

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТУ



Кафедра „Тяговий рухомий склад залізничного транспорту”

ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ ЗАЛІЗНИЦЬ
ЧАСТИНА 1 КОНСТРУКЦІЯ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

Конспект лекцій
по дисципліні „Транспортні засоби залізниць”
Частина 1 „Конструкція рухомого складу залізниць”
для студентів 2,3 курсів спеціальності “Організація перевезень та
управління на транспорті” 7.100.403,
спеціалізація „Організація перевезень і управління на транспорті”,
„Організація митного контролю на транспорті”,
“Організація міжнародних перевезень на транспорті”

УДК 629.423

Дубравін Ю.Ф.

Транспортні засоби залізниць. Частина 1 Конструкція рухомого складу залізниць.– Конспект лекцій для студ. вищ. навч. закл. залізн. трансп.– К.:ДЕТУТ, 2009.– 81 с.

Розглянуто 12 тем, які входять до переліку робочої навчальної програми дисципліни „Транспортні засоби залізниць” і „Конструкції рухомого складу залізниць” та викладаються студентам денної та безвідривної форм навчання спеціальності Організація перевезень та управління на транспорті.

Конспект лекцій розглянуто та затверджено до друку на засіданні кафедри „Тяговий рухомий склад залізничного транспорту” (протокол № 8 від 23.03.2006 р.) та на засіданні методичної комісії університету (протокол № від 26.03.2006 р.).

Призначений для студентів університету всіх форм навчання та відповідає робочій програмі курсу „Транспортні засоби залізниць”.

Укладач: *Дубравін Ю.Ф.*, канд. техн. наук, доц.

Рецензенти:

Шатаєв В.М., канд. техн. наук.

Попович Є.Д., начальник бюро промислової електроніки ВАТ „Київський ЕВРЗ”

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА

1. Тема 1. РУХОМИЙ СКЛАД, ЙОГО ТИПИ, ЗАГАЛЬНА БУДОВА ТА ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ.....	5
2. Тема 2. ВАГОНИ, ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ, ПРИЗНАЧЕННЯ, ЗАГАЛЬНА БУДОВА ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПАРАМЕТРИ....	9
3. Тема 3.СИСТЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ. ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ ТЯГОВОГО КОЛА.....	15
4. Тема 4. ЗАГАЛЬНА БУДОВА ЕРС ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ТА ЙОГО СЕРІЇ. БУДОВА ТЯГОВОГО ДВИГУНА, ПРИНЦИП ЙОГО ДІЇ ТА ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	20
5. Тема 5. РОБОЧІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	24
6. Тема 6. ПРИНЦИПИ І СПОСОБИ РЕГУЛЮВАННЯ СИЛИ ТЯГИ ТА ШВИДКОСТІ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	29
7. Тема 7. ЕРС ЗАЛІЗНИЦЬ, ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ЗА СИСТЕМОЮ ОДНОФАЗНОГО ЗМІННОГО СТРУМУ ПРОМИСЛОВОЇ ЧАСТОТИ.....	36
8. Тема 8. ЗАГАЛЬНА БУДОВА ТА ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ.....	46
9. Тема 9. БУДОВА ТЕПЛОВОЗА ТА ЙОГО ОКРЕМИХ ВУЗЛІВ,ЇХ ПРИЗНАЧЕННЯ, ПРИНЦИП РОБОТИ ТА ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	48
10. Тема 10. ЕЛЕКТРИЧНЕ ГАЛЬМУВАННЯ НА ТЯГОВОМУ РУХОМОМУ СКЛАДІ.....	61
11.Тема 11. ГАЗОТУРБОВОЗИ, ДИЗЕЛЬ ПОЇЗДИ ТА АВТОМАТРИСИ.....	67
12. Тема 12. ГАЛЬМІВНІ ЗАСОБИ РУХОМОГО СКЛАДУ.....	71

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО ТЕМ

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Передмова

Конспект лекцій складається з 12 тематичних блоків, які передбачені структурою робочої навчальної програми з дисципліни «Транспортні засоби» для спеціальностей «Організація перевезень і управління на транспорті», «Організація митного контролю на транспорті» та «Організація міжнародних перевезень на транспорті».

Тематика лекцій визначається структурою робочої навчальної програми з дисципліни та бюджету часу в залежності від форми навчання. Для груп стаціонару, де на лекції заплановано 34 години, теми блоків № 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10 та 11, на вивчення яких заплановано дві години однозначно відповідають темам лекцій. Теми блоків № 5 та № 12, на вивчення яких у відповідності з робочою навчальною програмою відведено чотири години, включають в себе теоретичний матеріал двох лекцій. Тематичний блок № 9, на вивчення якого заплановано шість годин, містить в собі матеріал трьох лекцій.

При безвідривній формі навчання зменшується фонд лекційного часу, тому теми лекцій містять в собі кілька тематичних блоків.

Тема 1. РУХОМИЙ СКЛАД, ЙОГО ТИПИ, ЗАГАЛЬНА БУДОВА ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

Рухомий склад (РС) найважливіша складова частина залізничного транспорту, за допомогою якої здійснюється перевезення вантажів та пасажирів.

РС включає в себе: локомотиви, електропоїзди, дизельпоїзди та вагони.

Локомотиви – поділяються на електровози, тепловози, газотурбовози, паровози, мотовози та автоматриси.

За допомогою локомотивів створюється сила тяги, яка необхідна для переміщення вантажних та пасажирських составів. Сила тяги створюється в тому разі, якщо на навантажену колісну пару локомотива діє обертальний момент, тобто колісна пара є рушійною.

В результаті взаємодії рушійної колісної пари з рейками в точках дотику створюється сила тяги колісної пари. Сумарна сила тяги всіх рушійних колісних пар являє собою силу тяги локомотива. Сила тяги через автотзчеп діє на состав поїзда. Рухомий склад, за допомогою якого створюється сила тяги, називається тяговим рухомим складом (ТРС).

Електропоїзди і дизельпоїзди – складаються зі з'єднаних між собою рушійних та причіпних вагонів. Рушійні вагони створюють силу тяги, яка забезпечує рух всього поїзду.

Електропоїзди та дизельпоїзди - основний засіб для перевезення пасажирів у приміському сполученні.

Автоматриси та мотовози – це одиниці рухомого складу, які також створюють силу тяги і використовуються для перевезення обмеженої кількості людей та ремонтного обладнання. Використовуються для пасажирських перевезень, а також як транспортний засіб при ремонті колії, контактної мережі, засобів зв'язку та інших залізничних споруд.

Вагони – найбільш чисельна частина РС, яка включає в себе вантажні, пасажирські вагони та вагони спеціального призначення.

В залежності від наявності джерела енергії всі тягові одиниці РС, тобто одиниці які здатні створювати силу тяги, поділяються на автономні та неавтономні.

На автономному ТРС розташовані власні джерела енергії, які необхідні для створення сили тяги.

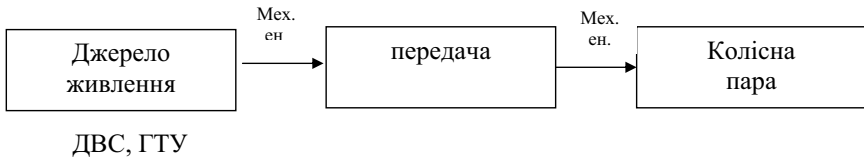
До автономних належать: тепловози, газотурбовози, моторні вагони дизельпоїздів, автоматриси, мотовози, акумуляторні електровози.

Джерелами енергії на них є двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ), газотурбінні установки (ГТУ), акумуляторні батареї. За допомогою ДВЗ та ГТУ хімічна енергія, яка виділяється при згоранні пального перетворюється в механічну енергію, необхідну для створення сили тяги.

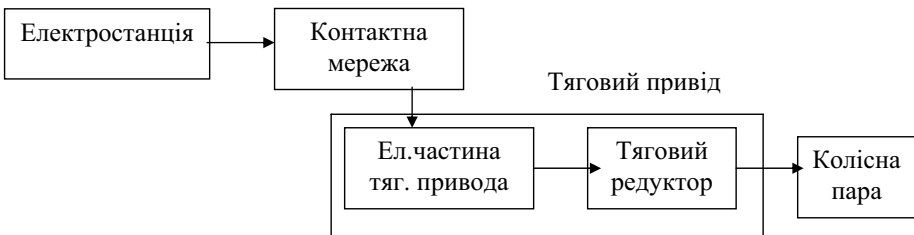
Неавтономний РС (електровози, електропоїзди) не має власних джерел енергії і використовує енергію, яка поступає від електростанцій через тягову мережу.

Неавтономний РС, який для створення сили тяги використовує зовнішню електричну енергію прийнято називати електрорухомий склад (ЕРС). На ЕРС електрична енергія перетворюється в механічну, яка використовується для тяги поїздів.

Функціональна схема автономного локомотива.



Функціональна схема неавтономного локомотива



Загальна будова локомотива

Локомотив складається з кузова, який спирається на 2–3 візки. Візок включає в себе раму, колісні пари з тяговими двигунами (ТЕД) та буксами, ресорну та гальмівну системи. ТЕД розташовані між боковинами рам візків і через тягові редуктори передають обертовий момент на колісні пари, при зчепленні яких з рейками створюється сила тяги.

В кузові локомотива розміщені електричні апарати, електричні машини, пневматичне обладнання та інші системи локомотива.

Загальна будова локомотива описується віськовою формулою, яка містить в собі інформацію про кількість секцій, візків, колісних пар, рушійних колісних пар та наявність шарнірного з'єднання між візками.

Приклад: $2(2_0+2_0)$ – віськова формула двосекційного локомотива;

$3(2_0+2_0)$ – віськова формула трьохсекційного локомотива;

$3_0 - 3_0$ – віськова формула односекційного локомотива,

де цифри 2, 3 перед дужками – кількість секцій;

$2_0, 3_0$ – кількість колісних пар, які входять у візок, нижній індекс „₀”, свідчить, що всі колісні пари рушійні;

”+” – свідчить, що візки між собою з'єднані шарнірним сполученням;

”-” – свідчить, що візки між собою не з'єднані.

Показники ефективності локомотива.

Найважливішим показником ефективності ТРС є коефіцієнт корисної дії (к.к.д.).

К.к.д. – для неавтономного ТРС – це відношення потужності, яка реалізується на тягу поїзда до підведеної до ТРС потужності. Для автономного ТРС це відношення потужності, яка реалізується на тягу поїзда до потужності, яка створюється бортовою енергетичною установкою. Коефіцієнт корисної дії визначається за допомогою формули:

$$\eta = \frac{N_t}{N_n},$$

де N_t , – потужність, що реалізується на тягу поїзда, кВт;

N_n – потужність, що створюється бортовою енергетичною установкою чи підводиться до ТРС, кВт. Значення коефіцієнту корисної дії знаходиться в межах $0 < \eta < 1$.

Коефіцієнт корисної дії електротяги

Розрахунковий експлуатаційний к.к.д. електротяги при живленні від електростанцій різних типів з урахуванням втрат пального при його добуванні, транспортуванні та збереженні:

$$\eta_{ET} = \eta_1 \eta_2 \dots \dots \dots \eta_5 a_{II} = \prod_1^5 \eta_i a_n,$$

де

η_1 – к.к.д. електростанцій;

η_2 – к.к.д. ліній електропередач з урахуванням к.к.д. трансформаторних підстанцій ($\eta_2 = 0,95 \div 0,96$);

η_3 – к.к.д. контактної мережі ($\eta_3 = 0,94 \div 0,96$);

η_4 – к.к.д. тягових підстанцій ($\eta_4 = 0,94 \div 0,97$);

η_5 – к.к.д. ЕРС ($\eta_5 = 0,85 \div 0,88$);

a_5 – коефіцієнт, що враховує втрати пального при добуванні, транспортуванні та його збереженні ($a_5 = 0,94 \div 0,96$).

Експлуатаційний к.к.д. електричної тяги в 1991 році перевищував 26 %. В перспективі він може бути доведений до 33,4 %. При живленні від гідроелектростанцій (ГЕС) $\eta_{ET} = 0,64$.

Середній експлуатаційний к.к.д. тепловоза при використанні потужності на 80–100 % складає 28 %, а при використанні потужності на 30 % к.к.д. зменшується до 20 %.

Експлуатаційний к.к.д. парової тяги складає 3–4 %.

Переваги електричної тяги.

Основними перевагами електричної тяги є наступне:

1. Можливість підвищення к.к.д.
2. Електротяга сприяє захисту навколишнього середовища.
3. Централізоване виробництво електроенергії на електростанціях з більш високим к.к.д.
4. Можливість використання для виробництва електроенергії дешевих сортів пального, гідроенергії та атомної енергії.
5. Можливість використання рекуперативного гальмування.
6. Відсутність обмеження по потужності ЕРС.
7. Ріст швидкості руху та пропускної спроможності залізниць.
8. Зниження вартості ЕРС.
9. Зниження витрат на ремонт.
10. Підвищення надійності та ремонтоздатності ЕРС.

Контрольні питання до теми

1. З яких транспортних одиниць складається рухомий склад залізниць?
2. Які локомотиви відносяться до автономних та неавтономних?
3. Характерна відмінність тягового рухомого складу від рухомого складу.
4. Функціональна схема автономного локомотива.
5. Функціональна схема неавтономного локомотива.
6. Проаналізувати вісьову формулу локомотива.
7. Що таке коефіцієнт корисної дії та як він визначається?
8. Переваги електричної тяги.

Тема 2. ВАГОНИ, ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ, ПРИЗНАЧЕННЯ, ЗАГАЛЬНА БУДОВА ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПАРАМЕТРИ

Вагони — це одиниці рухомого складу, які призначені для перевезення пасажирів та вантажів. Вагони на відміну від локомотивів не створюють силу тяги і переміщуються за допомогою локомотивів або моторних вагонів. Вагони класифікують за призначенням, технічними характеристиками та місцем експлуатації.

За призначенням вагони поділяються на дві основні групи – пасажирські та вантажні, не тягові.

Парк пасажирських вагонів складається з вагонів ресторанів, багажних та спеціального призначення (вагони-лабораторії, службові, санітарні та ін.).

Вантажні вагони в залежності від конструкції поділяються на наступні типи:

криті вагони, цистерни, напіввагони, ізотермічні вагони, платформи та вагони спеціального призначення.

В залежності від технічних характеристик пасажирські та вантажні вагони відрізняються:

- 1) за кількістю осей (2^x, 4^x, 6^{тн}, 8^{ми} та багатівісні);
- 2) за наявністю візків (візкові та безвізкові);
- 3) за вантажопідйомністю;
- 4) за величиною тари;
- 5) за величиною навантаження колісної пари на рейки (для вантажних вагонів ця сила обмежена значенням 228 кН);
- 6) за навантаженням на 1 м колії (ця сила навантаження обмежена величиною 88 кН/м);
- 7) за габаритом рухомого складу;
- 8) за шириною колії (ширококолійні та вузькоколійні);
- 9) за місцем експлуатації (загальної мережі та промислового транспорту).

Кожен вагон незалежно від призначення та конструкції має наступні вузли: кузов, візки, фрікційні апарати з автозчепами та гальмівне обладнання. Візок включає в себе:

- раму візка;
- колісні пари з буксами;
- ресорну систему;
- гальмівну важільну передачу;
- гасителі коливань.

Вагонні колісні пари відрізняються:

конструкцією – безбандажні (суцільні) та бандажні (збірні), які складаються з бандажів, колісного центру та запобіжного (бандажного) кільця; способом виготовлення — катані та литі; розмірами діаметра отвору ступиці.

Колісна пара складається з осі (рис.2.1) та 2-х коліс (рис.2.2).

Елементами конструкції колеса (рис.2.2) є обід 1, диск 2 та ступиця 3.

Поверхня обода (бандажа) має гребінь 1, який запобігає сходу колісної пари з рейок. Гребінь у всіх вагонних коліс має висоту 28 мм; товщина його, виміряна на відстані 18 мм від вершини, рівна 33 мм. Починаючи від гребеня, поверхня котіння колеса має конічну форму спочатку з ухилом 1:20, потім з ухилом 1:7, і закінчується на краю обода фаскою під кутом 45°.

Конічна поверхня котіння коліс забезпечує вільний прохід вагонами кривих ділянок колії.

Вагонна вісь (рис.2.1) являє собою сталевий брус круглого поперечного перерізу з різними діаметрами по довжині в залежності від призначення окремих частин осі та зусиль, які виникають в них.

В вагонних осях відрізняють наступні частини: шийки з буртами та без них, передпідступична та підступична частини, галтели та середню частину.

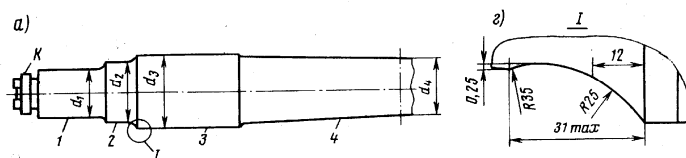


Рис.2.1.Вісь колісної пари

1—шийка осі; 2—передпідступична частина осі; 3—підступична частина осі;

4—середня частина осі.

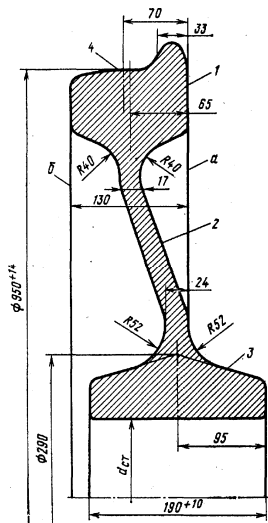


Рис.2.2. Колесо безбандажної конструкції

При котінні по рейках колеса сприймають складні види навантаження: контактні та ударні навантаження, тертя від взаємодії з рейками та гальмівними

колодками. Взаємодіючи з рейками малою поверхнею, колесо передає їм значні статичні та динамічні навантаження. В результаті цього в зонах взаємодії коліс з рейками виникають великі контактні напруги. В процесі гальмування між колесами і колодками створюються значні сили тертя, які спричиняють нагрівання ободу, що сприяє створенню в ньому ряду дефектів. Удари коліс на стиках рейок можуть сприяти появі тріщин в ободі.

В найбільш складних умовах навантаження знаходиться обід і особливо та його поверхня, якою він котиться по рейках (поверхня котіння). Метал ободу повинен мати велику міцність, ударну в'язкість, зносостійкість. Метал ступиці повинен мати необхідну в'язкість. Метал диску повинен бути пружним. Ці вимоги краще задовольнити в конструкції збірних коліс, в яких бандажі виготовлені зі сталі високої міцності і твердості, а колісний центр – з більш в'язкої і дешевої сталі. При наявності критичного зносу або іншого пошкодження бандажа його можна замінити без зміни колісного центру. Проте порівняно з цільними колесами бандажні колеса мають значні недоліки: меншу міцність і експлуатаційну надійність, великі витрати на формування колісної пари. Ці недоліки особливо значущі при підвищенні швидкості руху поїздів та збільшенні навантажень на колеса. Тому бандажні колеса витісняються безбандажними конструкціями, з яких найбільш досконалими є суцільно катані колеса.

Колісні пари вагонів зв'язані з рамою візка та кузовом через систему пружних елементів та гасників коливань, які називаються *ресорним підвішуванням*.

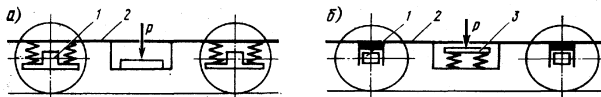
Ресорне підвішування пом'якшує удари, які передаються колесами кузову, і гасить коливання, що виникають при русі; крім того, ресори і пружини передають направляючі зусилля від коліс на раму візка та кузова.

В якості пружних елементів застосовують гвинтові пружини та листові ресори, а також резинометалеві елементи, пневматичні, торсійні, кільцеві та інші типи ресор. Всі ці елементи часто називаються загальним терміном – *ресори*.

В залежності від конструкції відрізняють:

- одинарне підвішування – якщо навантаження від рами візка на букси передається послідовно через один ресорний елемент;
- подвійне підвішування – якщо навантаження передається послідовно через два елементи.

Найбільш часто використовують одинарне ресорне (одноступінчасте) та подвійне (двоступінчасте) підвішування вагонів. При одноступінчастому підвішуванні пружні елементи розташовані, наприклад, між буксою 1 та рамою 2 візка (рис.2.3,а). Такий тип підвішування використовується у візках вантажних вагонів.



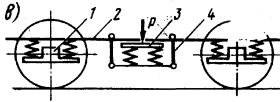


Рис. 2.3. Схеми ресорного підвішування вагонів

a – буксове; *б* – центральне; *в* – люлечне

Двоступінчасте підвішування має місце в візках пасажирських вагонів. Воно відзначається тим, що пружні елементи встановлені між буксою 1 і рамою 2 (буксове), а також між рамою 2 та надресорною балкою 3 (центральне). Центральне підвішування може бути люлечним або безлюлечним.

В люлечному підвішуванні (рис.2.3,в) кузов спирається на надресорну балку, а балка через комплекти пружних елементів – на люльку 4, шарнірно пов'язану з рамою 2 візка за допомогою підвісок. Рама в свою чергу з'єднана з буксами 1 через буксову ступінь ресорного підвішування.

Ходові якості вагона залежать від параметрів ресорного підвішування (жорсткості або гнучкості пружних елементів). Пружні властивості елементів ресорного підвішування визначаються за силовими характеристиками, які зв'язують прогиб із зовнішнім навантаженням. Жорсткість пружного елемента чисельно рівна силі, яка викликає прогиб цього елемента, рівний одиниці:

$$C = \frac{P_{вн}}{f};$$

де $P_{вн}$ – зовнішня сила, що діє на пружний елемент;

f – прогин пружного елемента.

Прогин пружини під статичним навантаженням визначається різницею висоти в вільному та стисненому стані.

Гнучкість пружного елемента – величина, зворотня жорсткості, чисельно рівна прогину від сили, рівної одиниці:

$$\lambda = \frac{f}{P_{вн}} = \frac{1}{C}.$$

Жорсткість або гнучкість пружного елемента залежать від його конструкції, лінійних розмірів та матеріалу, з якого він виготовлений. Силова характеристика циліндричної пружини лінійна, не залежить від прогину і постійна при навантаженні та розвантаженні.

В ресорне підвішування вагону, як правило ставиться не одна, а кілька пружин, які можуть розміщуватись паралельно чи послідовно, маючи при цьому різні розміри та характеристики. При паралельній роботі жорсткість комплекту рівна сумі жорсткостей всіх пружин, тобто

$$C = \sum_{i=1}^n C_i,$$

а при послідовному з'єднанні пружин жорсткість комплекту визначається з виразу:

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i},$$

де i – число пружин в комплекті.

Останнім часом знаходять широке застосування гумові пневматичні і кільцеві ресори, а також тарільчасті пружини, які мають нелінійну характеристику і внутрішнє тертя, необхідне для гасіння коливань.

Вагонні візки, що пружно сприймають вертикальні навантаження мають також пружні якості і в горизонтальному напрямку. Це досягається застосуванням повертаючих приладів, що створюють при відхиленні кузова від середнього положення повертаючі сили. До таких приладів відносять люлечні підвішування в пасажирських і пружини у вантажних візках, які мають поперечну пружність.

Застосовування витих циліндричних пружин в ресорному підвішуванні пов'язано зі зменшенням сили тертя. Це може призвести до появи при русі неприпустимо великих амплітуд коливання кузова на ресорах, особливо при настанні резонансу. В таких випадках для гасіння коливань в системі підвішування використовують спеціальні гасителі – фрикційні чи гідравлічні. Деякі пружинні елементи, наприклад, листові ресори, одночасно є і гасителями коливань.

Клинові фрикційні гасителі коливань зі змінним тертям широко використовується у вантажних візках ЦНП-ХЗ. Гідравлічні гасителі коливань застосовуються в візках пасажирських вагонів.

В цих гасителях сила опору створюється за рахунок перетікання рідини через вузькі отвори з підпоршневої порожнини робочого циліндра в надпоршневу і резервуар (при ході поршня вниз) та з надпоршневої порожнини робочого циліндра і резервуара в підпоршневу (при ході поршня вгору).

Техніко-економічні параметри вагонів.

Основними параметрами вагона, які характеризують його ефективність є:

- вантажопідйомність – найбільша маса вантажу, яка може бути перевезена згідно умов міцності конструкції вагона;
- коефіцієнт тари — це відношення тари вагона до його вантажопідйомності:

$$K_T = \frac{T}{P},$$

де T — тара вагону;

P — вантажопідйомність вагону;

Для пасажирських вагонів коефіцієнт тари

$$K_T = \frac{T}{N},$$

де N — число місць у вагоні;

- питомий об'єм кузова — показник місткості вагонів

$$V_v = \frac{V}{P},$$

де V — об'єм кузова;

- питома площа підлоги — показник місткості платформи

$$F_v = \frac{F}{P},$$

де F — площа підлоги платформи.

Сума вантажопідйомності вагона (нето) і маса його тари складають масу вагона (брutto).

Габарити на залізничному транспорті

Для безпеки руху поїздів необхідно, щоб локомотиви, вагони, а також вантажі на відкритому РС могли вільно проходити повз пристрої колії, тягової мережі, штучні споруди, рухомий склад, що стоїть на сусідній колії, не задираючи його. Ці вимоги забезпечуються виконанням встановлених державним стандартом габаритів наближення будівель та габаритом рухомого складу (ДСТ 9238-83).

Габарит рухомого складу — це поперечний контур, в якому, не виходячи зовні, повинен розміщуватись РС, що стоїть на прямій горизонтальній колії при відсутності коливань (навантажений, порожній, новий РС а також РС з максимальним зносом).

Позначення та область застосування габаритів РС:

- 1-Т — для локомотивів;
- Т — для моторовагонного рухомого складу (МВС);
- Тц — для цистерн та вагонів-самоскидів;
- Тпр — для напіввагонів;
- 1-Вм — для вагонів міжнародних сполучень (колія 1520 (1524) мм, що допускаються на території країн СНД і 1435 мм на лініях членів ОСЗ (організація співдружності залізниць);
- 0-Вм — для вагонів, що працюють на залізницях Східної Європи;
- 02-Вм — для вагонів, що працюють на залізницях Західної Європи (члени ОСЗ, колія 1435 мм);
- 03-Вм — вагони типу "РІЦ", які можуть допускатись на залізницях Європи та Азії.

Контрольні питання до теми

1. Класифікація вагонів вантажного та пасажирського парків.
2. Основні частини вантажного вагону та їх призначення.
3. Основні параметри та техніко-економічні характеристики вантажних вагонів.
4. Основні параметри та техніко-економічні характеристики пасажирських вагонів.
5. Призначення ресорного підвішування вагонів та їх схеми.
6. Характеристики ресорного підвішування вагонів.

Тема 3. СИСТЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ. ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ ТЯГОВОГО КОЛА

В залежності від типу локомотивів, які використовуються для ведення поїздів, відрізняють наступні види тяги:

1. електрична тяга;
2. тепловозна тяга;
3. паровозна тяга.

Електрична тяга має більш високі техніко-економічні показники і перспективи для розвитку. Значний вплив на показники електротяги має система струму і напруги.

Існують наступні системи електротяги:

- система постійного струму з напругою 3 кВ (магістральні електричні залізниці східної Європи);
- система постійного струму з напругою 825 В (метрополітен);
- система однофазного змінного струму з напругою 25 кВ та частотою 50 Гц (магістральні електричні залізниці східної Європи);
- система з напругою 11÷16 кВ та частотою 16 2/3 Гц (Німеччина, Австрія, Швейцарія, Норвегія);
- система з напругою 11 кВ та частотою 25 Гц (США).

Основні елементи схеми живлення електричних залізниць

ЕРС та система електропостачання являють собою єдине електричне коло, яке складається з трьох ланок:

I – зовнішньої системи електропостачання;

II – тягової системи електропостачання;

III – ЕРС.

Зовнішня система – це єдина енергетична система України, до складу якої входять електростанції різного типу, підвищуючі та районні підстанції, лінії електропередачі (ЛЕП).

Тягова система живиться від зовнішньої системи електропостачання і включає в себе тягові підстанції та тягову мережу, якою протікає тяговий струм, що споживається ЕРС.

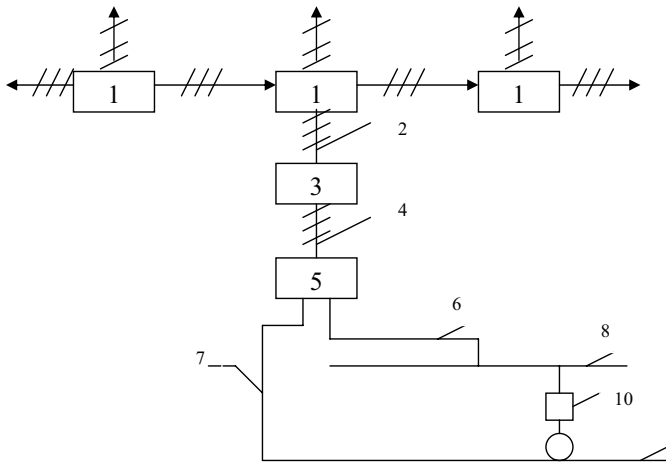


Рис. 3.1. Принципова схема системи електропостачання постійного струму:

1 — електростанції; 2,4 — трифазні ЛЕП; 3 — районна електростанція; 5 — тягова підстанція; 6 — фідер постачання; 7 — зворотній фідер; 8 — контактна мережа; 9 — тягові рейки; 10 — електрорухомий склад.

Система постійного струму з напругою 3,3 кВ бере початок з 1926 року минулого століття і зіграла позитивну роль в реконструкції залізниць.

З 1958 року почався розвиток більш економічної і прогресивної системи однофазного струму напругою 27,5 кВ промислової частоти 50 Гц.

Електрифікація на змінному струмі дала можливість порівняно с постійним струмом зменшити струмові навантаження ЕРС, в 3–5 раз знизити втрати електроенергії в тяговій мережі, більш ніж в 2 рази скоротити витрати міді на контактну мережу, знизити вартість та кількість тягових підстанцій, виключити електрокорозію підземних металоконструкцій. В Україні за системою постійного струму електрифіковано Придніпровську, Південну, Донецьку на частину Львівської залізниць, за системою змінного струму електрифіковано Південно-Західну, Одеську та частину Львівської залізниць. Всі нові ділянки залізниць електрифікують за системою змінного струму.

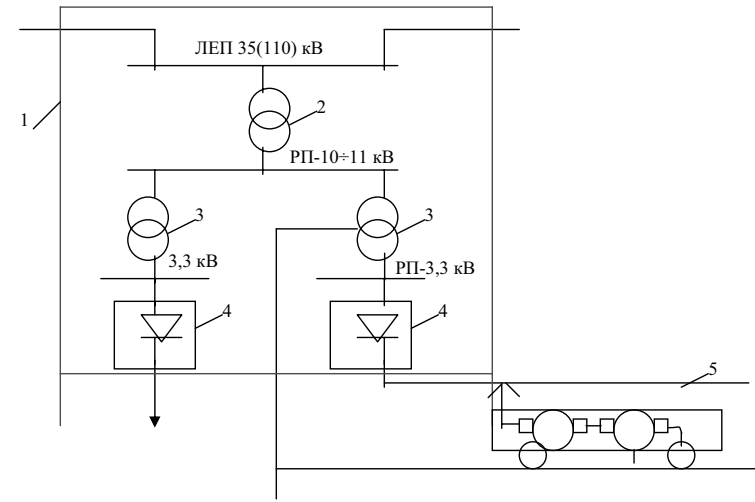


Рис. 3.2. Схема електропостачання при постійному струмі
 1 – тягова підстанція; 2 – знижуючий трансформатор; 3 – тяговий трансформатор; 4 – випрямна установка; 5 – контактна мережа; 6 – рейкова мережа; РП – розподільчий пристрій

Знижуючий трансформатор забезпечує перетворення електроенергії з напругою 35 (110) кВ в напругу 10÷11 кВ.

Тяговий трансформатор забезпечує:

- 1) перетворення напруги 10÷11 кВ в напругу 3,3 кВ;
- 2) тяговий трансформатор разом з випрямною установкою здійснює перетворення змінного струму в постійний (пульсуєючий).

Тягова мережа створює коло для протікання тягового струму і включає в себе: фідер постачання та зворотній, контактну мережу, ЕРС та рейкову мережу.

Схема електропостачання електричних залізниць при системі однофазного струму промислової частоти

На тягових підстанціях змінного струму напруга 110 (220) кВ, яка надходить від ЛЕП зовнішньої системи електропостачання, подається через розподільчий пристрій РП 110 (220) кВ на силовий трансформатор (СТ). СТ перетворює напругу 110 (220) кВ в напругу 27,5 кВ для живлення ЕРС і 35 кВ для живлення районних споживачів.

РП 27,5 кВ розподіляє електроенергію по фідерах постачання тягової мережі (ТМ).

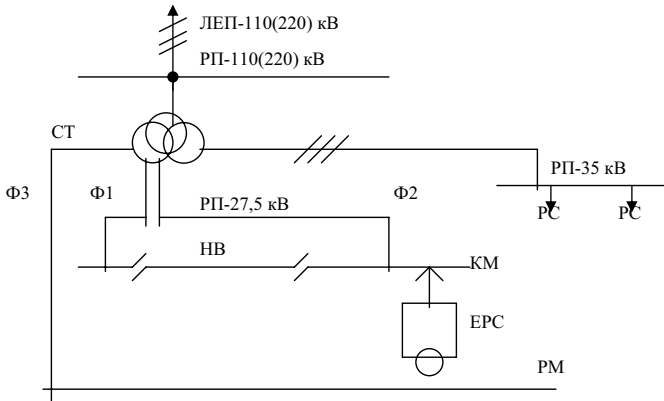


Рис. 3.3. Схема електропостачання при системі змінного струму
 РП – розподільчий пристрій; СТ – силовий знижувальний трансформатор; ТМ – тягова мережа; Ф1,2 – фідери постачання; Ф3 – фідер зворотній; КМ – контактна мережа; ЕРС – електрорухомий склад; ТР – рейкова мережа; НВ – нейтральна вставка; РС – районні споживачі.

Загальний будова системи тягового електропостачання

Система тягового електропостачання здійснює перетворення електроенергії, яка надходить із зовнішньої системи електропостачання та передачі її до ЕРС.

Електричні залізниці є споживачами I категорії. Тому схеми живлення повинні забезпечувати високу надійність системи електрозабезпечення.

Живлення тягових підстанцій (ТП) здійснюється за наступними схемами:

1. Двостороннього живлення ТП від ЛЕП з подвійним колом.
2. Двостороннього живлення ТП від ЛЕП з одним колом.
3. Тупикове живлення ТП.

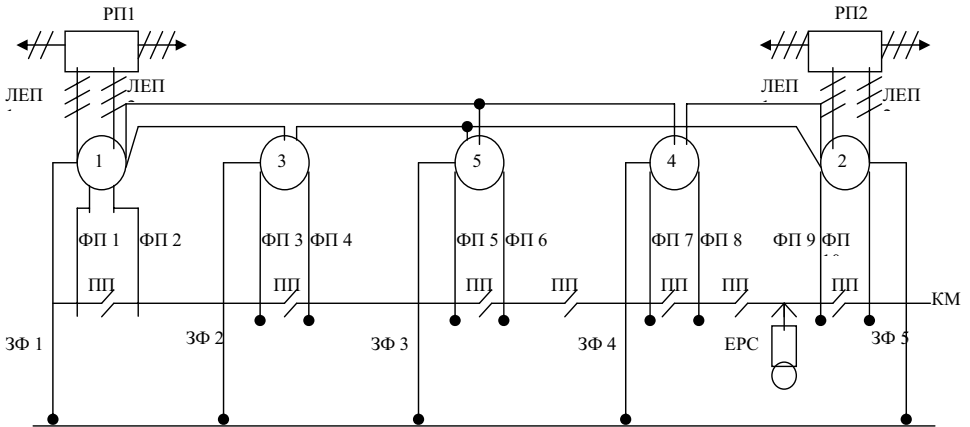


Рис. 3.4. Схема електропостачання тягових підстанцій від ЛЕП з подвійним колом та схеми живлення контактної мережі

РП – районна підстанція; 1,2 – тягова підстанція опорна; 3,4 – тягова підстанція транзитна; 5 – тягова підстанція на відгалуженні; ФП 1÷10 – фідери електропостачання; ЗФ 1÷5 – зворотні фідери; КМ – контактна мережа; РМ – рейкова мережа.

В схемі тягові підстанції живляться від двох незалежних ЛЕП, які виходять від опорних тягових підстанцій 1,2. Решта тягових підстанцій 3,4,5 проміжні, підключені до різних кіл ЛЕП в розріз лінії або на відгалуженні. Число проміжних ТП при напрузі ЛЕП 110 кВ не більше трьох, а при напрузі 220 кВ не більше п'яти. Для електротяги на постійному струмі не більше п'яти.

В схемі здійснюється двостороннє живлення контактної мережі від тягових підстанцій 1,3,5. При цьому відбувається паралельна робота ТП 1,3 та 3,5. Одностороннє живлення КМ або роздільна робота ТП здійснюється від ТП 2,4,5. При цьому ділянка контактної мережі між двома тяговими підстанціями ділиться на дві ізолювані одна від одної частини за допомогою повітряних проміжків ПП.

Контрольні питання до теми

1. Які основні агрегати включає схема електропостачання електрифікованої ділянки залізниці на постійному струмі?
2. Які основні агрегати включає схема електропостачання електрифікованої ділянки залізниці на змінному струмі?
3. Які основні агрегати встановлюються на тягових підстанціях при електрифікації ділянки на постійному струмі?
4. Які основні агрегати встановлюються на тягових підстанціях при електрифікації ділянки на змінному струмі?

Тема 4. ЗАГАЛЬНА БУДОВА ЕРС ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ТА ЙОГО СЕРІЇ. БУДОВА ТЯГОВОГО ДВИГУНА, ПРИНЦИП ЙОГО ДІЇ ТА ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

На ділянках магістральних залізниць, електрифікованих за системою постійного струму з напругою 3000 В експлуатують ЕРС постійного струму. На електровозах та електропоїздах цього типу встановлені тягові двигуни постійного струму. Регулювання напруги на тягових двигунах при цьому може здійснюватись контактнo–реостатним або імпульсним способами.

Електровоз складається з кузова та візків, на які він спирається. В кузові електровоза розташоване силове та допоміжне електричне обладнання, електричні машини, апаратура захисту від аварійних режимів, апарати управління, допоміжне та пневматичне обладнання .

Колісні пари виконані з індивідуальним електроприводом. Тягові двигуни розміщені на рамах візків і через тягові редуктори з'єднані з колісними парами. Конструкція кріплення тягових електродвигунів на візках забезпечує передачу обертального моменту від вала електродвигуна до колісної пари та сприймає силу його ваги. Система підвішування тягових електродвигунів, коли двигун жорстко спирається на вісь колісної пари і через пружні елементи на раму візка, називається опорно-віськовою. При цьому на колісну пару жорстко передається приблизно половина ваги двигуна. Якщо двигун повністю закріплений на рамі візка, має місце опорно-рамне підвішування. В цьому випадку механічна частина тягового приводу повинна компенсувати зміщення двигуна відносно колісної пари.

Перша система підвішування застосовується на вантажних електровозах при швидкостях руху до 100 км/год, друга (конструктивно більш складна) – на швидкісному пасажирському ЕРС.

Швидкість руху електровоза залежить від частоти обертання якорів тягових двигунів, яка регулюється перемиканням секцій пускових реостатів та зміною схеми з'єднання тягових двигунів. Принципова схема електровоза постійного струму з контактнo–реостатним управлінням наведена на рис. 4.1.

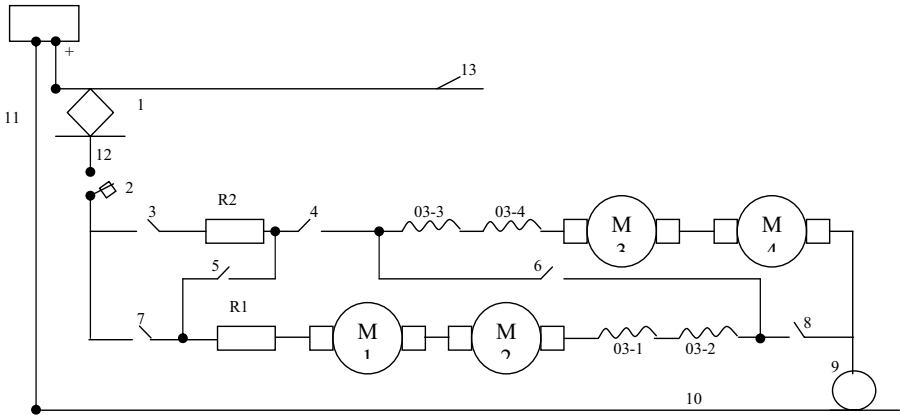


Рис. 4.1. Принципова схема електровоза постійного струму з контактно–реостатним управлінням

1 – струмоприймач; 2 – швидкодіючий вимикач; 3–8 – силові контакторні елементи; 9 – устрій заземлення; 10 – тягові рейки; 11 – зворотній фідер; 12 – тягова підстанція; 13 – контактна мережа; R1, R2 – пускові реостати; M1–M4 – тягові двигуни.

Призначення вузлів електровоза:

- струмоприймач – забезпечує ковзний контакт між електровозом і контактним проводом;
- швидкодіючий вимикач – забезпечує вмикання та оперативне або автоматичне вимикання електровоза від контактної мережі;
- пускові реостати – служать для обмеження струму в колі та регулювання напруги на тягових двигунах;
- тягові двигуни – забезпечують перетворення електричної енергії в механічну, яка використовується для тяги поїздів;

Силові контакторні елементи забезпечують послідовне, послідовно-паралельне та паралельне з'єднання тягових двигунів та здійснюють ступінчасту зміну величини опору пускових реостатів.

Тяговий електродвигун (ТЕД) є електромеханічним перетворювачем електричної енергії в механічну. ТЕД постійного струму складається з остова (корпуса), в якому розміщені якір з обмоткою та колектор, головні та допоміжні магнітні полюси, поворотна траверса з щіткотримачами та щітками. Вал якоря обертається в підшипниках, які розташовані в двох підшипникових щитах.

Обмотка якоря за допомогою колектора та щіткового апарату підключається до силового електричного кола електровоза і при протіканні по ній струму створює магнітне поле якоря.

Головний полюс складається із сердечника та котушки, яка при протіканні струму створює магнітний потік полюса. Магнітні потоки полюсів створюють магнітне поле ТЕД.

Робота ТЕД базується на трьох фундаментальних законах фізики – Ампера, Фарадея та Ома.

Згідно закону Ампера на провідники обмотки якоря довжиною L зі струмом i в магнітному полі та індукцією B діє електромагнітна сила:

$$F_{eu} = B \cdot i \cdot L \cdot \sin \alpha, \quad (1)$$

де α – кут між напрямком провідника та магнітними силовими лініями.

При $\alpha=90^\circ \sin\alpha=1$.

Напрямок сили визначається за правилом лівої руки. На кожен i -ий провідник обмотки діє обертальний електромагнітний момент:

$$M_{ei} = F_{ei} \frac{D_y}{2}, \quad (2)$$

де D_y – діаметр якоря.

Сумарний електромагнітний момент двигуна:

$$M_e = F_e \frac{D_y}{2} N, \quad (3)$$

де N – число провідників в обмотці якоря.

Магнітний потік:

$$\Phi = BS \quad (4)$$

де S – площа полюса:

$$S = \frac{\pi D_y^2}{4} l, \quad (5)$$

де $2p$ – число головних полюсів.

З урахуванням рівнянь (1–5):

$$M_e = \frac{pN}{2\pi a} \Phi i = C_m \Phi i, \quad (6)$$

$$C_m = \frac{pN}{2\pi a}, \quad (7)$$

де C_m – машинна постійна для моменту;

a – число пар паралельних гілок обмотки якоря.

Згідно закону Фарадея (закон електромагнітної індукції) в провіднику обмотки якоря довжиною L , який пересікає магнітні силові лінії поля з індукцією B наводиться електрорушійна сила (е.р.с.):

$$e = BLV, \quad (8)$$

де V – швидкість переміщення провідника відносно магнітних силових ліній.

Напрямок е.р.с. визначається за правилом правої руки. Обмотка якоря включає в себе N провідників.

Сумарна е.р.с. обмотки якоря:

$$E = C_{\omega} \Phi \omega \quad (9)$$

де ω – кутова швидкість якоря, рад/с (1/с);

$$C_{\omega} = \frac{PN}{2\pi a}, \quad (10)$$

де C_{ω} – машинна константа для частоти обертання якоря.

Згідно закону Ома напруга живлення, що прикладена до електродвигуна дорівнює сумі е.р.с., наведеній в обмотці якоря, та падінню напруги в колі якоря:

$$U = E + ir_g \quad (11)$$

де U – напруга живлення, що прикладена до кола якоря, В;

E – індуктована е.р.с. обмотки якоря, В;

I – струм в колі якоря, А;

r_g – сумарний опір обмоток ТЕД (якоря і котушок полюсів), Ом.

З формули видно, що е.р.с. E і прикладена напруга U протилежного напрямку, тому ця е.р.с. носить назву “проти – е.р.с.” обмотки якоря.

Контрольні питання до теми

1. Призначення основних вузлів електровоза постійного струму.
2. Будова тягового електродвигуна електровоза та призначення його частин.
3. Які допоміжні машини встановлені на електровозі та вкажіть призначення?
4. Закон Ампера для тягового двигуна.
5. Закон Фарадея для тягового двигуна.
6. Закон Ома для тягового двигуна.

Тема 5. РОБОЧІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Робочі характеристики тягових двигунів поділяються на електромеханічні характеристики, віднесені до валу електродвигуна, електротягові характеристики, віднесені до ободу рушійної колісної пари, тягові характеристики та характеристики потужності.

Електромеханічні характеристики, віднесені до валу електродвигуна це залежності частоти обертання якоря ω , обертового моменту на валу якоря M_e та коефіцієнта корисної дії на валу електродвигуна η від струму якоря i при номінальній напрузі на затискачах двигуна U_g .

а) Залежність частоти обертання якоря від струму $\omega(i)$ має назву швидкісна характеристика. Вона може бути одержана з урахуванням рівнянь:

$$\omega = \frac{E}{C_\omega \Phi}; \quad (5-1)$$

$$E = U_g - i r_g, \quad (5-2)$$

де E – проти – ЕРС обмотки якоря;

Φ – магнітний потік ТЕД;

r_g – опір обмотки ТЕД;

C_ω – машинна константа для частоти обертання якоря

$$C_\omega = \frac{pN}{2\pi a} \quad (5-3)$$

де p – число пар полюсів;

a – число пар паралельних гілок обмотки якоря;

N – число активних провідників обмотки якоря.

З урахуванням (1,2) одержуємо:

$$\omega = \frac{U_g - i r_g}{C_\omega \Phi}. \quad (5-4)$$

Швидкісна характеристика може бути представлена у вигляді графіка.

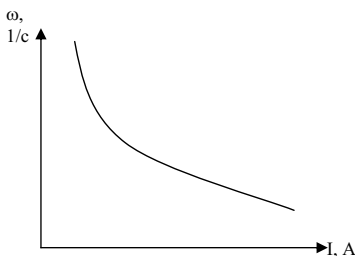


Рис. 5.1. Швидкісна характеристика

б) Залежність обертального моменту на валу якоря від струму $M(i)$ має назву моментної характеристики. Ця залежність описується формулою:

$$M = C_v i \Phi \eta_n \quad (5-5)$$

де C_m – машинна постійна для моменту;

η_g – к.к.д. електродвигуна.

Значення машинної постійної для моменту визначається з формули:

$$C_m = 0,0162 \frac{pN}{a}.$$

Моментна характеристика може бути представлена у вигляді графіка.

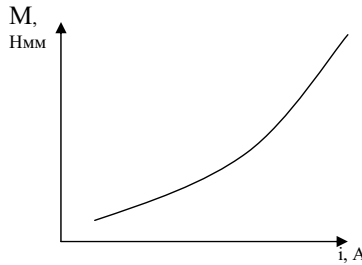


Рис. 5.2. Моментна характеристика електродвигуна

в) Характеристика коефіцієнта корисної дії на валу електродвигуна η_g від струму:

$$\eta_g = \frac{P_2}{P_1}, \quad (5-6)$$

де P_1 – потужність, підведена до двигуна, кВт;

P_2 – потужність на валу ТЕД, кВт.

$$P_1 = U_g I; P_2 = \omega M; \eta_g = \omega M / U_g I \quad (5-7)$$

Електротягові характеристики віднесені до ободу колісної пари при номінальній напрузі на затискачах двигуна U_g .

Перехід до електротягових характеристик може бути здійснений з урахуванням передаточного відношення тягової передачі μ , її к.к.д., η_m та діаметра бандажа колісної пари D_k .

а) Залежність швидкості руху колісної пари від струму якоря $V(i)$:

$$V = \frac{U_g - i r_g}{C_v \Phi} \quad (5-8)$$

де C_v – машинна постійна;

$$C_v = \frac{53\mu}{D_k C_n} \quad (5-9)$$

де μ – передаточне відношення тягового редуктора;

D_k – діаметр колісної пари;

C_n – машинна постійна.

Значення машинної постійної для швидкості визначається з формули:

$$C_n = \frac{pN}{60a}. \quad (5-10)$$

При зміні напруги на затискачах ТЕД одержуємо сукупність характеристик $V(i)$, де кожна з характеристик відповідає певному значенню напруги.

б) Залежність сили тяги на ободі колісної пари $F_{к\delta}$ від струму ТЕД.

Сила тяги рушійної колісної пари:

$$F_{к\delta} = \frac{2\mu M \eta_{zn}}{D_k} \quad (5-11)$$

де η_{zn} – к.к.д. зубчастої передачі тягового редуктора.

Після підстановка в (5-11) значення моменту з (5-5) одержимо залежність сили тяги від струму в колі якоря:

$$F_{к\delta} = \frac{2\mu C_m i \Phi \eta_g}{D_k}$$

або

$$F_{к\delta} = C_f i \Phi \eta_g \eta_{zn},$$

де C_f – машинна постійна для сили тяги;

$$C_f = \frac{2C_m \mu}{D_k}$$

в) К.к.д., віднесений до обода колісної пари:

$$\eta_f = \eta_g \eta_{zn}.$$

Тягова характеристика тягового двигуна – це залежність сили тяги на ободі колеса $F_{к\delta}$ від швидкості руху V . Тягову характеристику $F_{к\delta}(V)$ будують по точках залежностей електротягових характеристик $F_{к\delta}(i)$ та $V(i)$. Тягові характеристики зображують в вигляді графіків з осями $F_{к\delta}$ та V .

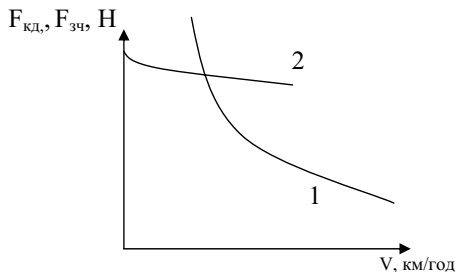


Рис. 5.3. Тягова характеристика електродвигуна

Наведена тягова характеристика (крива 1) має місце при одному незмінному значенні напруги на затискачах ТЕД. Якщо змінювати напругу на затискачах, то подібно сукупністю швидкісних характеристик одержимо набір тягових характеристик, де кожна характеристика відповідає певному значенню напруги.

Тягова характеристика має обмеження сили тяги по умовах зчеплення коліс з рейками.

$$F_{\text{кд max}} \leq F_{\text{зч}} = \psi P \cdot 10^3 \quad (5-12)$$

де $F_{\text{зч}}$ – сила зчеплення колісної пари з рейками, Н;

ψ – коефіцієнт зчеплення колісної пари з рейками;

P – навантаження на колісну пару, кН.

Залежність сили зчеплення колісної пари з рейками (крива 2) наведена на одному графіку з тяговою характеристикою.

Характеристика корисної потужності $P(V)$ – це залежність потужності електродвигуна від швидкості руху ЕРС. Вона може бути одержана за допомогою тягової характеристики $F_{\text{кд}}(V)$ з урахуванням залежності:

$$P = \frac{F_{\text{кд}} V}{3,67} \text{ кВт}, \quad (5-13)$$

де $F_{\text{кд}}$ – сила тяги колісної пари, кН;

V – швидкість руху колісної пари км/год.

Характеристика потужності електродвигуна послідовного збудження зображена на наступному графіку.

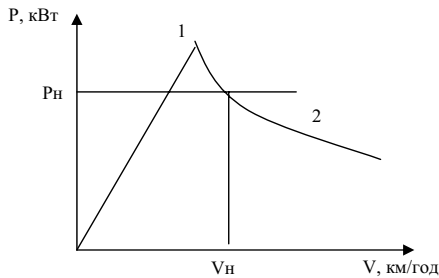


Рис. 5.4. Характеристика потужності електродвигуна

1 – пускова характеристика потужності;

2 – природна характеристика потужності.

Підвищення швидкості руху викликає зниження потужності, що може реалізувати двигун, так як при цьому зростає електрорушійна сила машини та спадає струм якоря.

Контрольні питання до теми

1. Електромеханічні характеристики тягового електродвигуна віднесені до вала електродвигуна.
2. Швидкісна характеристика електродвигуна.
3. Електротягові характеристики тягового електродвигуна віднесені до ободу колісної пари.
4. Тягова характеристика електродвигуна.
5. Характеристика потужності електродвигуна.

Тема 6. ПРИНЦИПИ І СПОСОБИ РЕГУЛЮВАННЯ СИЛИ ТЯГИ ТА ШВИДКОСТІ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Процес управління ЕРС включає наступні елементи: пуск, розгін, рух із заданою швидкістю, гальмування та зміну напрямку руху (реверсування).

Рух поїзда описується законом Ньютона:

$$F_{\kappa} - W_{\kappa} = M dv/dt \quad (6-1)$$

де F_{κ} – сила тяги локомотива, Н;

W_{κ} – сила опору руху поїзда, Н;

M – маса поїзда, т.

На рис.6.1. наведені графіки тягової характеристики $F_{\kappa 1}(v)$ та $F_{\kappa 2}(v)$, що відповідають двом різним значенням напруги на ТЕД та графік залежності сили опору руху поїзда від швидкості руху поїзда.

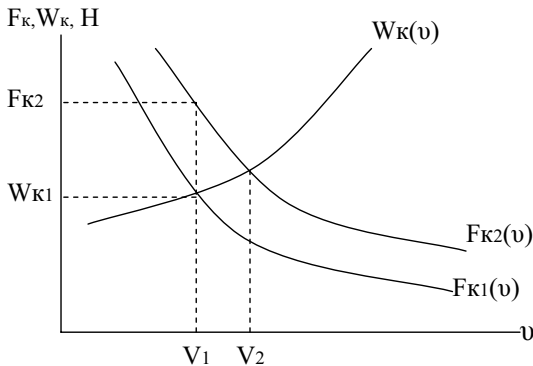


Рис. 6.1. Графіки тягових характеристик та характеристики опору руху

При роботі на окремій тяговій характеристиці швидкість руху залежить від співвідношення між величиною сили тяги та сили опору руху при конкретному значенні швидкості. Так, якщо сила тяги більше сили опору, тобто при $F_{\kappa} > W_{\kappa}$, поїзд рухається з прискоренням, при $F_{\kappa} < W_{\kappa}$ – з уповільненням, при $F_{\kappa} = W_{\kappa}$ має місце рух з постійною швидкістю. Як у випадку збільшення, так і у випадку зменшення швидкості руху зміна швидкості буде відбуватись до тих пір, поки наступить режим рівномірного руху при $F_{\kappa} = W_{\kappa}$. Для подальшої зміни швидкості необхідно перейти тягову характеристику.

Наприклад, якщо при роботі на тяговій характеристиці $F_{\kappa 1}(v)$ швидкість рівномірного руху $1v$, то при переході на тягову характеристику $F_{\kappa 2}(v)$ сила тяги стане рівною $F_{\kappa 2}$, а сила опору залишається рівною $W_{\kappa 1}$. Матиме місце нерівність $F_{\kappa 2} > W_{\kappa 1}$. Згідно закону Ньютона прискорення руху $d(v)/d(t) > 0$, тобто швидкість руху буде зростати до тих пір, поки наступить рівність $F_{\kappa 2} = W_{\kappa}$ при новому значенні швидкості рівномірного руху V_2 . Таким чином

перехід з однієї тягової характеристики на наступну приводить до зміни сили тяги, що в свою чергу спричиняє зміну швидкості ЕРС. На ЕРС зміна тягової характеристики здійснюється зміною напруги U_g , підведеної до тягових двигунів або зміною магнітного потоку полюсів. Кількість тягових характеристик відповідає числу позицій контролера машиніста та числу ступенів ослаблення магнітного поля полюсів разом взятих.

Управління рухом здійснюється зміною номера позиції, що в свою чергу приводить до переходу на наступну швидкісну характеристику $v(I)$ та нову тягову характеристику $F_\kappa(v)$.

Характеристика швидкості визначається формулою:

$$V = \frac{U_g - ir_g}{C_v \Phi}, \quad (6-2)$$

з якої видно, що швидкість прямо пропорційна напрузі на ТЕД U_g і обернено пропорційна магнітному потоку Φ головних полюсів.

Регулювання напруги U_g на ТЕД ЕРС постійного струму може бути ступінчастим та імпульсним. Ступінчаста зміна напруги здійснюється двома способами:

- а) зміною опору пускового реостата в колі ТЕД (реостатне регулювання);
- б) зміною напруги живлення ТЕД перемиканням схеми з'єднання ТЕД.

Реостатне регулювання застосовується на ЕРС постійного струму в період розгону. Розглянемо принципову схему реостатного регулювання, зображену на рис. 6.2.

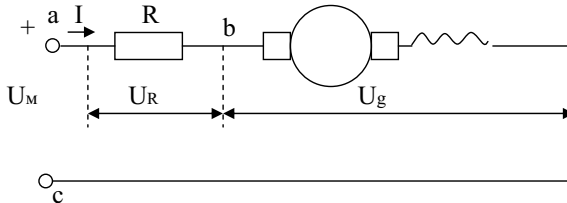


Рис. 6.2. Принципова схема реостатного регулювання

U_M – напруга контактної мережі, R – пусковий реостат, M – тяговий електродвигун, U_R – напруга на реостаті та U_g – напруга на ТЕД.

Згідно другому закону Кірхгофа алгебраїчна сума напруг вздовж будь-якого замкнутого контура дорівнює нулю:

$$\sum U_\kappa = U_{ab} + U_{bc} + U_{ca} = 0 \quad (6-3)$$

Так як

$$U_{ab} = U_R; U_{bc} = U_g; U_{ca} = -U_m,$$

то

$$U_R + U_g - U_m = 0 \quad (6-4)$$

звідки

$$U_m = U_R + U_g. \quad (6-5)$$

Тобто сума напруг на реостаті та тягових двигунах дорівнює напрузі контактної мережі. Якщо ступінчасто змінювати величину реостата R, то також ступінчасто буде змінюватись напруга U_R , яка згідно закону Ома для ділянки кола:

$$U_R = I \cdot R. \quad (6-6)$$

Так як напруга в контактній мережі U_m залишається незмінною, то при зменшенні U_R напруга на ТЕД U_g зростає.

Регулювання напруги перемиканням схем з'єднання ТЕД дає змогу збільшити кількість ступенів регулювання напруги для досягнення більш рівномірного розгону ЕРС. Існує три схеми з'єднання ТЕД:

- схема послідовного (серієсного) з'єднання – “С”;
- схема послідовно-паралельно з'єднання – “СП”;
- схема паралельного з'єднання – “П”.

Якщо ТЕД з'єднані послідовно (Рис. 6.3), то напруга на тягових двигунах дорівнює сумі напруг U_{gi} на кожному з них, тобто

$$U_g = U_{g1} + \dots + U_{g2} + \dots + U_{gn} = \sum_{i=1}^N U_{gi}, \quad (7)$$

де N - число послідовно з'єднаних ТЕД.

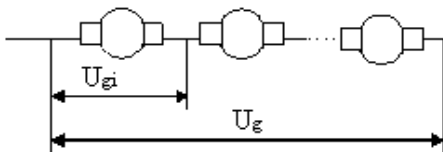


Рис. 6.3. Схема послідовного з'єднання ТЕД

З формули (5) одержуємо:

$$U_g = U_m - U_R / N,$$

при виключених реостатах, тобто при $U_R = 0$

$$U_g = U_m / N.$$

При з'єднанні ТЕД по схемі “СП” (рис. 6.4) має місце два паралельних кола, в кожне з яких входить половина тягових двигунів, з'єднаних між собою послідовно. Напряга живлення на ТЕД при цьому збільшується в два рази.

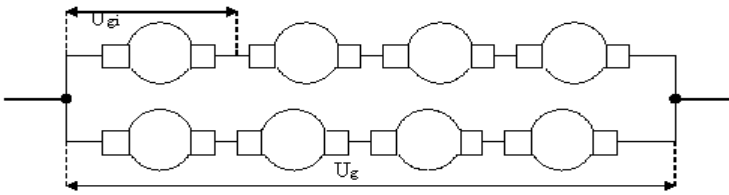


Рис. 6.4. Схема послідовного–паралельного з'єднання ТЕД

При з'єднанні ТЕД по схемі “П” (рис. 6.5) ТЕД ввімкнені в чотири паралельні кола, при цьому в кожному з них має місце послідовне з'єднання двох двигунів. Порівняно з “СП” напряга на кожному ТЕД збільшується в 2 рази.

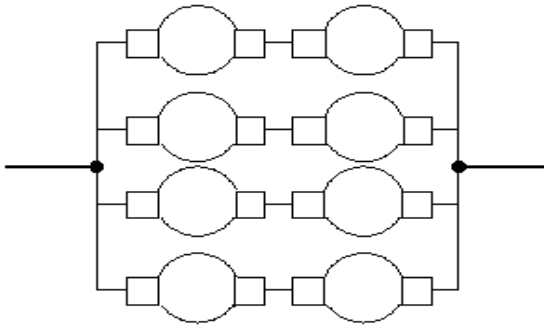


Рис. 6.5. Схема паралельного з'єднання ТЕД

Перед кожним перемиканням ТЕД на наступну схему з'єднання в електричне коло двигунів вмикають пускові реостати, які потім по мірі розгону ступінчато виводяться з електричного кола.

Регулювання швидкості руху зміною магнітного потоку головних полюсів

Підвищення потужності ТЕД та швидкості руху на ходових позиціях (при виведенні з кола ТЕД реостатів) забезпечується вмиканням паралельно обмоткам збуджування (ОЗ) тягових двигунів М резисторів ослаблення магнітного потоку полюсів R1, R2. Резистори вмикають контакторами K1, K2.

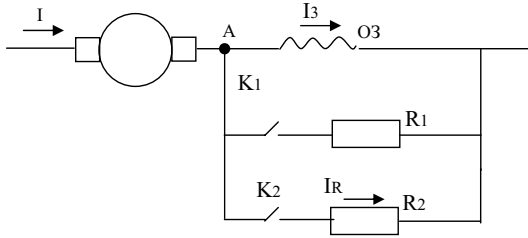


Рис. 6.6. Принципова схема ослаблення магнітного потоку тягового двигуна

При вмиканні контакторів K_1 , K_2 струм якоря I в точці A розгалужується. В обмотці збудження O_3 протікає тільки частина струму I_3 , а решта струму I_R – в резисторах R_1 , R_2 . При цьому згідно першого закону Кірхгофа струм в обмотці збуджування:

$$I_3 = I - I_R.$$

Зменшення струму в обмотці збуджування O_3 приводить до зменшення магнітного потоку Φ головних полюсів ТЕД, що в свою чергу забезпечує перехід на більш високі швидкісні і тягові характеристики.

Сучасні електровози мають від 3-х до 5-ти ступенів ослаблення магнітного поля ТЕД.

Імпульсне регулювання напруги постійного струму

Імпульсне регулювання (рис. 6.6) здійснюється за допомогою імпульсних тиристорних перетворювачів ЕРС, які дають змогу перетворити постійну напругу одного рівня в напругу іншого рівня.

Напруга від струмоприймача через фільтр L_ϕ , C_ϕ та імпульсний перетворювач V_S подається окремими почерговими імпульсами на тяговий двигун M . Регулювання напруги здійснюється перетворювачем V_S шляхом зміни або тривалості ширини керуючих імпульсів або їх частоти. Перший з названих способів називається широтно-імпульсним регулюванням (ШІР), а другий – частотно, імпульсним регулюванням (ЧІР).

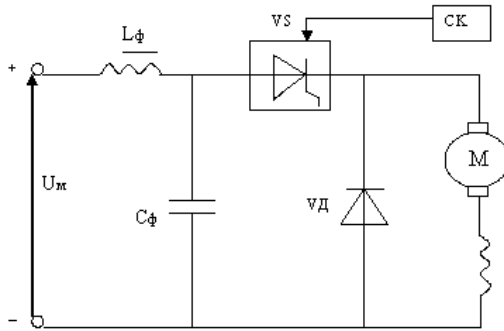


Рис. 6.7. Принципова схема імпульсного регулювання напруги

L_ϕ – дросель вхідного фільтру; C_ϕ – ємність вхідного фільтру;
 V_S – імпульсний перетворювач; V_D – зворотній вентиль; M – електродвигун;
 C_K – система керування імпульсного перетворювача.

Імпульсний перетворювач включає в себе тиристори, які завдяки сигналам управління системи СК періодично замикаються та розмикаються з частотою f

$$f = \frac{1}{T},$$

де T – період імпульсів.

Імпульсне регулювання (рис. 6.6) крім періода та частоти характеризується тривалістю імпульсу T_i та паузи T_{II} , при цьому

$$T = T_n + T_{II}$$

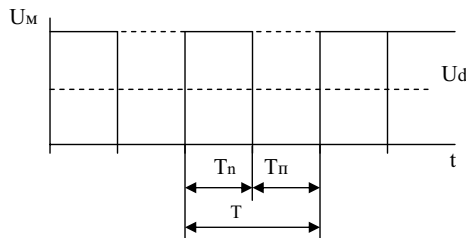


Рис. 6.8. Напруга на ТЕД при імпульсному регулюванні

У відкритому стані перетворювача V_S напруга U_M прикладена до електродвигуна M , при розімкненому напруга на електродвигуні відсутня. Середнє значення напруги на двигуні за період:

$$U_d = \frac{U_M T_n}{T} = \gamma U_M,$$

де $\gamma = \frac{T_n}{T}$ – парність імпульсів.

Зміна середнього значення напруги здійснюється шляхом зміни тривалості імпульса T_n , або частоти імпульсів. Можливе регулювання напруги також зміною частоти та ширини імпульсів – частотно-широтне регулювання.

Імпульсні перетворювачі застосовані на електропоїздах EP200. Сотні електропоїздів з імпульсним регулюванням експлуатують на залізницях Англії, Бельгії, Франції, США та Німеччини.

Контрольні питання до теми

1. Способи регулювання режимів роботи тягових електродвигунів електровозів постійного струмопотуку.
2. Для чого перемикають схеми з'єднання ТЕД. Особливості цих схем?
3. Залежність швидкості руху електровозу від напруги живлення та магнітного потоку.
4. Регулювання швидкості руху електровозу змінного струму збудженням ТЕД.

Тема 7. ЕРС ЗАЛІЗНИЦЬ, ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ЗА СИСТЕМОЮ ОДНОФАЗНОГО ЗМІННОГО СТРУМУ ПРОМИСЛОВОЇ ЧАСТОТИ

Електровози та електропоїзди залізниць з системою однофазного струму промислової частоти в залежності від конструкції тягових двигунів поділяються на ЕРС однофазно-постійного струму та ЕРС змінного струму з безколекторними тяговими двигунами. На ЕРС однофазно-постійного струму використовують тягові двигуни постійного (пульсуючого струму). Електровози та електропоїзди такого типу працюють на залізницях країн СНД, Франції, Англії та інших країн. На залізницях України знаходяться в експлуатації електровози однофазно-постійного струму ВЛ60, ВЛ80^К, ВЛ80^Т, ВЛ80^С, ЧС-4, ЧС-8 та аналогічного типу електропоїзди ЕР-9, ЕР-9Е, ЕПЛ.

На ЕРС змінного струму з безколекторними тяговими двигунами використовують асинхронні трифазні тягові двигуни з короткозамкнутим ротором. На залізницях України почали поступати перші електровози даного типу, що мають серійну назву ДСЗ.

Загальні відомості про ЕРС однофазно-постійного струму із контактним регулюванням напруги

Система керування електровозу включає в себе перетворювач однофазного струму промислової частоти в постійний струм, який необхідний для живлення ТЕД. Регулювання швидкості руху здійснюється зміною напруги на ТЕД на зміною магнітного потоку. Зміна напруги може здійснюватись ступенями перемиканням секцій обмоток тягового трансформатора або плавно за допомогою тиристорного перетворювача. Зміна напруги перемиканням секцій обмоток може здійснюватись як на первинній, так і на вторинній обмотках трансформатора. В першому випадку має місце високовольтне регулювання, яке використовується на електровозах ЧС-4, ЧС-8. В другому випадку – регулювання на низькій стороні трансформатора, що використовується на електровозах ВЛ60, ВЛ80^Т, ВЛ80^С та електропоїздах ЕР-9, ЕР-9Е, ЕПЛ.

Принципову силову схему електровоза однофазно-постійного струму розглянемо на прикладі електровозу ВЛ80^К (рис. 7.1).

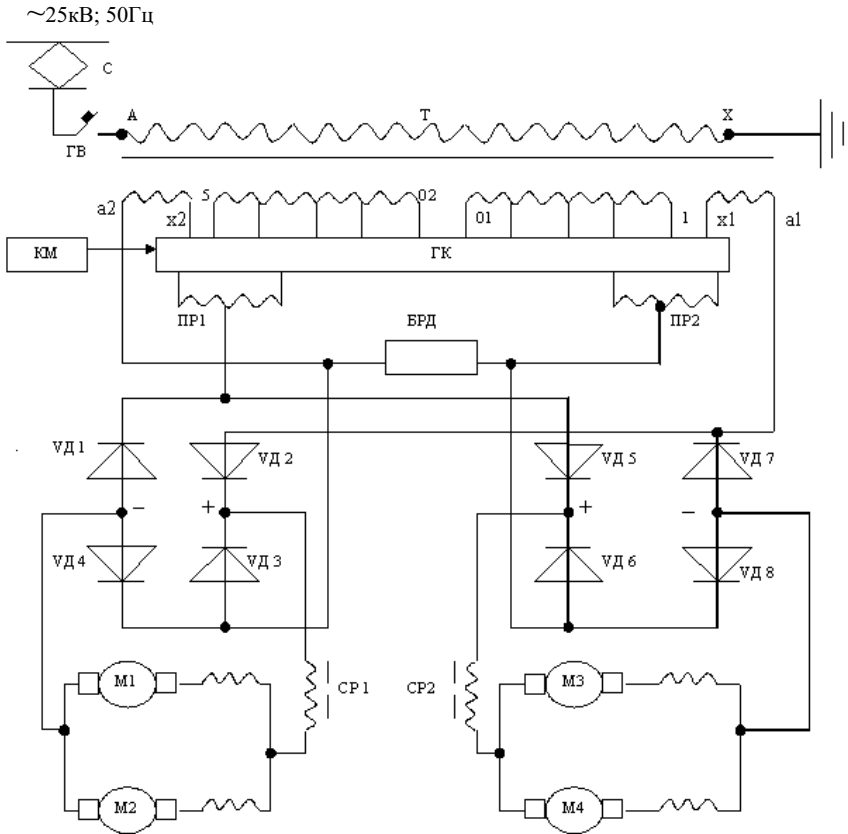


Рис. 7.1. Принципова силова схема електровоза однофазно-постійного струму.

С – струмоприймач; ГВ – головний вимикач; Т – тяговий трансформатор; АХ – первинна обмотка трансформатора; 1-01, 5-02, а1-х1, а2-х2 – вторинні обмотки трансформатора; ГК – головний контролер електровозу; VD1 – VD4 – діодні плечі першої випрямної установки; VD5 – VD8 – діодні плечі другої випрямної установки; M1 – M4 – тягові електродвигуни; СР1, СР2 – згладжуючі реактори; ПР1, ПР2 – перехідні реактори; БРД – блок диференційних реле; КМ – контролер машиніста.

Призначення основних вузлів електровозу

Головний вимикач – основний апарат захисту, за допомогою якого здійснюється вмикання та оперативне та автоматичне вимкання електровоза від контактної мережі.

Тяговий трансформатор – забезпечує зниження напруги до рівня, необхідного для роботи тягових електродвигунів. Крім того, за допомогою трансформатора змінюється ступінчаста зміна напруги на ТЕД. Вторинних

обмоток чотири. Дві з них $a1-x1$ і $a2-x2$ нерегульовані, а дві інші $01-1$ та $02-5$ – регульовані, і кожна складається із 4-х секцій, за допомогою яких регулюється напруга на виході трансформатора.

Головний контролер – являє собою груповий перемикач, до складу якого входять 34 контакторні елементи, за допомогою яких здійснюється перемикання в заданій послідовності вторинних обмоток та їх секцій.

Контролер машиніста служить для дистанційного управління приводом головного контролера.

Випрямні установки – забезпечують перетворення змінного струму в пульсуючий, яким живляться тягові електродвигуни М1–М4.

Тягові електродвигуни – забезпечують перетворення електричної енергії в механічну, яка використовується для тяги поїздів.

Згладжуючі реактори – забезпечують зменшення пульсації струму в силовому колі, що необхідно для поліпшення умов роботи ТЕД.

Перехідні реактори – необхідні для обмеження струму в колі секцій регульованих обмоток в процесі їх перемикання.

Блок диференційних реле – забезпечує вимикання головного вимикача електровоза при короткому замиканні в силовому колі.

Швидкісна характеристика ТЕД пульсуючого струму, як і ТЕД постійного струму, змінюється напругою та магнітним потоком:

$$V = \frac{U_g - ir_g}{C_v \Phi} \quad (7-1)$$

Регулювання напруги на ТЕД на ЕРС однофазно-постійного струму здійснюється шляхом перемикання обмоток та секцій вторинних обмоток тягового трансформатора за допомогою контакторних елементів головного контролера. При цьому ступінчасто змінюється коефіцієнт трансформації трансформатора:

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} \quad (7-2)$$

де U_1, W_1 – напруга та число витків первинної обмотки трансформатора;

U_2, W_2 – напруга та число витків вторинної обмотки трансформатора.

З формули (2) напруга на виході трансформатора:

$$U_2 = \frac{U_1}{K} = \frac{U_1 W_2}{W_1}$$

Так як напруга U_1 та число витків W_1 первинної обмотки не змінюються, то напруга на виході трансформатора прямо пропорційна кількості ввімкнених в роботу витків вторинної обмотки трансформатора. Одержана на виході трансформатора змінна напруга перетворюється за допомогою випрямної установки в пульсуючу, яка подається для живлення ТЕД. Наявність пульсації негативно впливає на роботу ТЕД, тому послідовно в коло якорів вмикають

індуктивні опори, які мають назву згладжуючих реакторів і зменшують пульсації струму в колі.

Тягові двигуни на ЕРС однофазно–постійного струму постійно з'єднані між собою в схему паралельного з'єднання.

Перевагою розглянутої схеми є відсутність реостатів та втрат потужності при регулюванні напруги на реостатах.

Недоліком схеми є те, що напруга на ТЕД при регулюванні змінюється ступінчасто. Зменшення величини стрибків напруги може бути досягнуто збільшенням кількості виводів вторинної обмотки трансформатора та контакторних елементів для їх перемикання, що ускладнює конструкцію та знижує надійність роботи обладнання.

Загальні відомості про ЕРС однофазно–постійного струму з безконтактним плавним регулюванням напруги на ТЕД

ЕРС однофазно–постійного струму з плавним безконтактним регулюванням напруги на ТЕД тяговий трансформатор має одну вторинну обмотку, до якої увімкнено тиристорний випрямляч. Вторинна обмотка трансформатора має мінімальну кількість виводів. Принципова силова схема електровоза однофазно–постійного струму з безконтактним плавним регулюванням напруги наведена на рис. 7.2.

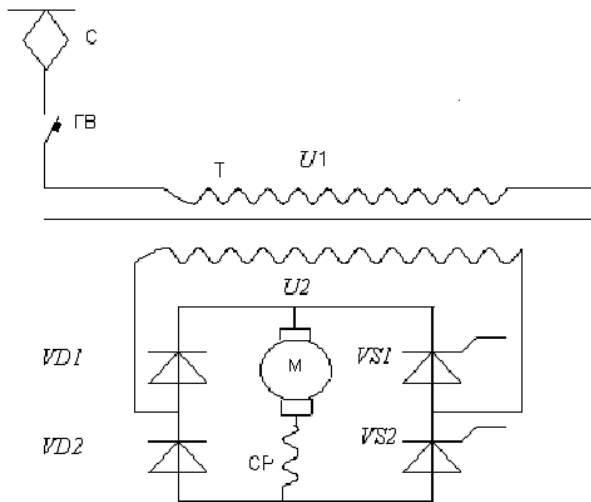


Рис. 7.2. Принципова силова схема електровоза однофазно–постійного струму з безконтактним плавним регулюванням напруги

С – струмоприймач; *ГВ* – головний вимикач; *Т* – тяговий трансформатор; *VD1*, *VD2* – діодні плечі випрямляча; *VS1*, *VS2* – тиристорні плечі випрямляча;

М – тягові електродвигуни; *СР* – згладжуючий реактор.

На ЕРС з плавним регулюванням напруги в плечі випрямлячів включені тиристри. Тиристри – керовані напівпровідникові вентилялі. Зміною фази імпульсу керування тиристора можна змінювати момент включення тиристора, а відповідно і середню випрямлену напругу на ТЕД.

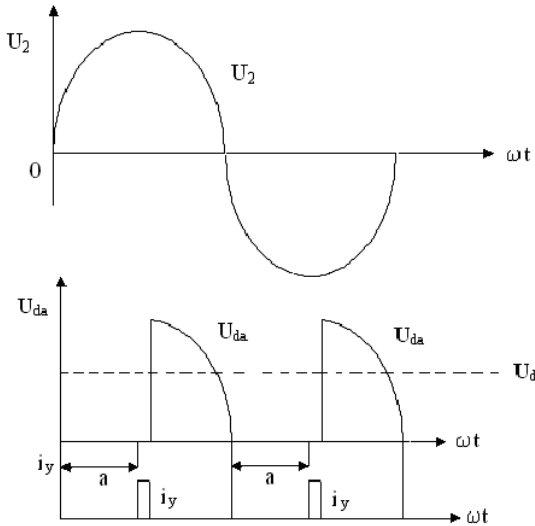


Рис. 7.3. Графік напруг на виході трансформатора та на ТЕД

Кутом керування a прийнято називати фазу імпульсу керування i_y відносно переходу синусоїди через 0. Імпульси керування створюються системою керування випрямляча і в перший півперіод подаються на тиристри плеча $VS1$, а в другий півперіод – на тиристри плеча $VS2$. При куті керування $a = 0^\circ$ плечі $VS1$ і $VS2$ відкриваються зразу ж при появі напруги U_2 на вентилях.

Випрямлена миттєва напруга U_{da} на ТЕД показана на рис. 7.3. При куті керування $0 < a < 180^\circ$ вона являє собою імпульси у вигляді частин синусоїдальної напруги. Середня випрямлена напруга на ТЕД U_d представлена пунктирною лінією. При цьому першу частину півперіоду тиристри закриті, і напруга на ТЕД відсутня. Після подачі імпульсу керування тиристор вступає в роботу, і напруга U_2 підводиться до ТЕД. Середнє значення напруги на ТЕД за період знаходять за формулою:

$$U_d = 0,9 \cdot U_2 (1 + \cos(a)) / 2,$$

де U_2 – діюче значення напруги вторинної обмотки трансформатора.

При плавному регулюванні напруги на ТЕД поліпшуються тягово–експлуатаційні характеристики ЕРС. Вторинна обмотка трансформатора має мінімальну кількість виводів. Відпадає необхідність в контакторних елементах головного контролера електровозу. Разом з тим при імпульсному регулюванні зростає пульсація випрямленої напруги на ТЕД, що негативно впливає на їх роботу.

Загальні відомості про ЕРС змінного струму з безколекторними тяговими двигунами

В якості ТЕД в Україні і в зарубіжних країнах використовувались та продовжують використовуватись колекторні машини постійного струму. Такі ТЕД мають гарні тягові властивості і одночасно низку суттєвих недоліків. Ці недоліки полягають в порівняно низькій надійності колекторного вузла та щіткового апарату, обмеженій у відведених габаритах потужності, значній масі і високих витратах кольорових металів, недостатній реалізації зчіпної ваги та високих експлуатаційних витратах на технічне обслуговування.

Усунення вказаних недоліків, зняття обмежень по потужності, забезпечення гранично високого використання зчеплення коліс з рейками можуть бути досягнуті при використанні безколекторних асинхронних тягових двигунів (АТД). Встановлені на ЕРС змінного струму АТД з коротко замкнутим ротором мають потужність в 1,5 – 2 рази більшу в порівнянні з ТЕД постійного і пульсуючого струму. Обмотка АТД розташована в статорі двигуна, завдяки чому знімається обмеження по максимальній частоті обертання вала. АТД відрізняються простотою конструкції, низькими витратами кольорових металів, нижчою вартістю та високою надійністю роботи.

Підвищення вісьової потужності стає актуальним в умовах високошвидкісного руху поїздів. Так, для забезпечення швидкості руху до 160 км/год необхідно мати вісьову потужність 1200 – 1300 кВт, а при швидкості 200 – 250 км/год необхідна вісьова потужність 1500 – 1600 кВт.

Розглянемо устрій електровозу змінного струму з АТД на прикладі принципової схеми електровоза серії ЕП10 (рис. 7.4).

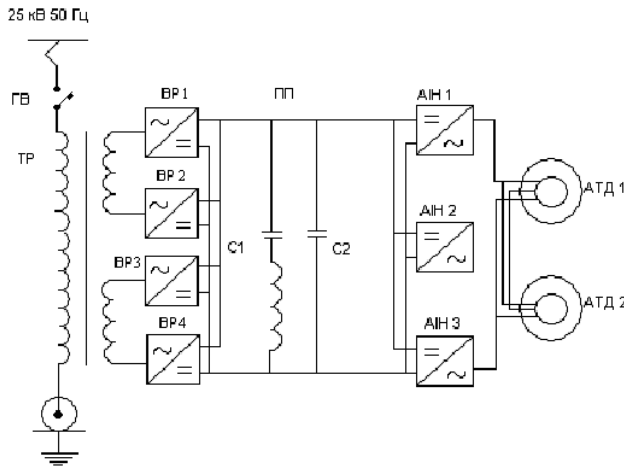


Рис. 7.4. Принципова схема силового кола електровоза ЕП10

ГВ – головний вимикач; ТР – тяговий трансформатор; ВР1, ВР4 – вхідні чотирьохквADRантні перетворювачі; ПП – проміжна ланка постійної напруги 2800В; АІН1, АІН3 – автономні інвертори напруги; АТД1, АТД 2 – асинхронні тягові електродвигуни.

Призначення основних вузлів.

Головний вимикач – основний апарат захисту електровоза при аварійних режимах. Він забезпечує вмикання, оперативне та автоматичне вимикання електровоза від контактної мережі.

Тяговий трансформатор – складається з первинної та вторинних тягових обмоток. Він забезпечує зниження напруги контактної мережі. До вторинних обмоток трансформатора підключені вхідні перетворювачі.

Вхідні чотирьохквADRантні перетворювачі, підключені до тягових обмоток ТР і забезпечують перетворення змінної напруги в постійну та стабілізацію постійної напруги.

Проміжна ланка постійної напруги здійснює згладжування пульсацій випрямленого струму. Ланка містить конденсатори С1, С2 та дросель фільтру L.

Автономні інвертори напруги забезпечують:

а) перетворення постійної напруги в трифазну змінну напругу, необхідну для живлення АТД;

б) плавне регулювання частоти змінної напруги;

в) плавне регулювання напруги, що подається на обмотки статора АТД.

Асинхронні тягові двигуни перетворюють електричну енергію в механічну, яка використовується для створення сили тяги електровоза.

Асинхронний тяговий двигун складається зі статора і ротора. Статор включає в себе циліндричний остов, в який впресовано осердя статора, набране з окремих штампованих листів електротехнічної сталі. На внутрішній поверхні осердя розташовані пази, в яких розміщена обмотка статора. Обмотка статора трифазна і з'єднана в зірку.

Ротор електродвигуна складається з валу, який кріпиться в підшипниках, розміщених в підшипникових щитах. Щити закривають горловини остова та прикріплюються до остова болтами.

На вал ротора напресовано осердя ротора, набране з окремих штампованих листів електротехнічної сталі з пазами на зовнішній поверхні. При виготовленні ротора пази заливаються алюмінієвим сплавом, створюючи стержні обмотки ротора. За допомогою короткозамикаючих кілець стержні ротора замикаються в єдину замкнуту конструкцію – клітку ротора.

Робота АТД.

Первинна обмотка тягового трансформатора через струмоприймач та ГВ живиться від системи тягового електрозабезпечення однофазним змінним струмом 25кВ та частотою 50Гц. Напруга на виході вторинних обмоток трансформатора знижується до 1300 В і прикладається до вхідних перетворювачів, які перетворюють її в постійну напругу. Постійна напруга АІН перетворюється в трифазний змінний струм з регульованою частотою і напругою.

Трифазний змінний струм протікає по обмотці статора і створює в статорі магнітне поле, яке обертається з кутовою частотою:

$$\omega_1 = 2\pi f_1 / p_1,$$

де f_1 – частота струму статора, Гц;

p_1 – число пар полюсів обмотки статора.

Магнітне поле статора перетинає стержні обмотки ротора і індуктує в них е.р.с. Наявність е.р.с. та замкнутого кола в роторі створюють умови для протікання струму ротора I_2 . При взаємодії струму ротора з магнітними потоком Φ обмотки статора створюється електромагнітний момент ротора:

$$M_e = \frac{p_1 m_1}{2\sqrt{2}} \omega_1 K_{об1} \Phi I_2' \cos \varphi_2,$$

де m_1 і p_1 – відповідно число фаз і пар полюсів обмотки статора;

ω_1 і $K_{об1}$ – відповідно число витків фази і обмоточний коефіцієнт обмотки статора;

Φ – магнітний потік обмотки статора;

I_2' – струм ротора, приведений до кола статора;

$\cos \varphi_2$ – кут зсуву між векторами е.р.с. і струму ротора.

Завдяки моменту M_e ротор обертається з частотою $f_{об}$, а частота f_2 струму ротора залежить від частоти струму статора f_1 та частоти обертання ротора $f_{об}$:

$$f_2 = f_1 - f_{об}.$$

Обертання ротора відстає від обертання магнітного поля статора. Явище відставання обертання ротора від обертання магнітного поля статора носить назву ковзання. Відносне ковзання ротора визначається з виразу:

$$s = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1} \cdot 100\%,$$

де ω_2 – кутова частота обертання ротора, Гц

$$\omega_2 = 2\pi f_{об} / p_1.$$

Відносне ковзання потужних АТД знаходиться в межах 0,5 – 2 %.

Регулювання частоти обертання ротора, отже і швидкості руху ЕРС здійснюється шляхом зміни частоти струму статора f_1 . Зміна частоти f_1 впливає на величину обертового моменту ротора, який при припущенні, що відносне ковзання $s = 0$ та, нехтуючи падінням напруги в обмотці статора, описується виразом:

$$M_e = c \frac{U_1^2 s}{f_1},$$

де U_1 – напруга на обмотці статора, В.

Зрушення поїзда з місця та його розгін відбувається при нарощуванні частоти f_1 , що спричиняє зменшення обертового моменту ротора, який бажано мати у вказаному режимі постійним і найбільш можливим за умов зчеплення колісних пар з рейками. Необхідне значення моменту забезпечується нарощуванням напруги U_1 на обмотці статора, яке здійснюється одночасно зі збільшенням частоти f_1 . При досягненні напругою номінального значення регулювання моменту здійснюється зміною відносне ковзання s . Таким чином, регулювання режимів роботи і зміну характеристик роботи ЕРС здійснюють за допомогою трьох керуючих параметрів: частоти струму статора f_1 , напруги на обмотці статора U_1 та відносного ковзання s .

Контрольні питання до теми

1. Призначення основних вузлів електровоза однофазно-постійного струму.
2. Які допоміжні машини встановлені на електровозі та вкажіть призначення?
3. Контактний спосіб регулювання напруги на тягових електродвигунах електровозів однофазно-постійного струму.
4. Безконтактне плавне регулювання напруги на тягових електродвигунах.

5. Основні вузли ЕРС змінного струму з безколекторними тяговими двигунами, їх призначення.
6. Конструкція асинхронного тягового двигуна.
7. Принцип роботи асинхронного тягового двигуна.
8. Регулювання швидкості руху ЕРС з асинхронним приводом.

Тема 8. ЗАГАЛЬНА БУДОВА ТА ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ

Електропоїзди призначені для використання в приміському сполученні на електрифікованих ділянках залізниць.

Електропоїзди за видом струму діляться на електропоїзди постійного струму з напругою в контактній мережі 3 кВ та 852 В, а також змінного струму з напругою в контактній мережі 25 кВ та частотою 50 Гц.

Електропоїзди магістральних залізниці формують з моторних, причіпних та головних (з кабінами машиніста) вагонів. Вагони групують в секції, в які входить певна кількість моторних та причіпних вагонів. Наприклад, кожна секція електропоїзда поїзда ЕР9 складається з моторного та причіпного вагонів; секції електропоїздів ЕР22 та ЕР22М складаються з 2-х моторних та 2-х причіпних вагонів, розташованих між моторними. Із секцій формують состави.

Управління составом здійснюється з кабіни головного вагона за системою багатьох одиниць.

Кількість вагонів в поїзді і їх типи характеризується складом поїзда.

Приклад:

Серія ел. поїзда	Склад поїзда
ЕР2Т, ЕР2Р	2Пг + 5М + 3П
ЕР200	2Пг + 12М
ЕР9Т	2Пг + 5М + 3П
ЕР9Е	2Пг + 5М + 3П
ЕР30	2Пг + 6М + 4П

де М – моторний вагон;

П – причіпний вагон;

Пг – причіпний головний вагон.

Основною поїзною одиницею вважають 10-ти вагонний електропоїзд, що складається з 2-х головних, п'яти моторних та трьох причіпних вагонів, склад якого 2Г + 5М + 3П.

Схема формування 10-ти вагонного електропоїзда:

Г – М – П – М – П – М – М – П – М – Г.

Поїзд може бути сформований з 4, 6, 8 і 12 вагонів. Зменшення числа вагонів досягають виключенням 1, 2-х або 3-х секцій.

6-ти вагонний електропоїзд: Г – М – М – П – М – Г.

4-х вагонний електропоїзд: Г – М – М – Г.

Моторні вагони обладнані тяговим електроприводом і здатні створювати силу тяги. Кожний моторний вагон має механічну частину та електричне обладнання. Механічна частина складається з кузова, що спирається на два візки. Візок моторного вагона складається з рами, тягових двигунів, колісних пар, зубчастих передач, ресорного підвішування, зіпних приладів та гальмівного обладнання. Рами всіх візків вагонів двовісні. Для збільшення місткості салону все основне електричне обладнання моторного вагону підвішують під кузовом на рамі у підвагонних камерах або монтують на даху. Тільки незначну частину апаратури розміщують у шафах, встановлених у

вагонах поїздів, що експлуатують на ділянках постійного струму з напругою 3 кВ та однофазного змінного струму з напругою 25 кВ аналогічні.

Функціональна схема електропоїзда змінного струму з діодним випрямлячем наведена на рис. 8.1.

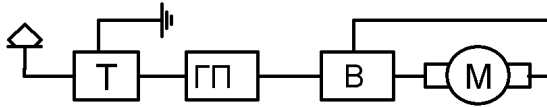


Рис. 8.1. Функціональна схема електропоїзда змінного струму

Напруга, що подається через струмоприймач, знижується трансформатором Т і регулюється трансформатором та груповим перемикачем ГП. Регулювання безреостатне, ступінчасте. Випрямляч В перетворює змінну напругу на виході перемикача в пульсуючу, яка подається на тяговий двигун М.

У Німеччині та Швеції виготовлені також моторні вагони з асинхронними ТЕД. Ведуться також роботи по створенню вітчизняних електропоїздів з асинхронними ТЕД в Україні.

Контрольні питання до теми

1. Типи електропоїздів.
2. Склад составу електропоїзда та типи вагонів.
3. Функціональна схема моторного вагону електропоїзду.
4. Регулювання режимів роботи моторного вагону електропоїзду.

Тема 9. БУДОВА ТЕПЛОВОЗА ТА ЙОГО ОКРЕМИХ ВУЗЛІВ, ЇХ ПРИЗНАЧЕННЯ, ПРИНЦИП РОБОТИ ТА ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

9.1. Класифікація тепловозів

Тепловози класифікують:

за родом служби – вантажні, пасажирські, універсальні, маневрові, промислові;

за типом передачі – з електричною, гідравлічною та гідромеханічною передачами, з електричною передачею постійного, змінно–постійного та змінного струмів;

за шириною рейкової колії – тепловози нормальної колії та вузькоколіїні;

за числом числу секцій – односекційні, двосекційні та багатосекційні.

Тепловози відрізняються серійними позначеннями. В позначенні серії використовують букви та цифри. Перша буква Т відповідає типу локомотива – тепловоз. Друга буква характеризує тип передачі (Е – електрична передача, Г – гідравлічна передача). Третя буква характеризує призначення тепловоза (П – пасажирський, М – маневровий, у вантажних тепловозів ця буква відсутня).

Цифри в позначенні серії відведені для позначення виробника тепловоза. Цифри 1–49 мають тепловози, виготовлені Харківським заводом ім. Малишева, 50–99 – тепловози, виготовлені Коломенським тепловозобудівним заводом, цифри 100 і вище мають тепловози, запроектовані та виготовлені Луганським тепловозобудівним заводом.

9.2. Функціональні схеми тепловозів

Тепловози відносяться до автономних локомотивів. Найважливішою частиною тепловоза є первинний двигун – дизель, який перетворює хімічну енергію пального в механічну енергію обертання колінчатого вала. Потужність дизеля пропорційна частоті обертання колінчатого вала. Найбільш раціональним режимом роботи дизеля є робота при постійній, номінальній частоті обертання вала, коли дизель реалізує найбільшу потужність. Щоб забезпечити можливість роботи дизеля з постійною частотою обертання в широких межах зміни швидкості руху тепловоза енергія дизеля передається, до колісних пар через спеціальний пристрій – передачу. Передача забезпечує зрушення з місця та повне використання потужності дизеля в широкому діапазоні зміни швидкості руху тепловоза.

Функціональна схема тепловоза (рис. 9.1) складається з трьох блоків дизеля Д, передачі П та колісних пар КП.

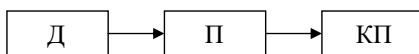


Рис. 9.1. Функціональна схема тепловоза

Дотична потужність тепловоза визначається за формулою:

$$N_k = \frac{F_k V}{3,67},$$

де F_k – сила тяги тепловоза, кН;

V – швидкість руху, км/год.

Потужність тепловоза N_k може підтримуватися постійною в тому разі, якщо передача буде автоматично змінювати силу тяги F_k обернено пропорційно швидкості руху, тобто необхідно, щоб тягова характеристика $F_k(V)$ (рис. 9.2) мала гіперболічну залежність.

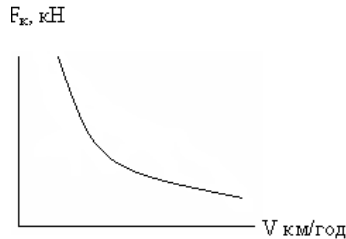


Рис. 9.2. Бажана форма тягової характеристики тепловоза

Передача тепловоза забезпечує:

- плавне зрушення з місця;
- повне використання потужності тепловоза в широкому діапазоні зміни швидкості руху;
- автоматизацію управління передачею та регулювання режимів її роботи;
- можливість відокремлення вала дизеля від колісних пар при пуску дизеля;
- можливість зміни напрямку руху тепловоза при постійному напрямку обертання вала дизеля.

На тепловозах застосовують наступні передачі:

- електричні передачі;
- гідравлічні передачі;
- гідромеханічні передачі.

Електричні передачі застосовуються на магістральних та потужних маневрових тепловозах. При електричній передачі механічна енергія від колінчатого вала дизеля передається тяговому генератору, який перетворює її в електричну енергію. Далі електрична енергія тяговими двигунами перетворюється в механічну енергію, яка створює обертовий момент та силу тяги на колісних парах.

В залежності від конструкції тягових генераторів та електродвигунів на тепловозах використовують передачі трьох видів:

- постійного струму;

- змінно-постійного струму;
- змінного струму.

Функціональна схема електричної передачі постійного струму (рис. 9.3) має включати наступні блоки: дизель Д, тяговий генератор постійного струму ТГ, тягові електродвигуни ТЕД, тягові редуктори ТР, колісні пари КП.



Рис. 9.3. Функціональна схема електричної передачі постійного струму

Тягові редуктори забезпечують підвищення обертового моменту та зниження частоти обертання на осі колісної пари.

Функціональна схема електричної передачі змінно-постійного струму (рис. 9.4) включає в себе дизель Д, синхронний генератор змінного струму СГ, випрямну установку ВУ, тягові двигуни ТЕД, тягові редуктори ТР та колісні пари КП.



Рис. 9.4. Функціональна схема електричної передачі змінно-постійного струму

Тепловози з електричною передачею змінно-постійного струму обладнані як і при передачі постійного струму тяговими двигунами постійного струму. Тому в склад передачі входить випрямна установка ВУ, яка випрямляє змінний струм СГ в постійний струм перш, ніж його подати на тягові двигуни.

Функціональна схема електричної передачі змінного струму (рис. 9.5) включає в себе наступні вузли: дизель Д, синхронний генератор СГ, випрямляч ВУ, інвертор Н, асинхронні тягові двигуни АТД, тягові редуктори ТР та колісні пари КП.

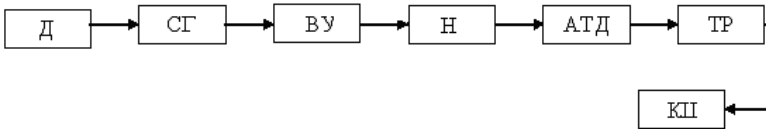


Рис. 9.5. Функціональна схема електричної передачі змінного струму

В передачах змінного струму з ланками постійної напруги випрямна установка ВУ випрямляє змінну напругу СГ в постійну. Інвертор Н перетворює постійну напругу в трифазну змінну та регулює частоту струму в обмотках АТД, що необхідно для регулювання частоти обертання роторів асинхронних тягових двигунів.

Функціональна схема тепловозів з гідравлічною передачею (рис. 9.6) включає в себе наступні вузли: дизель Д, гідравлічний насос ГН, гідравлічна турбіна ГТ, тяговий редуктор ТР, колісні пари КП. Гідравлічний насос та гідравлічна турбіна конструктивно входять до складу гідравлічної передачі ГП.

Енергія дизеля спричиняє обертання робочого органу гідронасоса, який передає енергію рідині, що циркулює в замкнутому контурі гідроапарата. Потік рідини надходить в гідравлічну турбіну та передає на її лопатки свою кінетичну енергію, що примушує обертатися вал ротора турбіни.

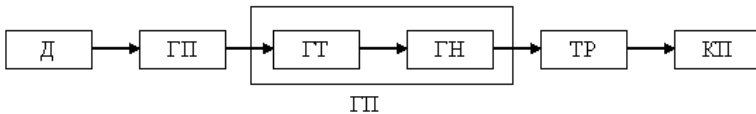


Рис. 9.6. Функціональна схема гідравлічної передачі

Таким чином, обертовий момент від валу дизеля передається до валу турбіни за рахунок кінетичної енергії рідини. Вал турбіни через тяговий редуктор з'єднаний з колісними парами тепловоза.

В гідромеханічних передачах механічна енергія передається до колісних пар частково через гідравлічну передачу, а частково через механічну передачу.

9.3. Будова тепловоза

Однією з важливих характеристик тепловозів, як і інших локомотивів, є вісьова характеристика (або вісьова формула). Вона характеризує число, розташування і призначення осей локомотива. Для тепловозів візкового типу вісьова характеристика являє собою сполучення цифр, число яких відповідає числу візків, а кожна цифра показує кількість осей у візку. Наприклад, дванадцятивісний тепловоз 2ТЕ116 має вісьову характеристику 2(3₀ – 3₀), яка показує, що у тепловоза дві секції, кожна секція має два тривісні візки. Знак „–” (тире) означає, що візки не з'єднані між собою, а індекс „0”, означає, що кожна вісь має індивідуальний (окремий) тяговий електродвигун.

До основних частин тепловоза крім дизеля і передачі відносяться допоміжне обладнання і екіпажна частина.

Екіпажна частина складається з кузова, головної рами з ударно-зчепними пристроями (автозчепами) і візків з колісними парами та ресорним підвішуванням.

Головна рама тепловоза служить основою для розміщення силової установки та допоміжного обладнання. Вона передає його вагу на візки. Крім того через раму передаються повздовжні тягові зусилля від ведучих осей до состава. На рамі також розташований кузов, який захищає обладнання тепловозу від зовнішніх впливів.

Колісні пари розміщені в двовісних або тривісних візках, які є ходовою частиною тепловоза. Візки передають вертикальні навантаження від маси кузова і рами тепловоза на рейки; створюють у взаємодії з рейками тягові та гальмівні сили; направляють рух тепловоза в рейковій колії. Візки об'єднують в

одне ціле колісні пари, букси, тягові електродвигуни з тяговими редукторами та ресорами.

Підвішування тягових електродвигунів на візках при індивідуальному приводі колісних пар повинно забезпечувати передачу обертового моменту при одночасному підресорюванні маси двигуна. Система підвішування тягових електродвигунів може бути опорно-віськовою, коли двигун жорстко спирається на вісь колісної пари і через пружні елементи на раму візка. При спиранні двигуна на колісну пару жорстко передається приблизно половина його ваги. Якщо двигун повністю закріплений на рамі візка, має місце опорно-рамне підвішування. В цьому випадку тяговий привод повинен бути пружним і компенсувати зміщення двигуна відносно колісної пари. Перша схема застосовується на серійних вантажних і маневрових тепловозах, друга (конструктивно більш складна) – на пасажирських і потужних вантажних (2ТЕ121) тепловозах.

Опорно-вісьове підвішування тягових електродвигунів має найбільше розповсюдження. Переваги цієї конструкції в простоті конструкції. Недоліком є збільшення маси необресореної частини візка, додаткове тертя у підшипниках ковзання і необхідність у їх регулярному обслуговуванні і заміною при ремонтах.

Опорно-рамне підвішування тягових електродвигунів відрізняються від опорно-віськового тим, що вся вага тягового електродвигуна передається на раму візка. Перевага полягає у значно нижчій вазі необресорених частин локомотива, а відповідно і меншому динамічному навантаженні на колію.

Допоміжне обладнання забезпечує нормальну роботу дизеля, передачі, екіпажної частини та тепловозу в цілому. До нього відносяться паливна, водяна і масляна системи дизеля, його пристрої охолодження та повітрязабезпечення, а також система охолодження і допоміжні пристрої передачі, пісочна система екіпажу, пневматична (гальмівна) система тепловоза, система пожежегасіння та інші.

Паливна система забезпечує живлення дизеля рідким паливом. Вона складається з паливних баків, допоміжних насосів підкачування, паливних фільтрів, підігрівача палива, основних паливних насосів та форсунок, які розпилюють пальне в циліндрах дизеля.

Система водяного охолодження дизеля служить для відведення тепла від його циліндрів і включає в себе циркуляційний водяний насос та радіатори, в яких тепло від води передається атмосферному повітрю. Для більш інтенсивного відведення тепла радіатори охолоджуються повітрям від спеціального вентилятора.

Масляна система дизеля складається з насосів, фільтрів для очистки масла та пристроїв охолодження (радіатори або теплообмінники). Вона служить для подачі змащення деталей дизеля, в яких відбувається тертя, а також частково для відводу тепла від найбільш нагрітих деталей (голівки поршнів).

Повітряна система тепловоза включає в себе гальмівний компресор, головні і запасні резервуари стисненого повітря та забезпечує роботу гальмівних засобів всього поїзду.

Система повітропостачання і повітряного охолодження складається з агрегатів, призначених для подачі повітря для дизеля (повітродувки, турбокомпресори), вентиляторів для охолодження електричних машин, повітрозабірних систем (вікна, жалюзі), повітроочисників та повітроводів.

9.4. Принципи будови і роботи дизеля

Двигун внутрішнього згорання (ДВЗ) належить до класу теплових двигунів, в яких згорання і перетворення теплової енергії в механічну роботу відбувається в середині робочого циліндра.

Класифікація двигунів

Тепловозні ДВЗ класифікують за такими основними ознаками. За числом тактів робочого циклу відрізняють двигуни двотактні та чотиритактні. За родом пального існують двигуни легкого рідинного пального (бензин), важкого рідинного пального (дизельне пальне) та газові. За способом утворення робочої суміші відрізняють двигуни з внутрішнім та зовнішнім утворенням суміші. За способом запалення робочої суміші ДВЗ поділяються:

- на двигуни з самозапаленням пального (дизелі), в яких рідинне пальне, що впорскується в камеру згорання, саме запалюється завдяки достатньо високій температурі повітря в кінці процесу стискання;
- з примусовим запаленням робочої суміші – карбюраторні та газові двигуни;
- зі змішаним запаленням робочої суміші – так звані калоризаторні двигуни.

За родом робочого циклу відрізняють двигуни:

- з підведенням тепла при постійному об'ємі – двигуни низького ступеню стискання і примусовим запаленням робочої суміші;
- з підведенням тепла при постійному тиску – двигуни високого ступеню стискання і компресорні дизелі;
- зі змішаним підводом тепла – спочатку при постійному об'ємі, а потім при постійному тиску – двигуни високого ступеню стискання ($\epsilon = 12 \div 18$) – безкомпресорні дизелі.

ДВС характеризують також за кількістю циліндрів, їх розташуванням, за ступенем швидкості, за способом охолодження циліндрів, за способом наповнення циліндрів повітрям (без наддуву та з наддувом).

Сучасні тепловозні ДВЗ – це багатоциліндрові, чотирьохтактні, швидкохідні безкомпресорні дизелі з самозапаленням пального і внутрішнім утворенням суміші, які працюють на дизельному пальному по змішаному циклу. Вони мають водяне охолодження та наддув повітря в камеру згорання.

Робочі процеси дизелів

Робочий цикл двотактного дизеля розглянемо з використанням схеми циліндру (рис. 9.7) та індикаторної діаграми (рис. 9.8). Двотактний дизель складається з піддону 1, картеру 2, циліндру 3, форсунки 5, впускних клапанів 4, 6, поршня 7, шатуна 8, кривошипа 9, колінчастого валу 10, впускних вікон

11, через які в циліндр надходять свіже повітря. Ці вікна відкриваються самим поршнем при його русі в циліндрі. Крайні положення поршня, верхня мертва точка (в.м.т.) і нижня мертва точка (н.м.т.), відповідають максимальній та мінімальній відстані поршня від валу дизеля. Хід поршня S визначається відстанню між мертвими точками. Кожному ходу поршня відповідає поворот кривошипа на 180° , тобто за один оберт вала поршень робить два ходи.

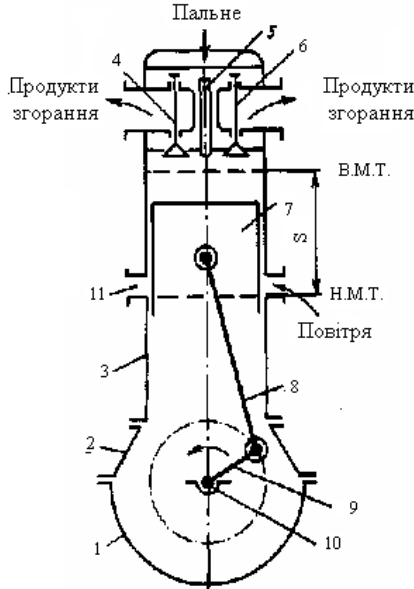


Рис. 9.7. Схема циліндру двотактного дизеля

Робочий процес в дизелі наглядно можна представити у вигляді діаграми, побудованої в координатах $p-V$ (по осі абсцис відкладається об'єм циліндра V , а по осі ординат – тиск в циліндрі p). В дизелях робочий процес складається з окремих стадій (фаз), які відображені на індикаторній діаграмі. Індикаторна діаграма двотактного дизеля наведена на рис. 9.8. У двотактного дизеля видалення продуктів згорання з циліндрів (випуск та продувка), а також наповнення їх свіжим повітрям відбувається за менший період часу; при цьому повітря під тиском подається компресорами. В сучасних тепловозних двотактних дизелях застосовується прямоточна продувка.

Для наповнення циліндрів дизеля більшим зарядом повітря застосовується наддув, тобто нагнітання повітря в циліндри під тиском $1,3-2,8 \text{ кг/см}^2$. Наддув дає можливість в $1,5-2$ рази й більше збільшити потужність, знизити вагу дизеля та зменшити витрати пального двигунами. Кількість повітря, що

надходить в циліндр, повинно бути в 1,7–2 рази і більше теоретично необхідного. Це співвідношення називається коефіцієнтом надлишку повітря. Для наддуву застосовують повітряні компресори. На діаграмі (рис. 9.8) відображені наступні моменти:

- випуск відпрацьованих газів – в точці 5 відкриваються випускні клапани 4, 6, і відпрацьовані гази видаляються з циліндра у випускний колектор. В точці 6 відкриваються впускні вікна, і протікає процес наповнення циліндра повітрям;

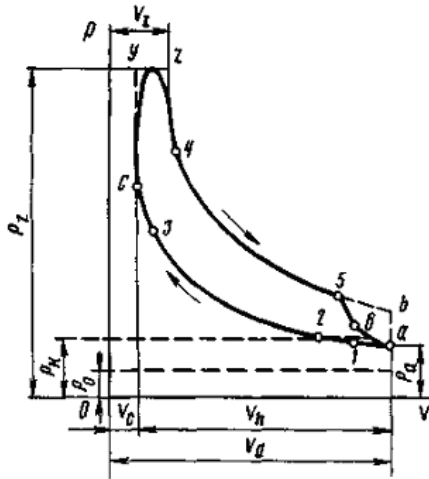


Рис. 9.8. Індикаторна діаграма двотактного дизеля

- видалення відпрацьованих газів. В точці 1 закриваються випускні клапани і починає наростати тиск.

Процес стискання повітря починається в точці 2 після закриття впускних вікон. В точці 3 подається паливо в циліндр.

$c - y - z$ горіння палива. Паливо подається в циліндр дизеля в період, коли поршень ще не досяг в.м.т. Початок подачі палива показано на індикаторній діаграмі точкою c . Температура горіння рівна 1700–2000 °С, а тиск газів в цей період досягає 60–120 кгс/см². Більш високий тиск характерний для швидкохідних дизелів.

$z - 5$ – розширення газів. При русі поршня від в.м.т до н.м.т. відбувається розширення газів. Паливо, що не встигло згоріти в період $c - y - z$, продовжує догорати в процесі розширення $z - 4$.

Робочий цикл чотиритактного дизеля

Схема циліндру чотиритактного дизеля наведена на рис. 9.9. Вона включає нерухомий циліндр 3, який разом з картером 2 і піддоном створюють

єдину конструкцію, яка називається остовом. Зверху циліндр обмежений кришкою, в якій розташовані впускний 4, випускний 6 клапани та форсунка 5. Рухомі деталі дизеля – поршень 7, шатун 8, кривошип 9 та вал 10 об'єднані за допомогою шарнірів (підшипників) і створюють кривошипно-шатунний механізм.

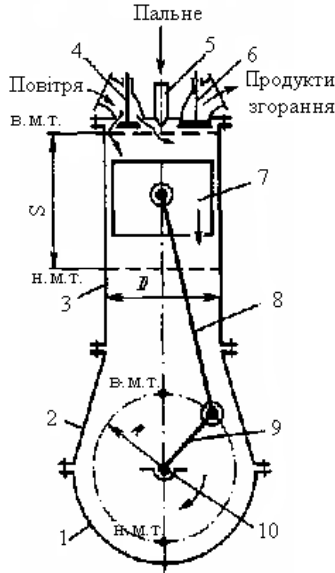


Рис. 9.9. Схема циліндру чотиритактного дизеля

Поршень зворотно переміщається між двома крайніми положеннями в.м.т. та н.м.т. Величина ходу поршня V . Кожному ходу поршня відповідає поворот кривошипа на 180° , тобто за один оберт вала поршень робить два ходи. Індикаторна діаграма чотиритактного дизеля наведена на рис. 9.10.

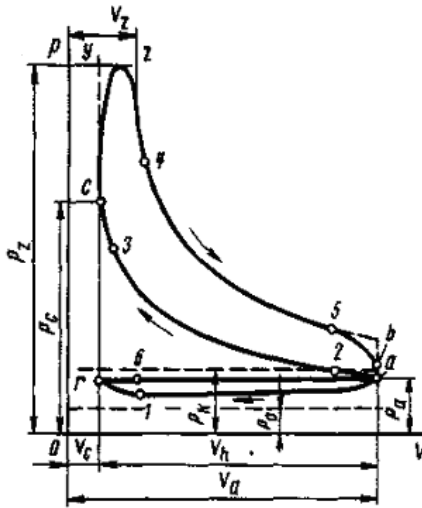


Рис. 9.10. Індикаторна діаграма робочих циклів чотиритактного дизеля

1-*r*-6-*a*-2 – процес наповнення повітрям. Цей процес дає змогу створити необхідний заряд повітря для згорання палива і продути циліндри від залишків відпрацьованих газів.

2-3 – стискання повітря. При стисканні повітря поршень рухається від н.м.т. до в.м.т. При цьому впускні і випускні клапани закриті. До кінця стискання температура повітря в циліндрах досягає 500–600° С і більше, а тиск *p* в швидкохідних дизелях з наддувом досягає 50–60 кгс/см².

c-*y*-*z* – горіння палива.

z-5 – розширення газів. При русі поршня від в.м.т. до н.м.т. відбувається розширення газів. Паливо, що не встигло згоріти в період *c*-*y*-*z*, продовжує горіти в процесі розширення *z*-4.

5-1 – випуск відпрацьованих газів. Процес випуску починається до приходу поршня в н.м.т. в момент, показаний на діаграмі точкою 5. Потім поршень рухається від н.м.т. вверх и видаляє газу у випускний колектор. Газу в цей період видаляються також завдяки продувці циліндра повітрям.

9.5. Принципові схеми електричної передачі

9.5.1. Принципова схема електричної передачі постійного струму

Принципова схема електричної передачі постійного струму (рис. 9.11) включає в себе тяговий генератор Г, до якого паралельно підключено 6 тягових електродвигунів М1–М6 постійного струму. Тяговий генератор перетворює механічну енергію дизеля в електричну енергію постійної напруги, яку споживають тягові двигуни. Регулювання швидкості руху здійснюється за

допомогою зміни напруги на виході тягового генератора. Для чого

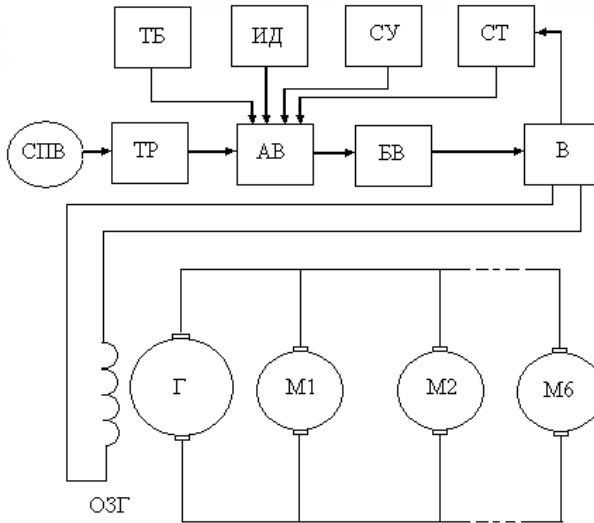


Рис. 9.11. Принципова схема електричної передачі постійного струму

система збудження тягового генератора включає в себе збуджувач В, випрямляч БВ, магнітний підсилювач (амплістат) АВ, синхронний підбуджувач СПВ, безконтактний ТБ, селективний вузол СУ, індуктивний датчик ИД, стабілізуючий трансформатор СТ та розподільчий трансформатор ТР. Система збудження змінює струм в обмотці збудження тягового генератора ОЗГ таким чином, щоб забезпечити постійну потужність тягового генератора, а відповідно і дизеля на заданій позиції тепловоза. При переході на наступну більш високу позицію збільшується подача палива в циліндри дизеля, збільшується число обертів вала дизеля та його потужність. При цьому пропорційно частоті обертання вала дизеля зростає сигнал на виході тахометричного блоку, який діє на амплістат системи збудження і сприяє формуванню наступної характеристики тягового генератора, на якій забезпечується повне використання нового значення потужності дизеля в широкому діапазоні зміни швидкості руху тепловоза.

9.5.2. Принципова схема електричної передачі змінно-постійного струму

На тепловозі з передачею змінно-постійного струму (рис. 9.12) установлені синхронний тяговий генератор СГ, випрямна установка ВУ, тягові електродвигуни М1–М6. Синхронний тяговий генератор складається зі статора, ротора, підшипникового щита із закріпленими на ньому щіткотримачами та патрубком для підведення охолоджуючого повітря. Синхронний тяговий

генератор є дванадцятиполюсною машиною з двома трифазними обмотками на статорі, розташованими одна відносно іншої зі зміщенням на 30 електричних градусів. На роторі розміщені полюси. Струм до котушок полюсів підводиться за допомогою контактних кілець та щіток. Ротор синхронного генератора обертається колінчастим валом дизеля Д.

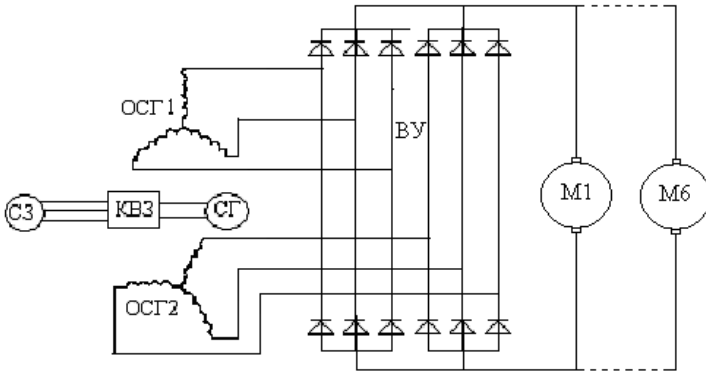


Рис. 9.12. Принципова схема електричної передачі змінно-постійного струму

Силова схема збудження синхронного тягового генератора включає синхронний збуджувач СЗ та керований випрямляч, який регулює струм в обмотці збудження, що необхідно для регулювання потужності тягового генератора та зміни швидкості руху тепловоза.

Синхронний генератор порівняно з генератором постійного струму має наступні переваги:

- відсутні обмеження потужності генератора;
- висока надійність в експлуатації;
- менша маса;
- значно менші витрати міді та електротехнічної сталі.

9.5.3. Принципова схема електричної передачі змінного струму.

На тепловозі з електричною передачею змінного струму дизель обертає ротор синхронного генератора СГ (рис. 9.13), який виробляє трифазну напругу. Ця напруга індуктується в двох трифазних обмотках статора ОСГ1 та ОСГ2. Кожна обмотка статора з'єднана в трифазну зірку і розташовані одна відносно другої зі зміщенням на 30 електричних градусів.

Змінний струм синхронного генератора перетворюється в постійний струм при допомозі випрямної установки В1, В2 і надходить на індивідуальні для кожного двигуна інвертори АІН1–АІН6, які перетворюють постійний струм в

трифазний змінний струм з плавним регулюванням частоти. Амплітуда напруги регулюється збудженням синхронного генератора, живлення обмотки збудження якого здійснюється від допоміжного генератора (синхронного збуджувача) СЗ через уніфікований трифазний керований випрямляч КВЗ. Регулюванням напруги та частоти струму досягається оптимальний режим роботи двигунів та постійний відбір потужності від дизеля. Від кожного інвертора одержують живлення асинхронні тягові двигуни АД 1–АД 6.

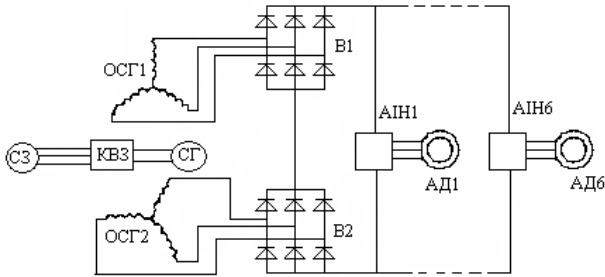


Рис. 9.13. Принципова схема електричної передачі змінного струму

Регулювання швидкості руху здійснюється шляхом зміни частоти струму в обмотках статорів тягових двигунів.

Контрольні питання до теми

1. Для чого необхідна на тепловозі спеціальна передача між дизелем та рухомими колесами?
2. Які передачі застосовують на тепловозах?
3. Типи електричних передач тепловозів.
4. Призначення основних агрегатів тепловоза.
5. Що відносять до допоміжного обладнання тепловозів?
6. Фази перетворення енергії на тепловозі при передачі потужності від дизеля до рушійних колісних пар.
7. Індикаторна діаграма чотиритактного та двотактного тепловозного дизеля?

Тема 10. ЕЛЕКТРИЧНЕ ГАЛЬМУВАННЯ НА ТЯГОВОМУ РУХОМОМУ СКЛАДІ

Електричне гальмування застосовують як додатковий гальмівний пристрій, що доповнює пневматичну та електропневматичну гальмівну систему поїзда і використовується для стабілізації швидкості руху на спусках та зниження швидкості. Дія електричних гальм обмежена колісними парами, які з'єднані з ТЕД за допомогою зубчастих передач.

Електричне гальмування ґрунтується на здатності електродвигунів постійного та змінного струмів переходити з режиму тяги в генераторний режим і навпаки. Принцип дії електричного гальмування полягає у використанні моменту опору на валу тягового електродвигуна під час роботи його в генераторному режимі. При електричному гальмуванні колісні пари локомотива через тягові редуктори обертають якорі чи ротори тягових двигунів, які виробляють електричну енергію, тобто працюють в генераторному режимі і створюють момент опору на колісних парах. При цьому витрачається кінетична енергія поїзда, що веде до зменшення швидкості руху поїзда, так як ТЕД при електричному гальмуванні кінетичну енергію поїзда перетворює в електричну енергію.

В залежності від подальшого використання електричної енергії, що генерується в ТЕД в процесі гальмування розрізняють наступні види електричного гальмування:

- реостатне – електрична енергія в спеціальних гальмівних реостатах перетворюється в теплову енергію. Реостатне гальмування використовується – на електровозах та електропоїздах однофазно-постійного та змінного струму і тепловозах з електричною передачею;
- рекуперативне – електрична енергія передається в контактну мережу. Рекуперативне гальмування застосовується в основному на магістральних пасажирських, вантажних електровозах та електропоїздах постійного струму;
- рекуперативно – реостатне з використанням рекуперації в зоні високих швидкостей та реостатного гальмування в зоні низьких швидкостей використовують на більшості електропоїздів постійного струму.

При електричному гальмуванні усувається нагрівання та зношування колодок, бандажів, з'являється можливість автоматизації гальмівного процесу, збільшується допустима швидкість руху поїзда. Рекуперация створює умови для економії електроенергії на тягу поїздів, так як електроенергія, що генерується в ТЕД може споживатись іншими одиницями ЕРС або передаватись в ЛЕП.

Для переведення тягового двигуна в генераторний режим необхідно виконати наступні умови:

- обмотку збуджування вимкнути з кола якоря і перевести на незалежне збуджування від регульованого джерела живлення;
- замкнути коло якоря вмиканням спеціального гальмівного резистора або ввімкнути якір в коло контактної мережі.

Електрорушійна сила, яку створює ТЕД в генераторному режимі визначається за формулою:

$$E = C\omega\Phi,$$

де C – постійний коефіцієнт, що залежить від конструкції машини;

ω – частота обертання якоря 1/с;

Φ – магнітний потік обмотки збуджування.

При замиканні кола якоря гальмівним резистором протікає струм генераторного режиму:

$$I_G = \frac{E}{R_G},$$

де R_G – опір гальмівного резистора.

При протіканні струму I_G на якорі діє електромагнітний момент опору:

$$M_{EO} = C_M I_G \Phi,$$

який створює на колісній парі, з'єднаній з ТЕД, гальмівну силу, що направлена проти напрямку руху рухомого складу.

Схеми електричного гальмування повинні відповідати наступним вимогам:

- електрична стійкість;
- механічна стійкість при рекуперації;
- рівномірне розподілення навантаження між ТЕД;
- мінімальне коливання навантаження ТЕД при коливанні напруги в контактній мережі.

Особливості електричного гальмування :

- електричне гальмування може бути реалізоване тільки на одиницях рухомого складу, які оснащені тяговими електродвигунами;
- при електричному гальмуванні причіпні вагони електропоїздів, пасажирські та вантажні вагони поїздів не створюють гальмівну силу;
- електричне гальмування не забезпечує повну зупинку поїзда.

Реостатне гальмування

На сучасному ЕРС застосовують реостатне гальмування з самозбуджуванням або при незалежному збудженні ТЕД в генераторному режимі.

Реостатне гальмування зі самозбуджуванням ТЕД застосовують на ЕРС постійного струму. При цьому обмотки збуджування перемикають (реверсують) для можливості протікання струму у зворотньому напрямку. Процес реостатного гальмування ТЕД розпочинається за наявності залишкового магнітного потоку Φ обмоток збуджування. Принципова схема силового кола ТЕД моторного вагону електропоїзда постійного струму при реостатному гальмування показана на рис. 10.1. В схемі послідовно з'єднані обмотки збуджування 1, 2, 3, 4 живляться від якорів ТЕД 1–4. Регулювання гальмівної сили здійснюється ступінчасто пусковим реостатом R_T з

перемиканням секцій реостатів за допомогою групового реостатного контролера.

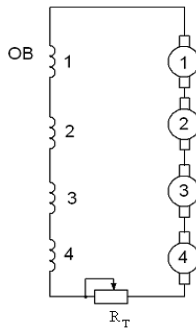


Рис. 10.1. Принципова схема реостатного гальмування зі самозбуджуванням та послідовним з'єднанням ТЕД (електропоїзд ЕР2, ЕР3)

Принципова схема силового кола ТЕД моторного вагону постійного струму типу Е при реостатному гальмуванні та послідовно-паралельному з'єднанні обмоток збуджування показана на рис. 10.2.

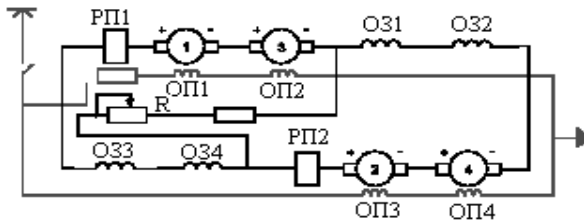


Рис. 10.2. Принципова схема силового кола ТЕД моторного вагону постійного струму типу Е при послідовно-паралельному з'єднанні ТЕД
 ОВ1–ОВ4 – обмотки послідовного збуджування ТЕД; ОП1–ОП4 – обмотки підмагнічування для початку самозбуджування ТЕД; РП1– РП2 – реле захисту від перенавантаження; 1–4 – якорі ТЕД; R – гальмівний резистор.

На ЕРС однофазно-постійного струму (рис. 10.3) схема реостатного гальмування має незалежно збуджуванні ТЕД. З якорями ТЕД М1–М8 з'єднані спеціальні нерегульовані гальмівні резистори R1–R8, якими протікає струм генераторного режиму. Для регулювання режиму гальмування обмотки збуджування ТЕД ОВ1–ОВ8 живляться від спеціальної випрямної установки збуджування ВУВ, яка підключена до виводів вторинної обмотки трансформатора Т та забезпечує плавне регулювання струму в обмотках збуджування ТЕД, а відповідно і гальмівної сили поїзда.

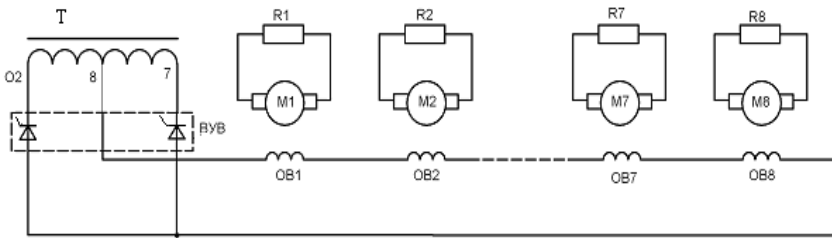


Рис. 10.3. Принципова схема реостатного гальмування електровоза однофазно-постійного струму (електровоз ВЛ80^Т)

Рекуперативне гальмування

Схема рекуперативного гальмування забезпечує роботу ТЕД в генераторному режимі з протіканням струму по колу контактної мережі. Для цього необхідно виконати наступні умови:

- обмотки збуджування ТЕД повинні бути відокремлені від якорів, тобто перемкнуті на незалежне збуджування;
- силове коло якорів ТЕД необхідно ввімкнути в електричне коло контактної мережі;
- живлення обмоток збуджування ТЕД здійснюється від окремого машинного чи статичного перетворювача, яким регулюється магнітний потік Φ електродвигуна, а відповідно і струм рекуперації.

Принципова схема рекуперативного гальмування ЕРС постійного струму наведена на рис. 10.4.

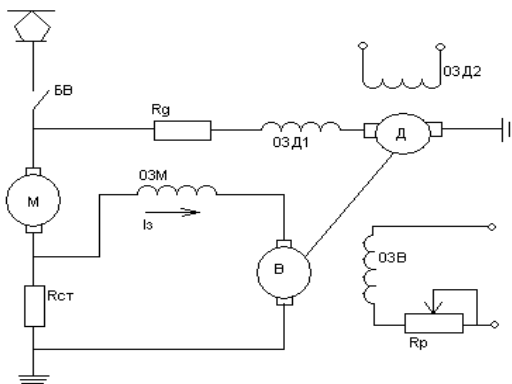


Рис. 10.4. Принципова схема рекуперативного гальмування ЕРС постійного струму зі стабілізуючим резистором

БВ – швидкодіючий вимикач; М – якір тягового двигуна (ТЕД); ОЗМ – обмотка збуджування ТЕД; В – електромашинний збуджувач, що забезпечує живлення ОЗМ струмом збуджування I_z ; ОЗВ – обмотка збуджування збуджувача, що створює магнітний потік в збуджувачі В; Rp – реостат регулювання струму в

колі ОЗВ; Д – допоміжний електродвигун постійного струму для приводу збуджувача В. Електродвигун Д живиться напругою контактної мережі через обмежувач резистор R_g . ОЗД1 – ОЗД2 – обмотки збуджування електродвигуна Д; $R_{ст}$ – опір для стабілізації струму I_p режиму рекуперації.

Електрорушійна сила ТЕД в режимі рекуперації:

$$E = C_v \omega \Phi,$$

де C_v – машинна постійна;

ω – частота обертання якорю ТЕД, 1/с.

Струм рекуперації визначається з виразу:

$$I_p = \frac{E}{R_{ст}}.$$

Електромагнітна сила при рекуперативному гальмуванні аналогічно тяговому режиму має значення:

$$B_{кд} = C_f I_p \Phi \eta_g \eta_{зп} + \Delta B_{к},$$

де $\Delta B_{к}$ – збільшення гальмівної сили за рахунок механічних та магнітних втрат.

При загальній кількості N двигунів, що працюють в режимі рекуперації, гальмівна сила ЕРС:

$$B_{к} = N(C_f I_p \Phi \eta_g \eta_{зп} + \Delta B_{к}).$$

Варіант схеми рекуперативного гальмування ЕРС постійного струму зі збуджувачем зустрічно змішаного збуджування (ВЛ8, ВЛ10) наведено на рис. 10.5.

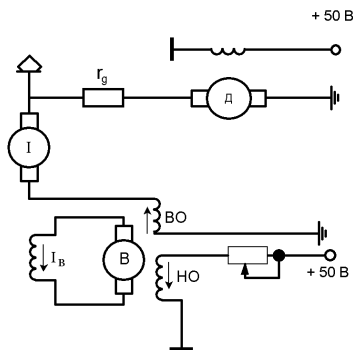


Рис. 10.5. Принципова схема рекуперативного гальмування ЕРС постійного струму зі збуджувачем зустрічно-змішаного збуджування
 БО – зустрічна обмотка збуджувача; НО – незалежна обмотка збуджувача.

Магнітні потоки обмоток ВО та НО мають протилежний напрям, що обмежує зростання струму рекуперації в колі якорю ТЕД та забезпечує сталість процесу.

Процеси регулювання режиму рекуперації автоматизовані і здійснюються системою автоматичного управління (САУ) при певному завданні. Завдання САУ формуються установкою гальмівної рукоятки контролера машиніста в положення, що відповідає необхідній швидкості руху. При цьому можна змінювати швидкість в залежності від обмеження гальмівної сили локомотива V_k , підтримувати постійне значення швидкості на спусках та здійснювати розгін поїзда по спуску без гальмування до заданої швидкості.

Контрольні питання до теми

1. Принцип реостатного гальмування та його особливості.
2. Принцип рекуперативного гальмування та його особливості.
3. Чим відрізняється рекуперативне гальмування локомотива від реостатного?
4. На якому тяговому рухомому складі можна застосовувати електричне гальмування?
5. Переваги електричного гальмування.

Тема 11. ГАЗОТУРБОВОЗИ, ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДИ ТА АВТОМАТРИСИ

На газотурбовозах як первинний двигун застосована газотурбінна установка з газотурбінним двигуном. У порівнянні з поршневими двигунами газотурбінні мають ряд переваг: газова турбіна може працювати на низькосортному рідкому паливі, в одному силовому агрегаті концентрується велика потужність при невеликих габаритних розмірах, число деталей у турбіні значно менше, ніж у поршневому двигуні, отже скорочуються ремонтні витрати і вартість, відсутність поверхонь тертя дозволяють зменшити витрати змащення в 7–10 разів у порівнянні з поршневими двигунами.

В кузові газотурбовозу встановлені головні агрегати силової установки локомотива: газотурбінний двигун, редуктор та передача.

Газотурбінний двигун включає в себе: нагрівач, розширювач, холодильник і компресорну машину.

На рис. 11.1 показана принципова схема найпростішої одновальної ГТУ. Установка складається з пускового двигуна 1, компресора 2 (в данному випадку вісьового), камери згорання 4 та газової турбіни 5. Форсунка 3 забезпечує подачу палива в камеру згорання. ГТУ називається одновальною, так як один вал з'єднує компресор та турбіну. До цього ж вала приєднується вал зовнішнього споживача потужності через муфту 6.

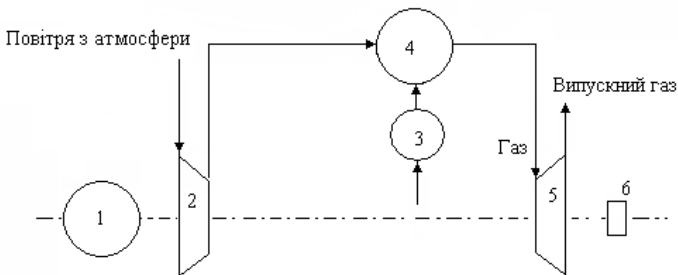


Рис. 11.1. Принципова схема одновальної газотурбінної установки

Принцип дії найпростішої газотурбінної установки полягає в наступному: компресор засмоктує атмосферне повітря, що очищується у фільтрі, і стискає його до тиску 0,5–0,6 МПа. Стиснене повітря надходить у камеру згорання, де відбувається спалювання палива, що подається паливним насосом. За рахунок тепла, що виділяється при згорянні палива, температура повітря різко збільшується (до 700–800° і вище); нагріта до високої температури суміш стиснутого повітря та продуктів згорання палива направляються в газову турбіну, де розширюються і виконують роботу по обертанню турбінного колеса; відпрацьовані в турбіні газу викидаються в атмосферу.

Механічна робота, що одержується на лопатках газової турбіни, витрачається в двох напрямках; частина її, причому більша, відбирається на

роботу стискання в компресорі, а частина у вигляді корисної роботи віддається зовнішньому споживачу.

В двовальній газотурбінній установці два ступеня стискання повітря: компресором низького тиску та компресором високого тиску. Повітря після першого ступеня стискання надходить в теплообмінник (холодильник) і охолоджується там атмосферним повітрям.

В камеру згорання повітря надходить після стискання другим ступенем компресора. В камеру згорання подається також паливо. Гази, що створюються при згоранні, направляються на лопасті турбіни високого тиску, а потім турбіни низького тиску. При цьому кінетична енергія газів перетворюється в механічну енергію обертання валу відбору потужності, який приводить в обертання ротор генератора (при електричній передачі) або насосне колесо гідропередачі (при гідравлічній передачі газотурбовоза).

Трьохвальна локомотивна газотурбінна установка (рис. 11.2) включає в себе компресор низького тиску 1, компресор високого тиску 2, камеру згорання 5, первинний вал 3, вторинний вал 4, газову турбіну високого тиску 6, газову турбіну середнього тиску 7, газову турбіну низького тиску (тягову турбіну) 8, 9 – вихідний вал, 10 – синхронний генератор.

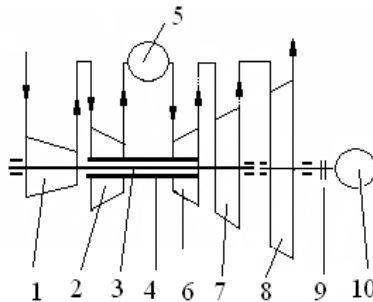


Рис. 11.2. Принципова схема трьохвальної газотурбінної установки

Економічність газотурбінних двигунів вирішальним чином залежить від температури газів однієї турбіни, тобто чим вище ця температура, тим вище к.к.д. двигуна. Однак, для забезпечення заданої економічності двигуна, крім температури газів, потрібно мати необхідний тиск робочого тіла в процесі підведення тепла, тобто визначений ступінь підвищення тиску в компресорі. Для виконання цих умов була створена багатовальна схема двигуна. Перспективними локомотивними двигунами є установки зі складними трьохвальними схемами.

Дизель-поїзд

Дизель-поїзд відноситься до автономного тягового рухомого складу, який використовується для приміських пасажирських перевезень на

неелектрифікованих ділянках залізниць. На залізницях України знаходяться в експлуатації дизель-поїзди серій ДР1П, ДР1А та ДР1Б, составність яких характеризується виразом 2Г+4П,

де Г – головні, моторні вагони;

П – причіпні вагони.

В головній частині моторного вагону розташована кабіна машиніста, за нею слідує машинне відділення з дизелем, гідропередачею, компресором, стартер-генератором та холодильником.

За машинним приміщенням розміщений тамбур, пасажирський салон і другий тамбур. В причіпному вагоні є два тамбури і пасажирський салон. Кількість місць для сидіння в моторному вагоні – 68, в причіпному – 124. Конструктивна швидкість дизель-поїзда складає 120 км/год.

Під моторним вагоном розміщується паливний бак на 1500 кг, акумуляторна батарея і повітряний резервуар.

Вагон дизель-поїзда складається з суцільнонесучого кузова, який спирається на два двовісних візка. В моторному вагоні один з візків рушійний, а другий підтримуючий. В кожному моторному вагоні розміщується 12-ти циліндровий дизель типу М756-Б з газотурбінним наддувом і V-подібним розташуванням циліндрів. При частоті обертання валу 1500 об/хв. дизель розвиває номінальну потужність 733 кВт. Маса дизеля без мастила 1800 кг.

На одній рамі з дизелем встановлена гідропередача. Обертовий момент з вала дизеля (рис. 10.1) передається на вхідний вал гідропередачі. З вихідного вала гідропередачі момент передається через 2 карданних вала до вісьових редукторів, через які приводяться в обертання колісні пари КП1 та КП2 рушійного візка. Від дизеля обертовий момент підводиться також до компресора, стартер-генератора і вентилятора холодильника.

Стартер-генератор при працюючому дизелі виробляє напругу 110 В для живлення кіл керування та освітлення, а при пуску дизеля використовується в якості стартера.

Дизель-поїзд обладнаний електропневматичними гальмами. Гальма дискові – два диски на колісну пару.

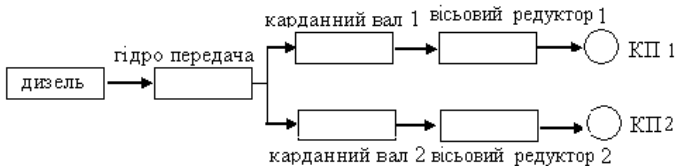


Рис. 11.3. Функціональна схема тягової передачі головного вагону дизель-поїзду

Автомотриси

Автомотриси – це автономний тяговий рухомий склад, призначений для

перевезення меншої, порівняно з поїздами, кількості пасажирів і використовується в приміських і місцевих перевезеннях.

Автомотриса серії А40 по конструкції близька до моторного вагону дизель-поїзду. Вона має електричну передачу з вісьовими редукторами. По кінцям кузова розташовані кабіни машиніста. На автоматрисі встановлений дизель з номінальною потужністю 550 кВт. Пасажирський салон має 64 місця для сидіння. Максимальна швидкість руху автоматриса 120 км/год.

Автомотриса А42 має кузов з двома кабінами, дизель М756Б, аналогічний головному вагону дизель-поїзду, та гідро передачу.

Автомотриса може експлуатуватись з причіпним вагоном АП42 (одним або двома), кожен з яких має 123 місця для сидіння.

Службова автоматриса АС1А призначена для службових поїздок магістральними залізницями. Вона включає в себе кузов, який через листові ресори спирається на 2 колісні пари. На автоматрисі встановлено бензиновий карбюраторний чотирьохтактний шестициліндровий двигун з автомобіля ГАЗ–51 з номінальною потужністю 51 кВт. Вал двигуна через ступінчасту коробку швидкостей, реверс, карданний вал і вісьовий редуктор з'єднано з рушійною колісною парою автоматриса. Автомотриса має 24 місця для сидіння, запас бензину 90 л. Конструкційна швидкість руху автоматриса складає 80 км/год., вантажопідйомність 2,4 т. До автоматриса при русі по площадці можна причепити рухомий склад масою не більше 10 т.

Контрольні питання до теми

1. Основні агрегати газотурбовоза та їх призначення.
2. Принцип роботи газотурбінної установки газотурбовоза.

Тема 12. ГАЛЬМІВНІ ЗАСОБИ РУХОМОГО СКЛАДУ

Гальмом називається пристрій на рухомому складі, за допомогою якого створюється штучний опір руху, необхідний для зниження швидкості або зупинки поїзду. В залежності від способу, яким здійснюється гальмування, розрізняють наступні види гальмування:

Фрикційне – при якому гальмівні колодки притискаються до поверхні катання обертових коліс локомотива, вагонів або до спеціальних дисків, закріплених на осях колісних пар. При електромагнітному рейковому гальмуванні спеціальні башмаки за допомогою електромагнітів притискаються до поверхні голівок рейок.

Електричне – гальмування здійснюється за рахунок перетворення кінетичної енергії руху поїзда в електричну при роботі ТЕД локомотива в режимі генераторів. Цей вид гальмування може застосовуватись тільки на рухомому складі, що має ТЕД (електровози, моторні вагони електропоїздів, тепловози з електричною передачею, вагони метрополітену).

Основним видом є фрикційні гальма.

В залежності від способу приведення в дію гальма поділяють на ручні, пневматичні (повітряні) і електропневматичні.

Електропневматичні гальма відрізняються від пневматичних тим, що керування гальмами здійснюється за допомогою електричного струму.

Пневматичні гальма в залежності від конструкції поділяються на три групи:

- неавтоматичні прямодіючі;
- автоматичні прямодіючі;
- автоматичні непрямодіючі.

Неавтоматичне прямодіюче гальмо (рис. 12.1) найбільш просте, воно використовується в якості допоміжного гальма на локомотивах. Гальмівна система складається з компресора, пневматичних пристроїв і гальмівної важільної передачі. Компресор 1 служить для створення запасу стиснутого повітря, який знаходиться в головних резервуарах 2. Головні резервуари з'єднані магістраллю живлення 3 з краном машиніста 4. При встановленні ручки крана машиніста в гальмівне положення стиснене повітря заповнює гальмівний циліндр 6. Під тиском повітря поршень 7 гальмівного циліндра переміщається, стискаючи пружину 6. Зі штоком 8 поршня шарнірно зв'язана гальмівна важільна передача 9, на якій закріплено башмак 10 з гальмівною колодкою 11, яка при цьому притискається до бандажа колісної пари.

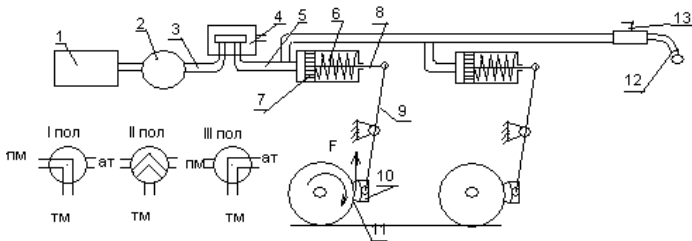


Рис. 12.1. Неавтоматичне прямодіюче гальмо

Гальмівна магістраль ГМ 5 проходить під кожною гальмівною одиницею і з'єднується з ГЦ. По кінцях гальмівної магістралі розміщені гнучкі з'єднуючі рукава 12 з кінцевими кранами 13.

Ручка крана машиніста має три основні положення:

I положення (гальмування) – ГР з'єднується з ГМ і ГЦ;

II положення (перекриша) – ГМ роз'єднується з ГР і атмосферою;

III положення (відпуск) – ГМ роз'єднується з ГР і з'єднується з атмосферою.

При відпуску гальма повітря з ГЦ і ГМ виходить у атмосферний отвір АТ через кран, а пружина циліндра повертає важільну передачу в початковий стан.

Гальмо називається прямодіючим тому, що в процесі гальмування ГЦ з'єднується з ГР, неавтоматичним тому, що при розриві поїзда або роз'єднанні рукавів гальмо не спрацьовує, тиск повітря падає до нуля, і відбувається відпуск гальма.

Розглянуте гальмо є невичерпним, так як через кран машиніста підтримується тиск в ГЦ, який може знизитися через витік повітря.

Автоматичне непрямодіюче гальмо (рис. 12.2) відрізняється від автоматичного тим, що на кожній гальмівній одиниці рухомого складу між гальмівною магістраллю ГМ і гальмівним циліндром ГЦ встановлюється повітророзподільник ПР, з'єднаний з запасним резервуаром ЗР, який має запас стиснутого повітря.

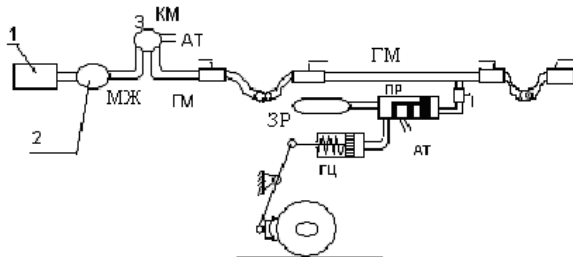


Рис. 12.2. Автоматичне непрямодіюче гальмо

Кран машиніста КМ служить для дистанційного керування дією

пневматичних і електропневматичних гальм.

Він має шість положень:

I – відпуск гальм;

II – поїзне;

III – перекриша без живлення магістралі;

IV – перекриша з живленням магістралі;

V – службове гальмування;

VI – екстрене гальмування.

Перед відправленням поїзду гальмо заряджають стиснутим повітрям при положенні “ I ” ручки КМ. Гальмівна магістраль ГМ і ЗР через КМ заповнюються стиснутим повітрям з головних резервуарів ГР до встановленого зарядного тиску, а ГЦ через повітророзподільник ПР з’єднується з атмосферою.

При встановленні ручки КМ в гальмівне положення повітря з ГМ випускається в атмосферу. Так як тиск в ЗР більше тиску ГМ, поршень ПР переміщується, і золотник роз’єднує ЗР з ГМ та ГЦ з атмосферним отвором АТ, а буде з’єднаний з запасним резервуаром ЗР.

Під дією стиснутого повітря поршень ГЦ через гальмівну передачу притисне колодки до колес, і розпочнеться процес гальмування.

У положенні "відпуск" рукоятки КМ тиск в ГМ підвищується. При цьому поршень повітророзподільника ПР рухається в зворотньому напрямі і за допомогою золотника з’єднує гальмівний циліндр ГЦ з АТ, а запасний резервуар ЗР через ГМ заповнюється стиснутим повітрям.

Автоматичним гальмо є тому, що при зниженні тиску в гальмівній магістралі, тобто при розриві або роз’єднанні гальмівної магістралі гальма одразу приводяться в дію.

Гальмо називається непрямодіючим тому, що в процесі гальмування гальмівні циліндри не з’єднуються з головними резервуарами.

При довготривалому гальмуванні, внаслідок неможливості поповнення повітрям запасних резервуарів через гальмівну магістраль, тиск повітря в гальмівному циліндрі і запасному резервуарі зменшується, і тому гальмо є вичерпним.

Непрямодіючим автоматичним гальмом обладнані пасажирські вагони, МВС і дизельпоїзди. Гальмо є швидкодіючим, так як забезпечує зупинку вагонів протягом 6–7 сек.

Автоматичне прямодіюче гальмо, його обладнання (рис. 12.3) і керування в основному такі ж, як і в автоматичному непрямодіючому.

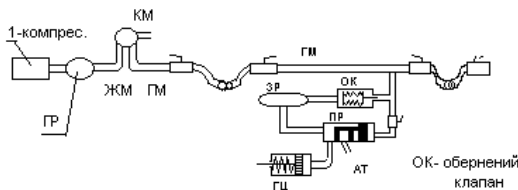


Рис. 12.3. Автоматичне прямодіюче гальмо

Завдяки особливій будові крану машиніста і повітророзподільника, автоматично підтримується тиск в гальмівній магістралі і можливо регулювати гальмівну силу в поїзді в бік збільшення та зменшення в необхідних межах.

Якщо в процесі гальмування тиск в гальмівних циліндрах зменшиться в наслідок витоків, то він швидко відновиться за рахунок подачі стиснутого повітря із запасного резервуара.

При падінні тиску повітря в запасному резервуарі відкриється зворотний клапан, і повітря з магістралі надійде до запасного резервуару і далі в гальмівний циліндр. Гальмівна магістраль у свою чергу автоматично поповниться через кран машиніста з головних резервуарів.

Автоматичне прямодіюче гальмо відрізняється від непрямодіючого тим, що тиск в гальмівних циліндрах може підтримуватися протягом довготривалого часу.

Гальма, в яких гальмівні циліндри в процесі гальмування мають зв'язок з головними резервуарами, називаються прямодіючими і невичерпними. Такими гальмами обладнані вантажні вагони і локомотиви.

Вантажні автоматичні гальма мають повітророзподільник ум. №135, 270–002 і 270–005–1, вони діють повільніше, зупиняють вагони за більш тривалий час (10–15 сек.), але мають кілька режимів гальмування.

Повітророзподільники вантажних поїздів обладнані авторежимом, який має наступні положення:

- навантажений режим;
- порожній режим;
- середній режим.

При навантаженому режимі тиск в гальмівному циліндрі найбільший (3,8–4,3 кг/см²), а при порожньому – найменший (1,4–1,8 кг/см²).

Електропневматичні гальма

Електропневматичне гальмо (ЕПГ) діє за допомогою стиснутого повітря і електричного струму. Натискання на гальмівні колодки створюється за допомогою стиснутого повітря, а керування гальмами здійснюється за допомогою електричного струму, який протікає по лінійних проводах. ЕПГ пасажирських поїздів мають 2 лінійних провода (рейки використовуються в якості одного з робочих проводів).

Електропневматичні гальма прямодіючого типу (рис. 12.4) з розрядкою та без розрядки гальмівної магістралі застосовуються в пасажирських поїздах, електропоїздах та дизель-поїздах. ЕПГ встановлюється на пасажирських локомотивах і вагонах зі збереженням пневматичного гальма. У випадку несправності ЕПГ відбувається автоматичний перехід на пневматичне гальмування.

Прямодіючий тип ЕПГ складається з однієї повітряної (гальмівної) магістралі, приладів живлення і керування ЕПГ, розміщених на локомотиві або в головних вагонах моторвагонного рухомого складу, і повітророзподільників, встановлених на кожному вагоні й з'єднаних електричними проводами з

приладами живлення і керування. Електроповітророзподільник складається з комплекту гальмівного і відпускнуго електроventилів і пневматичної частини.

ЕПГ прямодіючого типу являються невичерпними гальмами, завдяки можливості завищення зарядного тиску в гальмівній магістралі, і дозволяють здійснювати гальмування як з розрядкою, так і без розрядки магістралі.

ЕПГ включає в себе: кран машиніста з контролером ум. №395, сигналізатор, блок керування, запасний і зрівнювальний резервуари, повітророзподільник (ум. №292-000 або №292-001), електроповітророзподільник (ум. №305-000, 350-001), реле тиску, рукав з електроконтактом та шланговий провід.

В ЕПГ заповнення циліндрів при гальмуванні та випуск повітря з них при відпустці виконується незалежно від зміни тиску в магістралі, тобто аналогічно прямодіючому пневматичному гальму. Автоматичність гальма забезпечуються наявністю повітророзподільника 9.

Зарядка запасного резервуара 2 проходить через повітророзподільник 9 з гальмівної магістралі 10. При гальмуванні контролер крана машиніста 1 замикає відповідні контакти, і електричний струм діє на електромагнітні котушки ventилів 4 і 5. Якір 6 закриває атмосферний отвір А,

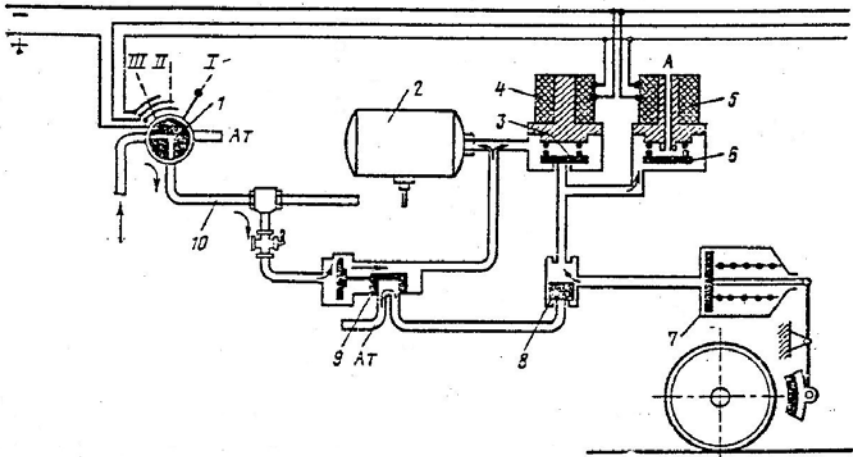


Рис. 12.4. Електропневматичне гальмо

а якір 3 з'єднує запасний резервуар 2 через клапан 8 з гальмівним циліндром 7. Тиск в гальмівній магістралі 10 краном 1 не знижується, проте, він має положення, при якому може відбуватися розрядка магістралі в атмосферу.

При відпустці гальма в контролері крана машиніста 1 розмикаються контакти, котушки гальмівного 4 і відпускнуго 5 ventилів знеструмлюються, і повітря з гальмівного циліндру 7 випускається в атмосферу А. При положенні перекишка після ступеню гальмування гальмівний ventиль 4 знеструмлюється,

а відпускний 5 знаходиться під напругою, при цьому якір 3 від'єднує запасний резервуар 2 від гальмівного циліндра 7, і тиск в ньому не збільшується.

У випадку припинення дії електричного керування гальмом, повітророзподільник 9 працює при пневматичному керуванні, як показано на рис. 12.4.

ЕПГ дозволяють підвищити ефективність гальмівних засобів поїзду і помітно скоротити довжину гальмівного шляху, що досягається завдяки одночасній дії гальм в поїзді і скороченню часу наповнення гальмівних циліндрів. При цьому значно покращується плавність гальмування.

При ЕПГ також підвищується керованість гальмами, завдяки можливості здійснення чіткого і одночасного ступінчастого гальмування і ступінчастого відпуску, що дозволяє більш точно підтримувати задану швидкість руху і підвищувати точність зупинки. У порівнянні з пневматичними гальмами особливо ефективно застосування ЕПГ в вантажних поїздах, де повздовжні зусилля, що виникають при гальмуванні, знижуються з 2500 до 700–1000 кН. У випадку застосування ЕПГ вага і довжина поїзда практично не обмежуються через повздовжні зусилля.

Контрольні питання до теми

1. Призначення та класифікація автоматичних гальм рухомого складу.
2. Принцип дії прямодіючого неавтоматичного гальма локомотива.
3. Принцип дії непрямодіючого автоматичного гальма та призначення основних вузлів гальмівної системи.
4. Принцип дії прямодіючого автоматичного гальма та призначення основних вузлів гальмівної системи.
5. Принцип дії електропневматичного гальма та призначення основних вузлів гальмівної системи.
6. Призначення та принцип дії крана машиніста.
7. Призначення повітророзподільника гальмівної системи.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО ТЕМ

Тема №1

1. З яких транспортних одиниць складається рухомий склад залізниць?
2. Які локомотиви відносяться до автономних та неавтономних?
3. Характерна відмінність тягового рухомого складу від рухомого складу.
4. Функціональна схема автономного локомотива.
5. Функціональна схема неавтономного локомотива.
6. Проаналізувати вісьову формулу локомотива.
7. Що таке коефіцієнт корисної дії та як він визначається?
8. Переваги електричної тяги.

Тема №2

1. Класифікація вагонів вантажного та пасажирського парків.
2. Основні частини вантажного вагону та їх призначення.
3. Основні параметри та техніко-економічні характеристики вантажних вагонів.
4. Основні параметри та техніко-економічні характеристики пасажирських вагонів.
5. Призначення ресорного підвішування вагонів та їх схеми.
6. Характеристики ресорного підвішування вагонів.

Тема №3

1. Які основні агрегати включає схема електропостачання електрифікованої ділянки залізниці на постійному струмі?
2. Які основні агрегати включає схема електропостачання електрифікованої ділянки залізниці на змінному струмі?
3. Які основні агрегати встановлюються на тягових підстанціях при електрифікації ділянки на постійному струмі?
4. Які основні агрегати встановлюються на тягових підстанціях при електрифікації ділянки на змінному струмі?

Тема №4

1. Призначення основних вузлів електровоза постійного струму.
2. Будова тягового електродвигуна електровоза та призначення його частин.
3. Які допоміжні машини встановлені на електровозі та вкажіть призначення?
4. Закон Ампера для тягового двигуна.
5. Закон Фарадея для тягового двигуна.
6. Закон Ома для тягового двигуна

Тема №5

1. Електромеханічні характеристики тягового електродвигуна віднесені додала електродвигуна.
2. Швидкісна характеристика електродвигуна.

3. Електротягові характеристики тягового двигуна, віднесені до ободу колісної пари.
4. Тягова характеристика електродвигуна.
5. Характеристика потужності електродвигуна.

Тема №6

1. Способи регулювання режимів роботи тягових електродвигунів електровозів постійного струму.
2. Для чого перемикають схеми з'єднання ТЕД. Особливості цих схем?
3. Залежність швидкості руху електровозу від напруги живлення та магнітного потоку.
4. Регулювання швидкості руху електровозу зміною струму збудження

Тема №7

1. Призначення основних вузлів електровоза однофазно-постійного струму.
2. Які допоміжні машини встановлені на електровозі? Вкажіть їх призначення
3. Контактний спосіб регулювання напруги на тягових електродвигунах електровозів однофазно-постійного струму.
4. Безконтактне плавне регулювання напруги на тягових електродвигунах.
5. Основні вузли ЕРС змінного струму з без колекторними тяговими двигунами, їх призначення.
6. Конструкція асинхронного тягового двигуна.
7. Принцип роботи асинхронного тягового двигуна.
9. Регулювання швидкості руху ЕРС з асинхронним приводом.

Тема №8

1. Типи електропоїздів.
2. Склад складу електропоїзда та типи вагонів.
3. Функціональна схема моторного вагону електропоїзда.
4. Регулювання режимів роботи моторного вагону електропоїзда.

Тема №9

1. Для чого необхідна на тепловозі спеціальна передача між дизелем та рухомими колесами?
2. Які передачі застосовують на тепловозах?
3. Типи електричних передач тепловозів.
4. Призначення основних агрегатів тепловоза.
5. Що відносять до допоміжного обладнання тепловозів?
6. Фази перетворення енергії на тепловозі при передачі потужності від дизеля до рушійних колісних пар.
7. Індикаторна діаграма чотиритактного та двотактного тепловозного дизеля?

Тема №10

1. Принцип реостатного гальмування та його особливості.
2. Принцип рекуперативного гальмування та його особливості.
7. Чим відрізняється рекуперативне гальмування локомотива від реостатного гальмування?
8. На якому тяговому рухомому складі можна застосовувати електричне гальмування?
5. Переваги електричного гальмування.

Тема №11

1. Основні агрегати газотурбовоза та їх призначення.
2. Принцип роботи газотурбінної установки газотурбовоза.

Тема №12

1. Призначення та класифікація автоматичних гальм рухомого складу.
2. Принцип дії прямодіючого неавтоматичного гальма локомотива.
3. Принцип дії непрямодіючого автоматичного гальма та призначення основних вузлів гальмівної системи.
4. Принцип дії прямо діючого автоматичного гальма та призначення основних вузлів гальмівної системи.
5. Принцип дії електропневматичного гальма та призначення основних приладів гальмівної системи.
6. Призначення та принцип дії крана машиніста.
7. Призначення повітророзподільника гальмівної системи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. **Калинин В.К. и др.** Электровозы и электропоезда. – М.: Транспорт, 1996.– 480 с.
2. **Кузьмич В.Д. и др.** Тепловоз. – М.: Транспорт, 1988. – 352 с.
3. **Пронтарский А.Ф.** Системы и устройства энергоснабжения. – М.: Транспорт, 1983. – 280 с.
4. **Вагоны:** конструкция, теория, расчет / Под ред. Л. А. Шадура. – М.: Транспорт, 1980. – 310 с.
5. **Крылов В.И., Крылов В.В.** Автоматические тормоза подвижного состава.– М.: Транспорт, 1983.
6. **Бартош Е.Т.** Газовая турбина на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 1972.