіцієнт нерівномірності розподілу струмів по паралельно включеним приладам. Для більшості вентилів промислового застосування $k_{\text{н}}=1,2-1,3$;
- $k_{\text{п}}$ – коефіцієнт можливих перевантажень по струму ($k_{\text{п}}=1,2$);
- $I_{\text{ном}}$ – номінальний струм вентиля.

У шафі випрямляючої установки УВКТ-5 розміром 1165×1250×700 мм розміщені вентиля. Конструкція шафи забезпечує доступ з двох сторін. На кожній стороні шафи встановлений один трифазний міст. Вентилі з охолоджуючими радіаторами зібрані в окремі блоки

по вісім штук. На кожній стороні шафи розташовані 15 блоків. Всі блоки знімні, що забезпечує доступ для очищення повітряного каналу та зміни охолоджувачів.

Установка ВУ тепловозів ТЕМ7 виконана на лавинних силових кремнієвих вентилях типу ВЛ-200-8 по 16 шт. в кожному плечі, з'єднаних послідовно-паралельно. Всього випрямляюча установка містить 192 вентиля. Конструктивно вона виконана у вигляді шафи. Розрахункова потужність установки УВКТ-8 2700 кВт, номінальна випрямлена напруга 800 В і струм 3400 А, частота живлення 35–100 Гц, короткочасний максимальний струм навантаження 5400 А.

Панелі та блоки випрямлячів. Безконтактні апарати використовуються в схемі електричної передачі як випрямні мости, стабілізуючі кола, згладжувальні фільтри та ін. По конструкції апарати аналогічні або схожі, наприклад, панелі ПВК-6040, ПКВ-6011 та блок БВК-450. Умовне позначення панелі ПВК-6040: П – панель; В – випрямлячів; К – кремнієвих; 6040 – конструктивне виконання.

Блок випрямлячів БВК-450. Блоки випрямлячів в більшості випадків виконані на базі уніфікованої конструкції і мають позначення: Б – блок; В – випрямляч; К – кремнієвий; 450 – конструктивне виконання.

Блоки випрямлячів БВК-140, БВК-220, БВК-250, БВК-320, БВК-450, БВК-461, ПВК-6011, ПВК-6040, БВ-1201 використовуються на тепловозах в колах індуктивного датчика, трансформаторів ТПС, ТПН, інших колах керування. Апарати цієї групи широко застосовуються в схемах електропередач сучасних тепловозів серій 2ТЕ10М, 2ТЕ116, ТЕМ7 та ін.

Керований однофазний мостовий випрямляч збудження типу БВК-1012. На тепловозах з електричною передачею потужності змінно-постійного струму (2ТЕ116, ТЕП70 і ТЕМ7) застосовуються більш досконалі системи регулювання напруги тягового синхронного генератора.

В сучасних електричних передачах тепловозів широко використовуються тягові синхронні генератори, які працюють спільно з випрямляючою установкою. Синхронні генератори мають незалежне збудження від синхронного збудника, напруга якого регулюється за допомогою керованого випрямляча *УВВ* з блоком *БУВ* (рис. 12.15). Основою вказаної схеми є тиристорний однофазний мостовий випрямляч збудження БВК-1012 (рис. 12.16) і блок управління БА-520 (12.17).

Керований випрямляч БВК-1012 служить для автоматичного регулювання збудження тягового синхронного генератора. Зібрано блок за однофазною мостовою схемою (див. рис. 12.15), в одне плече якої включені тиристори *T1*, *T2*, а в інше – діоди *D3–D6*. Діоди *D1* і *D2* є резервними. При виході з ладу тиристорів або блоку управління БА-520 слід включити аварійний перемикач *АП*, і випрямляч працюватиме, як некерований.

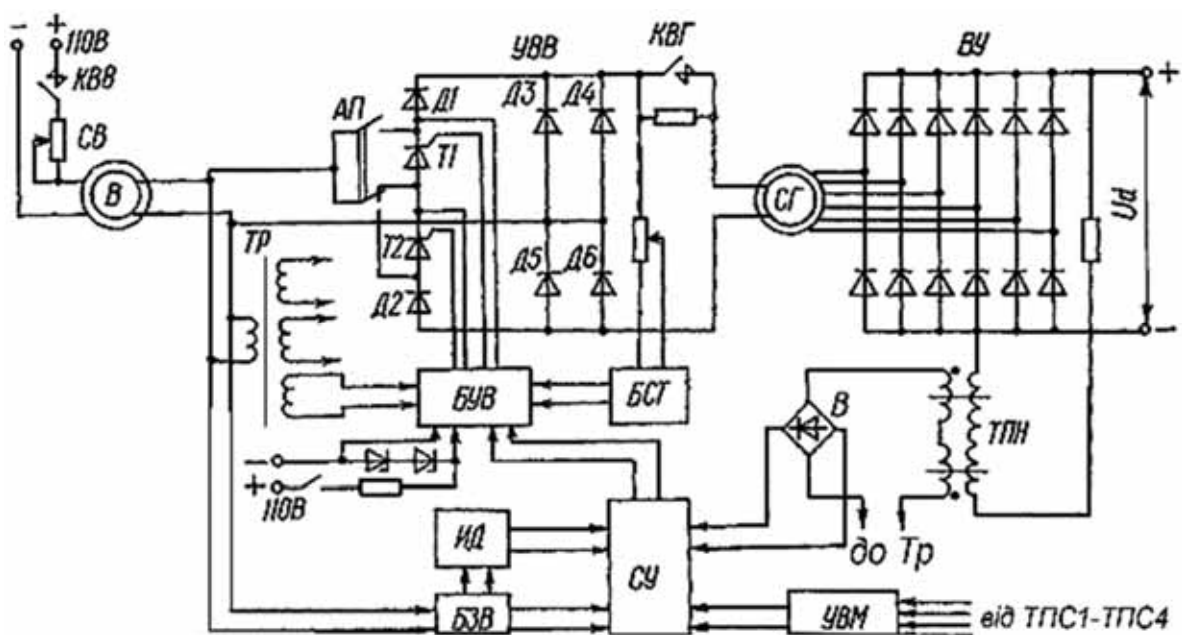


Рис. 12.15. Схема регулювання збудження тягового синхронного генератора

Фазозсувний пристрій блока БА-520 призначений для регулювання фази керуючих імпульсів (кут α), які поступають на тиристорні $T1$ і $T2$ блока БВК-1012.

При подачі в певні моменти часу імпульсів на керуючі електроди тиристорів $T1$ і $T2$ останні відкриваються і напруга синхронного збуджувача прикладається до навантаження. Таким чином, змінюючи тривалість відкритого стану тиристорів (кут регулювання α), можна регулювати напругу і струм обмотки збудження тягового синхронного генератора тепловоза. Випрямлена напруга блоку БВК-1012 складає 200 В, струм 220 А.

Часові діаграми, пояснюючі роботу блоків БВК-1012 і БА-520 наведені на рис. 12.18. При збільшенні кута регулювання α середнє значення U_{cp} вихідної напруги UBB зменшується (див. рис. 12.15).

Імпульси управління тиристорами регульованого випрямляча БВК-1012 формуються блоком автоматики БА-520. Він складається з таких функціональних вузлів (рис. 12.19, а): синхронізуючого кола CC , перетворювача напруги $ПН$, широтно-імпульсного модулятора $ШИМ$, розподільчого ланцюга PC та блокінг-генераторів $БГ1$, $БГ2$. Вхідна напруга змінного струму величиною 14–55 В і частотою 60–220 Гц подається на синхронізує коло, що здійснює перемикання транзисторів перетворювача напруги синхронно з частотою напруги живлення блоку БВК-1012. Перетворювач напруги живить $ШИМ$, який через розподільче коло запускає почергово блокінг-генератори $БГ1$ і $БГ2$.

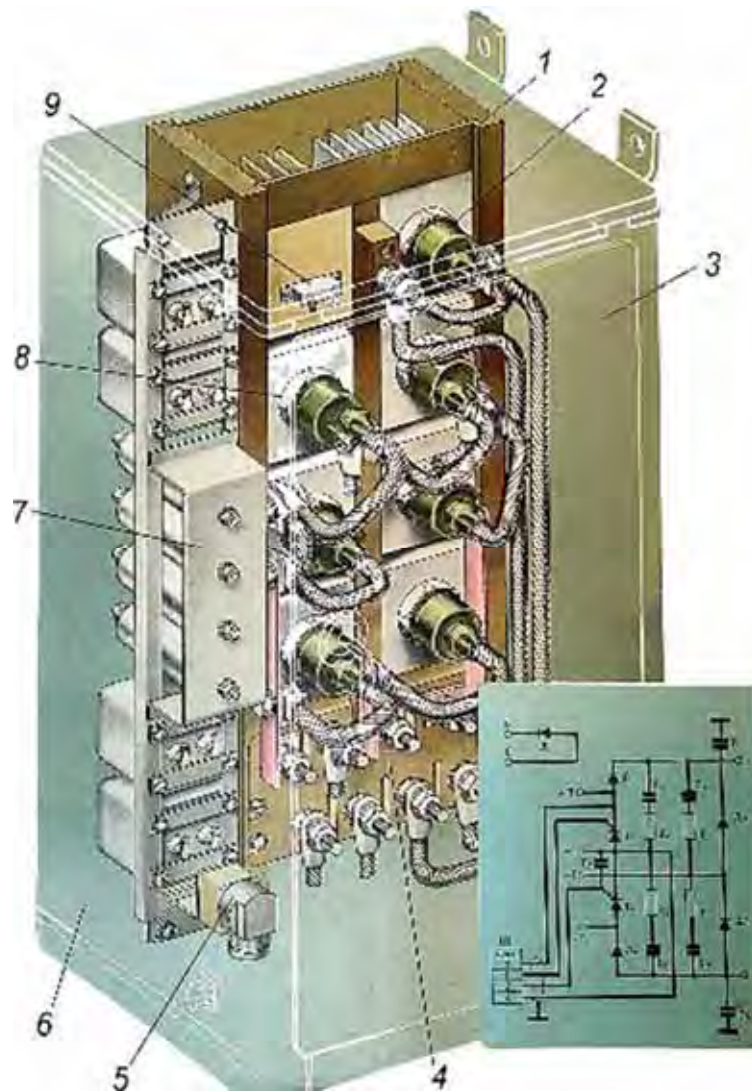


Рис. 12.16. Тиристорний випрямляч БВК-1012:

1 – блок; 2 – кремнієвий вентиль; 3 – двері; 4 – силові виводи блоку; 5 – штепсельний роз'єм; 6 – кожух; 7 – блок опорів і конденсаторів; 8 – силовий тиристор; 9 – конденсатор

Широтно-імпульсний модулятор являє собою магнітний підсилювач з внутрішнім зворотнім зв'язком і виходом на змінному струмі.

Блокінг-генератори формують імпульси прямокутної форми заданої амплітуди і тривалості. Ці імпульси (амплітудою 7 В і тривалістю 420–780 мкс) подаються на кола керування тиристорів блоку БВК-1012. Перетворювач напруги і блокінг-генератори отримують живлення від стабілізованого джерела постійного струму напругою 13,5 В.

Часові діаграми, що пояснюють принцип дії блоку управління БА-520, показані на рис. 13.19, б).

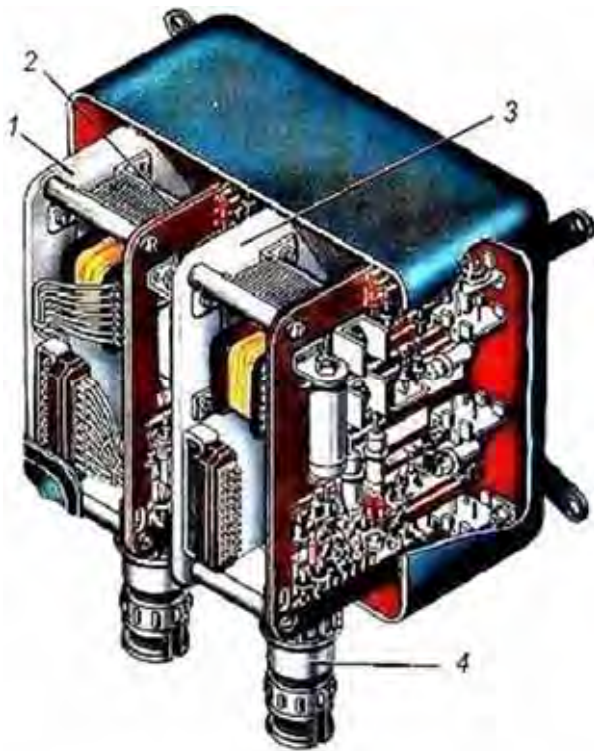


Рис. 12.17. Блок управління БА-520:
 1 – основний блок; 2 – резервний блок;
 3 – друкована плата; 4 – штепсельний роз'єм

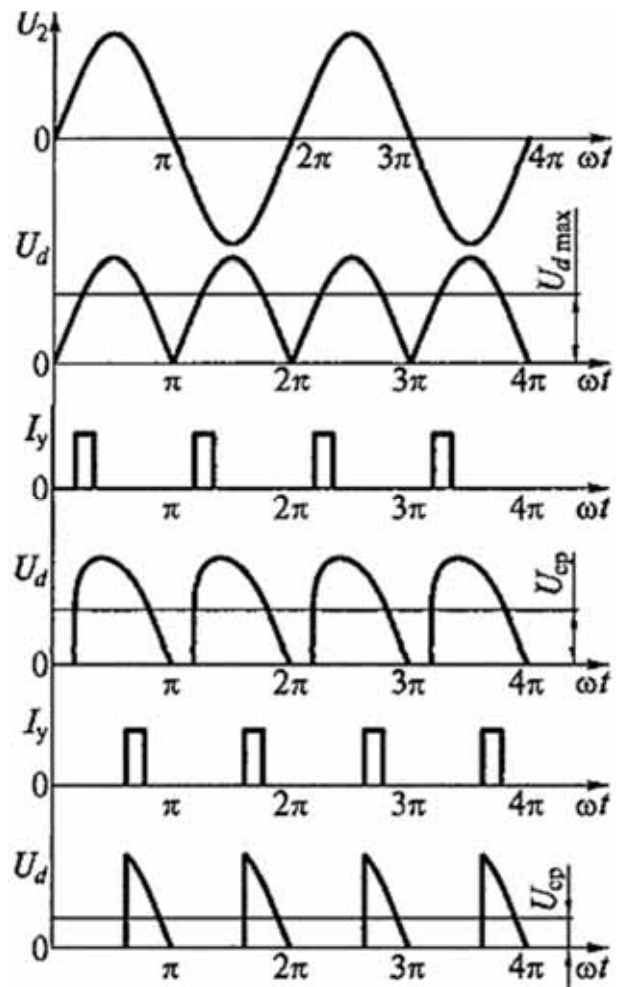


Рис. 12.18. Часові діаграми роботи
 блоків БВК-1012 і БА-520

При зміні струму I_y (сигналу розузгодження) в обмотці управління магнітного підсилювача ШІМ змінюється і кут регулювання α , тобто момент формування імпульсу в межах напівперіоду живлячої напруги. Якщо частота напруги синхронного збуджувача $f = 66$ Гц і струм управління $I_y = 12$ мА, кут регулювання $\alpha = 125^\circ$, а якщо $f = 220$ Гц і $I_y = 6$ мА, то $\alpha = 180^\circ$.

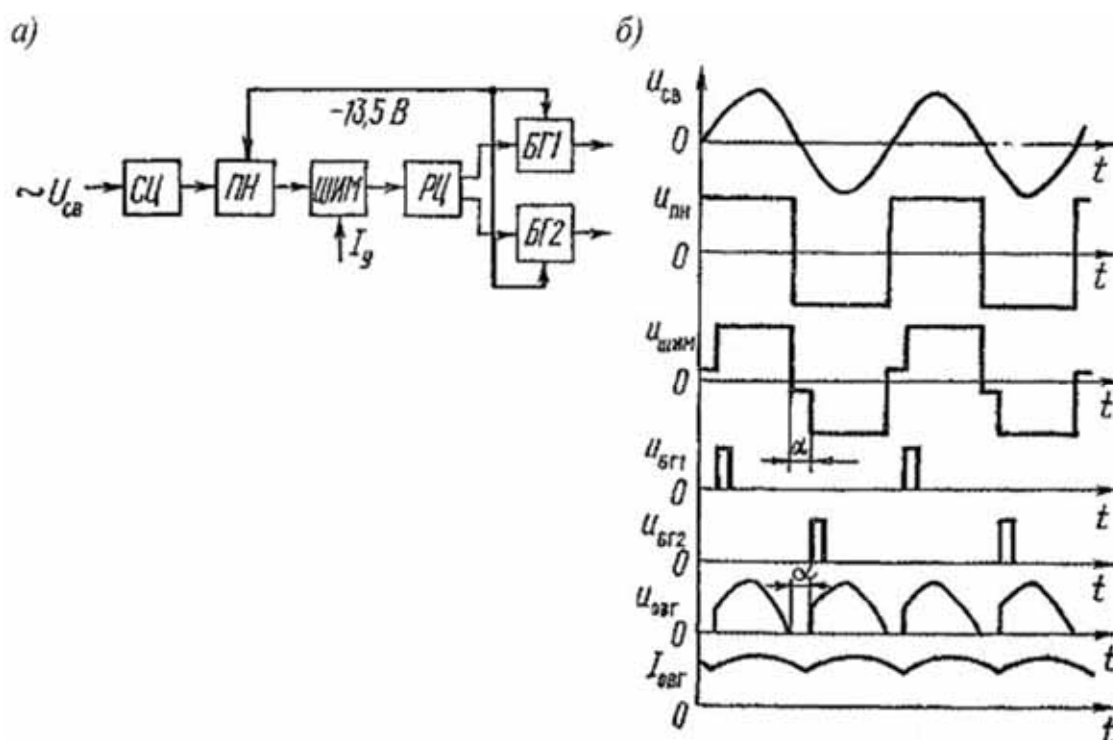


Рис. 12.19. Функціональна схема блоку управління БА-520 (а) і часові діаграми (б): $U_{св}$, $U_{пн}$, $U_{шим}$, $U_{БГ1}$, $U_{БГ2}$ – миттєві значення напруг елементів блоку; $U_{звг}$, $I_{звг}$ – напруга та струм обмотки збудження синхронного генератора.

12.3. Безконтактні регулятори напруги допоміжних генераторів і статер-генераторів

Живлення кіл управління та освітлення, підзаряджання акумуляторних батарей тепловозів здійснюється від допоміжних генераторів і статер-генераторів. Для автоматичної підтримки постійної напруги допоміжних генераторів в усіх режимах їх роботи застосовуються регулятори напруги. Регулятори напруги виконуються, як контактними (типів ТРН-1, СРН-7), так і безконтактними (БРН-3В, РНТ-6, ТРВ-2 та ін.). Принципові схеми включення регуляторів напруги в колі збудження допоміжних генераторів або статер-генераторів наведено на рис. 12.20.

Регулятор напруги типу БРН-3В. Регулятор підтримує постійним напругу допоміжного генератора, частота обертання якоря і навантаження якого змінюються в широких межах. Принцип роботи тепловозних регуляторів напруги заснований на зміні струму збудження допоміжних

генераторів. Точність підтримки напруги розглядаємого регулятора 75 ± 1 В. Регулятор складається з вимірювального та регулюючого органів.

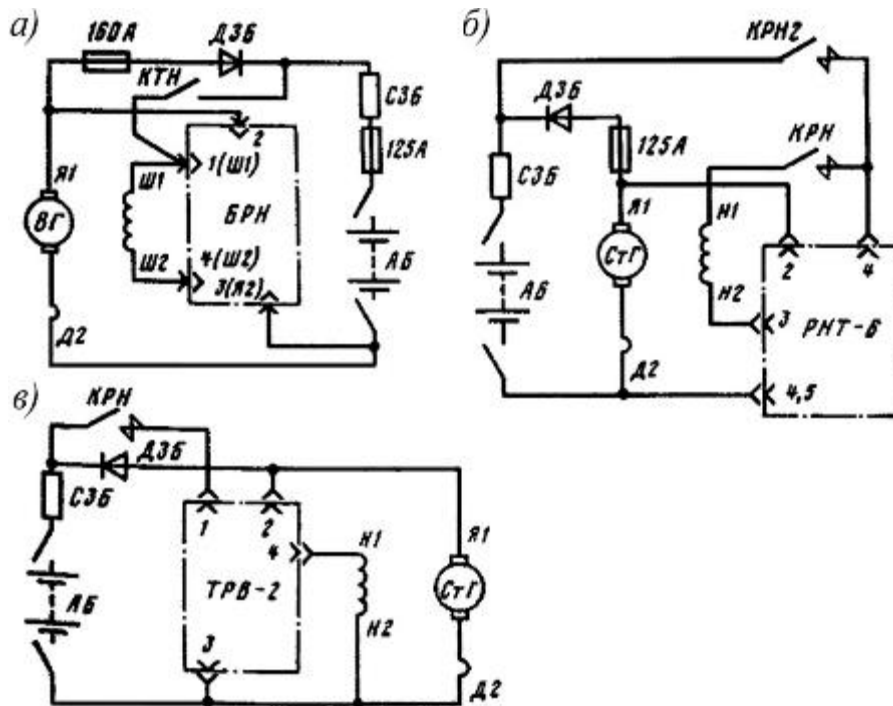


Рис. 12.20. Принципові схеми включення безконтактних регуляторів напруги:
а) БРН-3В; б) РНТ-6; в) ТРВ-2

Вимірювальний орган (рис. 12.21, а) виконаний по мостовій схемі, в якій стабілізована напруга на стабілітроні $СТ3$ порівнюється з напругою між виводом генератора $Я2$, і движком потенціометра $R2$, що змінюється зі зміною напруги допоміжного генератора $ВГ$. Вимірювальний орган включає транзистори $T1-T3$, стабілітрони $СТ3-СТ5$, потенціометр $R2$, резистори $R1', R1-R5$, діоди $Д1, Д7$ і конденсатор $С1$. Стабілітрон $СТ3$ використовується як чутливий елемент, реагуючий на зміну напруги $ВГ$. Стабілітрони $СТ4$ та $СТ5$ є термокомпенсаторами.

Регулюючий орган включає два тиристора $T4$ та $T5$, діоди $Д8-Д13, Д16, Д17$, стабілітрони $СТ14, СТ15, СТ17$, конденсатори $С2-С4$, резистори $R6-R9$ та дроселі $Др1$ та $Др2$. Обмотка збудження $Ш1-Ш2$ ($ОВ$) служить навантаженням для регулюючого органу. Регулюючий орган являє собою мультівібратор (рис. 12.21, б), зібраний на тиристорах $T4$ та $T5$. Елементом управління служить резистор $R6$ на 1200 Ом, що забезпечує відкриття тиристора $T4$. Такі схеми дозволяють змінювати полярність напруги на силових електродах тиристора та використовуються в колах постійного струму для запирання тиристора.

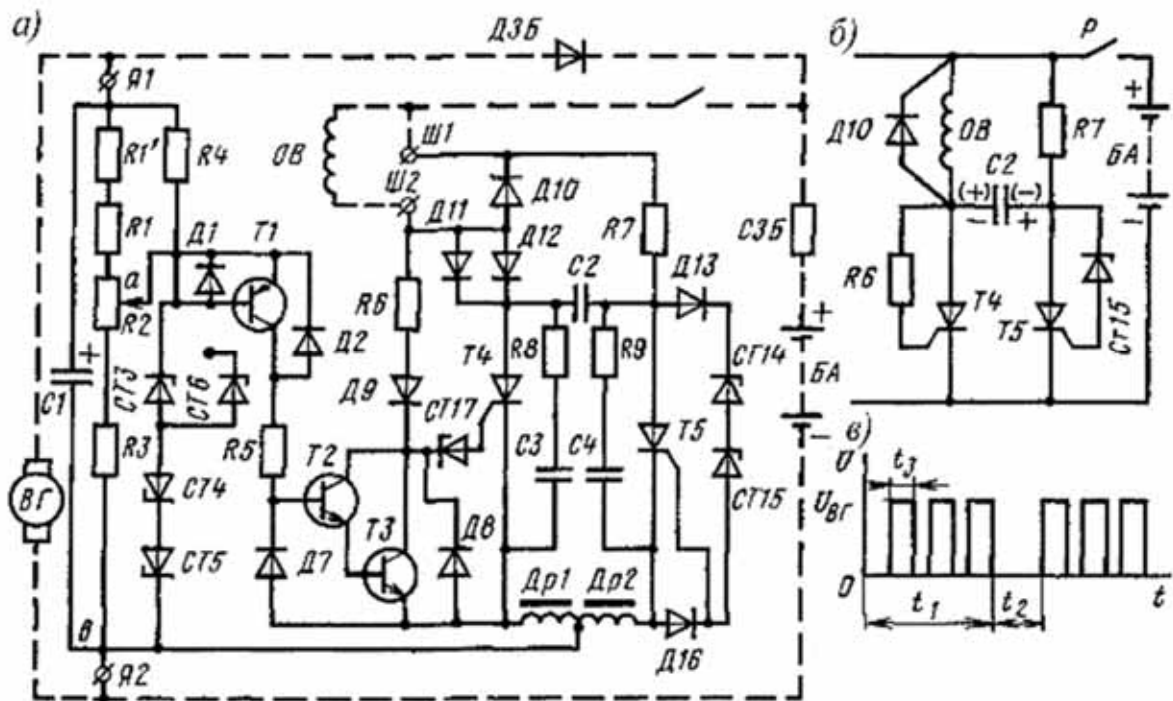


Рис. 12.21. Безконтактний регулятор напруги БРН-3В:
 а) схема регулятора; б) схема мультивібратора; в) діаграма напруги;
 t – час роботи мультивібратора; t_1, t_2 – час роботи та зупинки мультивібратора;
 t_3 – час відкритого стану T_4

Після включення рубильника подається відпираючий (позитивний) імпульс на керуючий електрод тиристора T_4 через обмотку збудження OB і резистор R_6 , і тиристор відкривається. По обмотці збудження допоміжного генератора потече значний струм (через анод-катод T_4), одночасно конденсатор C_2 заряджається через резистор R_7 . Для закриття тиристора T_4 необхідно подати відпираючий імпульс на керуючий електрод тиристора T_5 . У міру накопичення заряду та збільшення напруги на конденсаторі C_2 пробивається стабілітрон CT_{15} , подається відпираючий імпульс на керуючий електрод T_5 , і він відкривається.

При відмиканні тиристора T_5 конденсатор C_2 розряджається через T_5 і ще відкритий T_4 . При цьому на тиристор T_4 миттєво подається напруга зворотної полярності, яка і закриває його. Після закриття тиристора T_4 відбувається перезаряд конденсатора C_2 через обмотку збудження OB та відкритий тиристор T_5 (полярність вказана у дужках). Далі тиристор T_4 відкривається, а T_5 закривається розрядним струмом конденсатора, і процес повторюється з частотою, що досягає приблизно 600 Гц (визначається значенням R_7 та C_2).

Схема налаштовується движком потенціометра таким чином, що при

напрузі допоміжного генератора рівному 75 В, падіння напруги на ділянці *a–в* стає рівним «напрузі пробою» стабілітрона *СТЗ*, внаслідок чого його опір різко падає і транзистори *T1–T3* відкриваються, шунтуючи перехід «керуючий електрод – катод» тиристора *T4*.

Струм управління падає до нуля, і *T4* закривається, отже, струм збудження зменшується. Напруга *ВГ* зменшується до тих пір, поки падіння напруги на ділянці *a–в* стане нижче напруги пробою стабілітрона *СТЗ*. Опір *СТЗ* різко зростає, і транзистори *T1–T3* закриваються. При цьому схема переходить в режим найбільшої віддачі, тобто тиристор *T4* відкривається, і по обмотці збудження потече великий струм. Напруга *ВГ* збільшується, і процес повторюється. У регуляторі виникає коливальний процес, частота якого залежить від параметрів кола збудження допоміжного генератора (близько 60 Гц).

Напруга генератора регулюється зміною середнього значення струму збудження, яке залежить від часу включеного стану тиристора *T4* протягом періоду коливального процесу. Форма напруги на обмотці *ОВ* показана на рис. 12.21, *в*). Діоди *Д8, Д9, Д13, Д16* призначені для захисту переходів керуючий електрод – катод тиристорів *T4* і *T5* від зворотних напруг, що виникають при перезаряді конденсатора *С2*. Діод *Д8* також захищає емітер-колекторний перехід транзистора *T3* і перехід база-колектор *T2*. Діод *Д7* зменшує струми витоку *T2*. Діоди *Д11, Д12* запобігають самовільні автоколивання. Дроселі *ДР1* та *ДР2* захищають тиристори від комутаційних імпульсів. Кола *R9–С4, R8–С3* підвищують надійність роботи регуляторів.

На двох панелях, встановлених на основі, змонтовані силові елементи (*T4, С2, С1, Д10–Д12, Д1* і *Д2*), а на друкованій платі – елементи вимірювального органу. Панелі регулятора укладені в металевий кожух, що має отвір для коригування напруги потенціометром *R2*.

Регулятор підключається в електричну схему тепловоза через штепсельний роз'єм.

Тиристорний регулятор напруги РНТ-6. На тепловозах 2ТЕ116 встановлюють регулятори РНТ-6 для підтримки постійної напруги стартер-генератора 110 В при роботі його в генераторному режимі. Регулятор складається з вимірювального та регулюючого пристрою (рис. 12.22).

Вимірювальний пристрій включає в себе стабілітрон *СТЗ*, підключений до дільнику напруги *R9* і *R10*, який живиться від стартер-генератора. У вимірювальному пристрої відбувається порівняння регульованої напруги з еталонним стабілітроном *СТЗ*. **Регулюючий пристрій** складається з мультивібратора на тиристорах *T3* та *T4* і тиристорного підсилю-

вача $T1$ та $T2$. Тиристор $T2$ включений в коло керуючого електрода силового тиристора $T1$.

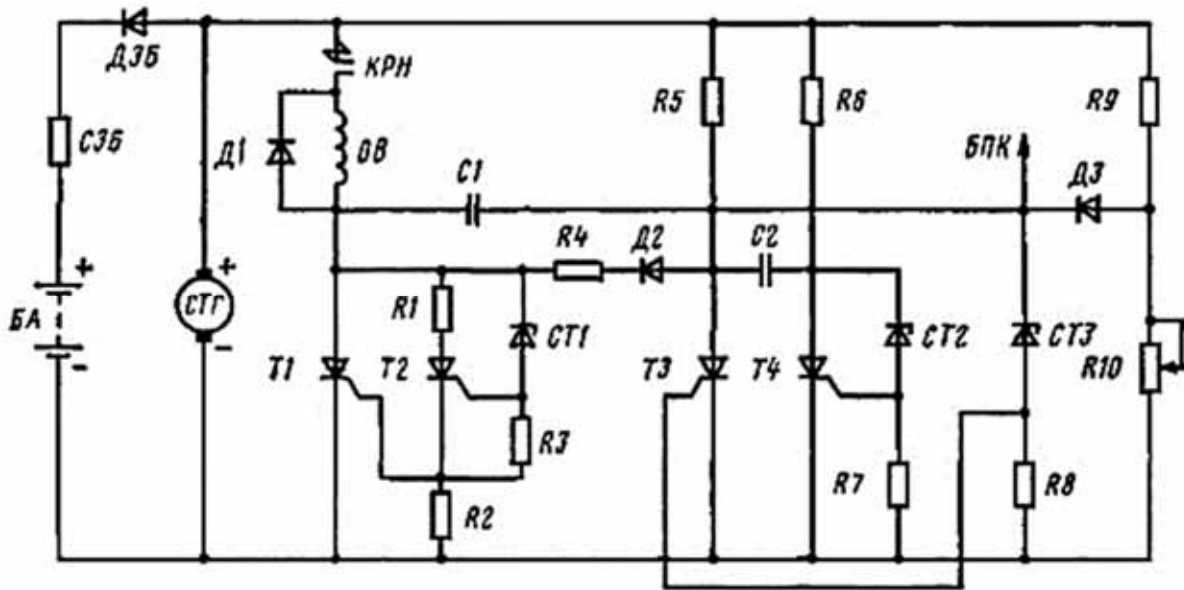


Рис. 12.22. Схема безконтактного регулятора напруги РНТ-6:

СТГ – стартер-генератор; ОВ – обмотка збудження СТГ; КРН – контактор регулятора напруги; ДЗБ – діод заряду батареї; СЗБ – резистор заряду батареї; $T1$ – $T4$ тиристри; БА – батарея акумуляторна; Д1–Д3 – діоди; С1–С2 – конденсатори; СТ1–СТ3 – стабілітрони; R1–R10 – резистори

Регулятор працює таким чином. Після пуску дизеля і включення контактора регулятора напруги КРН обмотка збудження стартер-генератора ОВ включається в коло тиристора $T1$. Вихідна напруга дільника управляє роботою мультивібратора, який має два режими – автоколивальний і загальмований. Автоколивальний режим настає при напрузі стартер-генератора, що перевищує 110 В. При цьому напруга дільника, прикладена до діода Д3, більше опорної напруги стабілітрона СТ3 і він пробивається. Внаслідок цього з'являється струм в колі електроду управління тиристора $T3$ і він відмикається. Через силові електроди тиристора відбувається заряд конденсатора С2. При збільшенні напруги на С2 до значення, що викликає пробій стабілітрона СТ2, в колі електроду управління тиристора $T4$ з'явиться струм і $T4$ відкриється. Відбудеться розряд конденсатора С2, напруга зворотної полярності прикладається до $T3$ і закриває його. Наступає автоколивальний режим роботи. Цьому режиму відповідає закритий стан тиристорів $T1$ і $T2$.

Коли напруга стартер-генератор стане менше 110 В, напруга на виході дільника стане нижче опорної напруги СТ3, мультивібратор загальмовується в положенні: тиристор $T4$ відкритий, а $T3$ закритий. Зрив автоколи-

вального процесу мультівібратора призводить до появи струму в колі $CT1$, і отже, до включення тиристора $T2$. При включенні $T2$ струм надходить на електрод управління $T1$ і він відкривається. Струм в обмотці OB зростає, і напруга статор-генератора підвищується, а при підвищенні 110 В тиристор $T1$ закривається. Частота включення $T1$ визначається параметрами контуру регулювання. Конденсатор $C1$ призначений для закриття тиристорів $T1$ і $T2$. Діод $D1$ зменшує пульсації струму в обмотці збудження OB , через нього замикається е.р.с. самоіндукції при закритті тиристора $T1$.

Регулятори напруги застосовуються на тепловозах: ТЕ10-БРН-3В, ТЕ116-РНТ-6, ТЕП70-ТРВ-2 (див. рис. 12.20). **Регулятор напруги ТРВ-3 (АРНТ-7)** тепловозів ТЕП70, ТЕМ7 можливо представити у вигляді ключа K (рис. 12.23, а), з'єднаного послідовно з обмоткою збудження статор-генератора, котрий на протязі часу t_n замкнутий, а в період $(T-t_n)$ розімкнутий (де T – період регулювання). Змінюючи час замкнутого стану ключа K на протязі періоду T можливо регулювати середнє значення напруги $U_{всп}$ і струму $I_{всп}$ збудження (рис.12.23, б), підтримуючи незмінним задану напругу статор-генератора $СтГ$ на рівні 108–114 В.

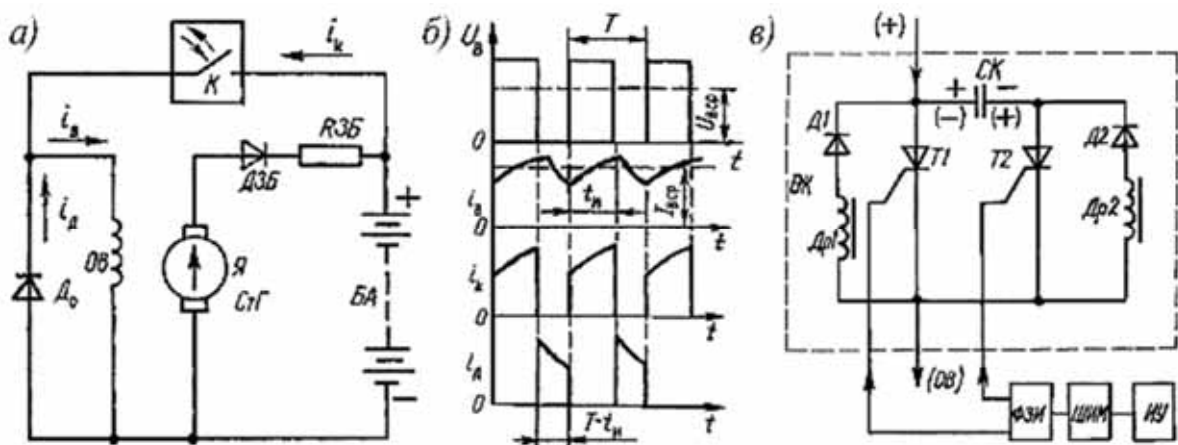


Рис. 12.23. Принципова схема імпульсного регулювання збудження статор-генератора (а), часові діаграми напруги та струмів (б) і основні функціональні вузли тиристорного регулятора напруги ТРВ-3 (в)

В тиристорному регуляторі напруги ТРВ-3 можливо виділити ряд основних вузлів: вимірювальний $IУ$, широтно-імпульсний модулятор $ШИМ$, формувач запускаячи імпульсів $\PhiЗИ$ та вихідний каскад $ВК$ (рис.12.23, в). Останній є перетворювачем постійного струму з двома гілками комутації. Основний тиристор $T1$ включений послідовно з обмот-

кою збудження та виконує роль ключа K , а допоміжний тиристор $T2$, конденсатор CK , дроселі $Dr1$ і $Dr2$, діоди $D1$ і $D2$ утворюють комутуючий пристрій для запирання (гасіння) тиристора $T1$.

Випробування регуляторів напруги БРН-3В, РНТ-6 та інших можливо проводити на типовому стенді А253 на заводах або в локомотивних депо (рис. 12.24). Для цього вказаний стенд треба доповнити двомашинним агрегатом, допоміжний генератор якого розрахований на 110 В. Збуджувач двомашинного агрегату буде працювати двигуном постійного струму з незалежним збудженням при живленні якоря від трифазного нульового керованого випрямляча стенду А253.

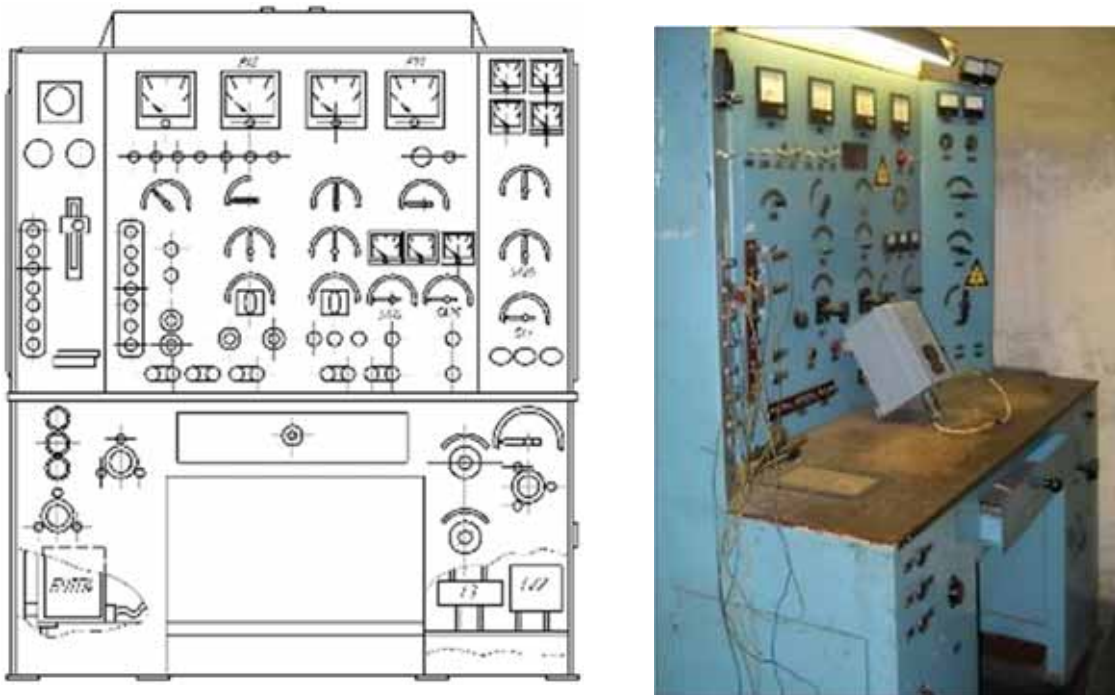


Рис. 12.24. Стенд типу А253 випробування електричних апаратів локомотивів

Під час випробувань, наприклад, регулятора РНТ-6 та збільшенні частоти обертання якоря допоміжного генератора в межах $1000\text{--}3000\text{ хв}^{-1}$, напруга його автоматично підтримується постійною на рівні 110 В шляхом зменшення струму збудження в межах $1,8\text{--}0,8\text{ А}$ (рис. 12.25).

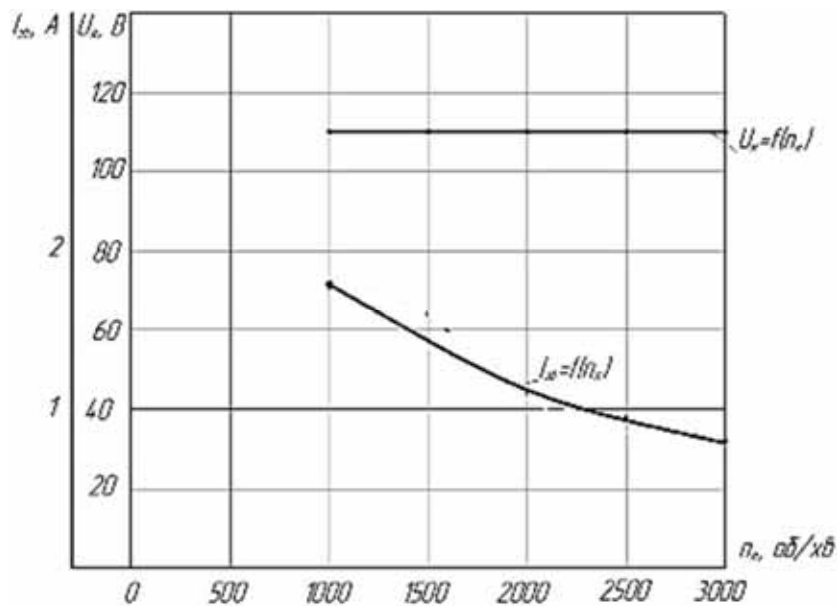


Рис. 12.25. Графік залежності струму збудження $I_{зб}$ та напруги U_y від частоти обертання n_y

Запитання до самоконтролю

1. Призначення, принцип дії та устрій трансформаторів постійного струму та напруги.
2. Призначення, принцип дії та устрій стабілізуючого та розподільчого трансформаторів.
3. Призначення, принцип дії та устрій амплітата збудження типу АВ-3А.
4. Призначення, принцип дії та устрій індуктивного датчика.
5. Призначення, принцип дії та устрій безконтактних тахометричних блоків БА-420 та БА-430.
6. Параметри та характеристики силових випрямлячів тепловозів.
7. Принцип роботи та устрій пристроїв для регулювання фази керуючих імпульсів.
8. Принцип роботи та устрій регуляторів напруги допоміжних генераторів.

СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ ТЯГОВИХ ГЕНЕРАТОРІВ

13.1. Застосування збуджувачів з поздовжньо та поперечно розщепленими полюсами

Як вже відомо, для забезпечення повного використання вільної потужності дизеля тяговим генератором постійного струму зовнішня його характеристика повинна мати вигляд рівнобокої гіперболи. Така характеристика може бути отримана з допомогою спеціальних комбінованих автоматичних систем регулювання напруги (збудження) тягових генераторів. Ці системи широко використовуються на тепловозах і постійно удосконалюються.

Регулювання напруги тягового генератора при використанні збудника з поздовжньо розщепленими полюсами. Для тягових генераторів керованими величинами можуть бути потужність, пусковий струм, максимальна напруга. Всі ці величини пропорційні напрузі тягового генератора U_{Γ} . Ця напруга, якщо знехтувати падінням напруги в якірному колі та реакцією якоря, може бути визначено за формулою:

$$U_{\Gamma} = c_e \Phi_{\text{в}} n_{\text{я}},$$

де c_e – постійна величина для даного генератора, яка визначається числом пар полюсів і параметрами обмотки якоря;

$\Phi_{\text{в}}$ – магнітний потік полюсів тягового генератора, Вб;

$n_{\text{я}}$ – частота обертання якоря тягового генератора, хв^{-1} .

З формули видно, що керуючим параметром для тягового генератора є магнітний потік $\Phi_{\text{в}}$. Цей магнітний потік пропорційний струму збудження тягового генератора. Отже, для того щоб отримати необхідну

форму зовнішньої характеристики генератора необхідно струм збудження змінювати за певним законом в залежності від ряду факторів, що впливають на напругу тягового генератора і потужність дизель-генераторної установки.

В автоматичних системах регулювання напруги тягового генератора, побудованих на основі принципу регулювання по струму навантаження, незалежна обмотка збудження тягового генератора живиться від збудника з поздовжньо розщепленими полюсами. Такі системи регулювання застосовуються на тепловозах ТЕМ2. Кожен полюс збудника B поділений вздовж осі латунною проставкою $З$ на дві нерівні частини (рис. 13.1, a). На одній з них 2 , що має менші розміри (насиченої), розташовані магнітні мости у вигляді вирізів на осерді. На полюсі розміщена незалежна (паралельна) обмотка збудження $НВ$, що охоплює обидві частини полюса, і диференціальна $ДВ$, охоплююча лише другу частину.

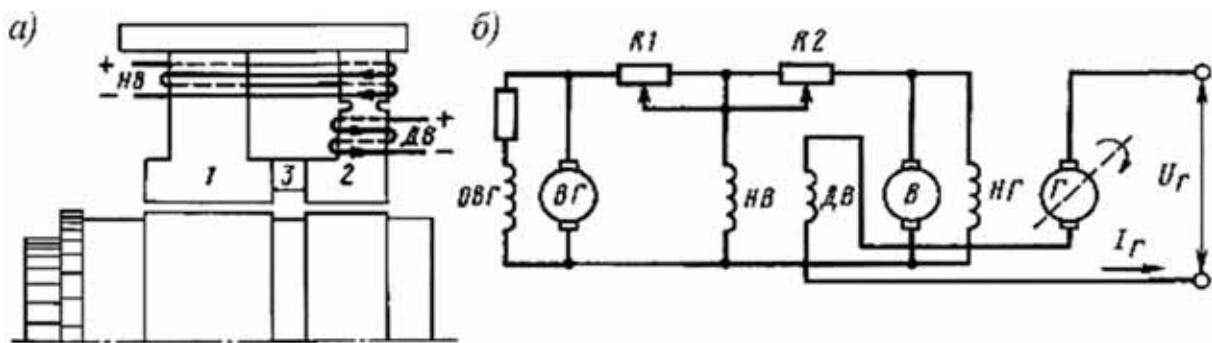


Рис. 13.1. Розщеплений полюс збуджувача (a) і схема збудження тягового генератора (b) тепловоза ТЕМ2

Результуюча е.р.с., що індуктується в простій хвильовій обмотці якоря, дорівнює алгебраїчній сумі е.р.с., індукованих потоками кожної частини полюса: $E_B = E_1 + E_2$. По диференційній обмотці протікає струм тягового генератора I_G . Незалежна обмотка збудження $НВ$ має подвійне живлення – від допоміжного генератора $ВГ$, напруга якого підтримується постійною, і якоря збудника (рис. 13.1, b). Основним є живлення від допоміжного генератора, внаслідок чого е.р.с. E_1 , створювана в якорі потоком ненасиченої частини 1 полюса, майже не залежить від навантаження (рис. 13.2). Електрорушійна сила E_2 створюється в якорі внаслідок взаємодії м.р.с. незалежної та диференціальної обмоток. При струмі генератора, що дорівнює нулю ($I_G = 0$), потік у частині 2 полюса створюється тільки незалежної обмоткою (див. рис. 13.1, a). Із збільшенням струму генератора потік зменшується, так як м.р.с. диференціальної обмотки

протилежна м.р.с. незалежної обмотки. При рівності м.р.с. обох обмоток потік дорівнює нулю. Якщо струм генератора продовжує збільшуватися, то магнітний потік змінює свій напрямок, оскільки переважає потік диференціальної обмотки. Характер зміни електрорушійної сили E_2 показаний на рис. 13.2. У результаті підсумовування E_1 і E_2 виходить необхідна характеристика збудника $E_B(I_T)$, яка визначає зовнішню характеристику тягового генератора.

Характеристика збудника МВТ-25/9 представлена на рис. 13.3, а). Характеристика тягового генератора подібна характеристиці збудника. Для генератора ГП-300Б ця характеристика представлена на рис. 13.3, б).

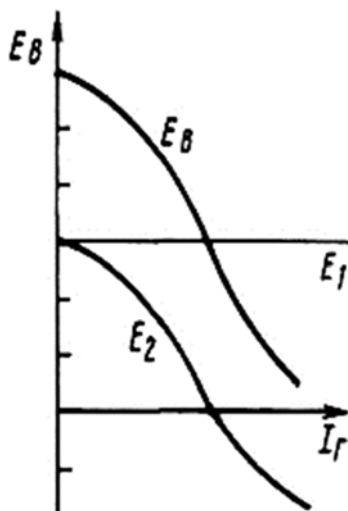


Рис. 13.2. Залежність е.р.с. збуджувача від струму тягового генератора

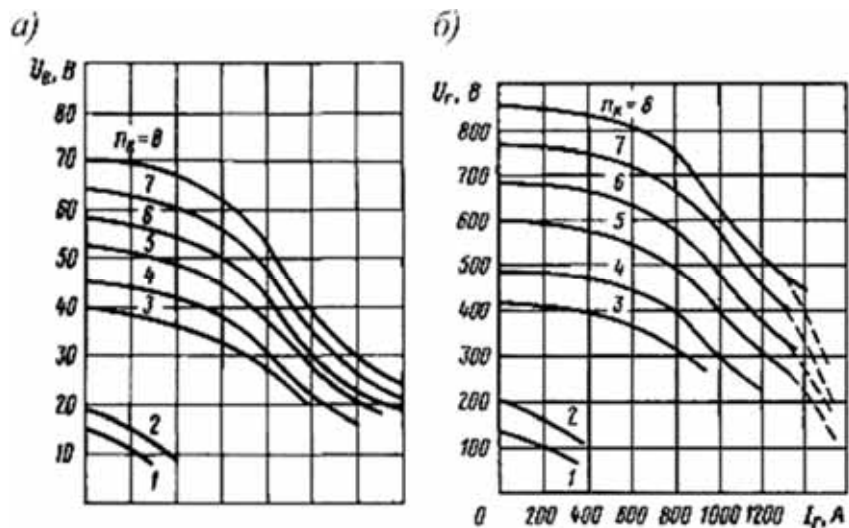


Рис. 13.3. Характеристика збудника МВТ-25/9 (а) та зовнішня характеристика тягового генератора ГП-300 (б) для різних позицій КМ тепловоза ТЕМ2

Регулювання напруги тягового генератора при використанні збуджувача з поперечним розщепленням полюсів. Таке регулювання застосовано на тепловозах ТЕ3 і ТЕ7. Збуджувач B має шість полюсів, чотири з яких є ненасиченими, а два з зменшеною площею перерізу у верхній частині осердя (магнітні мости) – насиченими. На них розташовані паралельна $ШВ$ і диференціальна $ДВ$ обмотки, м.р.с. яких спрямовані зустрічно (рис. 13.4). Обмотка $ШВ$ через резистор підключена на напругу збудника. Обмотка $ДВ$ приєднана паралельно обмотки додаткових полюсів $ДП$ тягового генератора, тому що протікаючий по ній струм пропорційний струму генератора (дорівнює $1/30$ – $1/50 I_T$). На ненасичених полюсах розміщується основна обмотка незалежного збудження $НВ$, що

живиться струмом від допоміжного генератора $BГ$. Електрорушійна сила, створювана цією обмоткою, не залежить від навантаження. Магніторушійна сила обмотки KB діє згідно м.р.с. незалежної обмотки та служить для компенсації розмагнічуючого дії реакції якоря збудника від струму тягового генератора. Практично можна вважати, що магнітні системи ненасичених і насичених полюсів не залежать один від одного.

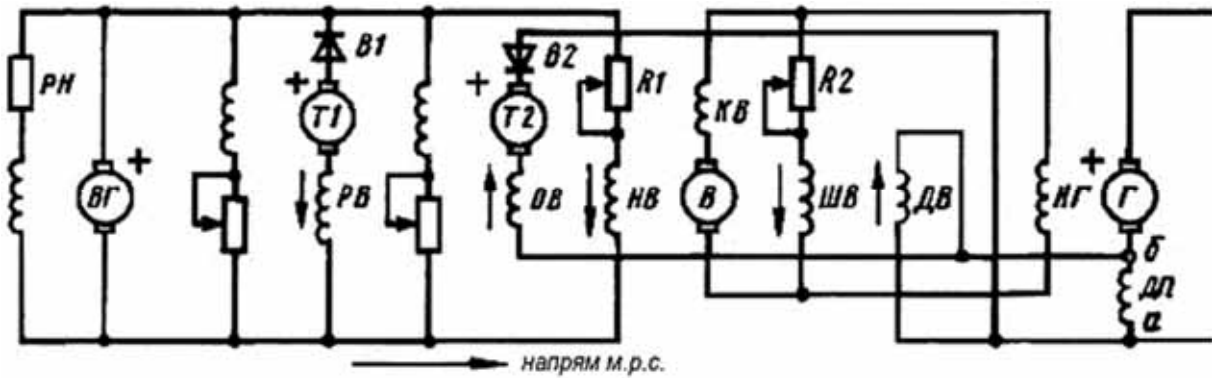


Рис. 13.4. Схема збудження тягового генератора тепловоза ТЕ3

За малих струмах генератора напрям магнітного потоку насичених полюсів визначається м.р.с. паралельної обмотки і збудник працює як шестиполіусний генератор (рис.13.5, а).

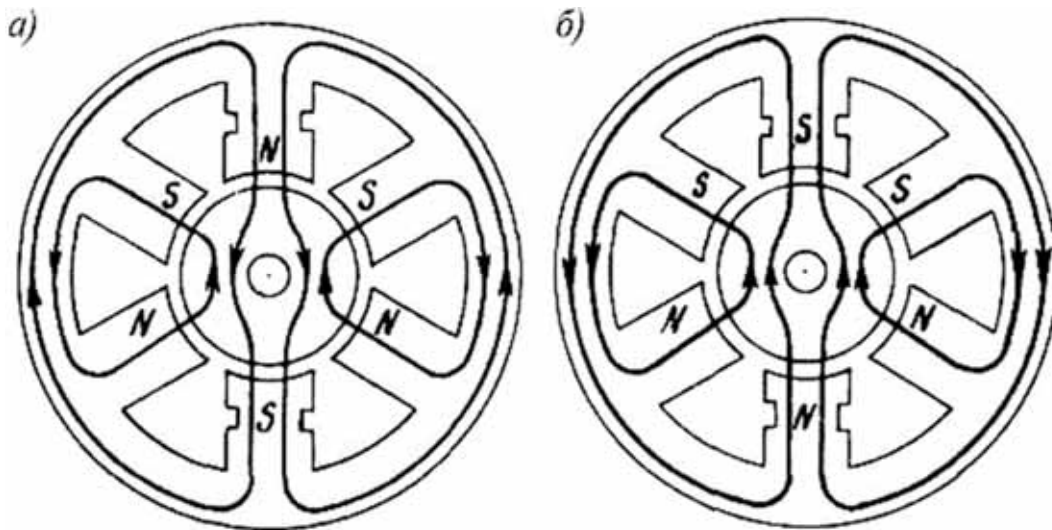


Рис. 13.5. Розподіл магнітного потоку збуджувача:
а) полярність за низькі струми генератора; б) полярність за високі струми

У разі збільшення струму тягового генератора м.р.с., що створюється обмоткою $ДВ$, зростає і в певний момент стає більше м.р.с. обмотки $ШВ$.

При цьому полярність насичених полюсів змінюється і збудник працює як двополісний генератор (рис. 13.5, б) з поперечним (радіальним) розщепленням кожного полюса на три частини. Якір збудника має просту хвильову обмотку, тому в першому випадку е.р.с. обмотки якоря визначається сумою е.р.с. від потоків ненасиченої і насиченою систем, а в другому – їх різницею. В результаті збудник має таку ж характеристику, як і збудник з поздовжнім розщепленням полюсів (див. рис. 13.2). Налаштування систем збудження проводиться резисторами R_1 і R_2 (див. рис. 13.1, б) та 13.4).

В схемі регулювання напруги тягового генератора тепловоза ТЕЗ додатково передбачені такі пристрої (рис. 13.4):

- вузол автоматичного регулювання струму (тахогенератор T_2 , вентиль B_2 і обмежувальна обмотка OB збуджувача);
- вузол автоматичного регулювання потужності (тахогенератор T_1 , вентиль B_1 і регулювальна обмотка PB збуджувача).

Оскільки збудник живить обмотку незалежного збудження тягового генератора, характеристика генератора має вигляд, подібний характеристиці збудника (рис.13.6).

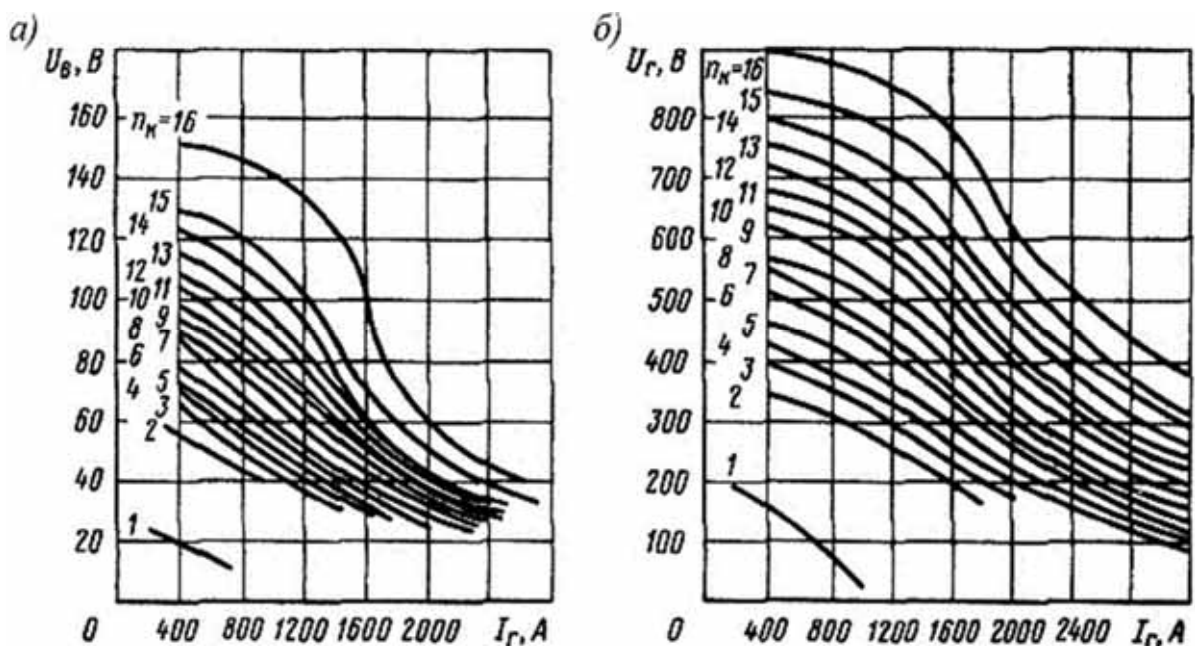


Рис. 13.6. Характеристика збудника ВТ-275/120 (а) та зовнішня характеристика тягового генератора МПТ-99/47А (б) для різних позицій КМ тепловоза ТЕЗ

Отже, зміна напруга генератора, яка визначається власними характеристиками генератора та збудника, називають саморегулюванням генератора (див. рис. 13.3 та 13.6).

13.2. Регулювання напруги тягових генераторів постійного струму при використанні магнітних підсилювачів (МУ)

Як вже відомо, магнітний підсилювач – це безконтактний електромагнітний апарат, який має феромагнітне осердя з обмотками та призначений для керування вихідним сигналом великої потужності за допомогою одного або декількох вхідних сигналів малої потужності.

Простий МУ (без зворотного зв'язку) складається з осердя з феромагнітних матеріалів (залізокремнієвих або нікелевих сплавів) та обмотки змінного та постійного струму (рис. 13.7, а), б).

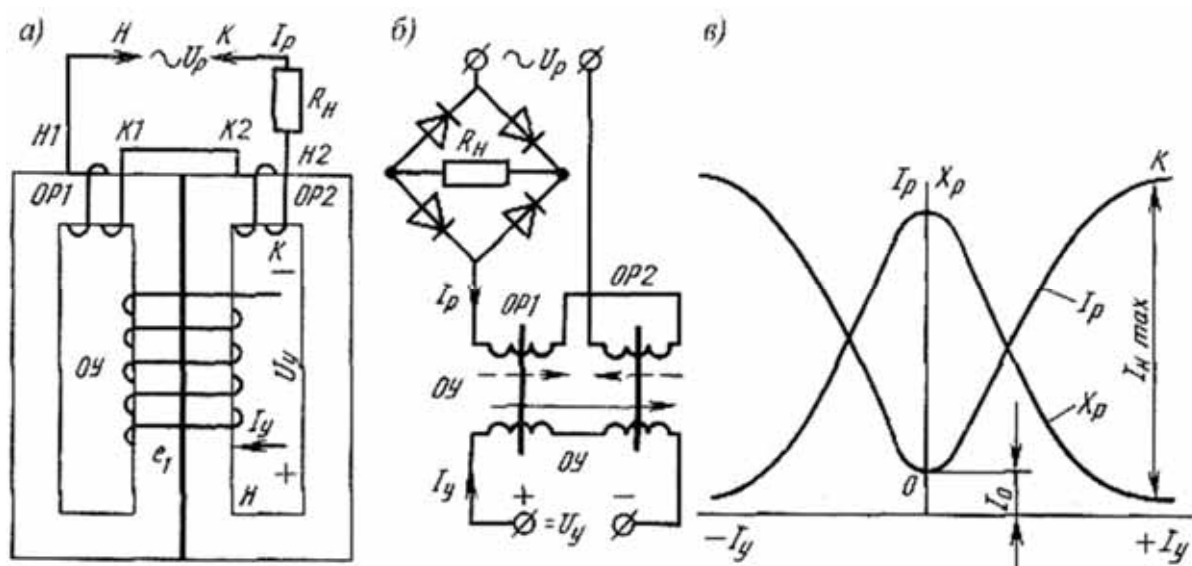


Рис. 13.7. Простий магнітний підсилювач:

а) схема розташування обмоток; б) з'єднання обмоток; в) вихідна характеристика підсилювача

Обмотки змінного струму називають робочими обмотками OP , обмотки постійного струму – обмотками керування або підмагнічування OY . На обмотку OY подається вхідний сигнал у вигляді постійного струму I_y , на затискачі робочої обмотки включається навантаження, струм I_p в якій іменується вихідним сигналом. Робоче коло живиться від джерела змінного струму. Принцип дії магнітного підсилювача ґрунтується на використанні властивості феромагнітного осердя, насиченням якого можна керувати, змінюючи підмагнічування його постійним струмом. При цьому будуть змінюватися вихідні параметри: струм I_p і напруга. Це можна показати, розглянувши статичну характеристику простого МУ –

залежність струму в робочій обмотці I_p від струму в обмотці управління I_y (рис. 13.7, в).

Відомо, що струм в робочому колі

$$I_p = \frac{U_p}{\sqrt{x_p^2 + R^2}},$$

де R – активний опір робочого кола, включаючи і навантаження;
 x_p – індуктивний опір робочої обмотки.

Індуктивний опір робочої обмотки

$$x_p = \omega L_p,$$

де ω – кутова частота живлення робочого кола.

Індуктивність робочої обмотки

$$L_p = \frac{\omega_p^2 S_c}{l_c} \mu.$$

Для певного типу MU постійними є число витків робочої обмотки W_p , площа поперечного перерізу осердя S_c та довжина шляху магнітного потоку в осерді l_c . Змінна величина – тільки магнітна проникність осердя μ . Таким чином, індуктивність і індуктивний опір обмотки (при незмінній частоті f) є функцією μ .

Збільшуючи підмагнічування осердя постійним струмом I_y , можна довести його до стану насичення, при якому магнітна проникність, а отже, й індуктивний опір робочих обмоток x_p будуть незначними (див. рис. 13.7, в). Тому струм в робочому колі виявиться найбільшим, визначається тільки активним опором кола R . Для найпростішого MU обидві криві будуть симетричні відносно осі ординат, так як магнітний стан осердя не залежить від напрямку струму.

Сучасні MU виконуються на двох однакових осердях кільцевої, П- або Ш-подібної форми, на кожному з яких розміщено однакові робочі обмотки. Для усунення наведення в обмотках управління змінної е.р.с. взаєміндукції під дією змінного потоку робочої обмотки обидві частини з'єднуються послідовно і зустрічно. При цьому магнітний потік і індук-

тивна е. д. с. робочих обмоток будуть в протифазі. Це дає можливість застосувати загальну обмотку управління, що охоплює обидва осердя.

Найбільш поширена схема простого МУ наведена на (рис. 13.7, б). Навантаження на підсилювач може бути включено на змінному або постійному струмі, тобто через випрямляч. В тепловозних схемах такі МУ використовуються в якості трансформаторів постійного струму ТПС і постійної напруги ТПН. Точка перетину статичної характеристики (див. рис. 13.7, в) з віссю ординат визначає струм холостого ходу I_0 , а точка K , що лежить безпосередньо після перетину, – максимальний струм навантаження.

У простих МУ потужність навантаження у багато разів більше потужності кола управління (підмагнічування). Відношення цих потужностей називається коефіцієнтом підсилення по потужності. Цей коефіцієнт змінюється від декількох десятків до сотень одиниць.

Магнітний підсилювач зі зворотним зв'язком. Щоб отримати високий коефіцієнт підсилення, магнітний підсилювач з'єднують за схемою, показаної на рис. 13.8. У цій схемі робочі обмотки підсилювача включені послідовно з випрямлячами всередині моста. При цьому струм в робочих обмотках пульсуючий, так як змінюється тільки за значенням. Дійсно, припустимо, що в перший напівперіод точка a має позитивний потенціал по відношенню до точки b . Тоді струм потече по випрямлячу $D3$, резистору навантаження R_n випрямлячу $D2$, обмотці $OP1$ до точки b . У другий напівперіод струм пройде від точки b по обмотці $OP2$, випрямлячу $D1$, R_n , $D4$ до точки a .

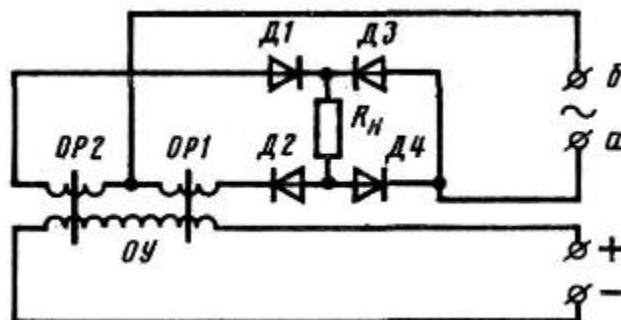


Рис. 13.8. Схема магнітного підсилювача з внутрішнім зворотнім зв'язком

Постійна складова струму, протікаючи по робочих обмоток, підмагнічує підсилювач. Велика частина потужності для підмагнічування забирається з кола змінного струму, що призводить до різкого збільшення коефіцієнта підсилення.

Такий магнітний підсилювач називається підсилювачем з внутрішнім зворотнім зв'язком, або амплістатом. Статична характеристика амплістата показана на рис. 13.9.

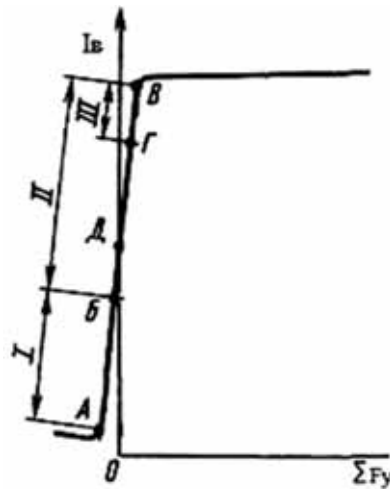


Рис. 13.9. Статична характеристика магнітного підсилювача:
 I – зона розгону поїзда (обмеження по струму); II – робота з постійною потужністю;
 III – зона максимальних швидкостей (обмеження по напрузі)

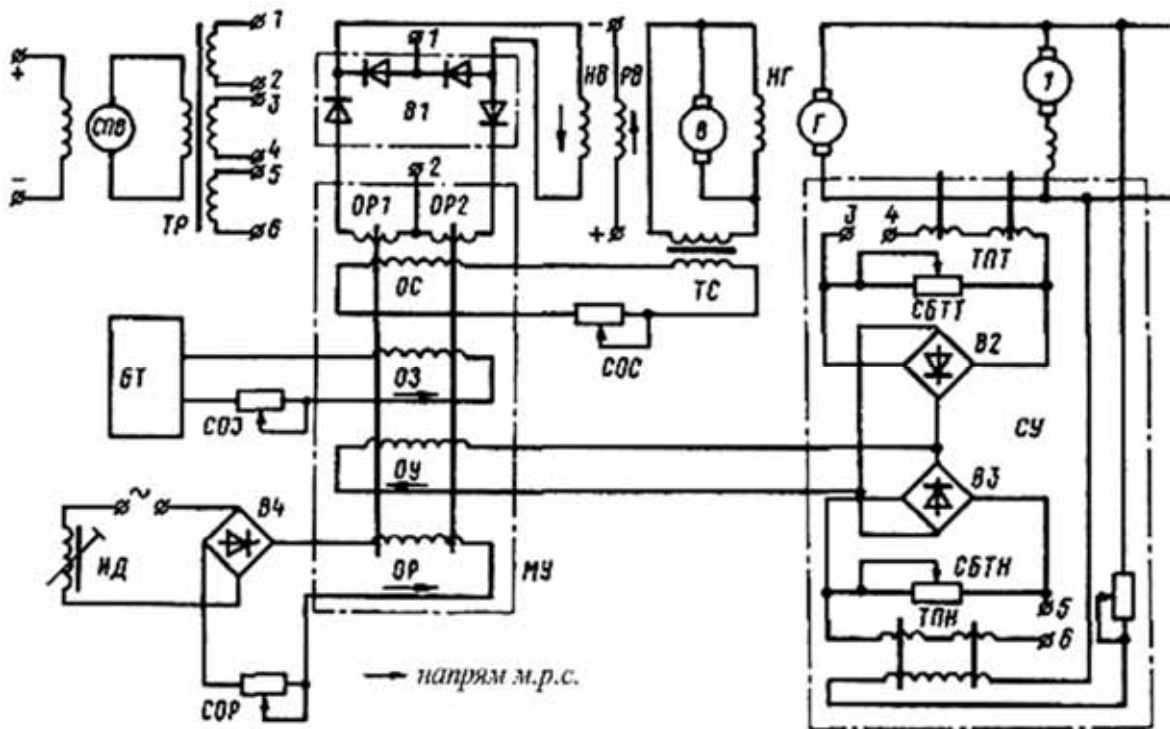


Рис. 13.10. Схема регулювання напруги тягового генератора з магнітним підсилювачем (тепловоза ТЕ10)

Системи регулювання напруги тягових генераторів з магнітним підсилювачем (рис.13.10) забезпечують живлення обмотки збудження НГ від

збудника, що має, крім основної незалежної обмотки збудження HV , також невелику розмагнічуючу обмотку PB , яка одержує живлення від $BГ$.

Обмотка HV отримує живлення від $MУ$ (струм збудження I_b), виконаного за схемою з внутрішнім зворотнім зв'язком (амплістат збудження). Магнітний підсилювач має робочі обмотки $OP1$ і $OP2$, що живиться від розподільного трансформатора TP , і чотири обмотки управління: задаючу $OЗ$, підключену до безконтактного тахометричного пристрою BT ; обмотку управління $OУ$, підключену до селективного вузла CV ; регулювальну OP , включену до виходу індуктивного датчика $ИД$; стабілізуючу OC , підключену до вторинної обмотки стабілізуючого трансформатора $ТС$.

Результуюча магніторушійна сила обмоток управління амплістата дорівнює: $\sum F_y = F_{oz} + F_{op} - F_{oy} \pm F_{oc}$.

Селективний вузол CV складається з двох вимірювальних трансформаторів $ТПТ$ і $ТПН$, двох баластних резисторів $СБТТ$ і $СБТН$ і двох мостових випрямлячів $BЗ$ і $B2$. Трансформатори $ТПС$ і $ТПН$ і датчик $ИД$ живляться від синхронного підбуджувача $СПВ$ через трансформатор TP .

Селективний вузол дає можливість автоматично пропускати в обмотку $OУ$ струм $ТПС$ при обмеженні пускового струму та суму струмів $ТПС$ та $ТПН$ при підтримці постійної потужності, а також струм $ТПН$ при обмеженні максимальної напруги.

Щоб підтримувати постійну потужність, необхідно отримати гіперболічну зовнішню характеристику тягового генератора, при якій добуток струму на напругу має бути постійним. У схемі з амплістатом простіше підтримувати не добуток, а суму струму і напруги. При цьому зовнішня характеристика генератора виходить не гіперболічною, а прямолінійною-селективна характеристика.

Таким чином, селективна схема при спільній роботі з амплістатом, мають круту характеристику, і трансформаторами $ТПС$ та $ТПН$ забезпечують плавний перехід від обмеження пускового струму до обмеження потужності і далі до обмеження максимальної напруги.

З розгляду роботи системи регулювання напруги тягового генератора видно, що не виконується одне з основних вимог – повне використання генератором вільної потужності дизеля, так як зовнішня характеристика прямолінійна, а не гіперболічна. Для того щоб не було перевантаження дизеля на амплістаті передбачена регулювальна обмотка OP (див. рис. 13.10), яка включена послідовно з датчиком $ИД$ об'єднаного регулятора дизеля. Якщо потужність дизеля більше заданої, при даній частоті обертання, струм в обмотці OP зменшується. Якщо потужність дизеля менше заданої, то струм OP збільшується. Отже, зростає напруга на

виході *МУ*, а значить, і напруга і потужність тягового генератора. На часткових навантаженнях регулювання відбувається аналогічно.

Щоб не виникали незатухаючі коливання, в системі передбачено стабілізуючий трансформатор *ТС*, а на *МУ* – стабілізуюча обмотка *ОС*, по якій проходить струм тільки під час перехідного процесу, наприклад при різкій зміні навантаження, зміні напруги при переключенні контролера на іншу позицію. При цьому результуюча м.р.с. *МУ* змінюється так, щоб сповільнити швидкість зміни струму на виході *МУ*.

13.3. Регулювання напруги тягових генераторів змінного струму у разі використання напівпровідникових пристроїв

На тепловозах з електричною передачею потужності змінно-постійного струму (ТЕ109, 2ТЕ116, 2ТЕ121, ТЕП70 і ТЕМ7) застосовуються більш досконалі системи регулювання напруги тягового синхронного генератора. Замість магнітного підсилювача та збудника постійного струму використовується збудник змінного струму *СВ* і тиристорний керований випрямляч *УВВ*, що дало можливість збільшити точність і стійкість регулювання, спростити конструювання електричних машин на тепловозі, підвищити надійність і здешевити систему збудження. Щоб краще зрозуміти систему збудження тягового синхронного генератора *СГ*, почнемо з вивчення її схеми (рис. 13.11).

Система збудження *СГ* включає в себе: *БУВ* – блок управління збудження (тиристорами); *УВВ* – керований випрямляч збудження (тиристорний міст), навантаженням якого є обмотка збудження тягового синхронного генератора *ОВГ*; *СВ* – синхронний збудник і *СУ* – селективний вузол, у якому формується керуючий імпульс в залежності від струму і напруги генератора *СГ*, частоти обертання вала дизеля і сигналу від індуктивного датчика *ІД*. Блок управління у свою чергу складається з П-статичного перетворювача; *МУ* – магнітного підсилювача з внутрішнім зворотним зв'язком, що виконує роль фазоздвигаючого пристрою; *БГ1*, *БГ2* – двох блоків-генераторів, що виробляють керуючі імпульси для тиристорів. Щоб синхронний генератор мав необхідну зовнішню характеристику, повинно автоматично змінювати за певним законом його збудження.

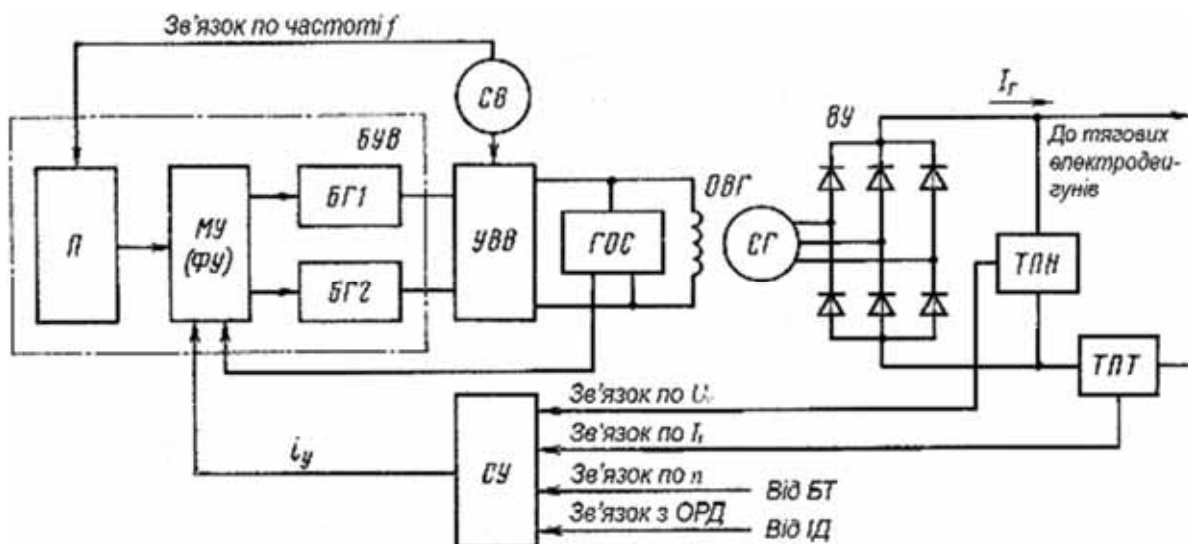


Рис. 13.3. Структурна схема системи регулювання збудження тягового синхронного генератора:

П – перетворювач напруги; *МУ* – магнітний підсилювач (*ФУ* – фазоздвигаючий пристрій); *БГ1*, *БГ2* – блокінг-генератори; *УВВ* – керований випрямляч; *ОВГ* – обмотка збудження генератора; *СВ* – синхронний збудник; *СГ* – синхронний генератор; *ВУ* – випрямна установка; *СУ* – селективний вузол; *ТПТ* – трансформатор постійного струму; *ТПН* – трансформатор постійної напруги; *БТ* – блок тахометричний; *ІД* – індуктивний датчик; *ОРД* – об'єднаний регулятор дизеля; *БУВ* – блок керування збудженням; *ГОС* – гнучкий зворотний зв'язок

У розглянутій системі для редагування струму збудження генератора $I_{ОВГ}$ використовуються кремнієві тиристри типу ТК-150-6 і кремнієві силові вентиля ВК-200-6. Всі вентиля 6-го класу, тобто розраховані на напругу 600 В. Робота керованого тиристорного випрямляча *УВВ* визначається надійністю силового кола тиристорів і кола керування.

Робота силового кола тиристора буде надійна при правильному виборі типу та класу самого тиристора з необхідними запасами по струму і напрузі, а надійність по колу управління забезпечується подачею на керуючий електрод тиристора імпульсу певної форми, тривалості і амплітуди. Для отримання імпульсу з такими параметрами застосовують спеціальні схеми керування тиристорами. У схемі збудження обраний імпульсно-фазовий спосіб керування тиристорами, який надійно забезпечує управління ними, широкий діапазон регулювання, чіткість моменту відкриття тиристора.

Основні елементи схеми керування збудженням (тиристорами) *БУВ* для тепловозів з передачею змінно-постійного струму: *П*, *МУ* і два блокінг-генератора *БГ1* і *БГ2*. Перетворювач *П* перетворює напругу збудника $U_{СВ}$ з викривленою синусоїдальною формою в напругу прямокутної

форми U_n (рис. 13.12).

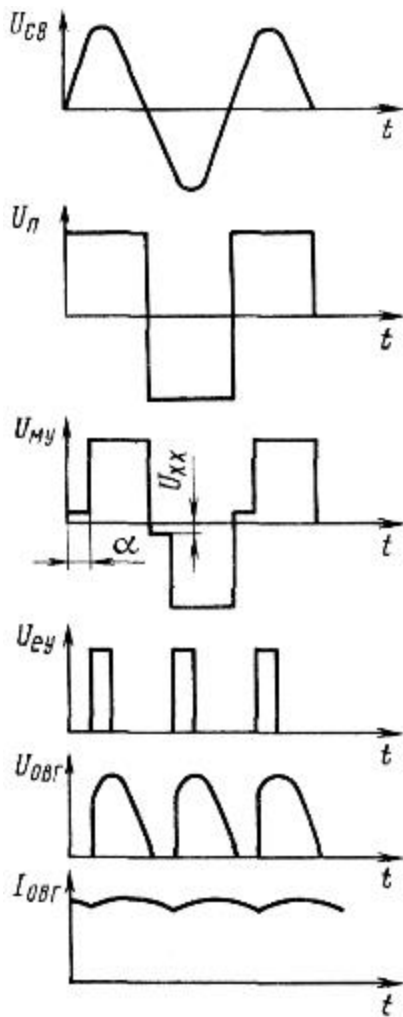


Рис. 13.12. Діаграми напруг і струмів

Магнітний підсилювач призначений для зміни моменту подачі керуючого сигналу на тиристор. Необхідний діапазон зміни фази (зсуву у часі) керуючих імпульсів визначається конкретною системою регулювання. При живленні MU синусоїдальною напругою максимальний діапазон регулювання складає приблизно 120° ел., а напругою прямокутної форми (II) – 175° ел.

Передній фронт напруги $U_{му}$, визначаючий момент подачі управляючого імпульсу, може змінюватися в залежності від управляючого сигналу в обмотці управління OU магнітного підсилювача, який виробляється в CU . Кут регулювання α змінюється пропорційно струму I_y , тобто можна написати, що $\alpha \equiv I_y$. Таким чином, зміною струму в обмотці управління можна регулювати подачу керуючих імпульсів, тобто керувати відкриттям тиристора.

Керуючі імпульси певної форми, тривалості і амплітуди виробляються блокінг-генераторами $BГ1$ і $BГ2$. Кожен блокінг-генератор формує імпульс в один з напівперіодів напруги. Можна припустити, що у позитивний напівперіод $BГ1$ посилає імпульс у електрод управління EU тиристора $T1$, а в від'ємній $BГ2$ – імпульс в EU тиристора $T2$.

Кожен $BГ$ складається з транзистора, трансформатора і діодів (рис. 13.13). Сигналом для пуску $BГ$ служить імпульс струму, що протікає через конденсатор C в момент стрибка напруги на виході MU . Стабілітрони $Ст1$ і $Ст2$ служать для запобігання помилкового пуску $BГ$ від напруги $U_{хх}$ холостого ходу MU і напруги зарядженого конденсатора.

Керуючі імпульси формуються $BГ$, мають прямокутну форму (див. рис. 13.12). Тривалість імпульсу визначається часом насичення трансформатора. Струм $I_{овг}$ в обмотці збудження синхронного генератора регулюється керованим випрямлячем збудження $УВВ$ (тиристорним

підсилювачем). У два плеча моста включені тиристори $T1$ і $T2$, а інші два плеча – діоди (рис. 13.13, б) та 13.14). Випрямляч живиться від синхронного збудника CB . Поки на тиристор $T1$ не буде поданий імпульс, тиристор $T1$ закритий і напруга на виході випрямляча $U_{ОВГ}$ (на обмотці $ОВГ$) буде дорівнювати нулю (див. рис. 13.12).

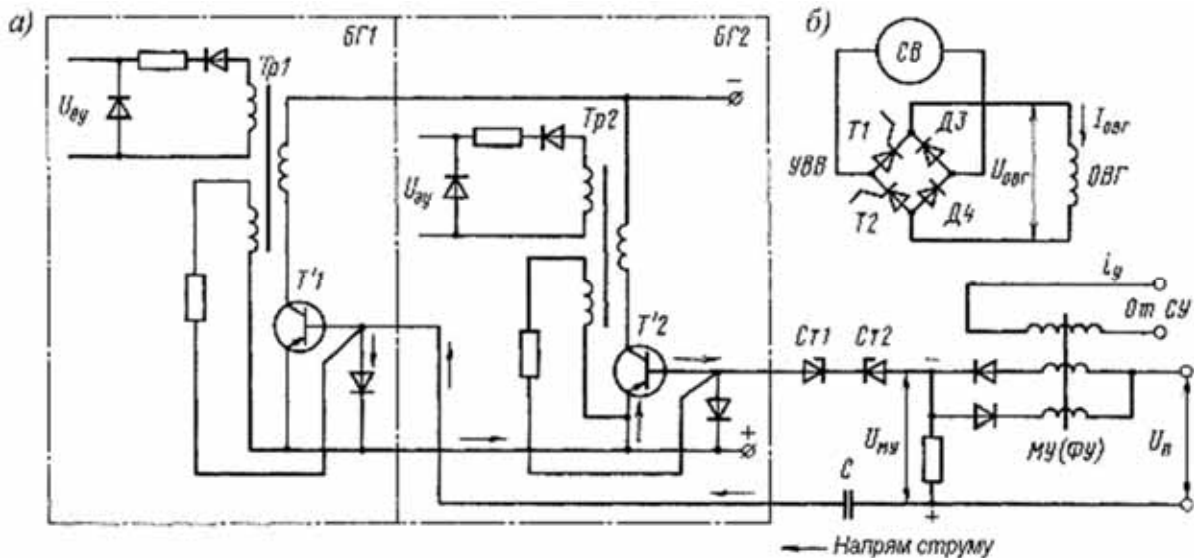


Рис. 13.13. Принципові схеми:

а) блоку керування збудженням БУВ; б) керованого випрямляча УВВ;

$БГ1$, $БГ2$ – блокінг-генератори; $МУ$ – магнітний підсилювач ($ФУ$ – фазозсувний пристрій); $T1$, $T2$ – тиристори; $Ст1$, $Ст2$ – стабілітрони; $С$ – конденсатор; $Тр1$, $Тр2$ – трансформатори; $ОВГ$ – обмотка збудження генератора; $T'1$, $T'2$ – транзистори; $Д3$, $Д4$ – діоди

В момент часу, який визначається кутом α , на тиристор $T1$ подається керуючий імпульс і він відкривається. На обмотці $ОВГ$ з'являється напруга $U_{ОВГ}$, і, отже, по ній потече струм $I_{ОВГ}$. Таким чином, на обмотку збудження синхронного генератора подається пульсуюча напруга $U_{ОВГ}$. Середнє її значення, а отже, і середній струм $I_{ОВГ}$ залежать від моменту подачі керуючих імпульсів, тобто від кута α . Змінюючи цей кут за допомогою БУВ від мінімального значення до 180° , будемо регулювати струм збудження генератора від найбільшого значення до нуля. Чим більше α , тим менша середня напруга на виході $УВВ$, і струм, що протікає по обмотці збудження генератора. Так як обмотка збудження володіє значною індуктивністю, то струм, що проходить по ній, згладжується.

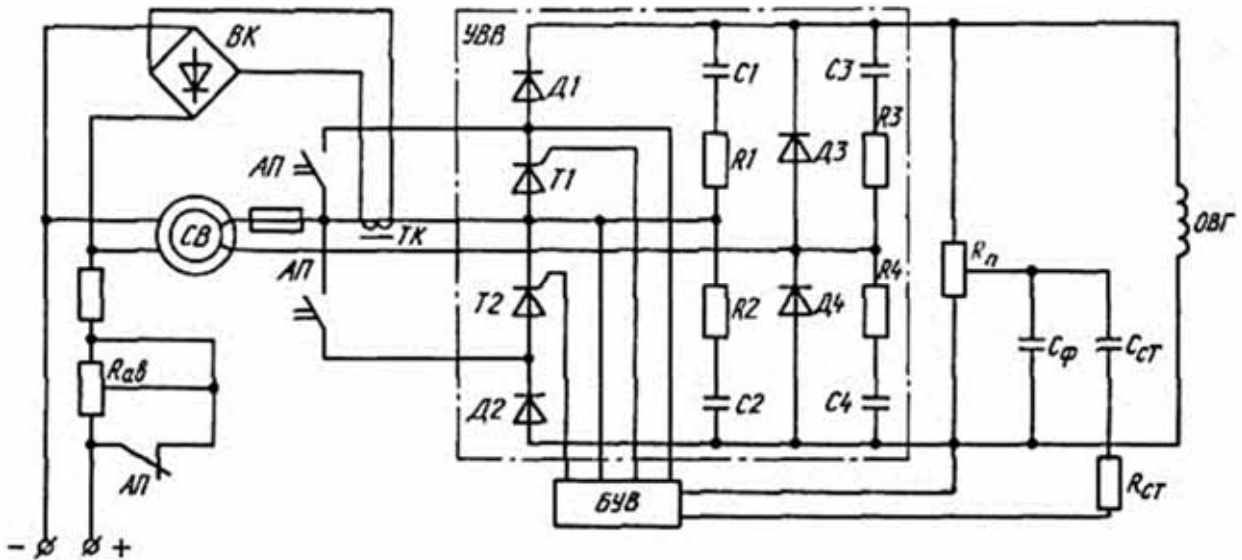


Рис. 13.14. Схема системи збудження тягового синхронного генератора

Для стабілізації напруги збудника СВ використовується вузол корекції, що містить трансформатор ТК і випрямляч ВК. Струм вторинної обмотки ТК пропорційний струму СВ, після випрямлення він живить обмотку збудження збудника, забезпечуючи постійність напруги СВ незалежно від його навантаження.

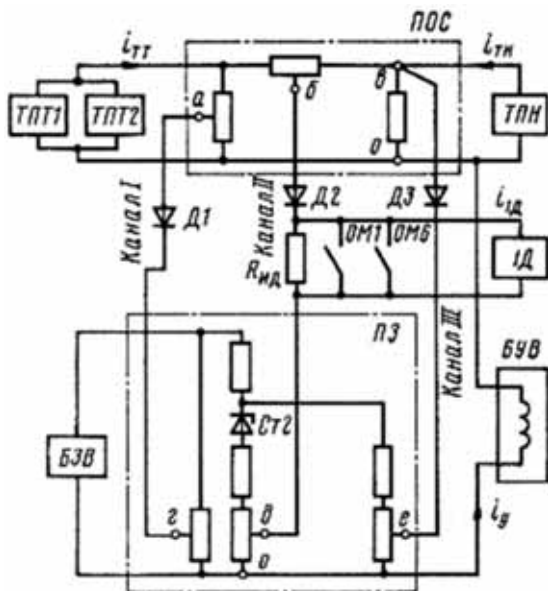


Рис. 13.15. Схема селективного потенціометричного вузла СУ: ПОС – панель зворотного зв'язку; ПЗ – панель завдання; БЗВ – блок завдання збудження

Селективний вузол СУ в системі регулювання напруги тягового генератора змінного струму, розроблений для тепловозів з передачею змінно-постійного струму (рис. 13.15), має переваги: наявність окремих каналів управління по струму, напрузі та потужності. Селективна зовнішня характеристика генератора наближається в більший мірі до гіперболи.

У СУ надходять сигнали зворотного зв'язку по струму і напрузі генератора від трансформаторів постійного струму ТПТ1 і ТПТ2 і трансформатора напруги ТПН. Ці сигнали порівнюються з сигналами уставки, виробленими блоком завдання БЗВ і індуктивним датчиком ИД.

Різниця сигналів у вигляді керуючого сигналу I_y надходить в обмотку управління МУ блоку БУВ збудження, в якому формуються імпульси відкриття тиристорів і регулювання моменту їх подачі, в результаті чого встановлюється необхідний струм в обмотці збудження СТ.

В якості блоку завдання БЗВ використовується тахометричний пристрій. Напруга на виході блоку пропорційно частоті збудника і, отже, частоті обертання вала дизеля. Катушка ДД отримує живлення від БЗВ.

Аварійне збудження. Якщо відбулося пошкодження тиристорів Т1, Т2 або БУВ в основній схемі збудження, то перемикач АП переводять в аварійний режим. Цим закорочуються тиристори Т1 і Т2 і вводиться в коло збудження збуджувача резистор $R_{ав}$.

При аварійному режимі випрямляч стає некерованим; у всі плечі моста включені діоди Д1–Д4, тобто струм збудження генератора залишається постійним. Збудження тягового генератора машиніст регулює вручну.

Запитання до самоконтролю

1. Особливості регулювання напруги тягового генератора при використанні збудника з поздовжньо розщепленими полюсами.
2. Особливості регулювання напруги тягового генератора при використанні збудника з поперечним розщепленням полюсів.
3. Принцип дії магнітного підсилювача.
4. Принцип дії магнітного підсилювача зі зворотним зв'язком.
5. Призначення складових системи регулювання збудження синхронного генератора.
6. Призначення та принцип дії селективного вузла в системі регулювання напруги тягового генератора змінного струму.

ЕЛЕКТРИЧНІ СХЕМИ ТЕПЛОВОЗІВ

14.1. Схеми силових кіл та кіл збудження тягових електричних машин

Електричною схемою називається графічне зображення електричних машин, апаратів, приладів та з'єднань між ними. Разом з тим під електричною схемою можна розуміти сукупність кіл, що включають електричні машини, апарати і прилади, а також з'єднання між ними, що забезпечують системи автоматичного та неавтоматичного керування, контролю та захисту.

У відповідності до Держстандартів розрізняють такі типи електричних схем: структурна (1), функціональна (2), принципова повна (3), з'єднань (монтажна) (4), підключення (5), загальна (6), розташування (7), інші (8). В дужках вказано цифрове позначення типу схеми. Шифр схеми, що входить до складу конструкторської документації, складається з літери, що визначає вигляд схеми (наприклад, для електричної – Е), і цифри, що позначає тип схеми. Залежно від особливостей установки, для якої розробляється схема, стандарт передбачає й інші типи електричних схем. Так, у тепловозобудуванні велике поширення отримали принципово-монтажні (виконавчі) схеми; застосовуються також схеми структурна, принципова, з'єднань, підключення і розташування.

На структурній схемі електропередачі тепловоза або іншої окремої системи управління зображують основні електричні машини і апарати у вигляді умовних графічних позначень або прямокутників з показом основних зв'язків між ними. Такі схеми використовуються для пояснення дії САУ електропередачею тепловоза або окремих систем управління, контролю або захисту.

На принципових електричних схемах тепловозів зображують електричні машини і апарати, основні електричні з'єднання. Буквено-цифрові позначення електричних машин і апаратів, нумерація проводів виконуються курсивом.

Принципово-монтажні електричні схеми відрізняються від принципових тим, що на них показують всі види вивідних затискачів (клем) з використанням їх умовних графічних позначень (колодки з затискачами апаратних камер, пультів управління, коробки з вивідними затискачами та ін., виводи електричних машин та апаратів). Нумерація проводів повністю відповідає фактичному маркуванню проводів на тепловозі.

Принципові та принципово-монтажні електричні схеми можуть виконуватися для всього електрообладнання тепловоза або окремих кіл і апаратів.

Електричні схеми з'єднань у тепловозобудуванні виконуються для з'єднань між апаратними камерами, пультами управління та іншими установками тепловоза. Тут наводяться всі необхідні вказівки з монтажу: марки і перерізи проводів, раскладка і способи їх кріплення.

Електричні схеми підключень показують зовнішні підключення електричних машин і апаратів.

Електричними схемами з'єднань, підключення, розташування, а також принципово-монтажними користуються при монтажі електрообладнання нового тепловоза або при ремонті.

Умовні графічні позначення в електричних схемах. Перш ніж вивчати електричні схеми, необхідно уважно познайомитися зі стандартними умовними графічними позначеннями елементів схем і особливостями їх застосування в електричних схемах тепловозів.

Стандарти, як правило, встановлюють загальні положення, які беруться за основу при складанні позначень. Усі елементи умовних графічних позначень викреслюються однакової товщини (без окремих потовщень). У стандартах приведені розміри деяких умовних графічних позначень. Допускається умовні графічні позначення пропорційно зменшувати або збільшувати.

Нижче приведені деякі пояснення до застосування стандартних умовних графічних позначень в електричних схемах тепловозів.

Електричні машини. Встановлені три способи зображення електричних машин: *спрощений однолінійний*, *спрощений багатолінійний* (форма 1) і *розгорнутий* (форма 2). При спрощеному зображенні електричних машин, обмотки статора і ротора зображують у вигляді кіл. При розгорнутому позначенні, обмотки статора зображують у вигляді ланцюжків із півкілець, а обмотки ротора (у машинах змінного струму) або якоря (у машинах постійного струму) – у вигляді кола. У машинах постійного і змінного струму з колектором і щітками у зображенні якоря викреслюють щітки (повна кількість або для спрощення дві). У інших машинах змінного струму у кола ротора щітки не зображують.

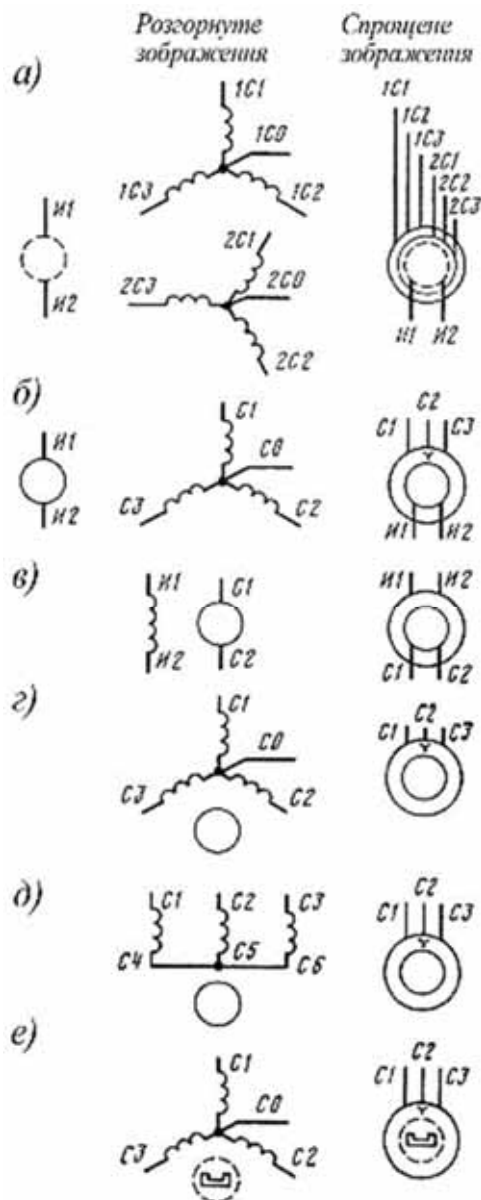


Рис. 14.1. Розгорнуте та спрощене багатолінійне зображення електричних машин змінного струму:

а) тяговий генератор ГС-501А тепловозів 2ТЕ116, ТЕП70 з двома трифазними обмотками статора та явнополюсним ротором; б) підбуджувач ГСВ-20 тепловозів ТЕ10, ТЕП70 з трифазною якірною обмоткою статора; в) збудник ВС-650 тепловозів 2ТЕ116, ТЕП70 або підбуджувач ВС-652 тепловозів ТЕ10 з неявнополюсним ротором і обмоткою збудження на статорі; г) тяговий електродвигун ЕД-900 тепловоза ТЕ120 з короткозамкненим ротором і обмоткою статора, з'єднаної в «зірку»; д) електродвигун 4АЖ-225-М602 вентилятора охолодження ТЕД тепловозів 2ТЕ116 з відкритою схемою обмотки статора та короткозамкненим ротором (зображення без урахування зсуву фаз); е) тахометричний датчик ДТЕ-018 частоти обертання дизеля тепловоза ТЕП70 з постійними магнітами

На рис. 14.1 представлені розгорнуті та спрощені багатолінійні зображення електричних машин змінного струму тепловозів.

У середині кола допускається вказувати вид машини: Г – тяговий генератор; В або З – збудник; ВГ або ДГ – допоміжний генератор; СТГ – стартер-генератор; Т – тахогенератор; СПВ або СПЗ – синх-

ронний підбуджувач та ін. Також може вказуватися рід струму, число фаз або вид з'єднання обмоток.

При розгорнутому зображенні машин постійного струму (рис 14.2) обмотки незалежного збудження і паралельна зображуються чотирма півколами, послідовного збудження – трьома, обмотка додаткових полюсів – однією. У ряді випадків на електричній машині можуть бути обмотки спеціального призначення (наприклад, на збуднику тепловоза ТЕЗ – диференційна, регульовальна та обмежувальна). Обмотки спеціального призначення в цьому випадку зазвичай зображуються чотирма півколами.

У машинах постійного струму згідно стандарту початок і кінець кожної обмотки позначають однією і тією ж великою літерою з наступними цифрами: для початку – 1, для кінця – 2.

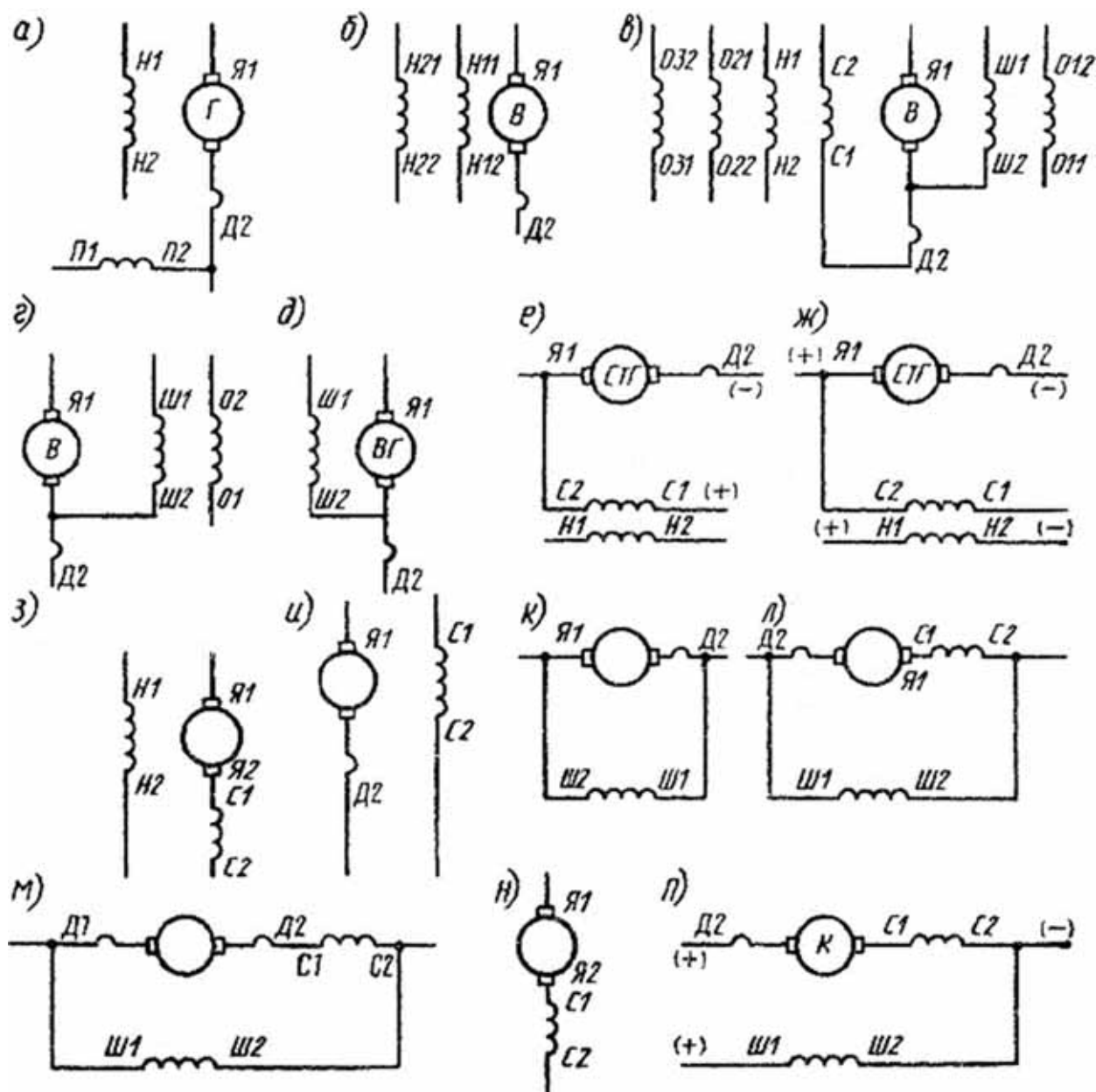


Рис. 14.2. Розгорнуте зображення тепловозних електричних машин постійного струму:

а) тягові генератори; б) збудник В-600 тепловозів серії ТЕ10; в) збудник ВТ-275/120 тепловоза ТЕ3; г) збудник МВТ-25/9 тепловозів ТЕМ2 та ін.; д) допоміжний генератор; е) стартер-генератор СТГ-7, ПМГ-2 тепловозів 2ТЕ116, ТЕП70 та ін.; в) режимі пуску дизеля; ж) те ж в режимі тягового генератора; з) тахогенератор ТГ-83/100, ТГ-83/45 тепловоза ТЕ3 зі змішаним збудженням; и) тягові електродвигуни; к) електродвигун П11, П12 з паралельним збудженням; л) електродвигун П21, П22 зі змішаним збудженням; м) електродвигун П41 зі змішаним збудженням; н) електродвигуни ДВ-75, МВ-75 з послідовним збудженням; п) електродвигуни компресора ЕКТ-5, П2К, 2П2К тепловозів 2ТЕ116, ТЕП70 та ін. зі змішаним збудженням

Якщо машина має кілька обмоток одного найменування, на початку і кінці після буквених позначень мають цифрові позначення, що складаються з двох цифр: перша цифра вказує порядковий номер обмотки, друга – початок (1) або кінець (2) обмотки.

Виводи якірних обмоток (на статорі або роторі) синхронних машин і обмоток статора асинхронних двигунів позначаються літерою *S*, обмотки ротора асинхронних машин – літерою *R*.

Для однофазних синхронних машин виводи якірної обмотки позначаються *S1*, *S2*, виводи обмоток збудження – *I1*, *I2*. Якщо в синхронному генераторі є дві якірні обмотки статора, то їх виводи позначаються *1S1*, *1S2*, *1S3* та *2S1*, *2S2*, *2S3*.

Нормативна документація встановлює спрощене (у вигляді кіл) і розгорнуте (у вигляді ланцюжків півкіл) позначення обмоток. В тепловозних електричних схемах застосовується зазвичай розгорнуте позначення. При цьому кількість півкіл в зображенні обмоток не встановлюється. Однак при зображенні магнітних підсилювачів рознесеним способом робочу обмотку зображують двома півколами, а обмоток керування – трьома.

На рис. 14.3 наведено позначення трансформаторів і магнітних підсилювачів, які застосовуються в тепловозному електрообладнанні.

Резистори, конденсатори. У схемах тепловозів застосовуються резистори постійні і резистори з одним або двома відводами. Для резистора зі ступінчастим регулюванням (наприклад, резистор в колі регулятора напруги ТРН-1) застосовується знак ступінчастого регулювання. Шунт вимірювальний зображується, як резистор. При зображенні резистора малої потужності (0,05...5 Вт) у схемах блоків автоматики приймають умовні графічні позначення відповідно до Держстандарту залежно від номінальної потужності.

Силові кола тягових електричних машин тепловозів. Розглянуті схеми (рис. 14.4) в режимі тяги служать для передачі електричної енергії від тягового генератора ТЕД і повинні забезпечувати одночасне включення і відключення всіх ТЕД, зміну напрямку руху, включення і виключення ослаблення збудження двигунів.

Схеми складаються з тягового генератора, ТЕД, силових контакторів, контакторів ослаблення збудження двигунів, резисторів ослаблення збудження, реверсора і з'єднувальних проводів. У силовому тяговому колі зазвичай включаються амперметр і вольтметр. На сучасних тепловозах в цьому колі є колодки для підключення зовнішнього джерела живлення до ТЕД і для забезпечення тим самим введення непрацюючого тепловоза в цех.

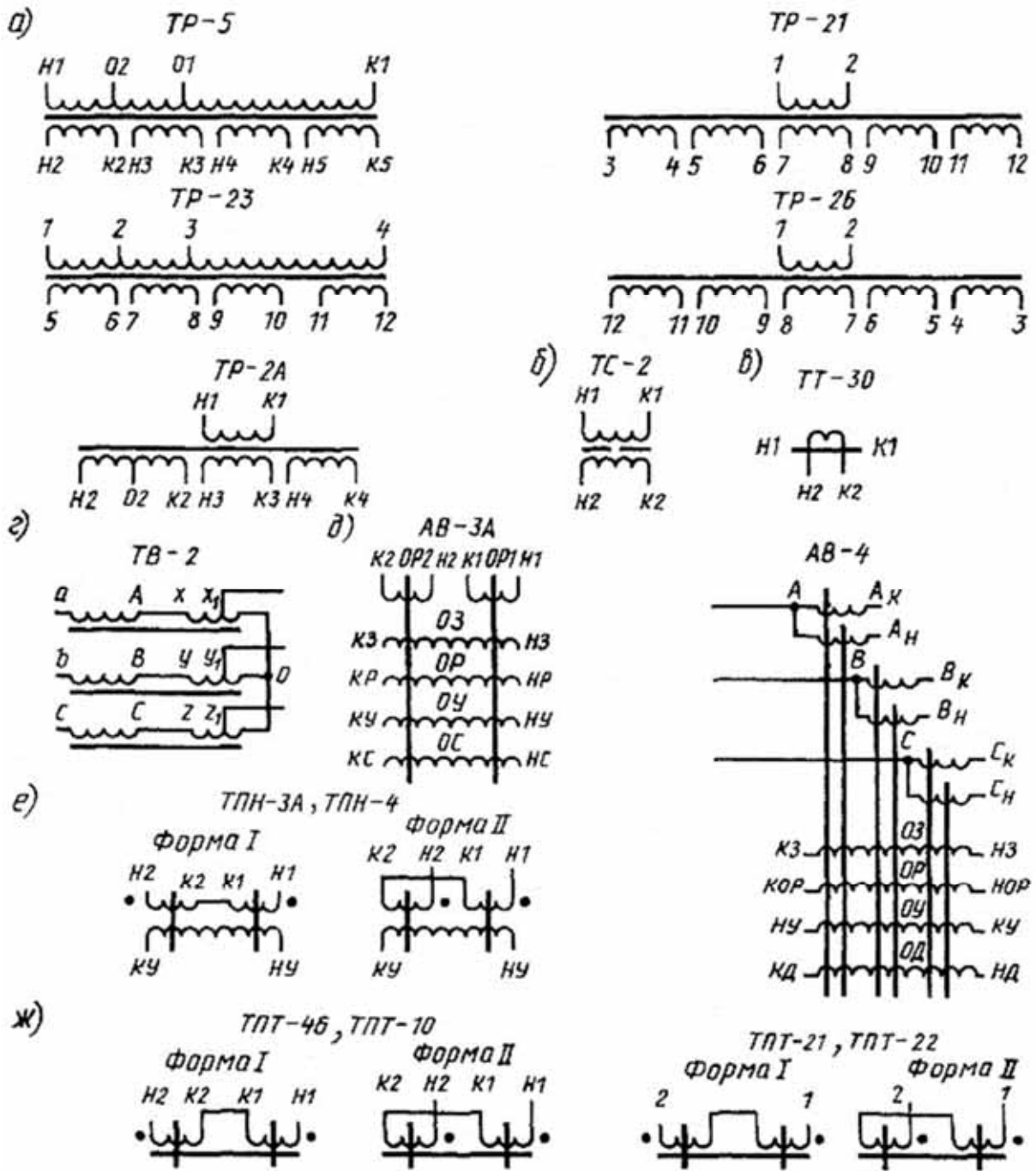


Рис. 14.3. Особливості зображення трансформаторів, автотрансформаторів і магнітних підсилювачів на електричних схемах тепловозів:
 а) розподільчі трансформатори; б) стабілізуючий трансформатор; в) трансформатор струму; г) автотрансформатор; д) амплістати; е) трансформатори постійної напруги; ж) трансформатори постійного струму

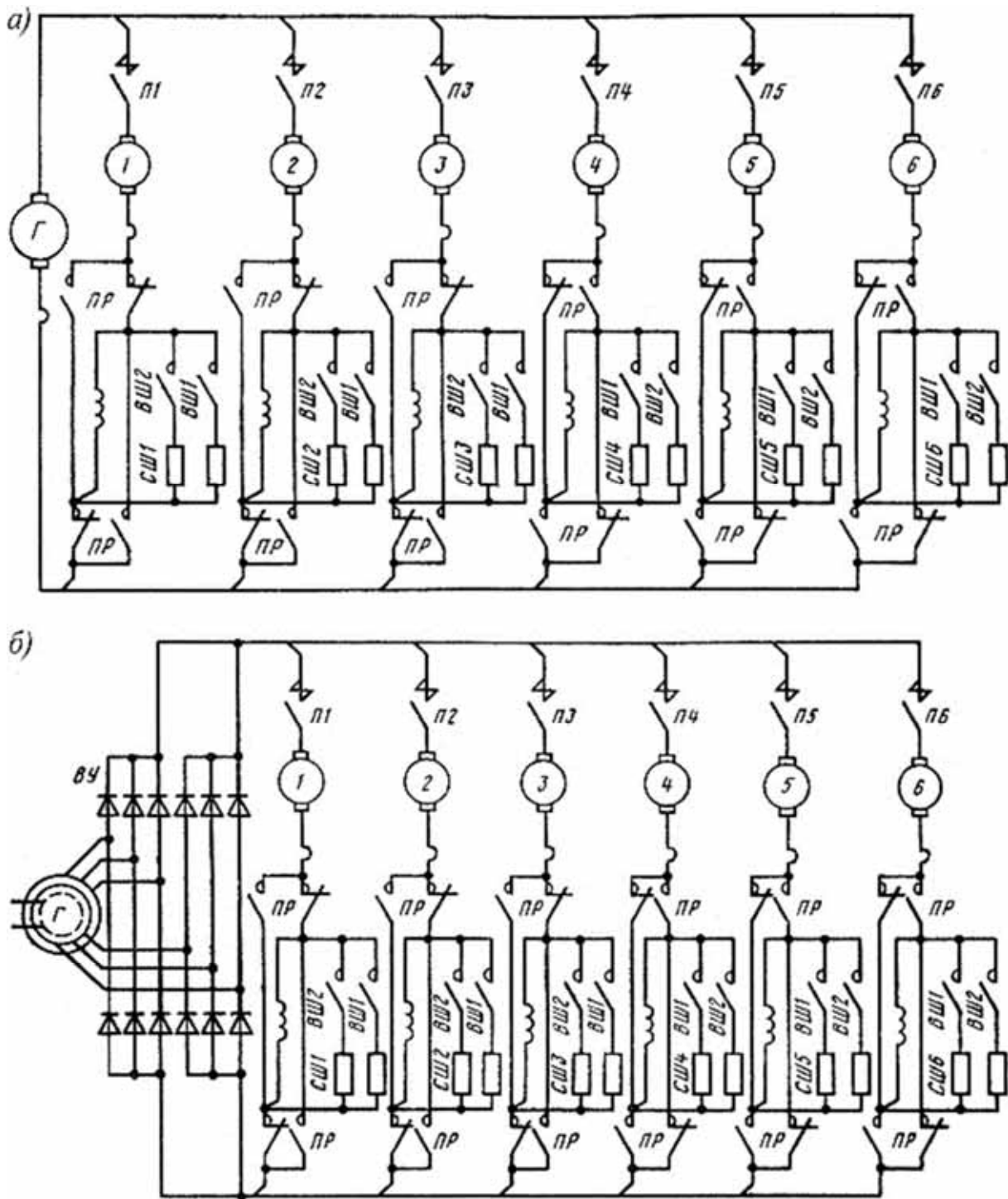


Рис. 14.4. Принципові схеми силових кіл тягових електричних машин тепловозів:
 а) ТЕ10; б) ТЕ116

При рушанні з місця включаються силові контактори П1–П6 і всі ТЕД підключаються до генератора. При включенні контакторів збудження тягового генератора і збудника генератор починає виробляти напругу і ТЕД отримують живлення. Для того щоб зменшити необхідний ступінь регу-

лювання тягового генератора або використовувати повну потужність вже побудованого тягового генератора в більш широкому інтервалі швидкостей руху, при високих швидкостях застосовується ослаблення збудження ТЕД.

Для ослаблення збудження ТЕД при певній швидкості руху за допомогою реле переходу включаються контактори *ВШ1–ВШ2* ослаблення збудження і паралельно обмоток збудження ТЕД включаються резистори *СШ1–СШ6*, здійснюючи перший ступінь ослаблення збудження. При подальшому збільшенні швидкості руху за допомогою контакторів ослаблення збудження другого ступеня паралельно до раніше включеним резисторам включаються нові, здійснюючи другий ступінь ослаблення збудження двигунів. При зниженні швидкості руху спочатку відключається другий ступінь ослаблення збудження, а потім перший.

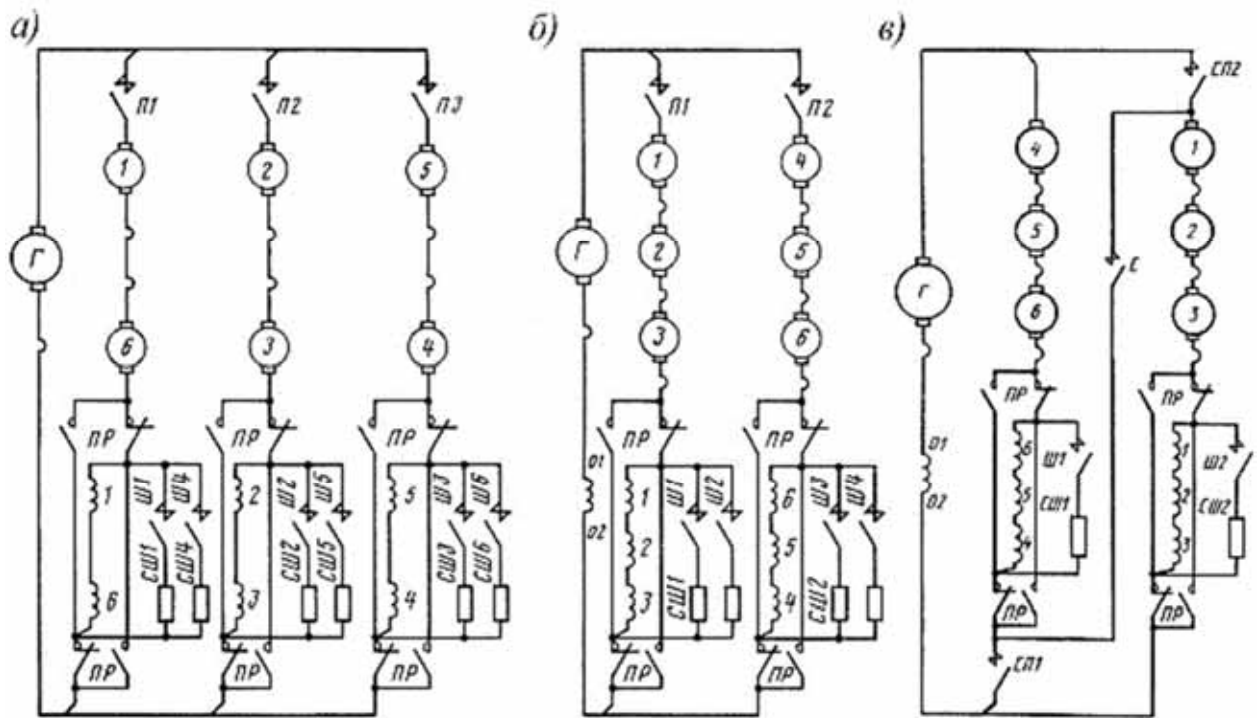


Рис. 14.5. Принципові схеми силових кіл тепловозів: а) ТЕ3; б) TEM2; в) TEM1

Реверсор ПР (кулачкового або барабанного типу) здійснює реверсування руху тепловоза шляхом зміни напрямку струму в обмотках збудження двигунів.

Принципова схема електричної передачі тепловозів 2ТЕ10М. На тепловозах типу ТЕ10 тяговий генератор марки ГП-311Б (рис. 14.6) живить тягові електродвигуни марки ЕД-118А. При включенні силових контакторів ТЕД з'єднуються паралельно один одному. Вони мають два

ступені ослаблення збудження. Обмотка незалежного збудження $H1-H2$ тягового генератора отримує живлення через контактор $KВ$ від збудника $В$. Збудник має дві обмотки збудження. Перша $H11-H12$ є основною. Друга обмотка $H21-H22$ використовується як розмагнічувальна, а також для збудження при аварійному режимі.

Основна обмотка збудження отримує живлення від синхронного підбуджувача $СПВ$ через розподільчий трансформатор Tr , робочі обмотки $OP1, OP2$ амплістата AB і випрямляча. Через розподільчий трансформатор отримують живлення також робочі обмотки $ТПТ$ і $ТПН$.

Від $СПВ$ отримують живлення також обмотки управління амплістата: задаюча $OЗ$ (через безконтактний тахометричний блок BT), регульовальна OP (через індуктивний датчик ID і випрямляч). Допоміжний генератор $ВГ$ напругою 75 В, окрім свого звичайного призначення на тепловозі, живить обмотку збудження $СПВ$, а також розмагнічуючу обмотку збудника $H21-H22$.

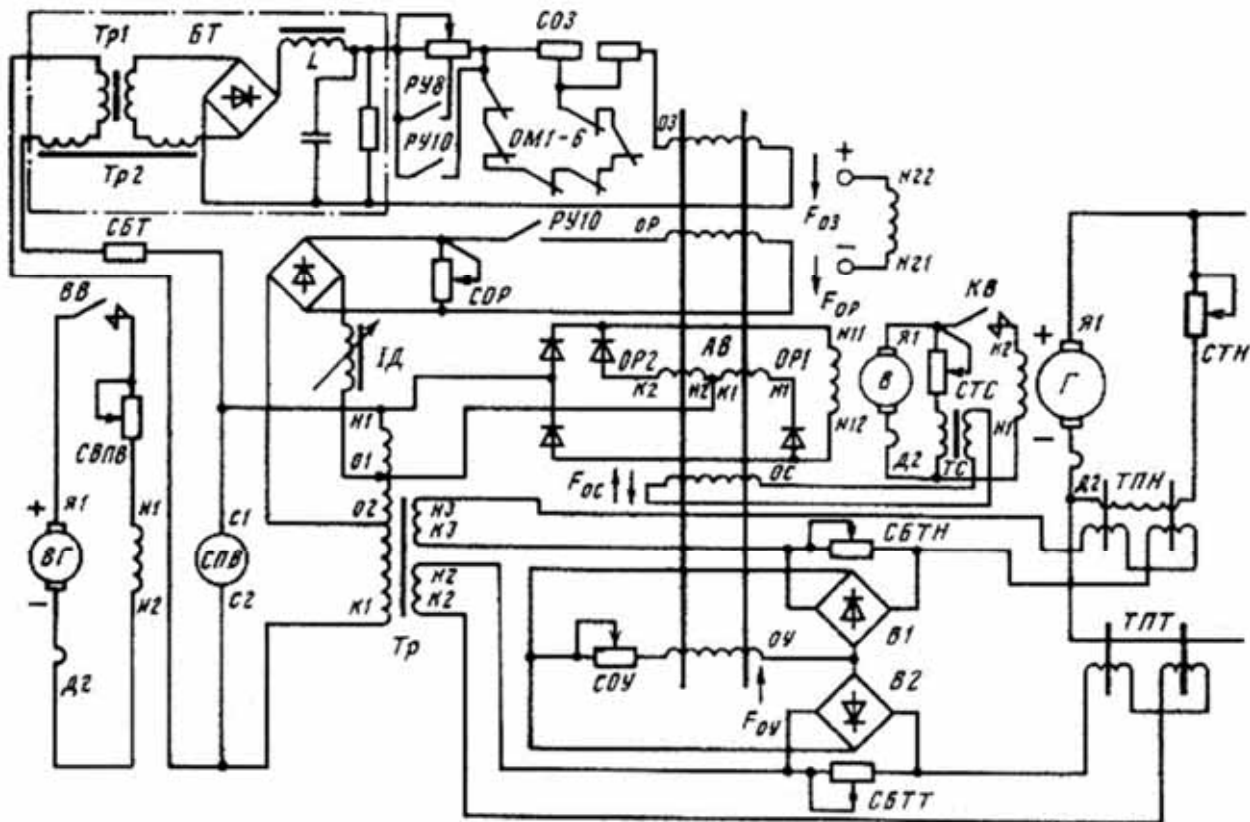


Рис. 14.6. Принципова схема електричної передачі тепловоза 2ТЕ10М

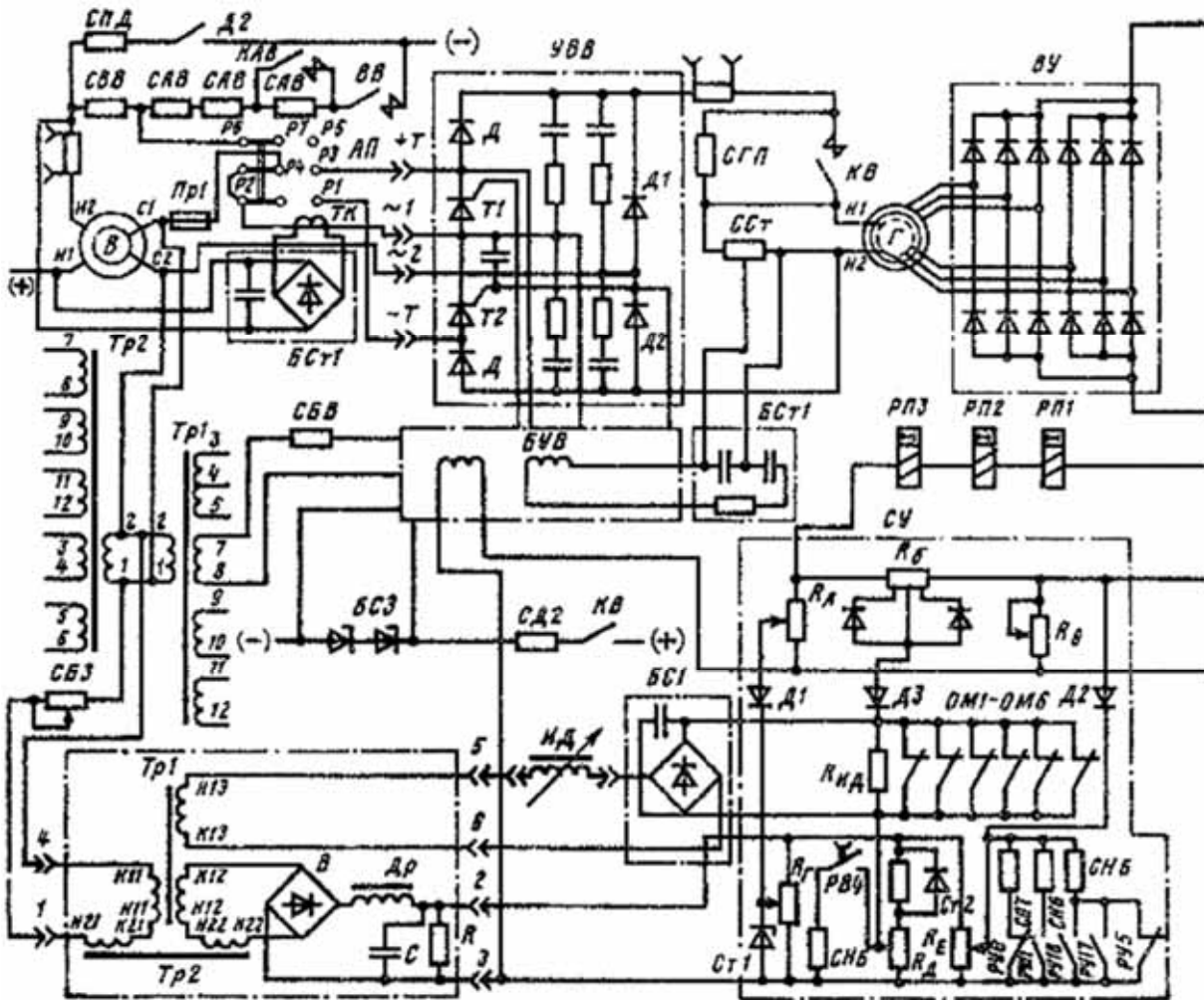
Відмінними пристроями електричної схеми тепловозів 2ТЕ10М, 3ТЕ10М є вузол виділення максимального сигналу тягових двигунів при

боксуванні колісних пар та схема зрівняльних з'єднань між ТЕД.

Принципова схема електричної передачі тепловозів 2ТЕ116. На тепловозах 2ТЕ116 і ТЕП70 (рис. 14.7) тяговий синхронний генератор *Г* марки ГС-501А живить через випрямні установку *ВУ* марки УВКТ-5 тягові електродвигуни, які з'єднані паралельно один одному і мають два ступені ослаблення збудження. Обмотка збудження генератора, розташована на його роторі, отримує живлення від синхронного збудника *СВ* марки ВС-650 через керований випрямляч збудження *УВВ*, вмонтований в блоці БВК-1012.

Стартер-генератор *СтГ* марки ПСГ при пуску дизеля отримує живлення від акумуляторної батареї, а при працюючому дизелі виробляє напругу, яке служить для живлення обмотки збудження синхронного збудника, допоміжних кіл електродвигунів постійного струму, управління і освітлення, а також для заряду акумуляторної батареї.

а)



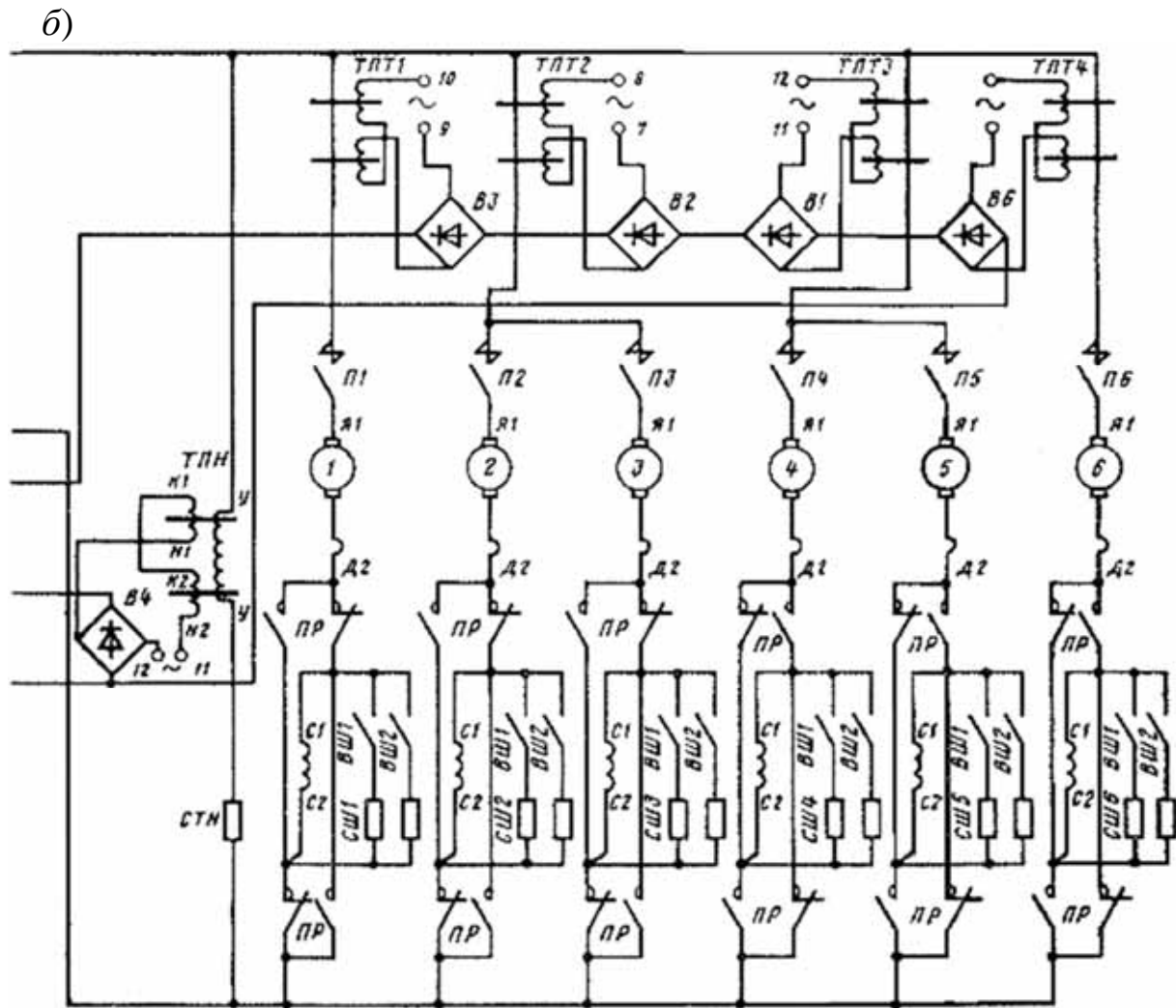


Рис. 14.7. Принципова схема електричної передачі тепловозів 2ТЕ116:
а) початок схеми; б) продовження схеми

Основні елементи принципової схеми електричної передачі (див. рис. 14.7): *Г* – тяговий синхронний генератор (ротор з обмоткою збудження та шестифазна обмотка статора); *СВ* – синхронний збудник (ротор з якірною обмоткою та однофазна обмотка збудження на статорі); *1–6* – тягові електродвигуни (обмотки якорів і збудження); *ВУ* – випрямна установка; *СШ1–СШ6* – резистори ослаблення збудження ТЕД; *П1–П6* – силові контактори; *ВШ1, ВШ2* – контактори ослаблення збудження ТЕД; *КВ* – контактор збудження генератора; *В* – контактор збудження збудника; *КАВ* – контактор аварійного збудження; *ТЛТ1–ТЛТ4* – трансформатори постійного струму; *ТПН* – трансформатор постійного напруги; *СУ* – селективний вузол; *УВВ* – керований випрямляч збудження; *БЗВ* – блок задання збудження; *БУВ* – блок керування випрямлячем; *БСт1* – блок

стабілізації; *ТК* – трансформатор корекції збудження збудника; *ИД* – індуктивний датчик регулятора; *ТР1*, *ТР2* – розподільні трансформатори; *АП* – перемикач аварійного режиму; *Пр1* – плавкий швидкодіючий запобіжник.

Перед вивченням електричної схеми тепловоза необхідно попередньо розібрати, які в неї входять електричні машини, апарати та прилади. Знайти на схемі всі електричні машини, їх обмотки, розібрати, яке призначення машин, які системи збудження мають ці машини. Знайти на схемі головні контакти реверсора. Простежити, як тече струм через головні контакти реверсора та обмотки збудження ТЕД при положенні «Вперед» і «Назад».

14.2. Управління тяговими електродвигунами тепловозів

Відомо, що частота обертання якоря електродвигуна постійного струму:

$$n_{я} = \frac{U - I \sum R}{c_e \Phi},$$

де U – напруга на затискачах двигуна;

I , R – струм і опір обмоток якоря;

Φ – магнітний потік;

c_e – машинна постійна.

З формули видно, що частоту обертання якоря двигуна можна регулювати змінюючи напругу, магнітний потік або опір в колі якоря.

Діапазон зміни струму та напруги тягового генератора обмежений габаритними розмірами, насиченням його магнітної системи, умовами комутації, тому використання постійної потужності генератора забезпечується тільки у визначеному інтервалі зміни струму генератора і, отже, швидкості тепловоза. Для зменшення діапазону регулювання напруги тягового генератора застосовується автоматичне управління тяговими електродвигунами шляхом зміни схеми з'єднання двигунів (рис. 14.8) і ослаблення їх збудження.

На тепловозах магнітний потік (поле збудження) електродвигунів регулюють ступінчасто шунтуванням обмотки збудження, застосовуючи

для цього паралельне підключення резисторів (див. рис. 14.5). При повному полі струм якоря проходить по обмотці збудження, так як електродвигуни мають послідовне збудження. Якщо ж підключимо за допомогою контакторів III_1, III_2 шунтуючі резистори $R_{ш1}, R_{ш2}$, то по обмотці збудження пройде тільки частина струму якоря.

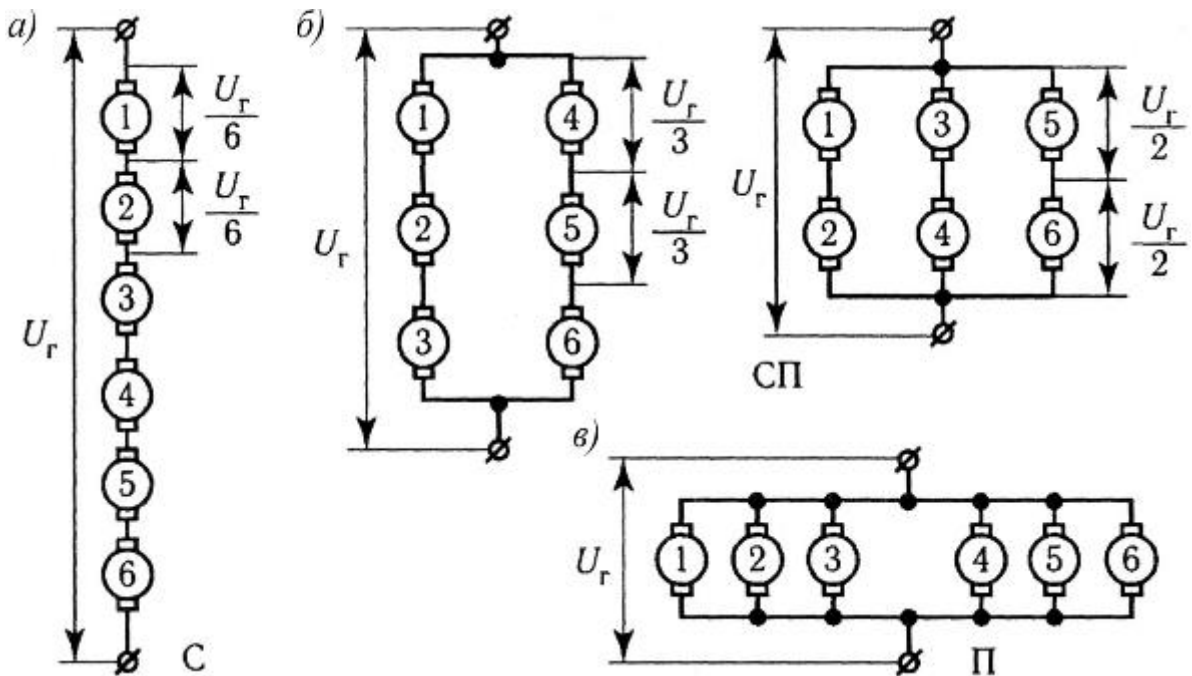


Рис. 14.8. Схеми з'єднання тягових електродвигунів:
 а) послідовне С; б) послідовно-паралельне СП; в) паралельне П

Отже, зі зменшенням струму в обмотці збудження магнітний потік також зменшується, а частота обертання якоря тягового електродвигуна зростає. Відношення струму збудження I_B до струму якоря I_A називається коефіцієнтом ослаблення збудження α . На тепловозах застосовують один або два ступені ослаблення збудження. Вказаний коефіцієнт не повинен бути менше 0,25, так як це може викликати різке погіршення комутації тягових електродвигунів.

В якості прикладу розглянемо роботу електричної передачі тепловоза 2ТЕ10Л в процесі розгону поїзда. На початку розгону поїзда струм генератора підтримується майже постійним і рівним приблизно 6200 А. Потужність дизеля в цій зоні використовується не повністю, так як напруга незначно (ділянка *аб*, рис. 14.9, *а*). Із збільшенням швидкості руху навантаження падає, і при струмі генератора I_m , що дорівнює 5900 А, і швидкості V , яка дорівнює 12 км/год, починається робота по гіперболічній частині характеристики.

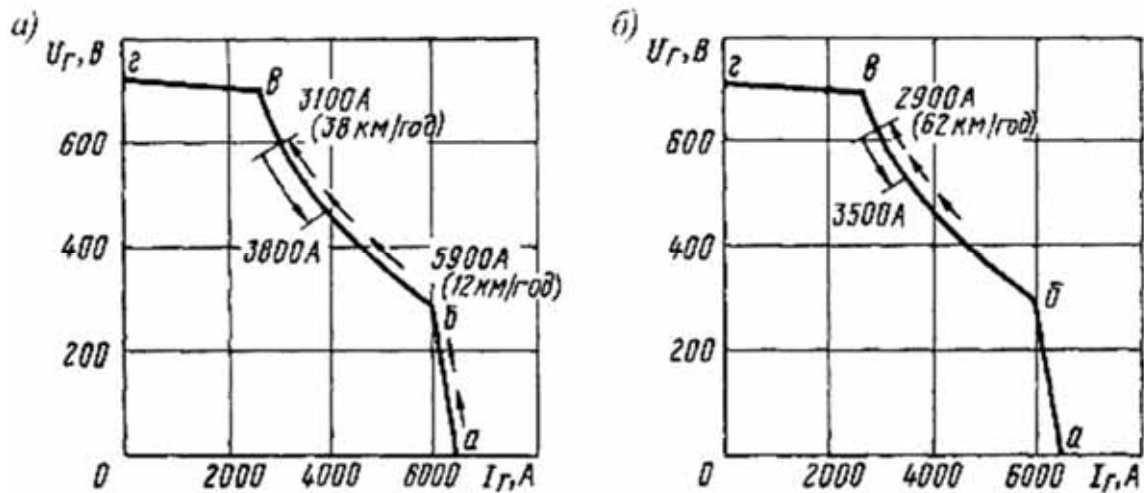


Рис. 14.9. Графіки, що ілюструють переходи з повного збудження тягових електро-
двигунів на ослаблене: а) з ПП на ОП1; б) з ОП1 на ОП2

З цього моменту генератор знімає з дизеля повну потужність, і як тільки швидкість тепловоза буде дорівнює 38 км/год, що відповідає струму $I_{Г} = 3100$ А, здійсниться перехід на ослаблене збудження першого ступеня (ОП1). Внаслідок цього переходу струм генератора зросте до 3800 А, швидкість тепловоза буде збільшуватися, а навантаження – зменшуватися.

Коли швидкість тепловоза досягне 62 км/год, що відповідає струму 2900 А, (рис.14.9, б) здійсниться перехід на другий ступінь ослаблення збудження (ОП2). Під час цього переходу струм зросте до 3500 А. Після переходу швидкість тепловоза продовжуватиме збільшуватися, а навантаження – зменшуватися. Коли навантаження стане менше 2500 А, потужність дизеля вже не буде використовуватися повністю, настане обмеження по збудженню.

Зазвичай застосовують два ступені ослаблення збудження, що дозволяє тричі використовувати під час розгону тепловоза одну і ту ж гіперболическу ділянку зовнішньої характеристики генератора і при широкому діапазоні зміни швидкості руху тепловоза домогтися порівняно вузького діапазону зміни напруги генератора.

Збільшення струму, споживаного ТЕД тепловоза, при ослабленні збудження може бути пояснено таким чином. Дотична сила тяги $F_{д}$ колісно-моторного блока пропорційна току якоря $I_{я}$ та магнітному потоку Φ . У момент включення ослаблення збудження дотична сила тяги $F_{д}$ практично змінитися не може, а магнітний потік Φ швидко зменшується. Це можливо завдяки саморегулюванню двигунів лише при збільшеному струмі. Збільшення струму тим більше, чим менше ступінь ослаблення

збудження.

Збільшення струму тягового генератора дозволяє забезпечити його роботу при повній потужності і тим самим збільшити швидкість руху, при якій використовується повна потужність. Чим менше ступінь ослаблення збудження або чим більше збільшення струму генератора, тим до більш великих швидкостей руху використовується повна потужність дизель-генератора (рис. 14.10).

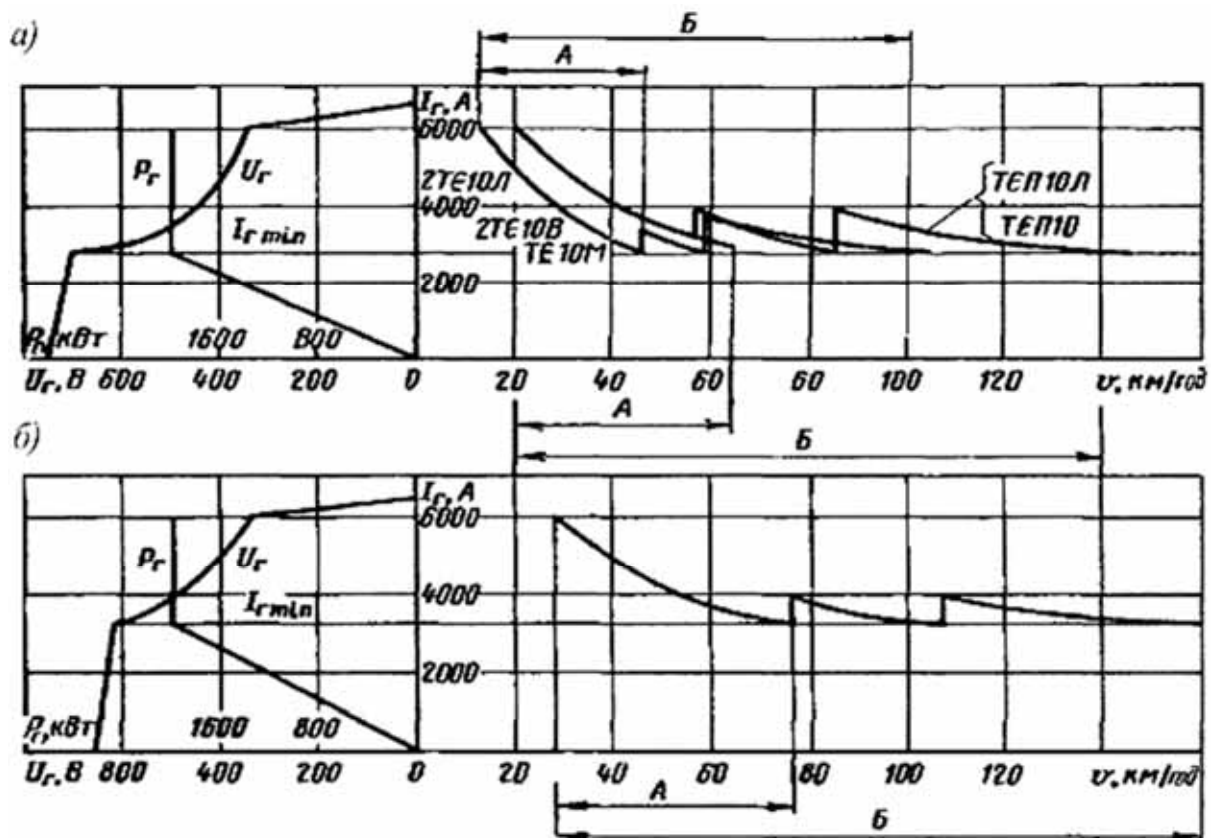


Рис. 14.10. Розширення інтервалу швидкостей руху, при якому використовується повна потужність дизель-генератора за рахунок застосування ослаблення збудження ТВД:

- а) для тепловозів ТЕ10М, 2ТЕ10В, 2ТЕ10Л, ТЕП10, ТЕП10Л; б) тепловозів ТЕП60;
 А – інтервал швидкостей використання повної потужності при роботі без ослаблення збудження; Б – те ж при ослабленні збудження

Таким чином, ослаблення збудження ТВД тепловозів розширює інтервал швидкостей, при якому використовується повна потужність дизель-генератора. Значення ступеня ослаблення збудження другого ступеня підбирають таким чином, щоб забезпечити використання повної потужності дизель-генератора аж до конструкційної швидкості тепловоза. Ослаб-

лення збудження першого ступеня застосовують для зменшення стрибків струму при перемиканні з повного збудження на ослаблене. Включення кожного ступеня ослаблення збудження повинно бути при таких швидкостях, коли струм генератора близький до мінімального значення, при якому використовується повна його потужність.

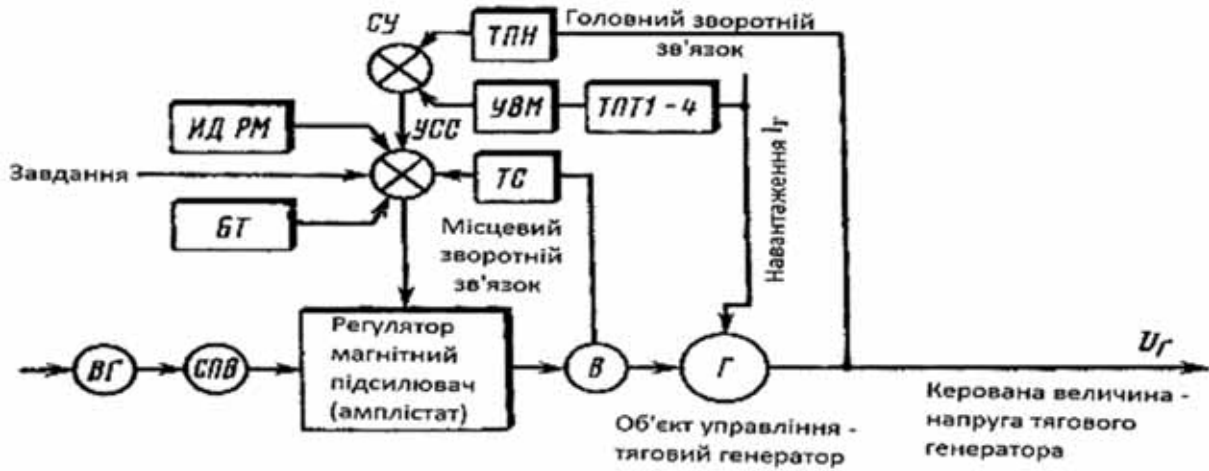
14.3. Удосконалення управління тяговими електричними машинами

Управління комбінованим методом. На сучасних тепловозах ТЕ10, ТЕ116 застосований більш вдосконалений комбінований метод управління тяговим генератором по напрузі та струму навантаження. Об'єктом управління тут є тяговий генератор, регулятором на тепловозах типу ТЕ10 (рис. 14.11, *а*) – магнітний підсилювач (амплістат збудження), на тепловозах 2ТЕ116, ТЕП70, ТЕМ7 (рис. 14.11, *б*) – керований випрямляч збудження. Основним збуджуючим впливом для тягового генератора є струм його навантаження, сигнал від якого подається в вузол підсумовування сигналів через трансформатори *ТТТ*. Вузлом підсумовування сигналів на тепловозах типу ТЕ10 є обмотки управління амплістата та селективний вузол на тепловозах 2ТЕ116, ТЕП70, ТЕМ7.

Керована величина – напруга тягового генератора, сигнал по відхиленню керованої величини подається в вузол підсумовування сигналів через трансформатор постійної напруги *ТПН*. Цей сигнал служить головним зворотнім зв'язком в замкнутій системі управління електромашинами. У вузлі підсумовування сигналів, сигнали силового тягового кола (по струму і напрузі тягового генератора) порівнюються з сигналами завдання, які отримуються від безконтактного тахометричного блоку і індуктивного датчика об'єднаного регулятора. Сигнал, одержаний від безконтактного тахометричного блоку (блоку завдання збудження), пропорційний частоті обертання вала дизеля і служить для управління генератора по частоті обертання якоря (ротора). Сигнал від індуктивного датчика об'єднаного регулятора служить для управління дизель-генератором по потужності. В результаті порівняння сигналів силового тягового кола з сигналами завдання виробляється сигнал розузгодження. На тепловозах типу ТЕ10 сигнал неузгодженості визначає результуюче підмагнічування магнітного підсилювача (амплістата збудження), а на тепловозах 2ТЕ116, ТЕП70, ТЕМ7 – величину струму в обмотці управління магнітного під-

силувача блоку *БУВ*, який управляє зміною кута управління тиристорами керованого випрямляча збудження *УВВ*.

а)



б)

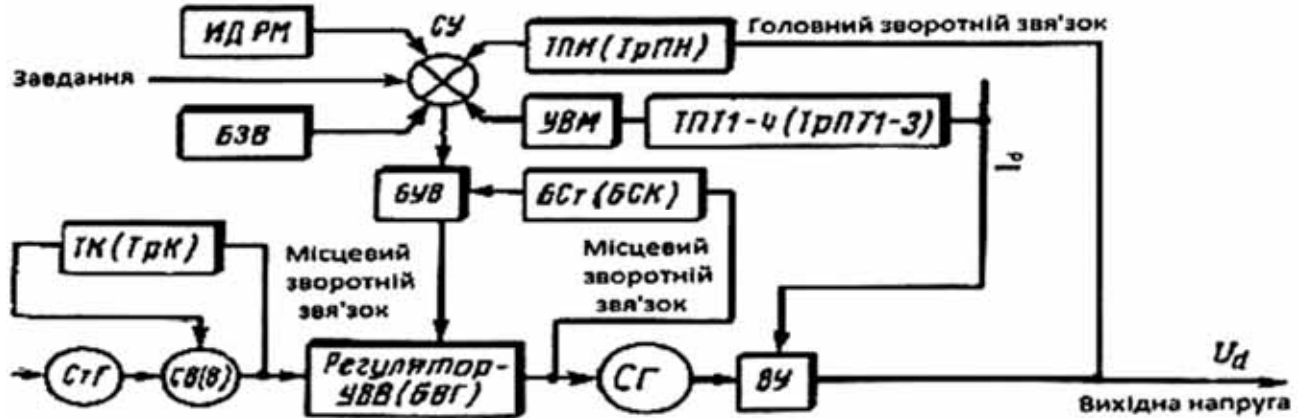


Рис. 14.11. Структурна схема комбінованого методу автоматичного управління тяговим генератором тепловозів по струму навантаження: а) тепловоз серії ТЕ10; б) тепловоз серії ТЕ116

Структурні схеми (рис. 14.11) відносяться до тепловозів з динамічною жорсткою характеристикою тягового генератора по напрузі. Тут в порядку уточнення треба визначити, що чотири трансформатора постійного струму *ТПТ1-4* подають в САУ через вузол виділення найбільшого сигналу *УВМ* сигнал, пропорційний найбільшому струму ТЕД небоксуючих колісних пар. На тепловозах без динамічної жорсткої характеристики тягового генератора один трансформатор постійного струму подає в САУ сигнал, пропорційний сумарному струму всіх ТЕД (струму генератора).

14.4. Динамічна жорстка характеристика тягового генератора по напрузі

При боксуванні колісних пар внаслідок збільшення частоти обертання якорів ТЕД, струм навантаження двигунів і тягового генератора зменшується. Відповідно збільшується напруга генератора. Підвищення напруги генератора і ТЕД викликає посилення боксування.

У зв'язку з цим виникла необхідність застосування такої САУ генератором, при якій нормальна робота генератора була б по гіперболічній характеристиці сталості потужності, а при боксуванні, коли знижується струм навантаження, напруга генератора підтримувалася б незмінною. Таку характеристику тягового генератора називають динамічною жорсткою характеристикою по напрузі.

Динамічна жорстка характеристика тягового генератора по напрузі може бути отримана шляхом управління збудженням генератора по максимальному струму ТЕД небуксуючих колісних пар.

Принцип управління тяговим генератором по максимальному струму ТЕД небуксуючої колісної пари може бути проілюстрований структурною схемою, наведеної на рис. 14.12.

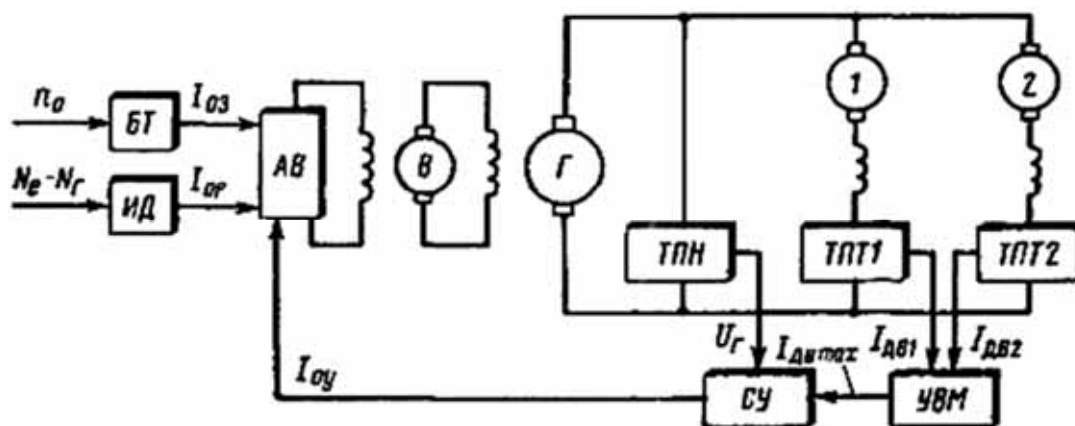


Рис. 14.12. Структурна схема автоматичного управління тяговим генератором для отримання динамічної жорсткої характеристики по напрузі

Для отримання сигналу по струму ТЕД в колі кожного з них включені трансформатори $ТПТ1$ і $ТПТ2$. Від цих трансформаторів сигнали надходять у вузол виділення максимального сигналу УВМ. Необхідно відзначити, що практично, навіть при відсутності боксування, ці сигнали ніколи не можуть бути однаковими. Трансформатор, який виділяє найбільший

сигнал, називають «ведучим». Відповідно пов'язані з цим ТПТ двигуни і колісні пари будуть «ведучим».

Вузол виділення максимального сигналу має таку властивість, що при вступі струму, різних за величиною, на виході виділяється сигнал, пропорційний найбільшому із струмів. Що стосується аналізованої схеми, то на виході вузла виділення максимального сигналу буде сигнал, пропорційний максимальному струму «ведучого» ТЕД. Цей сигнал подається на селективний вузол. Вузол виділення максимального сигналу буде виділяти незмінний сигнал, пропорційний струму в колі «ведучого» ТЕД, і, таким чином, напруга генератора залишиться незмінним. Генератор буде працювати по динамічній жорсткій характеристиці.

Відмінності схеми (рис. 14.13) полягають в тому, що в колах робочих обмоток ТПТ є чотири випрямляючих мостів $B1 - B3, B6$ (по числу ТПТ), а в колі робочих обмоток ТПН – випрамний міст $B4$, випрамлений струм яких замикається на баластних резисторах $CBTT$ і $CBTH$ і падіння напруги на них підводиться до обмотки амплістата OU .

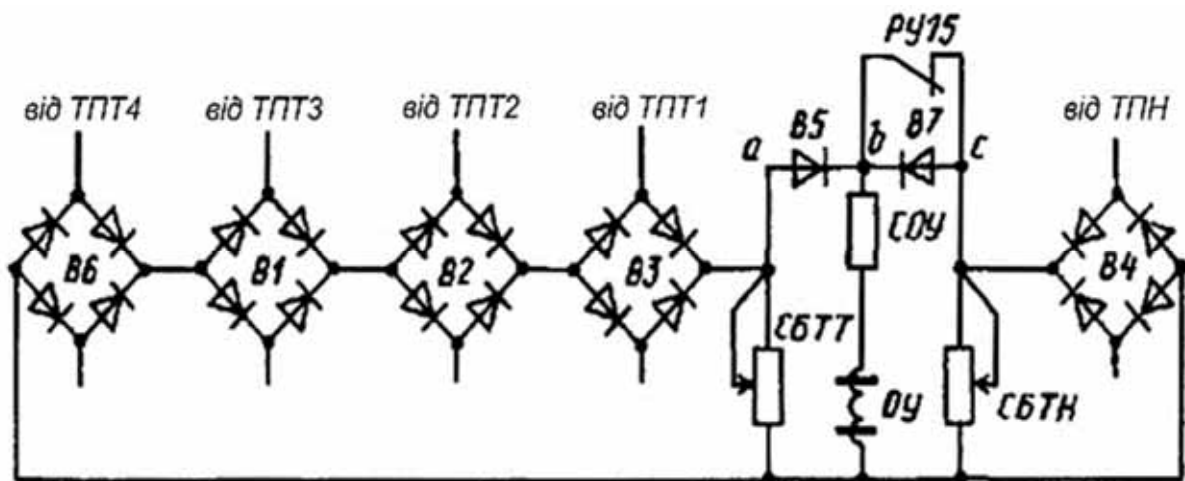


Рис. 14.13. Схема селективного вузла тепловозів ЗТЕ10М, 2ТЕ10М з динамічною жорсткою характеристикою тягового генератора

В новій схемі додані вентиля $B5, B7$. Коли струм тягового генератора великий, а напруга мала, потенціал точки «а» вище, ніж потенціал точки «с» (див. рис. 14.13) і живлення обмотки, що управляє, буде через вентиль $B5$ від кола робочої обмотки «ведучого» ТПТ струмом, пропорційним найбільшому струму ТЕД небоксуючих колісних пар. При малому струмі тягового генератора та великій його напрузі, обмотка, що управляє, отримає живлення від кола робочих обмоток ТПН через вентиль $B7$. При середніх значеннях струму тягового генератора обмотка, що управ-

ляє, отримує живлення як від кола робочих обмоток TPT , так і від кола робочих обмоток TPH .

Селективний вузол електричної схеми тепловозів 2ТЕ116. Як видно зі структурної схеми електричної передачі (див. рис. 14.11, б) в селективний вузол $СУ$ надходять сигнали від $TPT1-TPT4$ і TPH ; вони порівнюються з сигналами завдання від блоку збудження $БЗВ$ і індуктивного датчика $ИД$, в результаті чого виробляється сигнал розбіжності, який надходить у вигляді струму в обмотку управління $МУ$ блоку $БУВ$. Залежно від величини цього сигналу змінюється кут управління тиристорами і тим самим відбувається управління струмом збудження тягового генератора. Чим більше сигнал розбіжності, тим пізніше настане насичення осердя $МУ$, більше буде кут управління тиристорами α і, відповідно менше струм збудження тягового генератора (для заданої позиції КМ).

Трансформатори $TPT1 - TPT4$ і резистор R_a селективного вузла складають вузол виділення максимального сигналу по струму ТЕД при боксуванні колісних пар (див. далі на рис. 14.14).

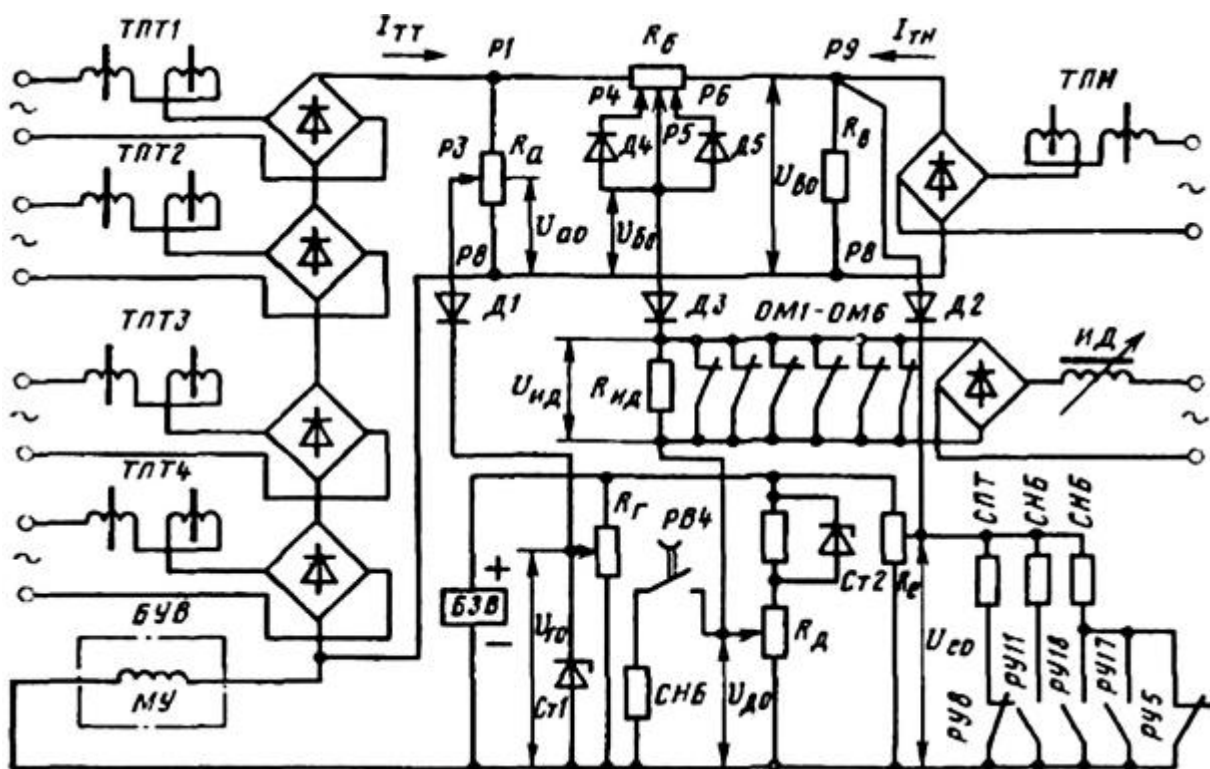


Рис. 14.14. Схема селективного вузла тепловозів 2ТЕ116 з динамічною жорсткою характеристикою тягового генератора:

R_a, R_b, R_c – резистори сигналів TPT, TPH ; R_e, R_d, R_e – резистори сигналів блоку завдання; $D1, D2, D3$ – роздільні діоди; $OM1-OM6$ – контакти вимикачів ТЕД; $R_{ид}$ – резистор індуктивного датчика

Схеми селективного вузла тепловозів 2ТЕ116 наведені на рис. 14.14. Власне селективний вузол складається з резисторів сигналів силового тягового кола R_a, R_b, R_c , резисторів завдання R_z, R_d, R_e , резистора індуктивного датчика R_{id} , а також роздільних діодів $D1, D2$ і $D3$.

Мінусові точки резисторів сигналів силового тягового кола та резисторів завдання з'єднані між собою через обмотку управління МУ блоку БУВ. Плюсіві точки резисторів з'єднані так, що кожна пара сигналів (силового тягового кола і завдання) спрямована зустрічно один одному. Таким чином, в обмотці управління МУ блоку БУВ протікає струм під дією різниці сигналів силового тягового кола і завдання (іншими словами, струм викликається різницею потенціалів на резисторах сигналів тягового силового кола і завдання).

Пари сигналів з включеним в їх кола розділяючим діодом і обмоткою управління МУ блоку БУВ утворює канал управління. Розділяючі діоди $D1, D2$ і $D3$ (див. рис. 14.14) включені так, що струм в колі каналу протікає тільки в тих випадках, якщо сигнал тягового силового кола більше сигналу завдання. Саме ці діоди забезпечують необхідну послідовність дії каналів.

Насамперед розглянемо вид зовнішньої характеристики тягового генератора, яку повинен формувати селективний вузол. Ця характеристика складається з трьох областей (рис. 14.15): обмеження пускового струму (область I, лінія AB); обмеження максимальної напруги (область II, лінія ГД); обмеження потужності (область III, лінія BB₁BB₂Г).

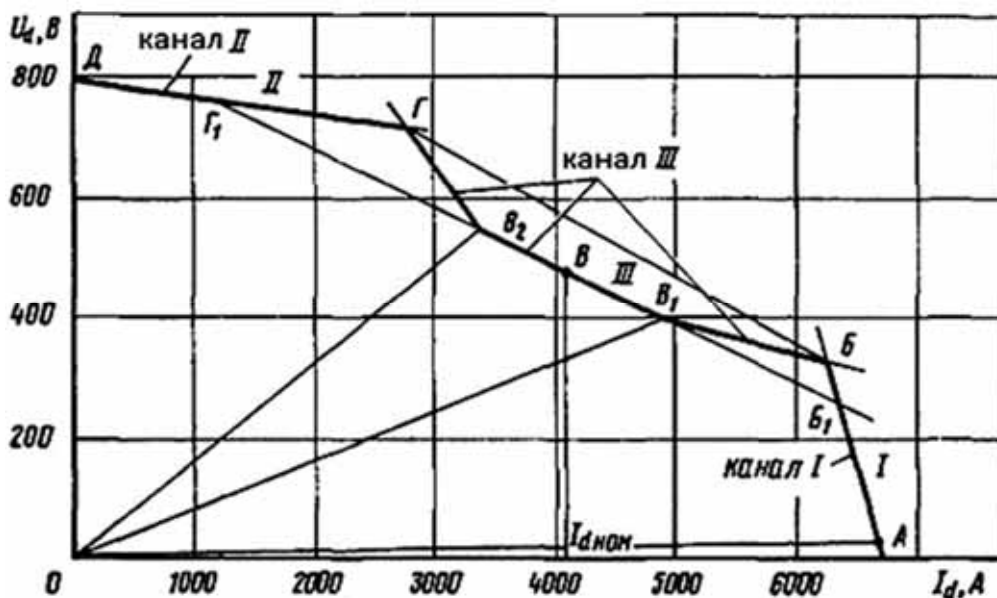


Рис. 14.15. Селективна характеристика тягового генератора тепловозів 2ТЕ116

Таким чином, в селективному вузлі використовується принцип багатоканального діодно-потенціометричного порівняння сигналів силового тягового кола і завдання. При зміні сигналу завдання прямо пропорційно змінюється керуюча величина.

Отримана зовнішня характеристика генератора у вигляді ламаної лінії *BB1*, *BB2Г* (див. рис. 14.15) наближається досить близько до кривої сталості потужності (гіперболи). Відхилення складає не більше 3 % по потужності, що значно менше, ніж на тепловозах типу ТЕ10.

За допомогою селективного вузла, шляхом зміни напруги завдання, створюваного блоком завдання збудження *БЗВ*, проводиться керування напругою і потужністю тягового генератора при зміні позицій КМ.

Запитання до самоконтролю

1. *Типи електричних схем.*
2. *Розгорнуте та спрощене багатолінійне зображення електричних машин змінного струму.*
3. *Розгорнуте зображення тепловозних електричних машин постійного струму.*
4. *Особливості зображення трансформаторів, автотрансформаторів і магнітних підсилювачів на електричних схемах тепловозів.*
5. *Аналіз принципової схеми електричної передачі тепловоза 2ТЕ10М.*
6. *Аналіз принципової схеми електричної передачі тепловоза 2ТЕ11Б.*
7. *Аналіз способів регулювання тяговими електродвигунами тепловозів.*
8. *Комбінований метод автоматичного управління тяговим генератором тепловозів по струму навантаження.*

ЕЛЕКТРИЧІ СХЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕПЛОВОЗАМИ

15.1. Схеми пуску, управління та захисту дизелів тепловозів 2ТЕ10М

Загальні принципи конструювання схем. Для живлення кіл управління, допоміжних та освітлення на тепловозах використовуються допоміжні генератори, або стартер-генератори. На всіх тепловозах встановлюються акумуляторні батареї, які служать для запуску дизеля і живлення кіл при непрацюючому дизель-генераторі. Допоміжні генератори, а також стартер-генератори служать також для заряду акумуляторної батареї після пуску дизеля.

Допоміжні генератори та стартер-генератори виконуються як електричні машини постійного струму. Номінальна напруга в колах управління, допоміжних машин і освітлення складає 75 і 110 В. Допоміжні генератори мають 75 В, а стартер-генератори 110 В.

На тепловозах майже виключно застосовується двопровідна система кіл управління без заземлення проводів. Перевагою таких систем є їх велика надійність. Пояснюється це тим, що при двопровідній системі замикання одного проводу на корпус не порушує нормальної роботи (лише при замиканні другого проводу буде коротке замикання).

Струмовий захист здійснюється запобіжниками або автоматами максимального струму (автоматичні вимикачі). Запобіжники мають плавкий елемент, який плавиться при проходженні по ньому струму, що перевищує заданий.

Автоматичні вимикачі виконують одно-, двох-, і трьох-полюсними і бувають з електромагнітним, тепловим і комбінованим розчеплювачем. Автоматичні вимикачі з тепловим розчеплювачем (наприклад, вимикачі А-3160) мають інерційність як при перевантаженні, так і при коротких замиканнях. Ці автоматичні вимикачі найбільш поширені в тепловозному будівництві.

У числі елементів електричних кіл тепловозів є багато обмоток з великою індуктивністю. При розриві кола з індуктивністю, накопичена в індуктивності електромагнітна енергія призводить до перенапруження між витками обмоток, яке в електричних машинах може привести до пробою ізоляції, а в колах електричної схеми – до пробою напівпровідникових приладів в апаратах.

Крім того, при розмиканні кіл з великою індуктивністю між контактами апаратів, включених в це коло, виникає дуга, яка призводить до підгоряння (ерозії) контактів.

Найбільш поширені схеми прискорення гасіння електромагнітної енергії (поля), вживані в тепловозному електроустаткуванні, приведені на рис.15.1. У цих схемах електромагнітна енергія, накопичена в індуктивності, витрачається як на опір кола R , так і на додатковому резисторі z .

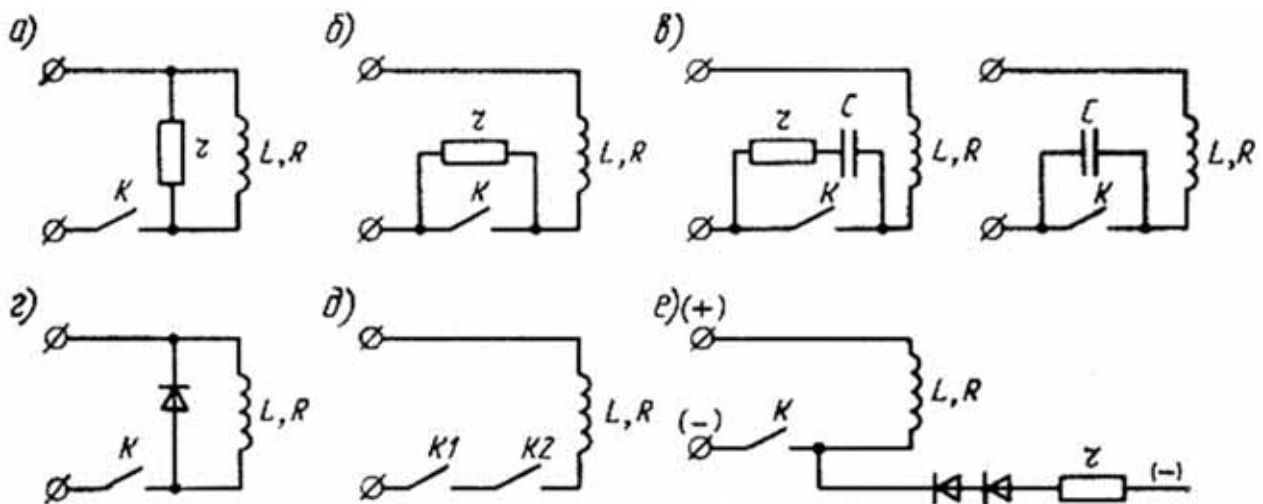


Рис. 15.1. Схеми прискорення гасіння електромагнітної енергії (поля), які застосовуються в електроустаткуванні тепловозів

Загальні рекомендації з вивчення електричних схем наступні.

Знайти на схемі акумуляторну батарею, її рубильник.

Знайти на схемі затискачі колодок апаратних камер і пульту управління. Звернути увагу на систему їх позначень.

Знайти на схемі електропневматичні клапани, електромагніти.

Знайти на схемі контактори (котушки, головні і допоміжні контакти).

Знайти на схемі контакти КМ. Познайомитися з його розгорткою (вона показує включення контактів залежно від позицій). При цьому можна простежити, які включаються кола і апарати. Це ж видно з таблиці включення контакторів, реле, електропневматичних вентилів і електромагнітів, які зазвичай приводяться на принципово-монтажній схемі.

Знайти на схемі контакти реверсивної рукоятки КМ. Простежити коло на котушці вентилів управління реверсором «*Вперед*» і «*Назад*». Звернути увагу на те, що струм потече по цьому колу лише після установки штурвалу (ручки) КМ на першу і наступні позиції. Тоді ж і повернеться кулачковий вал (барабан) реверсора.

Знайти на схемі головні і допоміжні контакти реверсора. Простежити, як тече струм через головні контакти реверсора і обмотки збудження ТЕД при положенні «*Вперед*» і «*Назад*».

Знайти на схемі кнопки «*Пуск дизеля*».

Знайти на схемі інші кнопки управління, відповідні автоматичні вимикачі або тумблери.

Знайти на схемі всі реле, регулятор напруги (котушки, контакти).

Знайти на схемі магнітні підсилювачі, трансформатори, панелі з діодами, безконтактний тахометричний блок та інші блоки автоматики та випрямлення.

Знайти на схемі тепловозів колодку реостатних випробувань і кола, в яких вимірюється струм і напруга.

Знайти на схемі вимикачі (тумблери) відключення тягових електродвигунів, звернувши увагу на стан замикаючих і розмикаючих контактів при включених або вимкнених двигунах.

При вивченні кіл електричної схеми тепловоза треба попередньо розібрати, які в них входять електричні машини, апарати і прилади, яке положення контактів апаратів буде при включеному і виключеному колі, як зміняться положення контактів в залежності від позицій КМ. При розгляданні кіл (пуску дизеля, зрушення тепловоза з місця, захисту від буксування і ін.) можна користатися структурними схемами управління.

Електричні кола управління пуском дизелів тепловозів 2ТЕ10М. Пуск дизелів на тепловозах з електричною передачею здійснюється: у разі електричної передачі постійного струму – за допомогою тягового генератора, що працює в режимі двигуна; у разі електричної передачі змінно-постійного струму та змінного струму – за допомогою стартер-генератора.

Більшість конструкцій тягових генераторів мають пускову обмотку, і таким чином, під час пуску дизеля тягові генератори, як стартер-генератори працюють в режимі двигуна з послідовним збудженням, отримуючи живлення від акумуляторної батареї. Для зменшення розряду акумуляторної батареї і підвищення надійності пуску дизелів на двосекційних тепловозах використовується паралельне з'єднання батарей двох секцій тепловоза.

Пуск дизеля. Перед пуском дизеля необхідно включити рубильник ВБ акумуляторної батареї БА, автоматичні вимикачі А13 «Управління»,

A5 «Дизель», A4 «Паливний насос», A6 «Управління холодильником», через контакти якого отримують живлення вимірювальні прилади систем тепловоза, і тумблер ТН1 «Паливний насос», встановити в робоче положення рукоятку блокування гальма БУ, на нульову позицію рукоятку контролера машиніста КМ і реверсивну рукоятку ПР в положення «Вперед» або «Назад».

У результаті замикання контактів рубильника ВБ збирається коло на автоматичні вимикачі АЗ–11 і А13, А14, А16.

При включенні А5 напруга надходить на котушку електромагніту МР5 об'єднаного регулятора дизеля. Електромагніт МР5 встановлює індуктивний датчик ІД в крайнє положення та утримує його в такому стані до 4-й позиції, що забезпечує плавне рушення тепловоза.

Після включення тумблера ТН1 збирається коло живлення котушки контактора КТН приводу електродвигуна паливного насоса (рис. 15.2). Включившись, головні контакти КТН подають напругу на електродвигун ТН паливного насоса.

Одночасно з цим отримують живлення обмотка Ш1–Ш2 допоміжного генератора ВГ і котушки вентилів ВП6 і ВП9. Вентилі ВП6 і ВП9 відключають відповідно лівий ряд паливних насосів при роботі дизеля без навантаження додатково п'ять паливних насосів правого ряду при пуску дизеля.

Пуск дизеля здійснюється короткочасним (не більше 30 с) натисканням кнопки ПД1 «Пуск», в результаті чого включається реле часу РУ6 (рис. 15.3). Замикаючий контакт РУ6 збирає коло живлення котушки контактора КМН. Замикаючий контакт РУ6 шунтує контакти кнопки ПД1 і РУ6 стає на саможивлення. Після включення контактора КМН отримує живлення електродвигун МН. Починається прокачування дизеля маслом. Одночасно один замикаючий контакт КМН готує коло включення Д1–Д3, а другий замикаючий контакт КМН подає живлення на котушку реле часу РВ1. Включившись, РВ1 контролює час прокачування масла дизеля. Після закінчення 90 с включається замикаючий контакт РУ1 і збирає коло РУ4. Замикаючий контакт РУ4 подає живлення на Д1. При включенні контактора Д1 далі включаються контактори Д3 і Д2. Через головні контакти контакторів Д3 акумуляторні батареї обох секцій на період пуску з'єднуються паралельно один одному. Через головні контакти контакторів Д1 і Д2 живлення від батарей обох секцій підводиться до тягового генератора, який працюючи в режимі двигуна, розкручує вал для пуску дизеля.

Через замикаючий допоміжний контакт контактора Д3 струм піде на котушки електромагніта ЕТ регулятора і реле часу РВ2. Електронне реле

часу *PВ2*, як буде показано нижче, вимкне пускові контактори через 30 с після їх включення, якщо пуск дизеля не відбувається або затягнеться довші зазначеного часу.

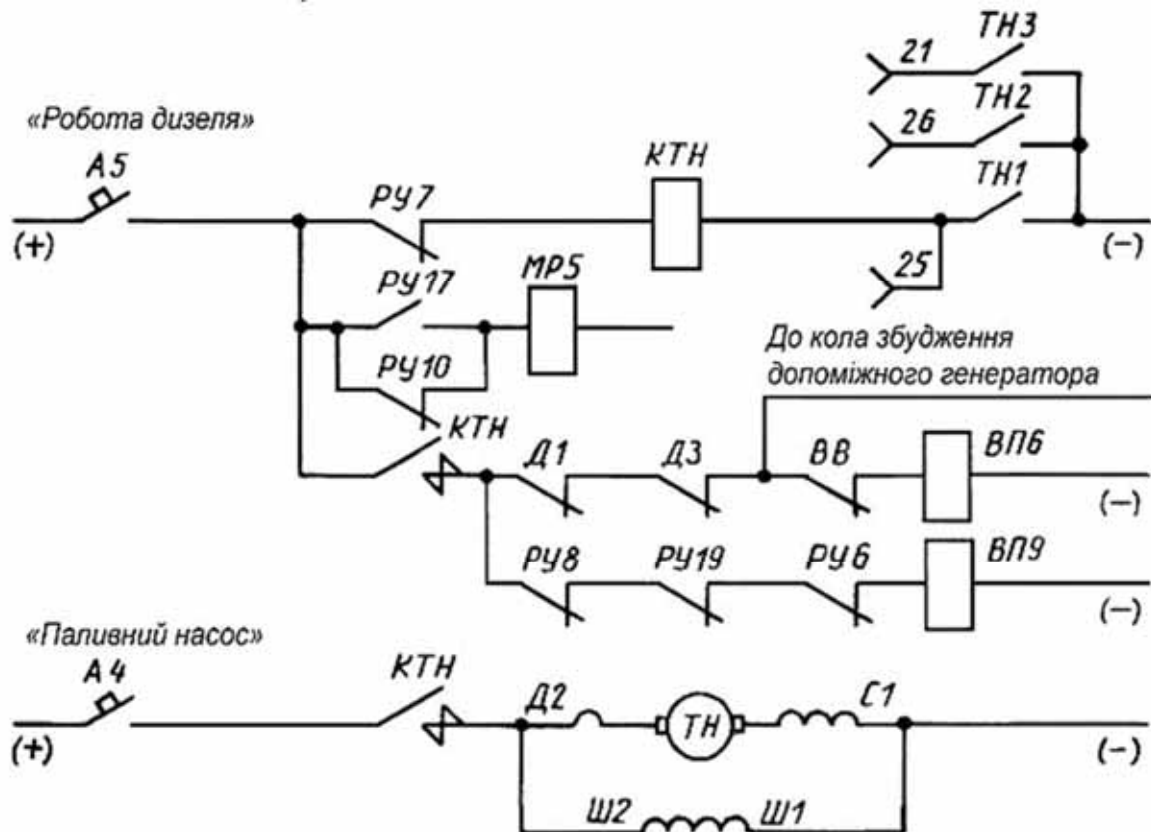


Рис. 15.2. Принципова схема включення електродвигуна паливопідкачуючого насоса тепловозів 2ТЕ10М

При включенні контактора *Д1* через його замикаючий допоміжний контакт струм піде на котушку електропневматичного вентиля *ВП7*, який впускає повітря в пневматичний циліндр прискорювача пуску дизеля. При необхідності повернути вал дизеля, не запускаючи його, слід включити автомат «Управління» і кнопку «Пуск дизеля», не вмикаючи тумблер «Паливний насос». Тоді через розмикальний допоміжний контакт контактора *КТН* вмикаються лише контактори *Д1–Д3*.

Коло блокувального електромагніту *ЕТ* регулятора. При включенні пускових контакторів через замикаючий допоміжний контакт контактора *Д3* вмикається електромагніт *ЕТ*, що дозволяє силовому поршню регулятора піднятися, висунути рейки паливних насосів і забезпечити при повороті вала дизеля подачу палива в циліндри. При цьому струм тече (див. рис. 15.3) через допоміжний контакт контактора *Д3* на котушку електромагніту *ЕТ*.

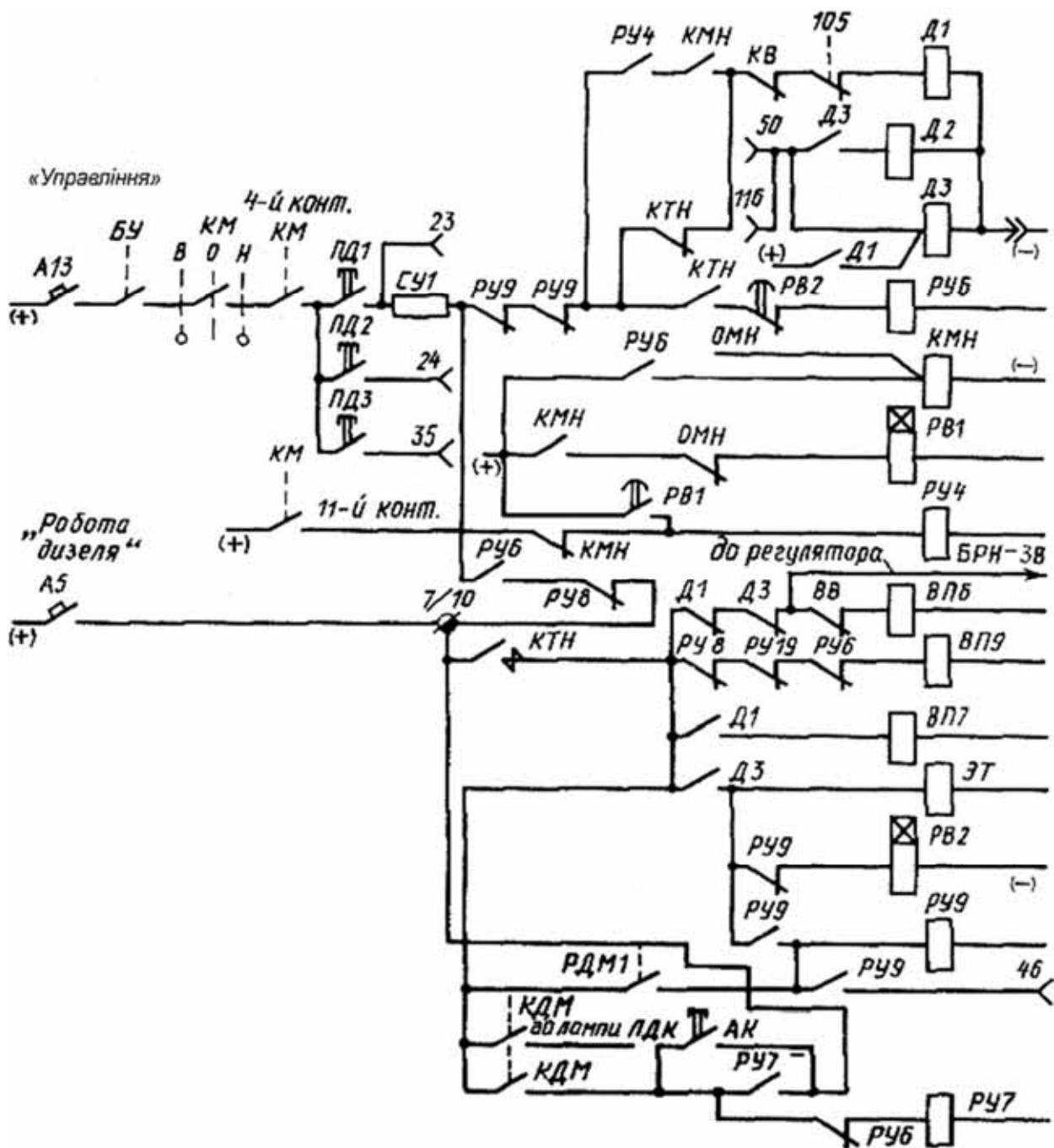


Рис. 15.3. Принципова схема автоматичного управління пуском дизеля тепловоза серії 2ТЕ10М

Пуск дизеля виконується на 20 паливних насосах, а подальша робота на холостому ході – на 5 паливних насосах.

Захист дизеля при зниженні тиску масла. Коли в процесі пуску дизеля тиск масла в його системі перевищить 70–80 кПа, спрацьовує реле тиску масла *РДМ1* і вмикається котушка реле *РЧ9*. Через замикаючі контакти реле *РДМ* і *РЧ9* створює друге коло на котушку електромагніту *ЕТ*.

При спрацюванні реле *PY9* його контакти розривають кола всіх апаратів що пов'язані з пуском дизеля (крім електромагніту *ET*, реле *РДМ1*, *PY9* і контактора *КТН*). Якщо тепер тиск масла в системі дизеля впаде нижче 50–60 кПа, реле *РДМ1* розірве коло котушки реле *PY9*, вимкне електромагніт *ET*, зупиняючи цим дизель.

Захист акумуляторної батареї від надмірного розряду. Якщо тиск масла в системі дизеля не піднімається або пуск дизеля не відбувається за будь-якої іншої причини, реле *PY2* через 30 с вимикає пускові контактори і всі інші апарати, пов'язані з пуском дизеля. Розмикаючий контакт реле *PY2* розриває коло котушки реле *PY6*. Останнє, відключившись, своїм контактом вимикає всі апарати, пов'язані з пуском дизеля.

Кола захисту від пробою газів у картер і аварійної зупинки дизеля. Якщо тиск в картері підвищиться вище 0,3–0,35 кПа, включаються контакти КДМ дифманометра і створюється коло на котушку реле *PY7*. Аварійна зупинка дизеля здійснюється за допомогою аварійної кнопки *АК* (див. рис. 15.3) змонтованої на пульті машиніста. При включенні кнопки *АК* також створюється коло на котушку реле *PY7*. Контакти реле *PY7* як при включенні контакту дифманометра *КМД*, так і при включенні аварійної кнопки *АК* розривають коло котушки контактора *КТН* – дизель зупиняється.

Електричні кола управління пуском дизелів тепловозів 2ТЕ116. **Попередні зауваження.** Основною особливістю кіл керування пуском дизеля тепловозів 2ТЕ116 є застосування блоку пуску дизеля БПД, який представляє собою, по суті, кілька електронних реле часу. В режимі роботи блоку БПД передбачена витримка часу 60 с для попереднього прокачування масла перед пуском дизеля, витримка часу 12 с для розбирання схеми керування пуском дизеля при невдалому пуску, а також наявність «стопового режиму», т.е. розбирання схеми при заклинюванні шатуна або поршневого механізму дизеля через 2–3с. В режимі роботи блоку БПД передбачена також витримка часу 60 с для прокачування масла після зупинки дизеля. Особливістю є також установка на дизелі двох паливопідкачуючих насосів, один з яких має привід від електродвигуна, а другий – від валу дизеля.

Кола керування контакторами *КТН* і *КРН2*, електродвигуном паливопідкачуючого насоса. Коло підготовлюється при включенні автоматів *А2* «Паливний насос» і *А3* «Дизель». При включенні тумблера *ТН1* вмикаються контакти *КТН* і *КРН2*. Перший вмикає електродвигун *ТН* паливопідкачуючого насоса, а другий – кола керування пуском дизеля (рис. 15.4).

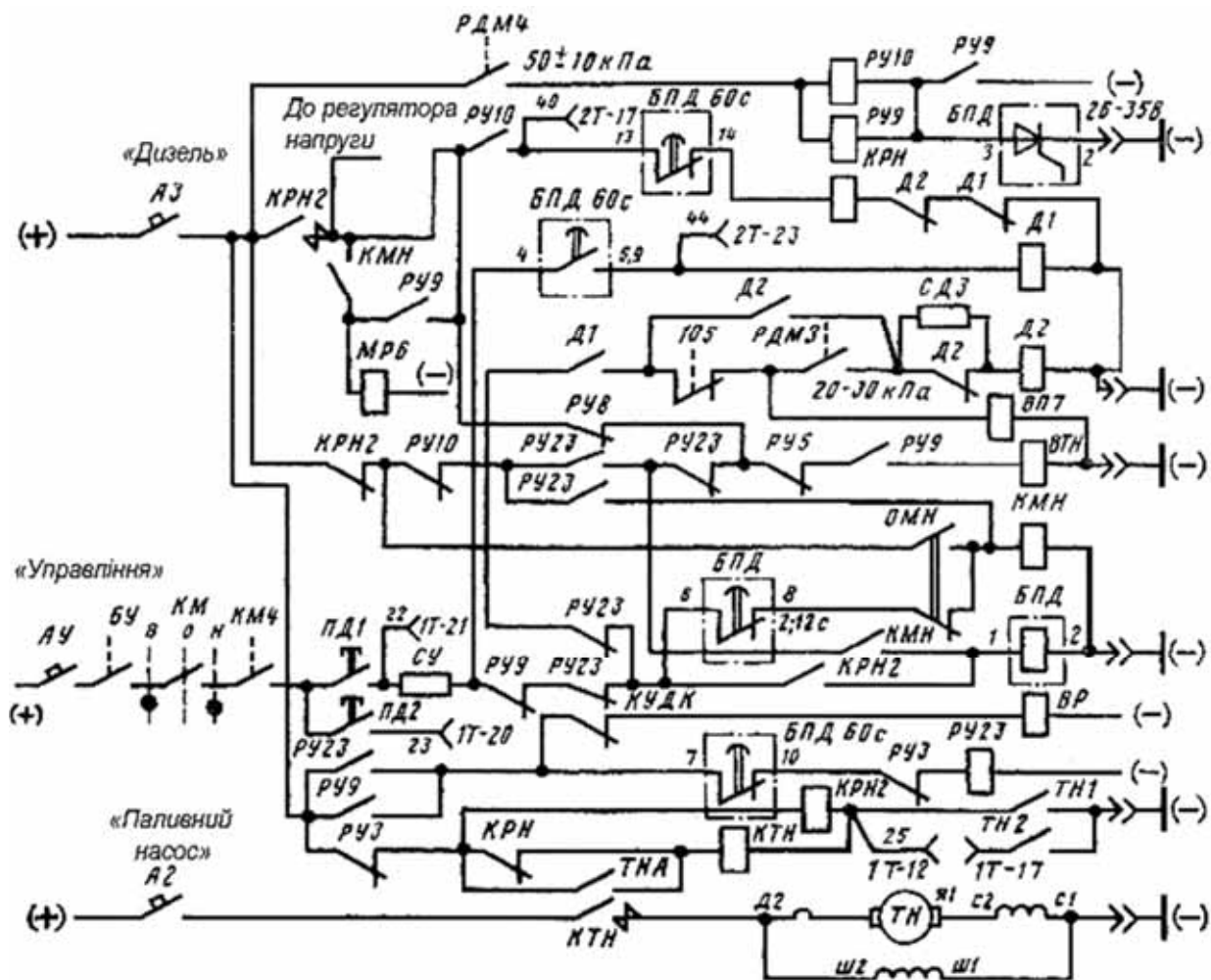


Рис. 15.4. Принципова схема автоматичного управління пуском дизеля тепловоза серії 2ТЕ116

Коло вмикання блоку пуску дизеля БПД, електродвигуна МН маслопідкачуючого насоса, блокувального електромагніта МРБ регулятора і управління контакторами Д1 і Д2. Напряга від акумуляторної батареї підводиться до кнопок пуску дизеля ПД1, ПД2 через автомат АУ «Управління», контакт рукоятки блокування гальма БУ, контакт реверсивної рукоятки КМ, ввімкнений в положення «Вперед» або «Назад», і контакт КМ ввімкнений на нульовій позиції.

Пуск дизеля. При вклучені кнопки ПД1 спрацьовує блок БПД і вмикається контактор КМН. Через головні контакти контактора КМН вмикається електродвигун МН маслопрокачуючого насоса. Через допоміжний контакт цього контактора створюється коло шунтуюче кнопку ПД1, після чого її можна відпустити. Інший допоміжний контакт контактора КМН вмикає електромагніт МРБ регулятора, що дозволить силовому поршню піднятися,

повернути вал наповнення, висунути рейки паливних насосів і забезпечити при повороті вала дизеля подачу палива в циліндри. При тиску масла 20–30 кПа спрацьовує реле *РДМЗ* і готує коло на котушку контактора *Д2*. Через 60 с після спрацювання блоку *БПД* включаються контактори *Д1* на обох секціях тепловоза, а потім – контактор *Д2* і електропневматичний вентиль *ВП7*. Через головні контакти контакторів *Д1* акумуляторні батареї обох секцій з'єднуються паралельно один одному, а через головні контакти контактора *Д2* живлення від батарей обох секцій підводиться до стартер-генератора, який розкручує вал дизеля при пуску. Вентиль *ВП7* впускає повітря в пневматичний циліндр прискорювача пуску дизеля.

Захист дизеля при зниженні тиску масла. Коли в процесі пуску дизеля тиск масла в його системі перевищить 40–60 кПа, спрацьовує реле тиску масла *РДМ4* і підготує коло на котушки реле *РУ9* і *РУ10*. Коли частота обертання валу дизеля досягне певної величини і напруга синхронного збудника досягне 26–35 В, відкривається тиристор блоку *БПТ* і замкнеться коло котушок реле *РУ9* і *РУ10*. Останні спрацюють. Через перший контакт реле *РУ9* створюється друге коло на котушку електромагніту *МР6*. Через другий контакт реле *РУ9* вмикається вентиль *ВТН* виключення паливних насосів чотирьох циліндрів дизеля при роботі в режимі холостого ходу. Через третій замикаючий контакт реле *РУ9* створюється коло на котушку реле *РУ23*, яке спрацьовує. Контакти реле *РУ9* і *РУ23* розривають кола на котушки блоку *БПД*, контакторів *КМН*, *Д1*, *Д2*, вентилів *ВП7*. При спрацюванні реле *РУ10* через його замикаючий контакт включається контактор *КРН*. Контактор *КРН* своїм головним контактором вмикає після пуску дизеля збудження стартер-генератора, а розмикаючим допоміжним контактом вимикає контактор *КТН*, і дизель переходить на роботу від паливопідкачуючого насоса з приводом від валу дизеля. Замикаючий допоміжний контакт контактора *КРН* дозволяє ввімкнути електродвигун компресора (реле *РУ24*) лише при працюючому дизелі.

Якщо тиск масла в системі дизеля впаде нижче 40–60 кПа, реле *РДМ4* розірве коло котушок реле *РУ9* і *РУ10*, при цьому реле *РУ9* розірве коло на електромагніт *МР6*, зупинивши дизель.

Захист акумуляторної батареї від надмірного розряду при тривалому пуску дизеля або заклинюванні кривошипно–шатунного механізму. Якщо пуск дизеля затягнеться понад 12 с, контакт 6–8 блоку *БПД* розірве коло котушки блоку *БПД* і тим самим вимкне всі апарати, пов'язані з пуском дизеля, буде і при заклинюванні при пуску дизеля кривошипно-шатунного механізму (через 2–3 с).

Кола захисту від пробою газів в картер. Якщо тиск в картері

перевищить 0,35 кПа, ввімкнуться контакти *КДМ* дифманометра і створюється коло на котушку вентиля *ВА*, за допомогою якого буде ввімкнене граничний вимикач дизеля.

Аварійна зупинка дизеля. Здійснюється за допомогою кнопки *КА* «Аварійний стоп», змонтованої на пульті машиніста. При включенні цієї кнопки на обох секціях тепловоза спрацьовують реле *РУЗ*, через замикаючі контакти яких вмикаються вентиля *ВА* і граничні регулятори дизелів, а також *ЕПК* і пісочниці.

При спрацюванні реле *РУЗ* вимикається також контактори *КРН2*, *КРН*, відпускаються реле *РУ9*, *РУ10*, *РУ23*, вимикаються вентиль *ВТН* і електромагніт *МР6*.

В електричних схемах тепловозів *2ТЕ116* з №1152 (8-го варіанту виконання) відсутні блоки пуску дизеля *БПД* та пуску компресора *БПК*. В схемах пуску дизеля використовуються два напівпровідникових реле часу типу ВЛ-50 на 110 В. Одне реле *РВП1* контролює час передпускового прокачування масла (60 с), а друге реле *РВП2* провороту валу при пуску дизеля (12 с).

15.2. Схеми включення тягового режиму та управління рухом тепловозів

Зміна частоти обертання валів дизеля. Зміна частоти обертання валів дизеля досягається шляхом зміни сили затяжки всережимної пружини регулятора дизеля з допомогою електромагнітів або електропневматичних вентилів, які вмикаються та вимикаються в певній послідовності у разі повертання рукоятки (штурвалу) *КМ* (рис. 15.5).

Для більшості тепловозів ці кола в основному однакові, відмінність визначається лише числом позицій. При необхідності збільшити частоту обертання валів дизеля без зрушення з місця слід попередньо відключити автомат (тумблер або кнопку) «Управління тепловозом».

На тепловозах *3ТЕ10М* і *2ТЕ10М* зазначені кола мають специфічну особливість (рис. 15.6), що пов'язано з можливістю роботи на холостому ході дизелів середньої та крайньої веденої секцій, коли за умовами тяги немає необхідності в роботі під навантаженням усіх трьох дизелів тепловоза.

Для переходу дизелів на роботу при холостому ході на нульовій позиції *КМ* вмикаються на провідній секції тумблери *ХД2* або *ХД3* (див.

рис. 15.6). Так при включенні тумблера *ХД2* на середній секції спрацьовують реле *РУ13* і *РУ19А*. Ці реле своїми контактами перемикають електромагніти *МР1–МР4* в положення відповідно роботі на 8-й позиції (включенні електромагніти *МР3* і *МР4*). Розмикаючий контакт реле *РУ19* розриває коло на котушку реле *РУ2*.

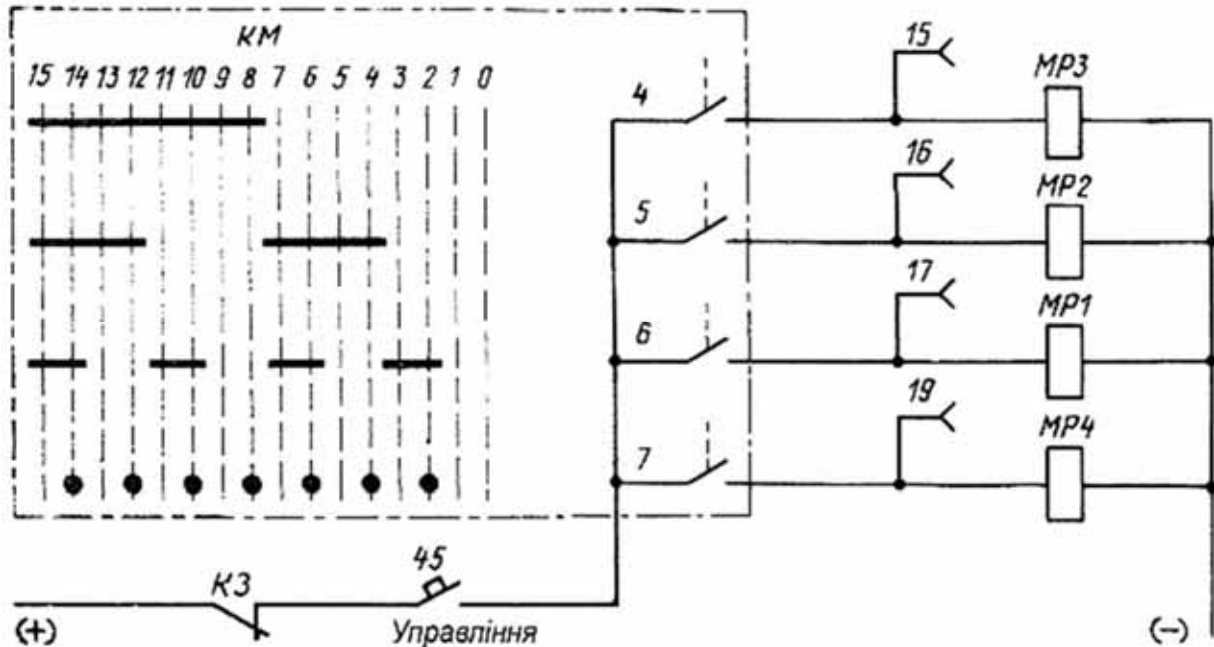


Рис. 15.5. Принципова схема кіл зміни частоти обертання валів дизелів тепловоза серії 2ТЕ10Л

Кола ввімкнення тягового режиму і управління рухом тепловозів. Послідовність операцій при русенні з місця. Зазначені кола забезпечують зрушення тепловоза з місця, його зупинку, зміну напрямку руху, захисту від ненормальних режимів роботи. Для зрушення тепловоза з місця необхідно: повернути реверсивну рукоятку *КМ* в потрібному напрямку руху; включити тумблер (автомат) «Управління тепловозом»; подати сигнал відправлення; поставити штурвал (рукоятку) *КМ* в першу позицію.

При повороті реверсивної рукоятки в положення «Вперед» або «Назад» створюється коло через контакти реверсивного пристосування *КМ* на відповідну котушку реверсора. При включенні тумблера (або автомата) «Управління тепловозом» готується коло на котушки контакторів силового тягового кола, збудження генератора і збудника, електромагнітного реле часу (для затримки вимкнення силових контакторів при скиданні навантаження), реле управління *РУ4*, а також на котушку реле управління *РУ2*. При переводі штурвала (рукоятки) *КМ* в робочі позиції, повертається-

ся кулачковий вал реверсора, вмикаються силові контактори та контактори збудження, спрацьовує реле часу та управління РУ4 та РУ2.

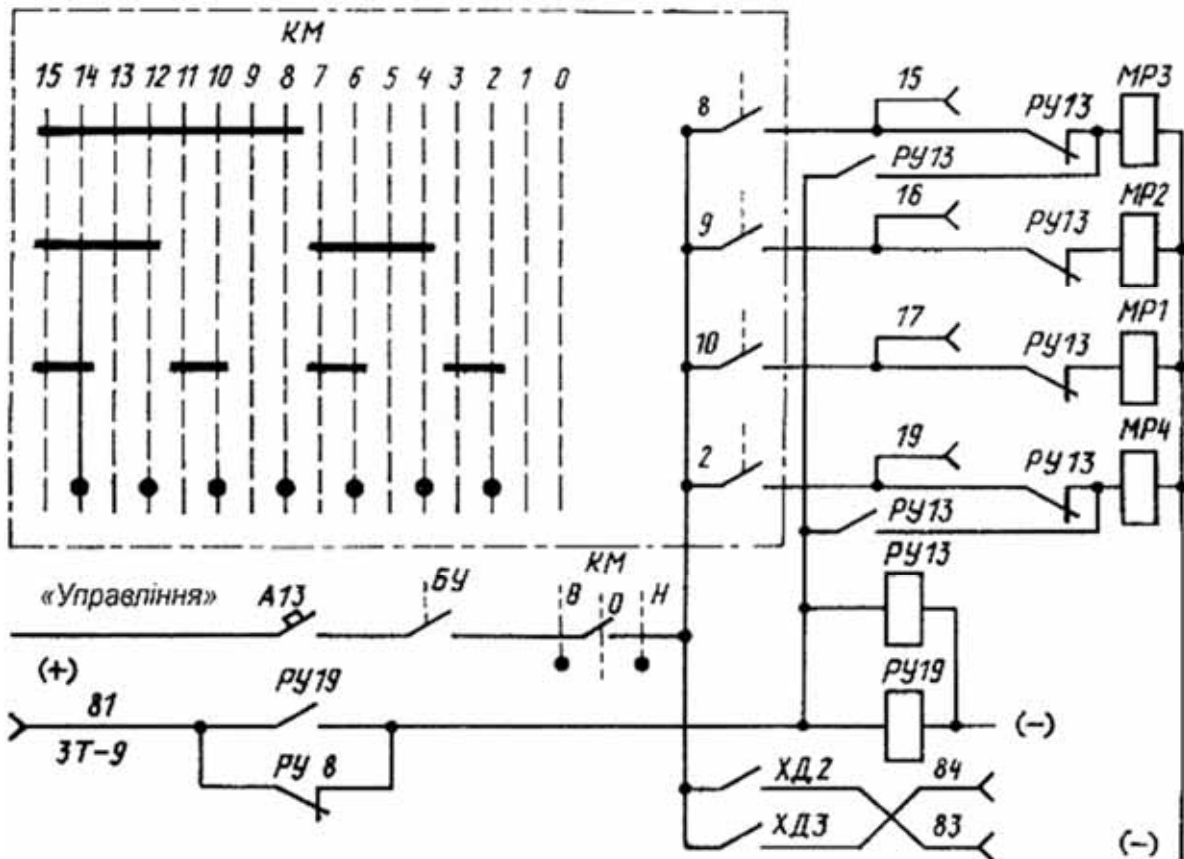


Рис. 15.6. Принципова схема кіл зміни частоти обертання валів дизеля тепловоза серій 2ТЕ10М та 3ТЕ10М і перемикання дизелів середньої та крайньої веденої секції на холостий хід

При розгляданні важких електричних схем (пуску дизеля, управління тяговим режимом) можливо користуватися структурними схемами. Особливостями зображення структурних схем є наступні. Якщо вмикання будь-якого апарату викликає вмикання іншого, то ця дія показується прямокутниками та стрілками, зображеними суцільними лініями. Якщо включення апарату лише готує яесь коло, то прямокутники та стрілки зображуються штрихованими лініями.

Особливості кіл включення тягового режиму та управління рухом тепловозів 2ТЕ10М. Після пуску дизеля напруга допоміжного генератора підведена до нерухомих контактів КМ (рис.15.7) через автомат А13 «Управління», контакт блокування управління гальмом БУ, контакт реверсивної рукоятки КМ, включений в положенні «Вперед» або «Назад».

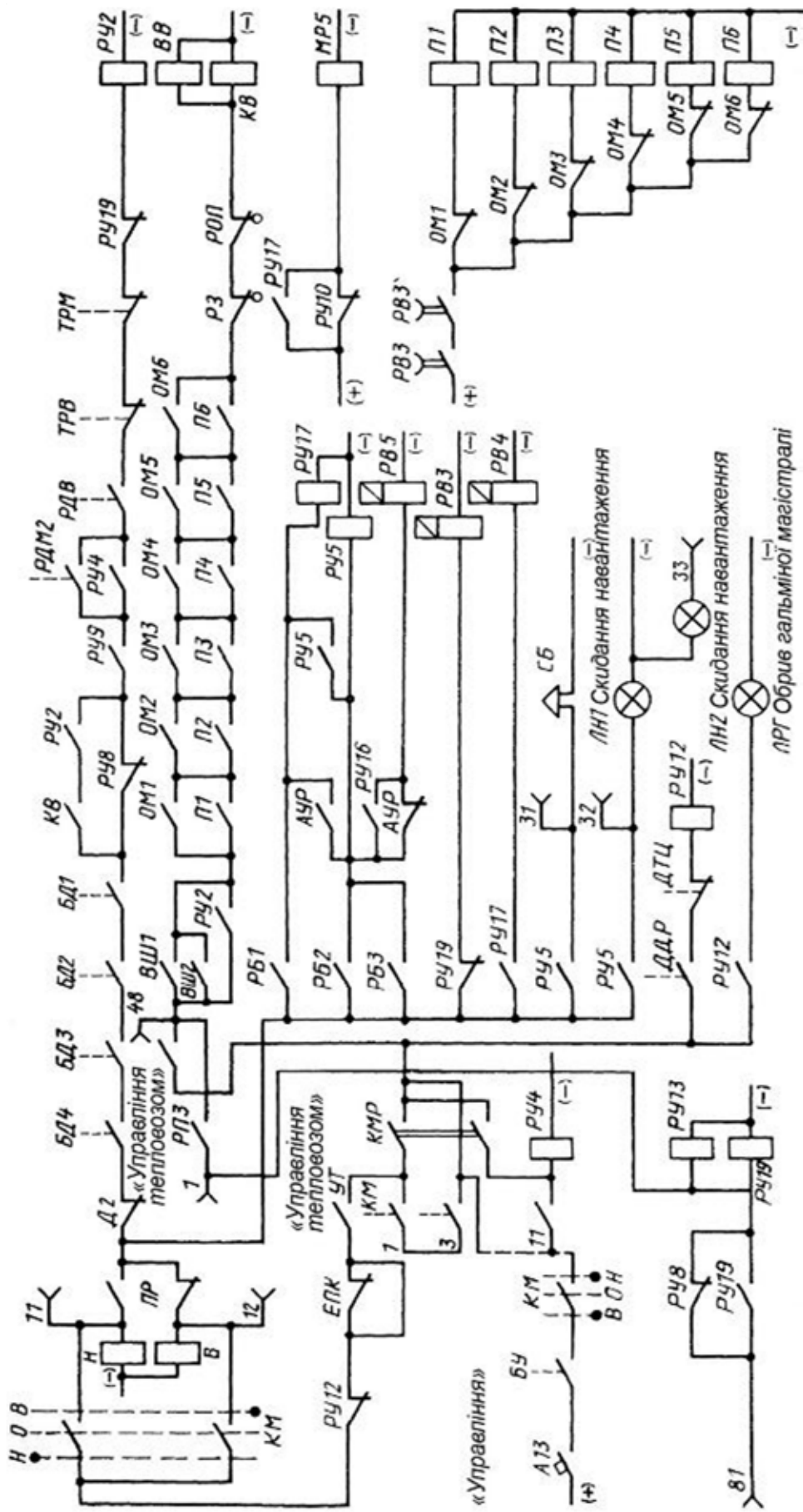


Рис. 15.7. Принципова схема управління контакторами силового тягового кола та збудження при включенні тягового режиму тепловоза серії 2ТЕ10М

Коли штурвал *КМ* перекладається у першу і наступні позиції, струм піде по колу: два послідовно з'єднаних контакту *КМ*, тумблер *УТ* «Управління тепловозом», контакт *ЕПК* електропневматичного клапана автостопа, контакт реле *РУ12*, контакт реверсивної рукоятки *КМ*. Якщо реверсивна рукоятка знаходиться в положенні «Вперед», включений нижній (на схемі) контакт, і струм йде на котушку електропневматичного вентиля реверсора *ПР* «Вперед». Коли реверсивна рукоятка встановлена в положенні «Назад», замкнуті верхні (на схемі) контакти, і струм йде на котушку вентиля реверсора *ПР* «Назад». Кулачковий вал реверсора повертається відповідно до положення переднього або заднього ходу.

Поворот кулачкового валу реверсора перемикає головні контакти, а отже, змінює напрямок струму в обмотках збудження ТЕД. Коли кулачковий вал реверсора повернеться, відбудеться перемикання його допоміжних контактів. При будь-якому положенні реверсора струм йде через його допоміжні контакти (включені лише при повному повороті кулачкового валу в кінцеве положення) на котушки реле *РВ3* і *РУ2*, і ці реле спрацюють. У колі котушки реле часу *РВ3* включений розмикаючий контакт реле управління *РУ19*. Кола від згаданих допоміжних контактів реверсора на котушку реле *РУ2* наступна: розмикаючими допоміжний контакт контактора *Д2*, контакти блокувань дверей апаратних камер *БД1–БД4*, розмикаючий контакт реле *РУ8* (і паралельно включені йому контакти контактора *КВ* і реле *РУ2*), замикаючий контакт реле *РУ9* (включений після пуску дизеля), замикаючий контакт реле *РУ4* (і паралельно включений йому контакт реле *РДМ2*), замикаючий контакт реле тиску повітря в гальмівній магістралі *РДВ*, розмикаючі контакти температурних реле *ТРВ* і *ТРМ*, розмикаючий контакт реле *РУ19*, котушка реле *РУ2*.

Через два послідовно з'єднаних замикаючих контакта реле *РВ3*, що ввімкнулися без витримки часу, струм піде через вимикачі ТЕД *ОМ1–ОМ6* на електропневматичні вентиля силових контакторів *П1–П6*, які включившись, підготують коло двигунів. Після включення контакторів *П1–П6* їх замикаючі допоміжні контакти створять коло на котушки контакторів *КВ* і *ВВ*. Коли контактори *КВ* і *ВВ* ввімкнуться, їх головні контакти замикають кола збудження генератора і збудника. Тяговий генератор починає виробляти напругу, і тепловоз рушає з місця.

При установці штурвала *КМ* під час руху на нульову позицію вимикаються контактори *КВ*, *ВВ* і відпускаються реле часу *РВ3*. Замкнуті контакти реле *РВ3* вимикаються з витримкою часу 1,5 с і з таким запізненням розривають коло котушок силових контакторів. Завдяки цьому силові контактори вимикаються після виключення контакторів *КВ*, *ВВ* т. е. при

знятій напрузі генератора, що сприяє меншому прогару їх головних контакторів.

Допоміжні контактори контакторів *П1–П6* в колі котушок контакторів *КВ* і *ВВ* необхідні для того, щоб останні включалися лише після включення силових контакторів.

Особливості кіл включення тягового режиму та управління рухом тепловозів 2ТЕ116. До нерухомих контактів *КМ* напруга стартер-генератора підводиться по колу (рис. 15.8): автомат *АУ* «Управління», контакти блокування керування гальмом *БУ*, контакт реверсивної рукоятки *КМ*, включений у положенні «Вперед» або «Назад». При повороті штурвала *КМ* на першу і наступні позиції струм потече через верхні *ДВ4* контакти *КМ*, контакт *ЕПК*, контакт рукоятки *КМ* на котушку електропневматичного вентиля реверсора «Вперед» або «Назад». Кулачковий вал реверсора повертається відповідно положення переднього і заднього ходу.

При будь-якому положенні реверсора струм йде через його допоміжні контакти (включені лише при повному повороті кулачкового валу в кінцеве положення) на котушку реле *РУ22* через включені контакти захисних реле температури масла *ТРМ3*, температури *ТРВ2*, *ТРВ1*, тиску повітря в гальмівній магістралі *РДВ*. Реле *РУ22* спрацьовує. Одночасно струм потече на котушку реле часу *РВ3* по наступному колу: допоміжні контакти автоматів *АВУ*, *1АТ*, *2АТ*, замикаючи реле *РУ22*, розмикаючи контакти реле *РУ1*, *РУ2*, *РУ8*. Реле *РВ3* спрацьовує. Через його замикаючий контакт, ввімкнувся без затримки часу, струм піде через автомат *А4* «Управління збудженням», через вимикачі ТЕД *ОМ1–ОМ6* на електропневматичні вентиля силових контакторів *П1–П6*, які ввімкнувшись підготують коло електродвигунів. При включенні силових контакторів їх замикаючі допоміжні контакти створюють коло на котушку реле *РУ5*, яке спрацьовує. При включенні замикаючого контакту реле *РУ5* створюється коло на котушки контакторів *КВ* і *ВВ* (через розмикаючі контакти реле заземлення *Р3*, обриву полюсів *РОП*, обмеження струму *РМ2*, контакти блокування дверей *БД4*, *БД5*, замикаючі контакти валоповоротного механізму *БВУ*). При включенні контакторів *КВ* і *ВВ* тяговий генератор виробляє напругу, і тепловоз рушає з місця. Електромагнітне реле часу *РВ3* з витримкою часу 0,8 с забезпечує запізнювання вмикання силових контакторів при скиданні навантаження. Допоміжні контакти контакторів *П1–П6* в колі котушки реле *РУ5* забезпечують ввімкнення контакторів *КВ* і *ВВ* лише після включення силових контакторів.

У колі котушки реле *РВ3* знаходяться паралельно включений розмикаючий контакт реле *РУ8* і замикаючі контакти контактора *КВ* і реле *РУ5*.

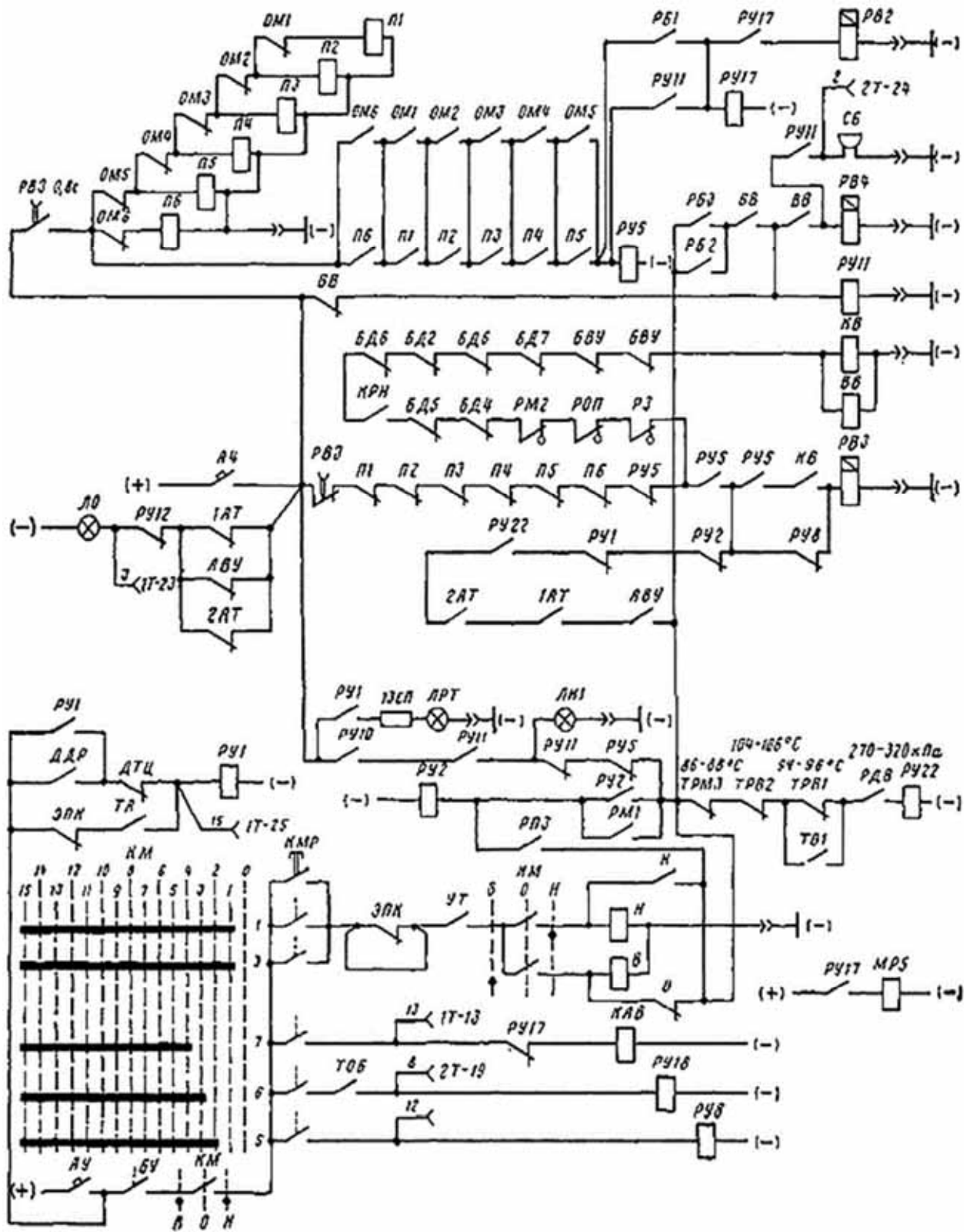


Рис. 15.8. Принципова схема управління контакторами силового тягового кола та збудження при включенні тягового режиму тепловоза серії 2ТЕ116

Розмикаючий контакт реле *PY8* включений лише на першій позиції *КМ*. Тому через цей контакт реле *PB3*, *PY5*, контактори *П1–П6*, *КВ* і *ВВ* включаються при рушанні з місця (на першій позиції). Починаючи з другої позиції, живлення зазначеного кола буде лише через контакти контактора *КВ* і реле *PY5*. Це передбачено для того, щоб не допустити включення режиму тяги на 2-й і більш високих позиціях *КМ*, наприклад при спрацюванні реле захисту або шляхом включення для зрушення з місця тумблера *УТ* «Управління тепловозом».

15.3. Особливості схем автоматики та захисту електрообладнання тепловозів 2ТЕ10М і 2ТЕ116

Захист в колі включення тягового режиму і управління рухом тепловозів. У колі контакторами збудження є декілька елементів захисту від неприпустимих засобів роботи. Ці елементи захисту вимикають контактори *КВ* і *ВВ* безпосередньо, а на тепловозах 2ТЕ10В більш пізнього випуску, на тепловозах 3ТЕ10М і 2ТЕ10М – через проміжне реле *PY2*.

Виключення контакторів *КВ* і *ВВ* в усіх випадках призводить до зняття навантаження з тягового генератора і дизеля на одній секції тепловоза, а також до включення сигнальних ламп «Скидання навантаження» на обох секціях. При цьому через розмикаючий допоміжний контакт контактора *ВВ* отримує живлення вентиль *ВП6*, який вимикає лівий ряд паливних насосів. Якщо тепловоз працював в режимі ослабленого збудження ТЕД, то при скиданні навантаження внаслідок спрацювання реле захисту можливий перехід ТЕД в короткочасний генераторний (гальмівний) режим, так само як і при постановці штурвала (рукоятки) *КМ* в нульову позицію. Для запобігання цього застосоване проміжне реле *PY2*. При спрацюванні захисту це реле відпускається, перериваючи коло на котушки контакторів *ВШ1*, *ВШ2*, і після виключення останніх вимикаються контактори *КВ* і *ВВ*.

Температурні реле в водяній системі дизеля *ТРВ* і в системі змащення *ТРМ* (або температурне реле датчиками *ТРВ* і *ТРМ*) вимикають контактори *КВ* і *ВВ* при перевищенні температури води вище 95 °С або масла вище 85 °С.

Захист від зниження тиску масла за допомогою реле *РДМ2* діє на тепловозах серії ТЕ10 на 12–15-й позиціях. Якщо при роботі на цих позиціях

тиск масла в системі впаде нижче 100–110 кПа, контакти реле *РДМ2* вимкнуться і розірвуть коло котушок контакторів *КВ* і *ВВ*.

Контакт реле тиску повітря *РДВ* розриває кола котушок контакторів *КВ* і *ВВ* при зниженні тиску в гальмівній магістралі нижче 300 кПа, тобто при екстремому або повному службовому гальмуванні, або при зрушенні з місця, поки тиск в гальмівній магістралі не перевищить 520 кПа.

При спрацюванні реле заземлення також розривається коло котушок контакторів *КВ* і *ВВ*. Контакт реле заземлення *РЗ* включений в коло котушок контакторів *КВ* і *ВВ*, тому забезпечує більшу швидкодію захисту.

На тепловозах 2ТЕ10М і 2ТЕ116 застосовується реле обриву полюсів *РОП* типу Р-45Г5-11 з котушкою на 24 В і з механічною засувкою. Котушка реле включена на вихід блоку *БДС* паралельно котушці реле *РБ1*, а розмикаючий контакт реле включений в коло котушок контакторів *КВ* і *ВВ*.

Блокування дверей апаратних камер не допускає включення напруги тягового генератора при відкритих дверях.

Контакт електропневматичного клапана *ЕПК* при спрацюванні автостопу також вимикає контактори *КВ* і *ВВ*. При спрацюванні автостопу також спрацьовує реле *РУ12*, яке своїми контактами розмикає коло котушки контакторів *КВ* і *ВВ*.

15.4. Кола управління ослабленням збудження тягових електродвигунів

На всіх сучасних тепловозах застосовується електропневматичні групові контактори ослаблення збудження тягових електродвигунів *ВШ1*, *ВШ2*. На всіх тепловозах для управління контакторами застосовуються реле переключення (переходу) *РП1*, *РП2*. При спрацюванні реле перемикування *РП1* включається груповий контактор *ВШ1* першого ступеня ослаблення збудження. При спрацюванні реле перемикування *РП2* вмикається груповий контактор *ВШ2* другого ступеня ослаблення збудження.

Всі конструкції реле перемикування (РД-3010, Р-42Б-3, Р-42Б-1) мають дві котушки – паралельну і послідовну, і за принципом дії відносяться до диференційних реле, тобто вони спрацьовують і відпускаються при визначеному співвідношенні струму і напруги котушок. Паралельна котушка реле включена (рис. 15.9) через резистор паралельно якорю генератора, і струм в ній (а отже, магнітний потік) пропорційний напрузі тягового

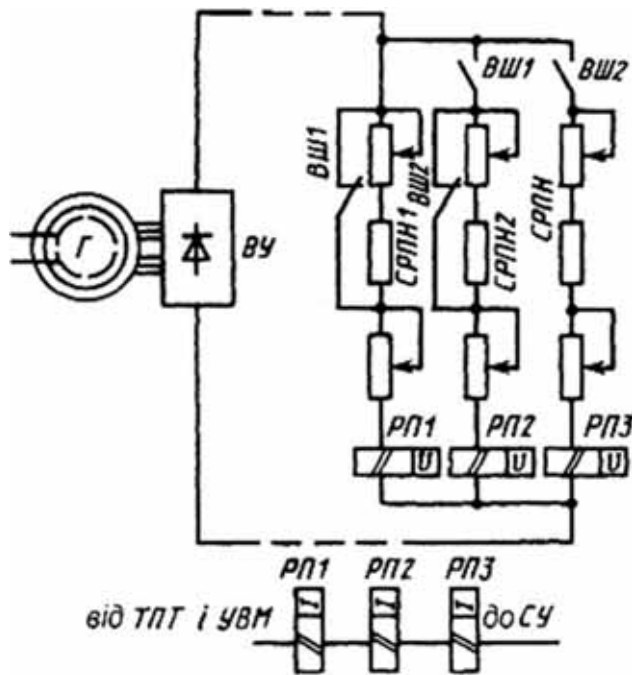


Рис. 15.9. Принципова схема вмикання котушок реле перемикачів тепловоза серії 2TE116

льної котушки. При певному значенні швидкості і відповідному відношенні напруги і струму генератора магнітний потік паралельної котушки перевищить магнітний потік послідовної котушки і силу дії пружини, що приведе до спрацювання реле. Після спрацювання реле *РП1* і включення контактора *ВШ1* розмикаючий допоміжний контакт цього контактора, вимкнувшись, вмикає додатковий резистор в коло паралельної котушки цього реле. Одночасно замикаючий допоміжний контакт контактора *ВШ1* вмикається і готує коло для спрацювання реле *РП2* і включення другого ступеня ослаблення збудження. Це реле працює аналогічно першому (рис. 15.10).

15.5. Коло реле буксування

Реле буксування на тепловозах служать для зменшення інтенсивності буксування колісних пар, а також для сигналізації машиністу про буксування. На всіх сучасних тепловозах принцип роботи реле буксування аналогічний – вони реагують на різницю частоти обертання буксуючих та небуксуючих колісних пар.

генератора. Послідовна котушка включена через стовпчик резистора паралельно обмоток додаткових полюсів тягового генератора, тому струм у цій котушці (і магнітний потік) пропорційний струму генератора. На тепловозах 2TE116 та ін. послідовні котушки реле включені на вихід вузла виділення максимального сигналу *УВМ*, і таким чином, струм у них пропорційний найбільшому струму ТГД небуксуючих колісних пар.

При збільшенні швидкості руху струм генератора зменшується, а напруга його зростає. Отже, зменшується магнітний потік послідовної котушки та збільшується магнітний потік паралельної котушки.

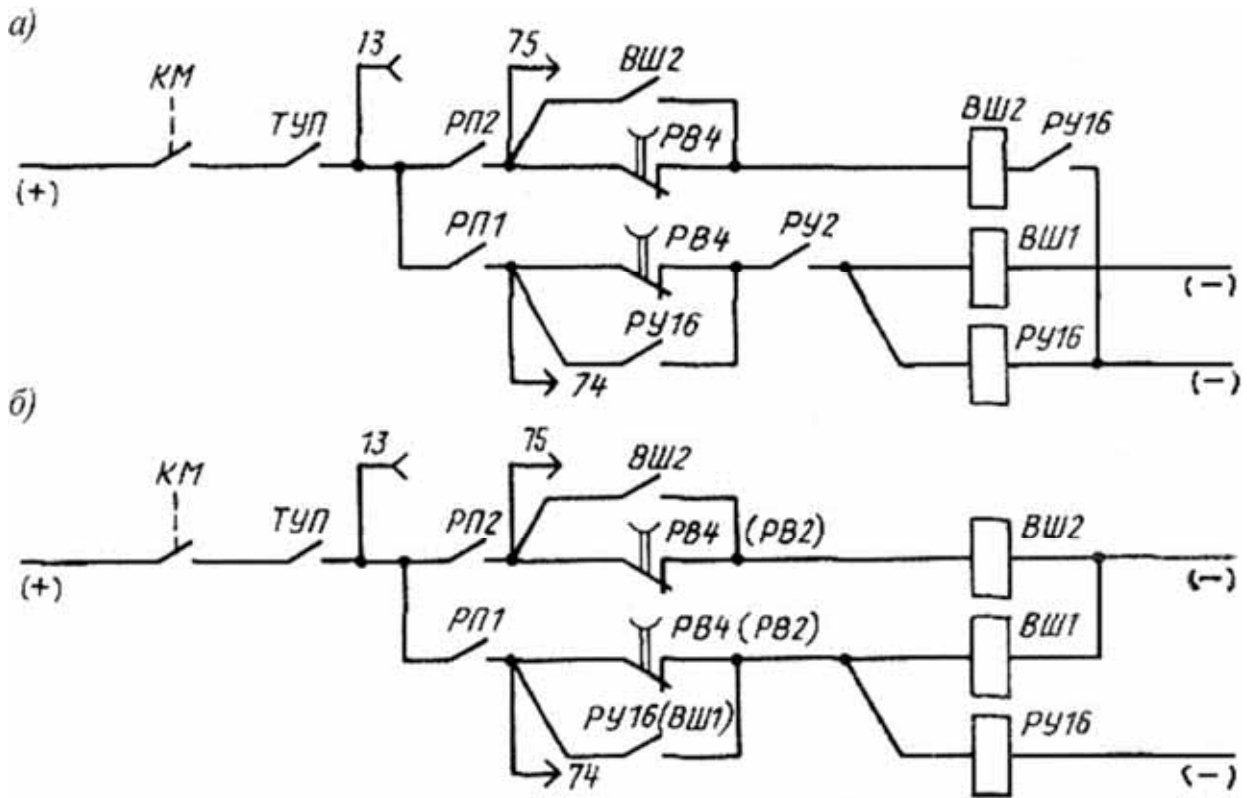


Рис. 15.10. Принципові схеми реле управління контакторами ослаблення збудження ТЕД тепловоза серії: а) 2ТЕ10М; б) 2ТЕ116

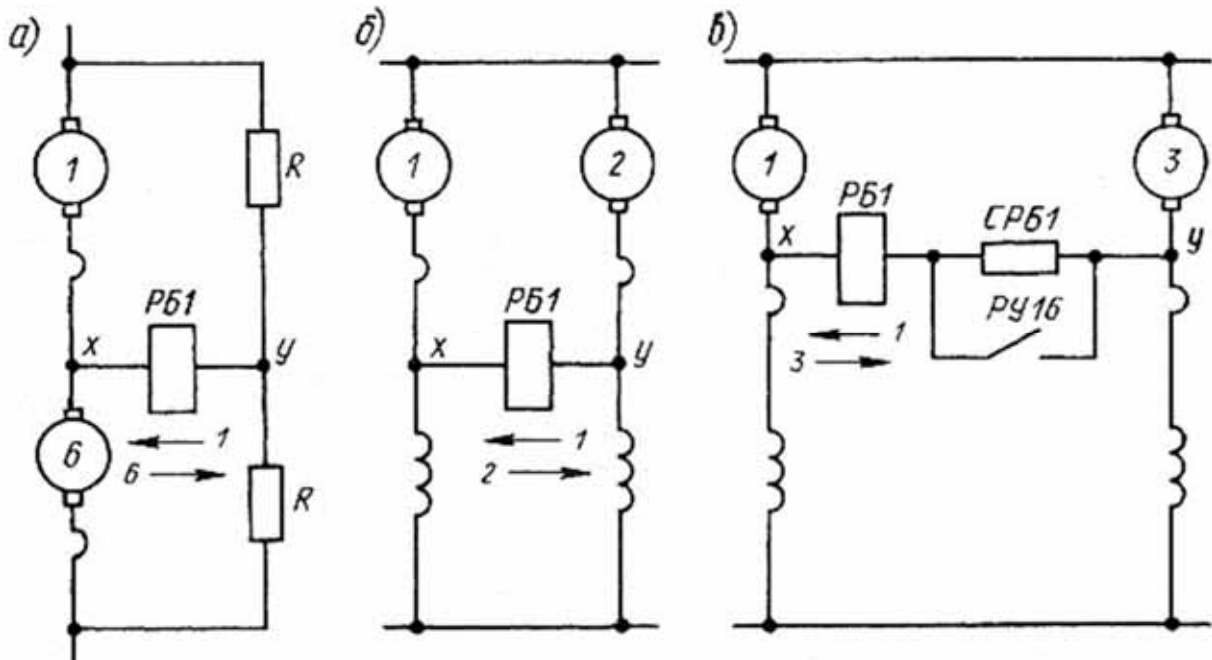


Рис. 15.11. Принципові схеми включення котушки реле буксування:
 а) при послідовному з'єднанні ТЕД; б) при паралельному з'єднанні ТЕД;
 в) на тепловозах серій 2ТЕ10В в 2ТЕ10Л з поліпшеними протибуксвальними властивостями

Контакти реле буксування включені в коло котушки контактора *ВВ*. При спрацьовуванні реле ці контакти розривають коло котушки контактора. Вмикання контактора *ВВ* зменшує збудження і потужність тягового генератора, що сприяє припиненню буксування і відпускання реле. Знову вмикається контактор *ВВ*, збільшуючи збудження і потужність.

Замикаючі контакти реле буксування створюють коло включення зумера, що попереджує машиніста про буксування колісних пар. Одночасно з цим про буксування сигналізує лампа на пульті машиніста, яка отримує живлення через розмикаючий допоміжний контакт контактора *ВВ*.

На тепловозах серій 3ТЕ10М, 2ТЕ10М і 2ТЕ10В, використовується схема з трьома реле. Спочатку при несильному буксуванні спрацьовує реле *РБ1*, при більш сильному розвиненому буксуванні – реле *РБ2*: при буксуванні в режимі послабленого збудження спрацьовує реле *РБ3* (рис. 15.12).

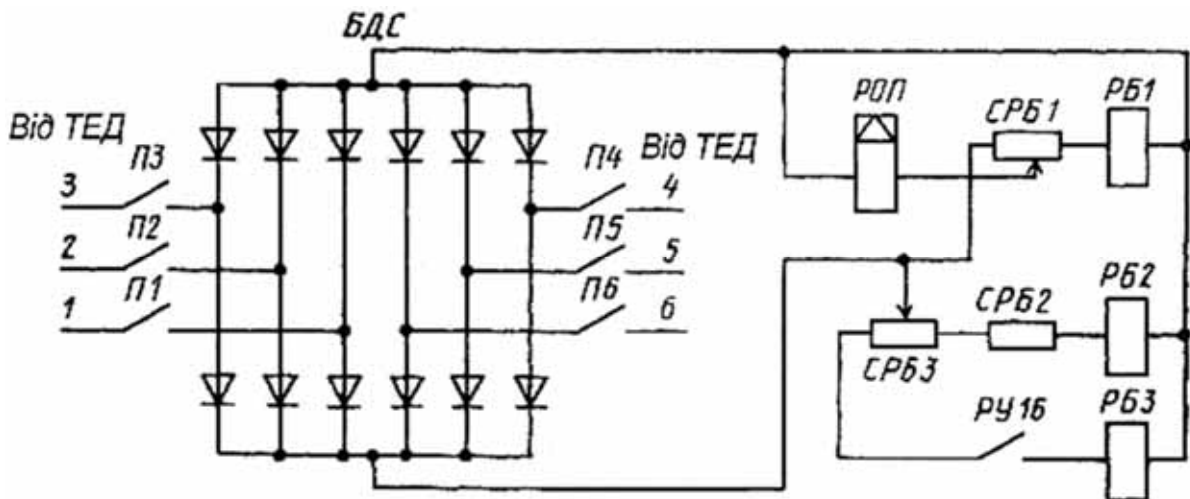


Рис. 15.12. Принципова схема вмикання котушок реле буксування *РБ1–РБ3* та реле обриву полюсів *РОП* через схему порівняння на тепловозах 2ТЕ10М та 2ТЕ116

Реле *РБ1* (тепловоз 2ТЕ10М) при спрацьовуванні своїм замикаючим контактом вмикає реле *РУ17*. Воно своїм розмикаючим контактом вмикає в колі задаючої обмотки амплістата резистор *СРН*, цим зменшується струм в цій обмотці і, в кінцевому рахунку, знижується потужність тягового генератора. Через замикаючий контакт реле *РУ17* вмикається електромагніт *МР5* регулятора, що переміщує якор індуктивного датчика в положення, коли струм регульовальної обмотки амплістата стає мінімальним. Це призводить до ще більшого зниження потужності генератора. Через інший замикаючий контакт реле *РУ17* створюється коло на котушку реле часу *РВ4*, яке, спрацьовуючи, своїм розмикаючим контактом з витримкою часу

запобігає вмиканню контакторів *VШ1*, *VШ2* в період буксування.

Недоліком розглянутих вище схем є те, що при буксуванні всіх колісних пар тепловоза (це називається розносне, або синхронне буксування) реле буксування практично не працюють, тому що їх дія заснована на порівнянні сигналів від двигунів буксуючих і небуксуючих колісних пар. Тому на тепловозах ЗТЕ10М, 2ТЕ10М, 2ТЕ10В, 2ТЕ116, що випускаються з 1980 р., застосовується реле розносного (синхронного) буксування *РПЗ*. Ці реле по конструкції, схемою вмикання та принципу дії однакові з реле перемикачів *РП1*, *РП2* (див. рис. 15.9). Коли лінійна швидкість бандажів колісних пар, які перебувають в режимі буксування, перевищить 105 км/год, струм тягового генератора знизиться, а його напруга підвищиться так, що спрацює реле *РПЗ*. На тепловозах 2ТЕ10В, ЗТЕ10М і 2ТЕ10М, що випускаються до вересня 1982 року, при вмиканні контакту цього реле зниження потужності генератора, вимикання контакторів *КВ*, *ВВ* в режимі ОП2, запобігання вмиканню контакторів *VШ1*, *VШ2* і сигналізація машиністу про буксування будуть такі ж, як і при спрацьовуванні реле *РБ2* і *РБ3*. На тепловозах ЗТЕ10М, 2ТЕ10М, що випускаються з жовтня 1982 року, спрацьовування реле *РПЗ* призводить до спрацьовування реле *РУ13* і *РУ19А*, при цьому перше реле перемикає електромагніти регулятора так, щоб дизель працював на 8-й позиції, а друге вимикає реле *РУ2* і контактори *КВ* і *ВВ*, *П1–П6* (див. рис. 15.6).

На тепловозах 2ТЕ116 спрацьовування реле *РПЗ* через реле *РУ2* вимикає контактори *КВ*, *ВВ*, призводить до відпуску реле *РВ3* і вимикання за ним контакторів *П1–П6*, відпуску реле *РУ5*. Сила тяги падає до нуля. Контактори *КВ*, *ВВ* знову вмикаються, щоб забезпечити збудження тягового генератора для живлення допоміжних асинхронних електродвигунів.

15.6. Коло реле заземлення

Реле заземлення служить для зняття навантаження з тягового генератора при заземленні в силовому тяговому колі та сигналізації про це машиністу. На більшості тепловозів застосовуються однакові реле заземлення. Котушка реле Р-45Г2-12 (рис. 15.13) включена в мінусове коло генератора через рубильник *ВР3* і через резистор *СР3*. Інший кінець кола припаяний до корпусу тепловоза. Реле Р-45Г3-11, має котушку з великим опором.

У разі заземлення в силовому тяговому колі струм від місця

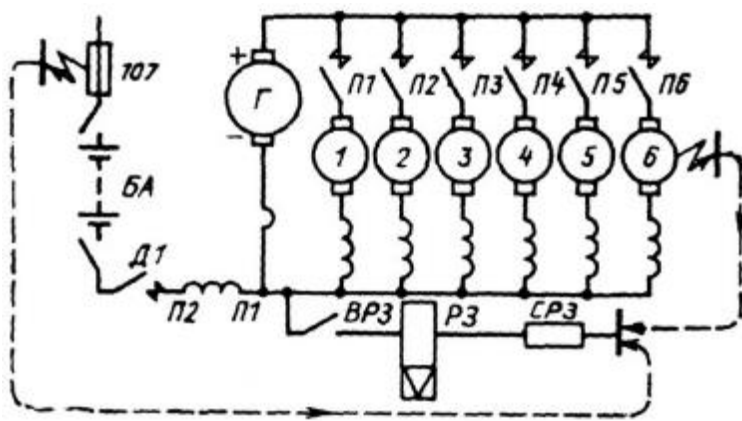


Рис. 15.13. Принципова схема включення реле заземлення Р45-Г2-12

утримується у включеному положенні засувкою. Після усунення пошкодження засувку необхідно звільнити, і реле відпуститься. Якщо явні місця ушкодження не виявлені, дозволяється їхати до найближчого депо при вимкненому реле, для чого використовується рубильник реле заземлення. На тепловозах 2ТЕ116 у січні 1980 р. і на тепловозах 2ТЕ10М у січні 1983 р. встановлена дослідна партія реле захисту від заземлення РМ-1110 з штучною нульовою точкою та асиметричним дільником напруги (рис. 15.14). Такі реле стали застосовуватися серійно на тепловозах 2ТЕ116, 2ТЕ10М, 3ТЕ10М.

заземлення по корпусу надходить у коло реле через припаяний до корпусу кінець кола і йде на мінус тягового генератора. Коли струм досягне 10 А, реле спрацює і розмикаючим контактом розірве коло котушок контакторів збудження тягового генератора та збудника. При спрацьовуванні реле заземлення його якір

15.7. Електричний привід компресора тепловозів 2ТЕ116

Кола електродвигуна компресора (силові і управління). Компресор має привід від електродвигуна постійного струму, який отримує живлення від стартер-генератора. Застосований найбільш простий реостатний пуск компресора (рис. 15.15). Сутність реостатного пуску полягає в тому, що в момент підключення електродвигуна компресора до стартер-генератору через контактор *КДК* в коло якоря включається резистор *СПК*, який через витримку часу шунтується контактом контактора *КУДК*. Пуск електродвигуна компресора можливий лише при працюючому дизелі, коли включений контактор *КРН*. Для включення кола повинен бути включений автомат *А5 «Компресор»*.

На тепловозі 2ТЕ116 потрібно включити тумблер *ТРК* реле тиску повітря компресора *РДК* (див. рис. 15.15). При зниженні тиску повітря в

головних резервуарах до 750 ± 20 кПа включається контакт реле $PДК$ і створюється коло на котушку реле $PУ24$, яке спрацьовує. При спрацьовуванні реле $PУ24$ через його замикає контакт створюється коло на котушку реле часу $PВ1$, яке спрацьовує і своїм розмикальним контактом розриває коло на котушку контактора $КУДК$, а замикаючим контактом створює коло на котушку контактора $КДК$, який вмикається.

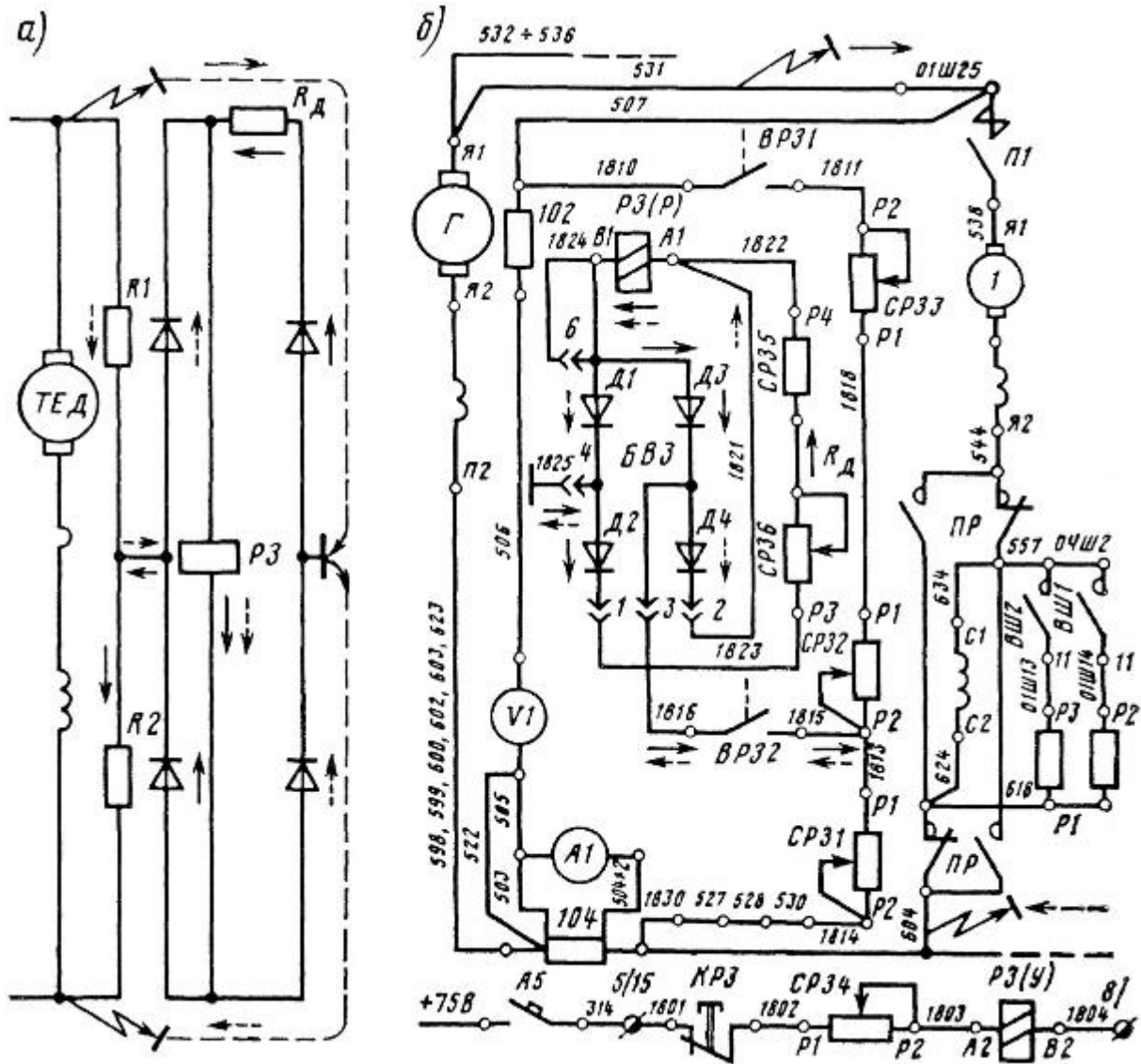


Рис. 15.14. Схема включення реле заземлення РМ-110:
а) принципова; б) принципово-монтажна

Таким чином, напруга стартер-генератора підводиться до електродвигуна компресора: знижена на резисторі $СПК$ – до якоря і повна – до паралельній обмотці збудження. Одночасно напруга підводиться до котушки

електропневматичного вентиля *ВР*, який подає повітря для відкриття розвантажувальних клапанів циліндрів компресора, полегшуючи пуск.

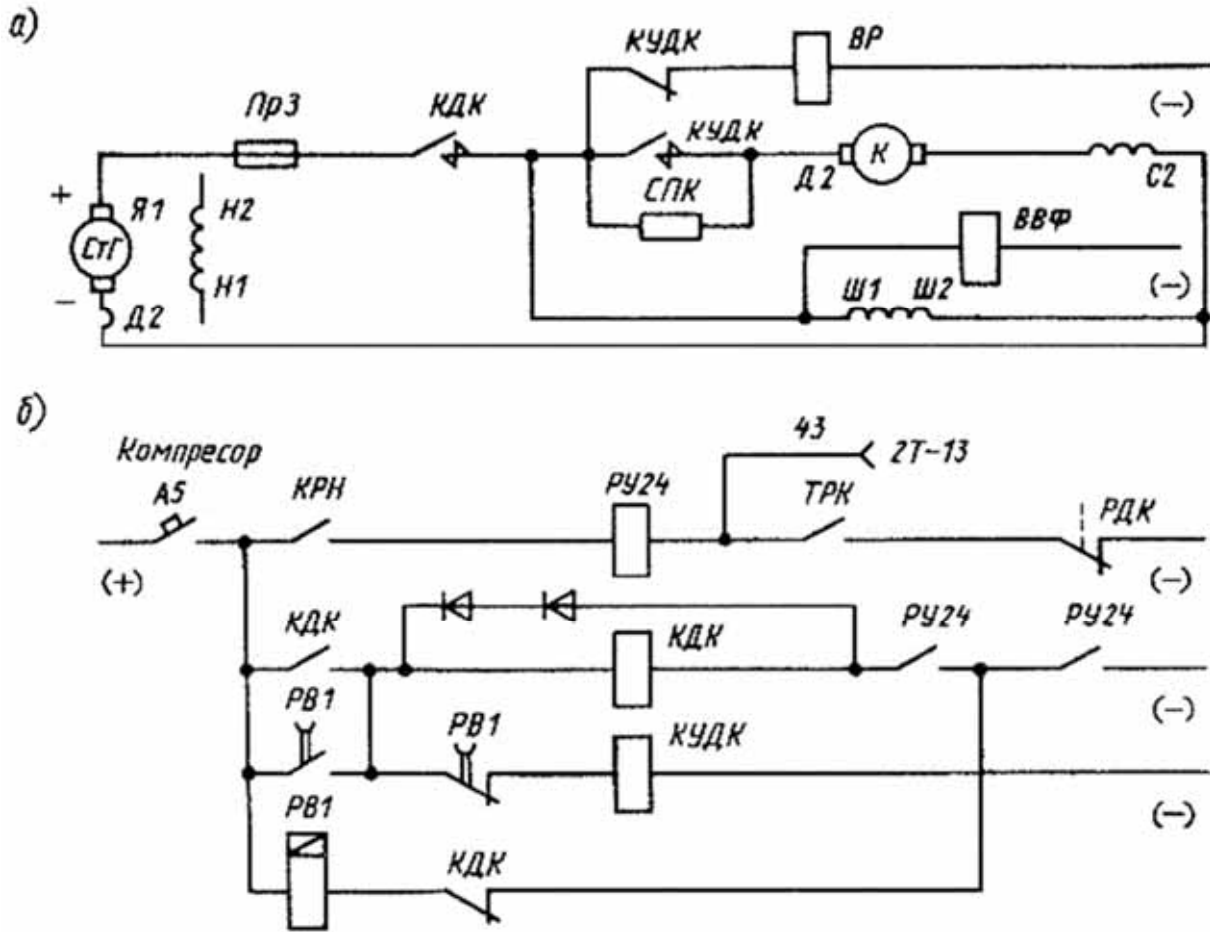


Рис. 15.15. Принципова схема управління електродвигуном компресора тепловоза серії 2ТЕ116:

а) силове коло; б) коло управління

При включенні контактора *КДК* його замикаючий допоміжний контакт забезпечує ланцюг «саможивлення» котушки контактора, а розмикаючий допоміжний контакт перериває коло на котушку реле часу *РВ1*. Через встановлену витримку часу 1,8–2,2 с, включиться розмикаючий контакт цього реле і за ним включиться контактор *КУДК*. До моменту включення контактора *КУДК* частота обертання якоря становить 1100–1200 хв⁻¹, а при шунтуванні резистора *СПК* головними контактами контактора *КУДК* частота обертання збільшується до 1380–1400 хв⁻¹. Розмикаючий контакт контактора *КУДК* розриває коло на котушку вентиля *ВР*, відключаючи розвантаження компресора. Компресор починає працювати, збільшуючи тиск повітря в головних резервуарах. Коли цей тиск

досягне значення 900 ± 24 кПа, вимикаються контакт реле РДК, реле РУ24 і контактори КДК, КУДК. Система підготовлена до наступного пуску. Процес пуску компресора повторюється при зниженні тиску в головних резервуарах до 750 ± 20 кПа, коли знову замикаються контакти реле РДК.

Запитання до самоконтролю

1. *Загальні принципи конструювання схем.*
2. *Характеристика схем прискорення гасіння електромагнітної енергії.*
3. *Порядок вивчення електричних схем.*
4. *Аналіз схеми включення електродвигуна паливопідкачуючого насоса тепловозів 2ТЕ10М.*
5. *Аналіз схеми автоматичного управління пуском дизеля тепловоза серії 2ТЕ10М.*
6. *Аналіз схеми автоматичного управління пуском дизеля тепловоза серії 2ТЕ116.*
7. *Аналіз схеми кіл зміни частоти обертання валів дизелів тепловоза серії 2ТЕ10Л.*
8. *Аналіз схеми кіл зміни частоти обертання валів дизеля тепловоза серій 2ТЕ10М.*
9. *Аналіз схема управління контакторами силового тягового кола та збудження при включенні тягового режиму тепловоза серії 2ТЕ10М.*
10. *Аналіз схеми управління контакторами силового тягового кола та збудження при включенні тягового режиму тепловоза серії 2ТЕ116.*
11. *Особливості схем автоматики та захисту електрообладнання тепловозів 2ТЕ10М і 2ТЕ116.*
12. *Аналіз схеми вмикання котушок реле перемикання тепловоза серії 2ТЕ116.*
13. *Аналіз схеми реле управління контакторами ослаблення збудження ТЕД тепловозів.*
14. *Аналіз схем включення котушки реле буксування.*
15. *Особливості схем включення реле заземлення.*

УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ СУЧАСНИХ ТЕПЛОВОЗІВ

16.1. Системи управління та регулювання тепловозів на базі мікропроцесорної техніки

Поняття про інтегральні схеми. Прискоренню науково-технічного прогресу сприяє впровадження мікроелектроніки в усі галузі народного господарства. Процес ускладнення технічних рішень супроводжується збільшенням числа різних електронних пристроїв, що призводить до зниження надійності розроблюємих систем. Підвищити надійність можна зменшенням числа елементів, які входять в систему та з'єднань між ними. Використовувати процес інтеграції, що полягає в об'єднанні в одному складному мікроелементі ряду найпростіших приладів (транзисторів, діодів, резисторів, конденсаторів та ін.). Такі мікроелектронні пристрої називали інтегральними мікросхемами (ІС).

Інтегральні мікросхеми мають високу надійність, невеликі габаритні розміри і масу, споживають дуже малу потужність.

Складність мікросхем визначається рівнем інтеграції. Спочатку з'явилися інтегральні схеми з малим рівнем інтеграції ІС (10–20 компонентів в кристалі), які використовуються для створення простих логічних елементів, потім із середнім СІС (100 і більше компонентів). Ці мікросхеми працюють в режимі тригерів, суматорів і регістрів.

Великі інтегральні схеми – ВІС (більше 1000 компонентів) – використовуються в якості запам'ятовуючих і арифметично-логічних пристроїв. Надвеликі схеми – НВІС (десятки тисяч компонентів) – включають мікропроцесори та мікроЕОМ. При створенні ВІС використовуються МДН-структури: М (метал), Д (діелектрик), Н (напівпровідник), що забезпечують більш просте виготовлення, більшу надійність і збільшення ступеня інтеграції. При виготовленні ВІС дуже складно з'єднувати між собою велику кількість елементів в одному кристалі або на одній підкладці, тому в ряді випадків з'єднання виробляють по багаторівневій системі.

Необхідність створення високоефективних цифрових пристроїв на інтегральних схемах привела до розробки програмованих універсальних ВІС, що одержали назву мікропроцесорів (МП).

Мікропроцесор – це центральна частина обчислювальної системи, що складається з декількох ВІС або однієї надвеликої інтегральної системи НВІС, яка може містити в одному кристалі (розміром $5 \times 5 \times 0,2$ мм) кілька десятків тисяч транзисторів і включає в себе пристрій управління та операційний арифметико-логічний пристрій. Мікропроцесор управляє введенням і виведенням інформації, обробляє її, координує дії різних частин пристрою, виробляє і передає керуючі сигнали в зовнішні кола (виконавчі пристрої).

Поняття про мікроЕОМ. Вхідна інформація в мікропроцесорні пристрої повинна бути представлена комбінаціями двійкових цифр (одиниць і нулів) – бітів. Група бітів називається машинним словом, довжина якого визначається розрядністю мікропроцесора (зазвичай 4, 8, 16 або 32 двійкових розрядів), що характеризує його можливості і сферу застосування. МікроЕОМ складається з генератора синхронізуючих імпульсів, мікропроцесора МП, пам'яті і пристроїв введення-виведення інформації. Пам'ять служить для запису програм і необхідних даних.

Комплекс мікропроцесорної системи автоматичного контролю управління та технічної діагностики. Для поліпшення тягових і економічних показників тепловозів застосована комплексна мікропроцесорна система автоматичного контролю, управління та технічної діагностики (МСКУ) для магістральних і маневрових тепловозів з електричною передачею. Комплекс МСКУ побудований за багаторівневою системою і складається з програм, апаратно і конструктивно сумісних систем (підсистем) з управління тепловозом і режимом руху поїзда, об'єднаного регулювання та захистів дизеля, регулювання тягової електричної передачі і вбудованого діагностичного пристрою.

Уніфікована система тепловозної автоматики (УСТА). Значним кроком вперед у процесі впровадження мікропроцесорної техніки на локомотивах є система автоматичного регулювання напруги тягового генератора тепловоза типу УСТА.

Керуюча програма, яка зберігається на спеціальній енергонезалежній інтегральній мікросхемі, робить аналіз сигналів датчиків: напруги та струму тягового генератора, напруги кіл управління, частоти обертання колінчастого вала дизеля і положення рейок паливних насосів високого тиску, а також дискретних сигналів: положення рукоятки контролера *MP1–MP4*, стану реле *PУ5*, контакторів *KB*, *КДК*, *ВШ1* і *ВШ2* і тумблера управління переходами *ТУП*. В результаті цього аналізу виробляється

керуючий вплив па зміну струму обмоток збудження синхронного збудника (тепловози 2ТЕ116) або збудника (тепловози 2ТЕ10М), а також стартера-генератора (тепловози 2ТЕ116) або допоміжного генератора (тепловози 2ТЕ10М). Струм обмоток збудження змінюється за допомогою двох широтно-імпульсних модуляторів (*ШИМ1* і *ШИМ2*).

Система УСТА здійснює включення декількох електричних апаратів в схемі тепловоза. Це контактори ослаблення збудження *ВШ1* і *ВШ2*, реле *РУ16* – перехід на електронну або штатну систему регулювання напруги кіл управління і захисного реле *РМ1*.

При проектуванні системи УСТА відмовилися від застосування багатофункціональних блоків і модулів промислової автоматики, створивши спеціалізований мікропроцесорний пристрій, призначений для експлуатації на всіх серіях тепловозів.

Будь-яка мікропроцесорна система автоматичного регулювання (МП САР) включає в себе чітко виражені як функціонально, так і конструктивно три складові частини (підсистеми): обчислювальну, інтерфейсну та підсистему електроживлення (рис. 16.1).

Апаратура мікропроцесорних систем автоматичного регулювання здійснює введення інформації від датчиків або командних пристроїв, логічну обробку цієї інформації в заданій послідовності і вивід отриманих результатів для управління виконавчими пристроями. Завдання, які вирішуються кожним конкретним пристроєм, визначаються алгоритмом його роботи. Послідовність виконання операцій – програма роботи – закладається в структуру електричної схеми і зв'язки між програмними і апаратними засобами – електронними та електромеханічними елементами, що входять до складу системи. Практика створення мікропроцесорних автоматичних систем підтвердила доцільність їх виконання у вигляді спеціалізованих модулів, проблемно і функціонально орієнтованих в рамках певних завдань, алгоритмів і функцій. Під модулем у даному випадку розуміється конструктивно закінчений пристрій, що дозволяє самостійно або в сукупності з іншими модулями вирішувати обчислювальні або управляючі завдання.

Система УСТА є класичним представником мікропроцесорних систем автоматичного регулювання. Її структура повністю відповідає схемі, представленій на рис. 16.1. Конструктивно система виконана у вигляді маючого модульну конструкцію блоку регулювання (БР) і набору датчиків (рис. 16.2 – 16.3), кількість яких залежить від варіанту виконання системи.

Обчислювальна частина системи УСТА являє собою модуль процесора ПР (рис. 16.4), в якому розташовується мікроЕОМ, що представляє собою кристал великої або надвеликої інтегральної мікросхеми, яка

містить всі логічні елементи, необхідні для утворення повноцінної обчислювальної системи. Вона призначена для обробки числової інформації про стан об'єкта регулювання та визначення необхідних управляючих впливів на об'єкт. Обчислювальний пристрій МП САР оперує не фізичними величинами, що характеризують стан об'єкта, а їх числовими уявленнями.

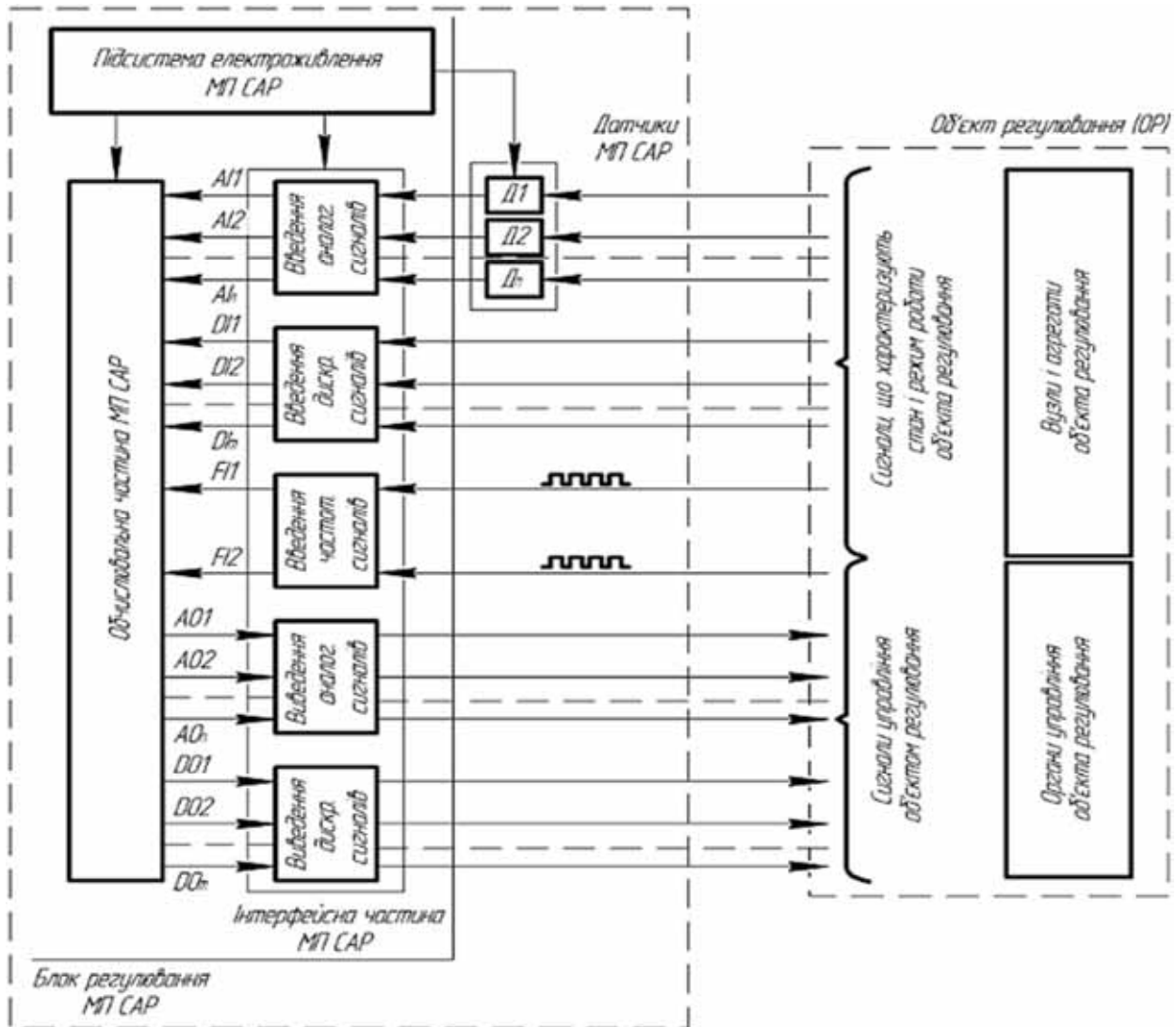


Рис. 16.1. Структурна схема мікропроцесорної системи автоматичного регулювання

Висока швидкодія обчислювальної частини дозволяє виконувати весь цикл управляючої програми за короткий проміжок часу, в системі УСТА він становить 0,01 с, тобто управляюча програма виконується 100 разів на секунду. Управляючою програмою називається циклічно замкнута, безперервно виконувана обчислювальною частиною системи

послідовність операцій, що забезпечує певний порядок взаємодії мікропроцесорної системи регулювання з об'єктом регулювання.

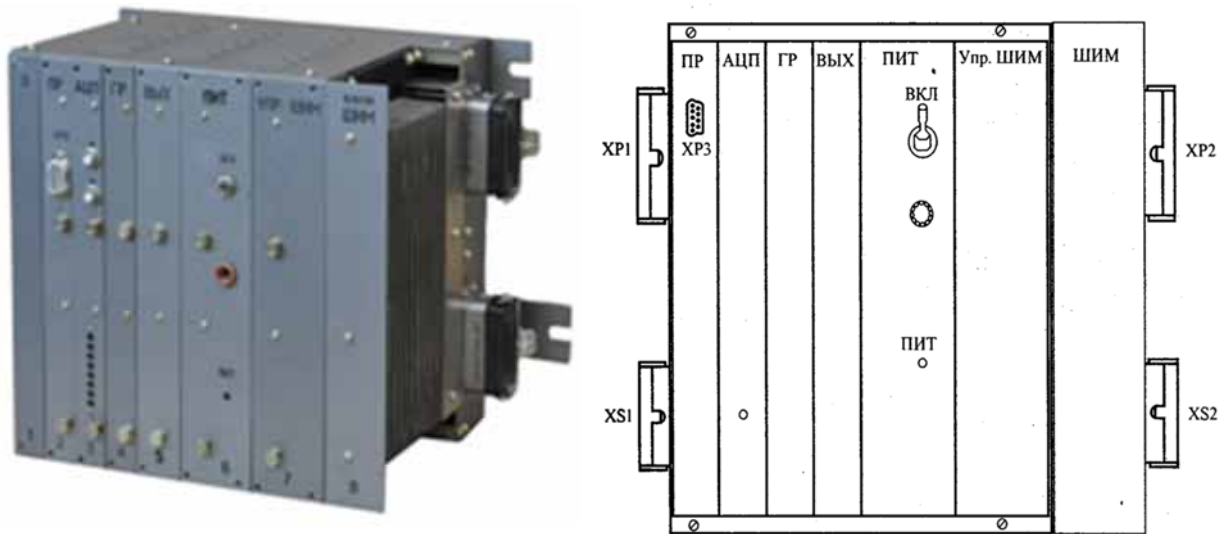


Рис. 16.2. Блок регулювання системи УСТА

Інтерфейсна частина системи включає засоби введення аналогових, дискретних і частотних сигналів, засоби виведення дискретних і аналогових управляючих сигналів. Вона представлена п'ятьма модулями: модулем аналого-цифрового перетворювача (АЦП), модулем введення дискретних сигналів (ГР), модулем вихідних ключів (ВИХ), модулем управління широтно-імпульсним модулятором (Упр.ШИМ) і модулем силових ключів (ШИМ) і призначена для забезпечення зв'язку обчислювальної частини системи з об'єктом регулювання.

До інтерфейсної частини системи відносяться також датчики, які забезпечують первинне перетворення аналогових сигналів, що характеризують режим роботи дизель-генераторної установки тепловоза.

Для передачі електричного сигналу між гальванічно розв'язаними колами найчастіше використовується або енергія магнітного поля (трансформаторна розв'язка, рис. 16.5, а), чи енергія випромінювання (оптронна розв'язка, рис. 16.5, б). Гальванічна розв'язка високовольтних (об'єкта регулювання) і низьковольтних (обчислювального пристрою МП САР) кіл призначена для виключення пошкодження останніх піковими викидами напруги, завжди присутніми в колах, комутуючих індуктивні навантаження (котушки реле, контакторів і електропневматичних вентилів). Вона є необхідною умовою надійної роботи обчислювального пристрою МП САР.

а)



б)

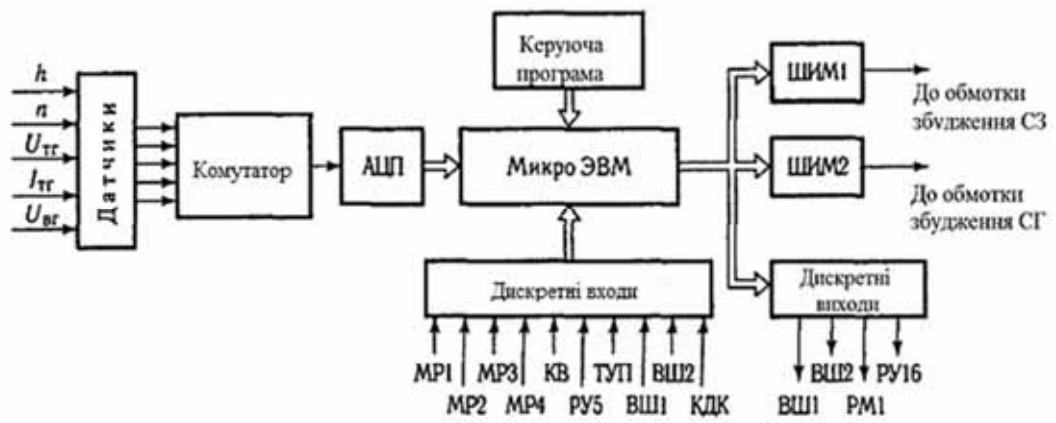
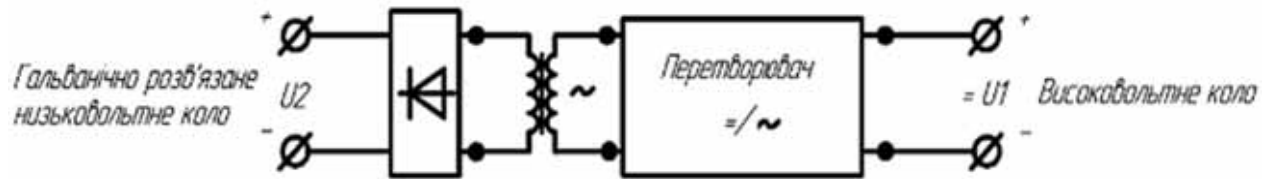


Рис. 16.3. Вимірювальні датчики ЕП-2716 (а) та структурна схема системи УСТА (б)



Рис. 16.4. Плата модуля процесора ПР

а)



б)

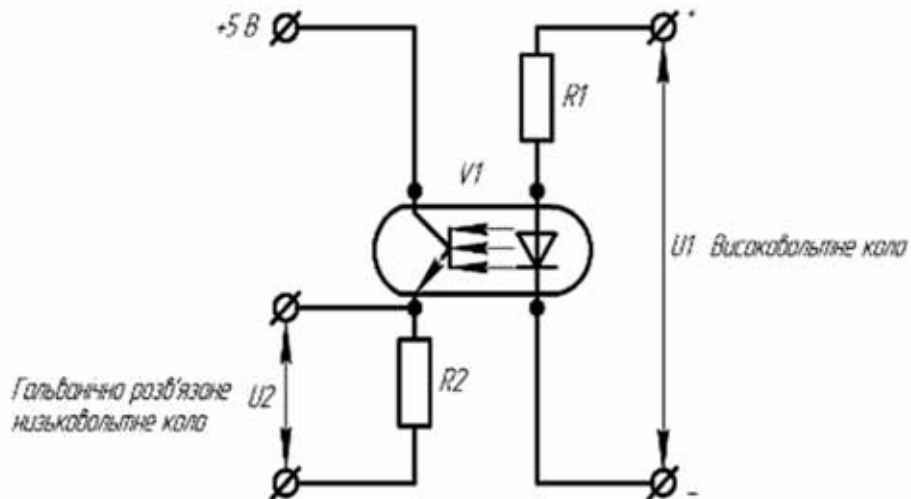


Рис. 16.5. Схема гальванічної розв'язки:
а) трансформаторна; б) оптронна

Підсистема електроживлення призначена для формування напруг живлення, необхідних для роботи всіх складових частин МП САР. Ця підсистема обов'язково присутня в бортових системах регулювання силових установок тепловозів, оскільки бортові мережі останніх не пристосовані для живлення подібних пристроїв. Логіка роботи МП САР, тобто порядок її взаємодії з об'єктом регулювання, повністю визначається управляючою програмою обчислювальної частини системи.

Засоби введення аналогових сигналів. В системі УСТА дані засоби представлені модулем аналого-цифрового перетворювача, який працює в тісній взаємодії з датчиками аналогових величин. Модуль АЦП перетворює в числовий (цифровий) вид аналогові сигнали, що характеризують стан дизель-генераторної установки тепловоза (струм і напруга тягового генератора, напруга бортової мережі, вихід рейок паливних насосів високого тиску, вихідна напруга блоку діодів порівняння (БДС) протибоксуючого захисту). Конструкція модуля АЦП системи УСТА забезпечує можливість роботи з 16-ю аналоговими сигналами, всі електричні величини в УСТА вимірюються датчиками одного і того ж типу –вимірювальними перетворювачами напруги і струму типу ЕП2716 (див. рис. 16.3). Вони

перетворюють вхідну напругу (0–75 мВ, 0–150 В, 0–1000 В або 0–1500 В – в залежності від того, до яких затискачів на корпусі датчика вона підключається) у струм 0–5 мА вихідного кола датчика, в який підключено резистор 1 кОм, розміщений на платі модуля АЦП. Падіння напруги на цьому резисторі (0–5 В) і буде вхідним сигналом для відповідного каналу аналогово-цифрового перетворювача. Живляться всі датчики аналогових сигналів формованою в модулі БП однополярною стабілізованою напругою ± 15 В.



Рис. 16.6. Плата модуля ГР

Засоби введення дискретних (релейних) сигналів. Оскільки управління силовою установкою тепловоза здійснюється релейною електричною схемою, інформація про стан її реле і контакторів, одержувана обчислювальною частиною системи УСТА за допомогою засобів введення дискретних сигналів, надзвичайно важлива для її коректної роботи. Сутність більшості несправностей системи, які зустрічаються в процесі експлуатації, полягає саме у тому, що внаслідок відмови цих засобів її обчислювальна частина невірно визначає поточний і заданий машиністом режим роботи тепловоза і, як наслідок, формує управляючі впливи, неадекватні реальним умовам роботи силової установки. Тому

чітке уявлення про роботу засобів введення дискретних сигналів є необхідною умовою успішної роботи з виявлення та усунення несправностей системи УСТА.

Засоби введення дискретних сигналів представлені в системі модулем гальванічних розв'язок (ГР). Його конструкція дозволяє контролювати 16 високовольтних (+110 В) однополярних сигналів, тобто модуль має 16 каналів введення дискретних сигналів (рис. 16.6). Схема всіх каналів абсолютно однакова і в спрощеному вигляді представлена на рис. 16.7.

При відсутності високої напруги на входах 1–3 вихідний транзистор оптрона DA1 закритий, на його колекторі присутня напруга +5 В, яка і являє собою вихідну напругу даного каналу. За наявності напруги +110 В на входах 1–3 канала по світлодіоду оптрона DA1 тече струм, його

транзистор відкривається і з'єднує колектор із загальною шиною живлення, в результаті чого вихідна напруга каналу стає близькою до нуля.

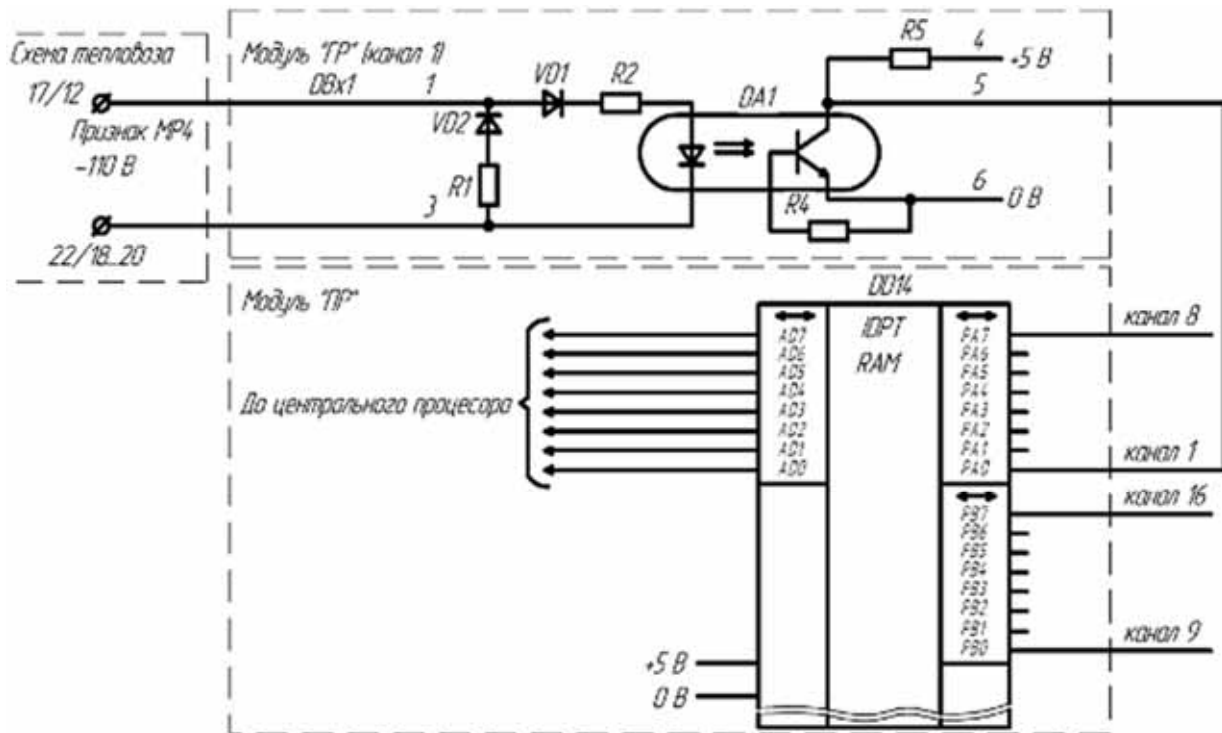


Рис. 16.7. Спрощена схема каналу введення дискретних сигналів

Засоби введення частотних сигналів. В системі УСТА передбачено два канали вимірювання частоти, тобто система може контролювати два частотних сигнали. Один з них – частота обертання колінчастого вала дизеля, яка вимірюється першим каналом, другий канал не задіяний. В якості вхідного сигналу для кожного з каналів може використовуватися вихідна синусоїдальна напруга тахогенераторів та інших машин змінного струму, найчастіше вживаних як датчики частоти. Як джерело змінної напруги використовується вихідна напруга синхронного збуджувача, яка за допомогою трансформатора ТР знижується до 15–20 В (при напрузі на виході збуджувача 400 В). Вхідний сигнал надходить в модуль Упр. ШИМ, де він перетворюється в гальванічно розв'язаний від зовнішніх кіл сигнал, який являє собою послідовність прямокутних однополярних імпульсів з амплітудою 5 В (так званий меандр). Цей сигнал надходить в модуль ПР, де і визначається частота проходження імпульсів, пропорційна частоті обертання ротора синхронного збуджувача, а, отже, і частоті обертання колінчастого вала дизеля.

Засоби виведення аналогових управляючих сигналів. Аналогові сигнали використовуються в системі УСТА для безступеневого регулю-

вання струму збудження синхронного збуджувача і струму збудження стартер-генератора. Конструктивно два абсолютно однакових по конструкції канали виведення управляючих аналогових сигналів системи УСТА виконані у вигляді двох модулів – модуля управління широтно-імпульсним модулятором (Упр. ШИМ) і модуля ключів широтно-імпульсного модулятора (ШИМ), (рис. 16.8).



Рис. 16.8. Плата модулів
Упр. ШИМ та ШИМ



Рис. 16.9. Плата модуля вихідних
ключів ВІХ

Засоби виведення дискретних управляючих сигналів. Дискретні управляючі сигнали використовуються в системі УСТА для управління роботою електричних апаратів схеми тепловоза. Засоби виводу цих сигналів представлені в системі модулем «ВІХ» вихідних ключів. В конструкції цього модуля реалізовані 10 однакових силових ключів, тобто 10 каналів виведення дискретних управляючих сигналів (рис. 16.9).

Спрощена схема одного з них – першого каналу – представлена на рис. 16.10. За наявності високого рівня (5 В) управляючого сигналу на вході 1 інвертора DD1.1 на його виході 2 присутній низький (0 В) рівень сигналу. Через світлодіод оптопари DA1 протікає струм, внаслідок чого її транзистор відкривається і шунтує управляючий перехід «затвор – стік» транзистора VT1, що призводить до його закриття.

Таким чином, при наявності управляючого сигналу на вході ключа він закритий, навантаження (у даному випадку котушка контактора ВШ1) знеструмлене. При подачі з модуля ПР управляючого сигналу низького рівня (0 В) на вхід 1 ключа напруга на виході 2 інвертора DD1.1 стає рів-

ним 5 В, транзистор оптопарі закривається і на затвор транзистора VT1 через резистор R2 надходить напруга живлення (+12 В), що призводить до його відкриття і подачі високої напруги (110 В) на навантаження.

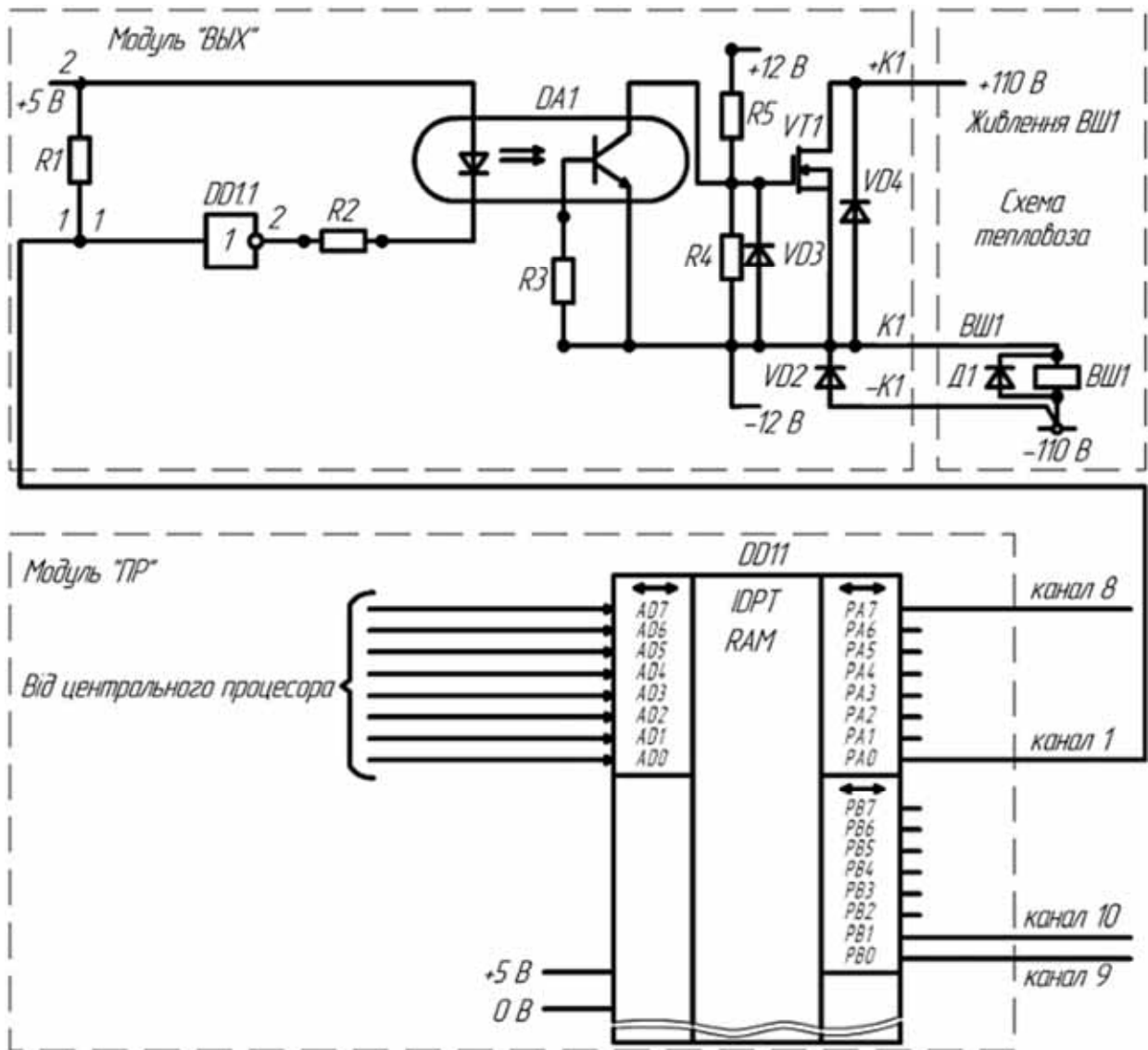


Рис. 16.10. Спрощена схема каналу виведення дискретного управляючого сигналу

Кола живлення системи УСТА. Напруги для живлення внутрішніх кіл всіх модулів системи УСТА та її датчиків формуються спеціальним модулем живлення ПИТ (рис. 16.11). Він перетворює вхідну напругу 110 або 75 В постійного струму (залежно від того, на якій контакт зовнішнього роз'єму вона подається, а також від положення спеціальних перемичок всередині модуля) з допустимим відхиленням від +20 до -30 % у наступні напруги:



Рис. 16.11. Плата модуля живлення ПИТ

- 0...+5 В з навантажувальною здатністю 1 А – для живлення кіл модулів ПР, АЦП, ГР, ВИХ, Упр. ШИМ;
- 0...+15 В з навантажувальною здатністю 0,15 А – для живлення модулів АЦП і ПР;
- 0...+15 В з навантажувальною здатністю 0,25 А – для живлення модуля АЦП;
- ± 15 В з навантажувальною здатністю 1 А – для живлення датчиків ДЛП і ПИНТ;
- змінну напругу з амплітудою 5 В і частотою 1 кГц – для живлення кола індуктивного датчика;
- змінну напругу з амплітудою 12 В і частотою 40 кГц – для живлення модулів ВИХ і Упр. ШИМ.

Оскільки при пуску дизеля напруга акумуляторної батареї падає нижче мінімально допустимої величини, забезпечити необхідну якість електроживлення системи в цьому режимі модуль живлення не в змозі. З цієї причини напруга бортової мережі на нього подається тільки після закінчення запуску і включення контактора КРН.

16.2. Сучасні магістральні тепловози з тяговими електричними машинами змінного струму

Перед локомотивобудуванням було поставлено завдання підвищення потужності тепловозів і збільшення їх швидкостей. Підвищення потужності тепловозів вимагає зменшення маси локомотива на одиницю потужності. Зниження маси досягнуто шляхом удосконалення конструкції тепловоза в цілому і його окремих агрегатів. Чималу роль зіграло зниження маси електричних машин, яке зумовлену поліпшенням конструкції, підвищенням електричних і магнітних навантажень і збільшенням частоти обертання якоря. Виготовлення генераторів постійного струму обмежено вимогою поєднання потужності і частоти обертання, які визначаються умовами комутації і нагрівання. Подальше підвищення потужності дизелів до 2940–4400 кВт вимагало створення потужних тягових генераторів

практично в тих же габаритних розмірах.

Пасажи́рський тепловоз ТЕП150 – магістральний, шестіосний, од-носексійний, двухкабінний пасажирський тепловоз з електричною передачею змінно – постійного струму з поосним регулюванням дотичної сили тяги (рис. 16.12), виробництва Луганського тепловозобудівного заводу.

Тепловоз ТЕП150 є подальшим розвитком модельного ряду пасажирських тепловозів. Призначений для водіння та енергопостачання пасажирських поїздів в умовах помірною клімату на залізницях колії 1520 мм. Для залізниць України виготовлено та поставлено чотири таких тепловоза.



Рис. 16.12. Пасажи́рський тепловоз ТЕП150

Технічна характеристика тепловоза ТЕП150 наведена у табл. 16.1.

Тепловоз 2ТЕ116У – вантажний магістральний тепловоз (рис. 16.13) змінно-постійного з поосним регулюванням дотичної сили тяги Луганського тепловозобудівного заводу. Тепловоз 2ТЕ116У є модифікацією широко відомого, добре зарекомендувавши себе в експлуатації на залізницях тепловоза 2ТЕ116. У цей час за конструктивним виконанням силової установки, електричної передачі, тягового двигуна, системи управління та регулювання, системи безпеки руху, економічності і надійності в експлуатації є тепловозом нового покоління.

Застосування на тепловозах системи поосного регулювання дотичної сили тяги забезпечує:

- підвищення тягових властивостей локомотивів при погіршених

умовах зчеплення коліс з рейками не менше ніж на 15 % в порівнянні з існуючими тепловозами;

– підвищення реалізованого експлуатаційного коефіцієнта зчеплення на 15 %;

– зменшення витрати палива за рахунок скорочення невикористаних витрат при боксуванні колісних пар;

– зниження зносу бандажів колісних пар і рейок;

– виключення розносного боксування колісних пар тепловоза.

Таблиця 16.1

Технічна характеристика тепловоза ТЕП150

Найменування параметру	Одиниця виміру	Величина
Потужність тепловоза по дизелю (повна)	кВт (к.с.)	3100 (4216)
Осьова (колісна) формула	–	3o – 3o
Статичне навантаження від колісної пари на рейки	кН (тс)	230,5 (23,5)
Розрахункова сила тяги при рушанні з місця максимальна	кН (тс)	441,5 (45,0)
Швидкість конструкційна	м/с (км/год)	44,4 (160)
Напруга бортової мережі, управління та освітлення	В	110



Рис. 16.13. Загальний вид тепловоза 2ТЕ116У

Магістральний двосекційний вантажний тепловоз 2ТЕ116У потужністю 2×2650 кВт (2×3600 к.с.) з електричною передачею змінно-постійного струму являє собою вдосконалену конструкцію тепловоза 2ТЕ116, що раніше серійно випускався. Порівняльні тягові характеристики тепловозів 2ТЕ116 та 2ТЕ116У наведені на рис. 16.14.

Технічні характеристики тепловоза в 2ТЕ116У наведені табл. 16.2.

Таблиця 16.2

Технічна характеристика тепловоза 2ТЕ116У

Найменування параметру	Одиниця виміру	Величина
Потужність тепловоза по дизелю (повна)	кВт (к.с.)	2×2200 (2×3000)
Осьова (колісна) формула	–	2×(3o – 3o)
Статичне навантаження від колісної пари на рейки	кН (тс)	230,5 (23,5)
Розрахункова сила тяги при рушанні з місця максимальна	кН (тс)	2×403,5 (2×41,14)
Швидкість конструкційна	м/с (км/год)	27,7 (100)
Напруга бортової мережі, управління та освітлення	В	110

Тепловоз ТЕ33АС («Тризуб») – вантажний тепловоз з асинхронним тяговим приводом розрахований для залізниць з колією 1520 мм, представник родини локомотивів GE Evolution Series. Створений підрозділом GE Transportation компанії General Electric (рис. 16.15).

Новий тепловоз спроектований за технічними вимогами, стандартами для залізниць колії 1520 мм. Це односекційний шестивісний локомотив потужністю 3356 кВт з 12-циліндровим чотиритактним V-подібним дизелем типу GEVO12. Оснащений мікропроцесорною системою управління з електронним впорскуванням палива і бортовою системою діагностики. В експлуатації новий односекційний тепловоз здатний замінити двосекційний тепловоз типу 2ТЕ10. Порівняно з попереднім поколінням тепловозів на цих локомотивах знижені шкідливі викиди в атмосферу більше ніж на 40 %, витрати палива та масла – на 17 %.

На тепловозі використовується тягова електрична передача змінного струму з асинхронними тяговими двигунами, застосування яких дозволяє реалізувати високу осьову потужність, знижує витрати при технічному обслуговуванні. Асинхронні двигуни більш надійні, ніж колекторні двигуни.

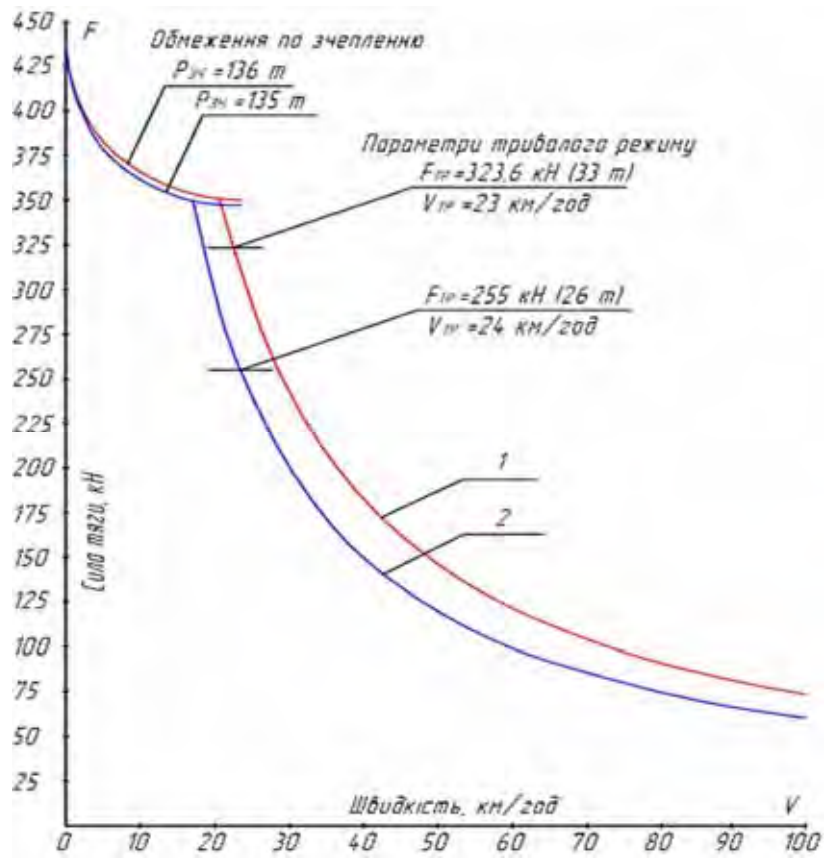


Рис. 16.14. Порівняльні тягові характеристики тепловозів:
 1 – 2ТЕ116У; 2 – 2ТЕ116



Рис. 16.15. Загальний вид тепловоза ТЕ33АС

16.3. Мікропроцесорна система управління тяговою електричною передачею МСУ-ТП тепловоза 2ТЕ116У

На локомотиві реалізована система поосного регулювання дотичній сили тяги, яка забезпечує підвищені тягові властивості, коли виникають несприятливі умови зчеплення колісних пар з рейками. Крім того, на тепловозі є комплексна система безпеки КЛУБ-У. Тепловоз обладнаний електродинамічним, пневматичним і ручним гальмами, які надійно гарантують безпеку його експлуатації.

Тепловоз 2ТЕ116У оснащений мікропроцесорною системою управління, регулювання та діагностики електричної передачі тепловозів (МСУ-ТП), розробленої спеціально для локомотивів даного типу.

Установка на пульті машиніста дисплейного модуля (ДМ) дозволила відмовитися від застосування пультових амперметрів, електроманометрів і термометрів, за винятком приладів контролю гальмівного обладнання тепловоза (рис. 16.16).



Рис. 16.16. Розташування дисплейного модуля на пульті машиніста

Тепер, перебуваючи в кабіні ведучої секції, локомотивна бригада має можливість контролювати на ДМ практично всі параметри основних та допоміжних систем двох секцій.

16.4. Мікропроцесорна система поосного регулювання дотичної сили тяги

На тепловозі 2ТЕ116 для забезпечення роботи дизеля на різних частотах обертання колінчастого валу з різними рівнями потужності використовується об'єднаний гідромеханічний регулятор частоти обертання і потужності. До теперішнього часу склалися усі передумови для переходу від групового регулювання параметрів тягових електродвигунів до індивідуального. Це дає можливість оптимізувати режими роботи дизеля і електричної передачі за рахунок впровадження досконаліших алгоритмів автоматичного регулювання тягових електричних двигунів, що дозволяють підвищити їх к.к.д. і противобуксовочні властивості локомотива. Прикладом подібного технічного рішення є мікропроцесорна система поосного регулювання дотичної сили тяги, функціональна схема якої приведена на рис. 16.17. Система поосного регулювання дотичної сили тяги є продовженням і розвитком мікропроцесорної системи УСТА.

Машиніст рукояткою контролера задає частоту обертання валу дизеля і положення рейок паливних насосів високого тиску (ПНВТ), відповідне економічній характеристиці дизеля, що забезпечує роботу дизеля з мінімальним для цієї частоти обертання питомою витратою палива. Задана частота обертання підтримується об'єднаним регулятором за рахунок зміни виходу рейок паливних насосів високого тиску. Обчислювальна частина системи поосного регулювання дотичної сили тяги отримує інформацію про поточне положення рейок ПНВТ (за допомогою спеціального датчика лінійних переміщень або штатного індуктивного датчика об'єднаного регулятора) і, залежно від співвідношення заданого для цієї позиції контролера і фактичного положення рейок паливних насосів високого тиску, коригує струм збудження синхронного генератора.

Трифазна напруга змінного струму синхронного генератора в серійній схемі випрямляється за допомогою загальної випрямляючої установки і служить для живлення тягових електродвигунів постійного струму. Усі тягові електродвигуни підключені до виходу випрямної установки паралельно, завдяки чому напруга на них однакова і рівна випрямленому.

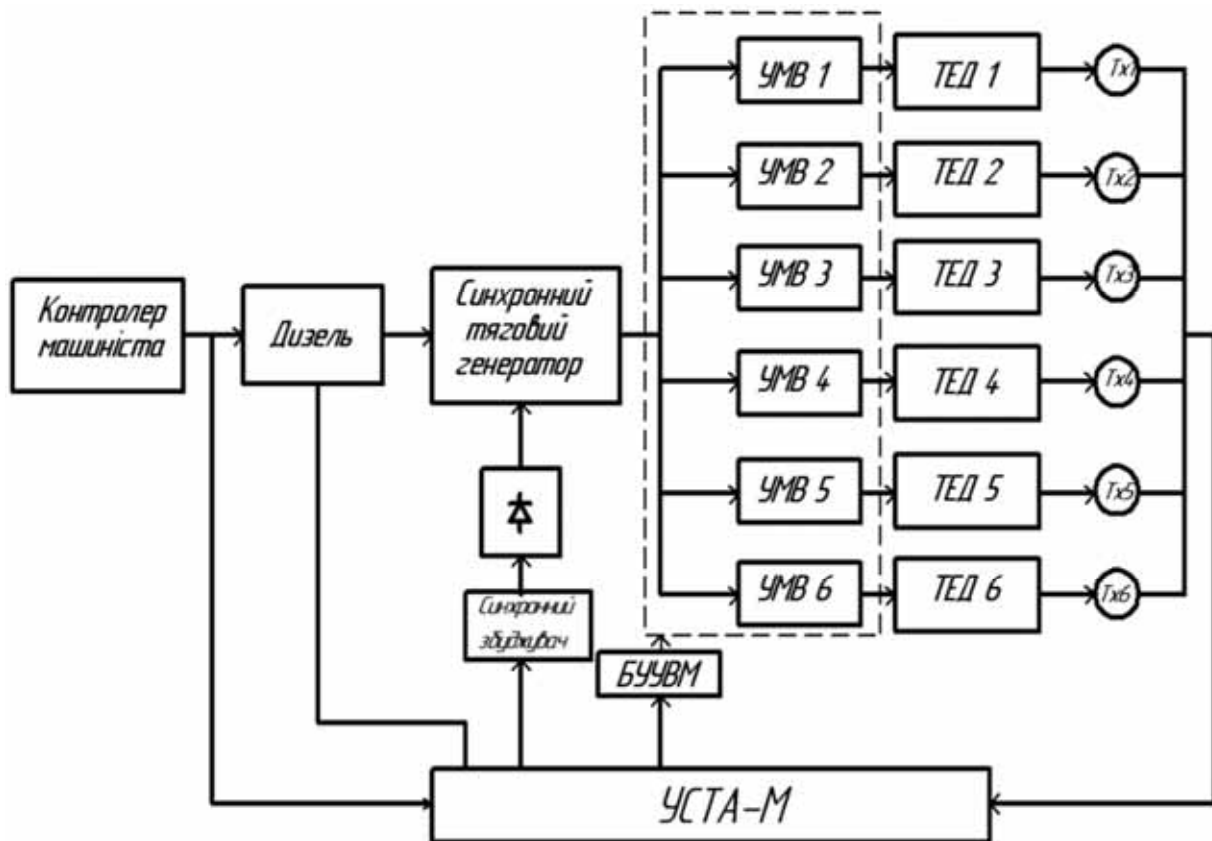


Рис. 16.17. Структурна схема електричної передачі з системою поосного регулювання дотичної сили тяги

Така схема включення тягових електродвигунів припускає, що їх швидкісні і навантажувальні характеристики ідентичні. У цьому випадку забезпечується ефективна реалізація потужності тягового генератора з максимально можливим ККД, а тягові властивості окремо взятої колісної пари максимальні і дорівнюють усім іншим, тягові електродвигуни яких підключені до виходу однієї випрямної установки. Проте, як показує досвід експлуатації тепловозів і електровозів, характеристики окремо взятих тягових електродвигунів, працюючих на одній секції локомотиву мають значні відмінності. Це призводить до істотного розкиду значень струму по окремим тяговим електродвигунам, що, у свою чергу, викликає розкид моменту на їх якорях.

Зростання моменту окремого тягового електродвигуна, сприяє збільшенню відносної швидкості прослизання в контактні колеса і рейки. При частковій або повній втраті зчеплення однієї або декількох колісних пар для зменшення моменту окремого тягового електродвигуна, з метою ліквідації буксування необхідно понизити момент колісної пари, що буксує в даний момент, а на усіх інших зберегти його незмінним або збільшити

для збереження сумарної сили тяги локомотива.

Практично усі схеми противобуксувального захисту сучасних тепловозів ліквідовують виявлене тим або іншим способом буксування за допомогою зниження струму збудження тягового генератора. Такий спосіб захисту від буксування призводить до недовикористання потужності дизель-генератора, особливо при буксуванні однієї або декількох колісних пар.

У системі поосного регулювання потужність, підведена до тягових електродвигунів, за відсутності буксування колісних пар регулюють так само, як і у серійного тепловоза, тобто за допомогою зміни струму обмотки збудження генератора в залежності від співвідношення заданого і фактичного положення рейок паливних насосів високого тиску. При втраті зчеплення колісною парою напруга і потужність на її тяговому електродвигуні знижуються, щоб виключити збільшення частоти обертання колісної пари.

Таку можливість надає схема електричної передачі, в якій кожен тяговий електродвигун (*ТЕД1–ТЕД6*) підключений до тягового генератора через індивідуальну керовану випрямляючу установку. Саме таке включення тягових двигунів дозволяє значно підвищити коефіцієнт використання зчіпної ваги локомотива при реалізації граничних по умові зчеплення дотичних сил на ободі колеса. Індивідуальне регулювання потужності, що підводиться до тягових електродвигунів, дозволяє істотно обмежити надлишкове ковзання колісних пар по рейках і забезпечити на ободі колісної пари максимально можливу за умовами зчеплення дотичну силу тяги.

Структурна схема електричної передачі з системою поосного регулювання дотичної сили тяги включає наступні елементи (див. рис. 16.17):

- синхронний тяговий генератор;
- випрямний керований модуль (*ВВУ*), що складається з шести керованих випрямлячів (*УМВ1–УМВ6*), зібраних у вигляді однієї конструкції (від кожної обмотки статора тягового генератора отримують живлення три керовані випрямлячі);
- шість тягових електродвигунів (*ТЕД1–ТЕД6*), кожен з яких підключений до окремого керованого випрямляча;
- датчики частоти обертання колісних пар (*Тх1–Тх6*), встановленні на кришках букс і що працюють безпосередньо від осей колісних пар;
- мікропроцесорна система поосного регулювання дотичної сили тяги типу УСТА-М, що забезпечує регулювання напруги на вихідних затискачах керованих випрямлячів і обмотці збудження тягового генератора за заданим законом;
- блок управління керованими випрямлячами (*БУ УВМ*).

Система поосного регулювання дотичної сили тяги забезпечує: управління струмом збудження тягового генератора в режимі «холостого ходу»; регулювання електричної передачі потужності від дизеля до тягових двигунів в режимі тяги; управління контакторами послаблення збудження тягових електродвигунів; захист електродвигунів від перевантажень і від буксування.

Для виконання перерахованих функцій УСТА-М отримує інформацію про позицію контролера машиніста, напругу тягового генератора, струму і напругу по кожному тяговому двигуну (каналі *УВМ*), положенні рейок паливних насосів високого тиску; частоті обертання кожної колісної пари і керує струмом збудження тягового генератора через обмотку збудження синхронного збудника, керованими випрямлячами через блок управління (*БУ УВМ*).

Для розширення діапазону робочих швидкостей тепловоза, при яких реалізується повна потужність дизеля, застосовано два ступені послаблення збудження тягових електродвигунів – 60 % (перший ступінь послаблення збудження) і 37 % (другий ступінь послаблення збудження). Послаблення збудження здійснюється підключенням резисторів паралельно обмоткам збудження тягових електродвигунів за допомогою групових контакторів.

Напрямок руху тепловоза залежить від напрямку протікання струму в обмотках збудження тягових електродвигунів, яке змінюється перемиканням контактів реверсора.

Як джерело живлення обмотки збудження тягового генератора використовується однофазний синхронний генератор змінного струму ВС-650 (синхронний збудник *СВ*), вихідна напруга якого випрямляється випрямлячем збудження *УВВ*, що працює в режимі звичайного двонапівперіодного випрямляча, і подається на обмотку збудження тягового генератора. Струм обмотки збудження тягового генератора регулюється зміною величини напруги синхронного збудника, яке здійснюється силовим транзисторним ключем модуля ШІМ блоку регулювання, включеним послідовно з обмоткою збудження синхронного збудника.

При роботі тепловоза в режимі тяги система управління електричною передачею безперервно вирішує три основні задачі:

- 1) регулювання напруги тягового генератора;
- 2) управління послабленням збудження тягових електродвигунів;
- 3) регулювання напруги, що підводиться до кожного тягового електродвигуна.

Характерною виключно для системи поосного регулювання дотичної сили тяги є третя з перерахованих завдань, тобто завдання регулювання

напруги, прикладеної до кожного тягового електродвигуна. Управління при такому способі регулювання полягає в зміні кута відкриття тиристорів керованих випрямлячів (*УМВ1–УМВ6*), що призводить до зміни напруги живлення тягового електродвигуна у разі втрати зчеплення його або іншою колісною парою. При нормальному зчепленні і відсутності буксування ніякої дії на напругу живлення тягових електродвигунів не виявляється і воно визначається поточною напругою тягового генератора. Виконавчим пристроєм регулятора напруги живлення тягових електродвигунів є блок управління керованими випрямлячами (*БУ УВМ*), що формує імпульси управління тиристорами керованих випрямлячів (*УМВ1–УМВ6*) з кутами регулювання $\alpha_1 - \alpha_6$, що задаються мікропроцесорною системою УСТА-М. Ця система формує задані значення цих кутів в електричних градусах.

Конструкція випрямляючого керованого модуля (*УВМ*), що складається з шести керованих випрямлячів (*УВМ1–УВМ6*) сучасних тепловозів с поосним регулюванням дотичної сили тяги показана на рис. 16.18–16.19.



Рис. 16.18. Випрямна установка М-ТПП-3000 У2

Для тепловозів 2ТЕ116 було створено випрямну установку М-ТПП-3000 У2 (рис. 16.18), яка призначена для перетворення змінної трифазної напруги джерела живлення в шість регульованих по величині постійних напруг з роздільним живленням електродвигунів. Випрямляч складається з шести автономних трифазних мостових випрямлячів, кожен з яких має свої пристрої управління, контролю та захисту.

Конструкція випрямляча являє собою двосторонню шафу закритого виконання зі знімними щитами, в якій розташовані силові напівпровідникові прилади та пристрої захисту. Перетворювач виконан на тиристорах, тому можливе регулювання вихідних величин напруг електродвигунів *ТЕД1–ТЕД6* (див. рис. 16.17).

Технічні характеристики М-ТПП-3000 У2 наведено у табл. 16.3.

Для тепловозів серії 2ТЕ116У використовується випрямна установка тягового генератора ВУТГ-6600/800-У2 (рис. 16.19), яка призначена для

перетворення змінної напруги тягового генератора тепловоза в шість незалежно регульованих напруг постійного струму для роздільного живлення тягових електродвигунів тепловоза.

Таблиця 16.3

Технічні характеристики М-ТПП-3000 У2

Найменування параметра	Значення
Номинальна потужність, кВт	3000
Кількість фаз напруги живлення	2 × 3
Номинальний вихідний струм, А	890
Струм навантаження протягом двох хвилин, А	1200
Номинальна випрямлена напруга, В	600
Частота живлення, Гц	25–155
Маса, кг	850



Рис. 16.19. Випрямна установка ВУТГ-6600/800-У2

ВУТГ являє собою шафу двостороннього обслуговування зі знімними кришками і складається з двох силових секцій і відсіку системи управління. Силова схема перетворювача виконана на IGBT-модулях з мікропроцесорною системою керування і діагностування.

Технічні характеристики ВУТГ-6600/800-У2 наведено в табл. 16.4.

Технічні характеристики ВУТГ-6600/800-У2

Найменування параметра	Значення
Лінійна напруга тягового генератора, В	600
Число ваз тягового генератора	2 × 3
Частота напруги тягового генератора, Гц	100
Кількість вхідних каналів	6
Вихідна напруга кожного каналу, В	800
Випрямлений струм кожного каналу, А	900
Максимальний струм кожного каналу, А	1300
Номінальна вихідна потужність випрямляча, кВт	3600
К.к.д., %	98
Маса, кг	840

Запитання до самоконтролю

1. Що називається інтегральною мікросхемою? Різновиди мікросхем.
2. Характеристика складових УСТА.
3. Аналіз структурної схеми мікропроцесорної системи автоматичного регулювання.
4. Характеристика засобів введення дискретних (релейних) сигналів.
5. Характеристики сучасних магістральних тепловозів з тяговими електричними машинами змінного струму.
6. Порядок роботи мікропроцесорної системи поосного регулювання дотичної сили тяги.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Боднар Б. Є., Бобирь Д. В., Капіца М. І. Гідравлічні передачі локомотивів : підручник / за ред. д-ра техн. наук, проф. Б. Є. Боднара. Дніпро : Друкарня ТОВ підприємство «Дріант», 2021. 466 с.
2. Безрученко В. М., Варченко В. К., Чумак В. В. Тягові електричні машини електрорухомого складу : навч. посіб. / Дніпропетровськ : Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. 252 с.
3. Тягові електричні апарати контактні : навч. посіб. / Л. В. Дубинець та ін. / заг. ред. О. І. Момот ; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпропетровськ : Нова ідеологія, 2002. 104 с.
4. Клименко Б. В. Електричні апарати. Загальний курс : навч. посіб. Харків : Вид-во «Точка», 2012. 340 с.
5. Проектування електричних машин : навч. посіб. / Д. В. Ципленков та ін. ; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро : НТУ «ДП», 2020. 408 с.
6. Дубинець Л. В., Момот О. І., Маренич О. Л. Електричні машини. Трансформатори. Асинхронні машини : навч. посіб. Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2004. 208 с.
7. Дубинець Л. В., Момот О. І., Маренич О. Л. Електричні машини. Синхронні машини. Машини постійного струму : навч. посіб. Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2007. 200 с.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

- Акумулятор, 139, 141
амплістат збудження, 208
асинхронний тяговий
електродвигун ЕД900, 46
- Безконтактний тахометричний
блок, 213
- Внутрішній опір, 141
- Гальмівні характеристики
тепловоза, 115
гальмівні характеристики
тягового двигуна, 114
гідравлічна передача
потужності, 18
гідродинамічна передача, 19
гідромуфта, 19
гідростатична передача, 18
гідротрансформатор, 19
головні полюси, 56
граничні характеристики, 113
груповий кулачковий
перемикач, 181
групові електропневматичні
контактори, 166
- Двомашинний агрегат А706Б,
127
диференціальний манометр,
200
додаткові полюси, 59
допоміжний генератор, 122
допоміжний генератор
МВТ25/11, 127
- дугогасильний пристрій, 156
- Електрична передача
потужності, 21
електричне гальмування, 110
електричний контакт, 153
електродвигун 2П2К, 130, 132
електродвигун 4АЖ225, 137
електродвигун АМВ37-03, 136
електролітична дисоціація, 140
електромагнітний контактор,
167
електромеханічні
характеристики
електродвигуна, 90
електропневматичний
контактор, 161
енергетичне коло тепловоза, 34
- Ємність, 141
- Збудник, 126
збудник МВТ25/9, 127
зовнішня характеристика
генератора, 23, 31
- Індуктивний датчик, 211
інтегральна мікросхема, 297
- К.к.д. електричної передачі, 30
кислотні акумуляторні батареї,
143
коефіцієнт ослаблення
збудження, 25
коллектор, 63
комплексний

гідротрансформатор, 20
 комутаційні апарати, 152
 контактор, 161
 контролер машиніста, 173
 кратність зміни напруги, 32
Лужний акумулятор, 146
Магнітна система двигуна ЕД-118Б, 78
 Магнітне коло двигуна, 34
 магнітний підсилювач, 236, 243
 магнітний підсилювач зі зворотним зв'язком, 238
 механічна передача потужності, 18
 мікроЕОМ, 298
 МСУ-ТП, 314
Обмотка статора, 98
 охолодження тягових генераторів, 54
Передача змінно-постійного струму, 27
 передача постійного струму, 26
 передача потужності, 16
 підшипниковий щит, 60
 показник питомого використання матеріалів, 75
 полюси тягового електродвигуна ЕД-118Б, 83
 потужність генератора, 31
 приводи апаратів, 159
 притирання контактів, 165
 провал контактів, 166
Реверсор, 181
 регулятор напруги, 152, 223
 рекуперативне гальмування, 108
 реле, 184
 реле боксування, 192, 289
 реле заземлення, 186
 реле комбіноване крм, 198
 реле переходів, 190
 реле тиску масла, 196
 реле тиску повітря, 199
 реле управління, 184
 реле часу, 200
 розрахункова сила тяги, 30
 розхил контактів, 166
Саморозряд, 141
 селективний вузол, 246
 синхронний генератор, 95
 синхронний збудник ВС-650ВУ2, 133
 синхронний підзбудник типу ВС-652, 135
 система збудження, 241
 стартер-генератор ПСГ, 130
 схема електричної передачі змінного струму, 43
 схема електричної передачі змінно-постійного струму, 38
 схема електричної передачі постійного струму, 37
 схеми з'єднання електродвигунів, 25
Тепловий фактор, 53
 тиристорний випрямляч, 221
 тиристорний регулятор напруги, 226
 трансформатор постійного струму, 206
 трансформатор постійної напруги, 206
 трансформатор розподільчий, 208
 трансформатор стабілізуючий, 208
 тягова характеристика, 16
 тяговий агрегат А714, 47
 тяговий агрегат А-714, 103
 тяговий асинхронний

електродвигун ЕД-900, 106
тяговий генератор ГП-311Б, 56
тяговий генератор типу ГП-300Б, 70
тяговий електродвигун ЕД-118А, 77
тяговий електродвигун ЕД-118Б, 78
тяговий електродвигун ЕД-126, 92
тяговий синхронний генератор ГС-501А, 97

УСТА, 298
Фазозсувний пристрій, 219
Характеристика намагнічування електродвигуна ЕД-118, 36
характеристики реле переходу, 191
хімічні джерела електричної енергії, 139
Щіткотримач, 67
щіткотримачі тягових електродвигунів, 88

Навчальне видання

*Бобирь Дмитро Валерійович, Сердюк Володимир Никандрович,
Микуленко Микола Вікторович*

Електричне обладнання тепловозів

Підручник

Електронне видання

Відповідальний редактор В. Н. Сердюк
Комп'ютерна верстка Д. В. Бобирь
Дизайн обкладинки Є. Б. Боднар

Експертний висновок склав канд. техн. наук, доц. Д. М. Кислий

Зареєстровано НМВ УДУНТ (№ 622 від 30.05.2023)

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 15,8. Обл.-вид. арк. 14,3.
Зам. № 52

Видавець: Український державний університет науки і технологій.
вул. Лазаряна, 2, ауд. 2216, ауд. 263 (наукова бібліотека)
м. Дніпро, 49010.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022

