

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський державний політехнічний коледж

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СИСТЕМ СЦБ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

для студентів 3-го курсу зі спеціалізації № 5.273.1

„Монтаж, обслуговування та ремонт автоматизованих систем
керування рухом на залізничному транспорті”

Харків, 2019

ЛЕКЦІЯ

Загальні відомості

Висока оцінка електричної енергії в розвитку суспільства пояснюється більшими перевагами її перед усіма іншими видами енергії, а саме транспортабельністю на більші відстані, дробимістю й легкістю перетворення в інші види енергії, що дозволяє застосовувати її для самих різних потреб суспільного виробництва й потреб населення.

За післявоєнні роки побудоване багато великих теплових і гідравлічних електростанцій. Теплові електростанції потужністю 4-6 млн. кВт є самими потужними у світі.

Електрифікація залізниць у плані розглядалася як створення надмагістралей, які будуть не тільки вирішувати чисто транспортні завдання, але й будуть сприяти електрифікації прилягаючих районів. У цей час по електричних залізницях не тільки перевозять вантажі, але й створюють навколо них промислові й культурні центри.

КОРОТКІ ВІДОМОСТІ ПРО ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

1. Типи електростанцій

Електростанції призначені для виробництва електричної енергії. По роду первинної енергії, преутвореної спеціальними агрегатами в електричну енергію, електростанції підрозділяються на **телові, гідравлічні й атомні**. Працями вчених і досвідченими установками доведені технічні можливості використання інших енергетичних джерел для виробництва електричної енергії (енергія сонця, морських припливів і відливів, тепло земних надр і т.д.). У цей час електрична енергія виробляється головним чином на теплових, гідравлічних і атомних електростанціях. Потужність атомних електростанцій, що будуються в нашій країні, зростає рік у рік; зростає і їх питома вага в загальному енергобалансі країни.

В основних напрямках соціального й економічного розвитку України передбачене «довести вироблення електроенергії на атомних електростанціях до 220-225 млрд. кВт•г і на гідроелектростанціях до 230-235 млрд. кВт•г. Забезпечити приріст виробництва електроенергії в європейській частині країни України в основному на атомні й гідроелектростанціях». Однак основними джерелами електроенергії залишаться поки теплові електростанції. В 1985 р. на них повинне бути зроблено 1100-1140 млрд. кВт•г.

Теплові електростанції. Теплові електростанції (ТЕС) перетворюють хімічну енергію палива в електричну енергію й тепло. ДО ТЕС відносяться конденсаційні електростанції (КЕС), теплоелектроцентралі (ТЕЦ), газотурбінні, із МГД-генераторами й дизельні.

КЕС — це тепла електростанція, обладнана паровими турбінами, що працюють по конденсаційному циклу. На КЕС пара, що відробила в парових турбінах, надходить у конденсатори, де він, прохолоджуючись, конденсується у воду. Потім цю воду подають у парові казани, у яких з води створюють пару, що надходить у парову турбіну. Виходить замкнений цикл: вода — пар-турбіна — вода. Втрати води в цьому циклі поповнюються зі спеціальних водойм. На КЕС установлюють турбогенератори (турбогенератор — це блок з парової турбіни й генератора трифазного змінного струму) великої потужності — 200, 300, 500, 800, 1200 Мвт. К. п. буд. КЕС, що працює на твердому паливі, становить 25-28%, а на пиловугільному паливі — від 34 до 40%.

ТЕЦ — це теплова електростанція з комбінованим виробництвом електричної енергії й тепла в теплофікаційних паротурбінних установках. ТЕЦ, що виробляють як електричну, так і теплову енергію (пара, гаряча вода), споруджують звичайно біля виробничих і побутових теплових споживачів. На відміну від конденсаційних електростанцій ТЕЦ обладнають спеціальними теплофікаційними турбінами, у яких частина пари проходить не всі щаблі. пару, що відбирається на проміжних щаблях турбіни, використовують для виробничих і побутових потреб — центрального опалення, пропарювальних цехів, сушарок фабрик і заводів. Кількість пари, що відбирається, можна регулювати залежно від попиту теплових споживачів на пару й гарячу воду. Чим більше попит на пару й гарячу воду, тем вище к.п.д. теплової частини ТЕЦ, тому що менше тепла несеться з конденсатора охолоджувальною водою. Повний к.п.д. ТЕЦ, що характеризує використання палива при комбінованій відпустці електричної й теплової енергії, досягає 60- 70% і вище.

Науково-дослідні й конструкторські перспективні розробки в області теплових електростанцій спрямовані на вдосконалювання існуючих і на створення принципово нових систем. До них відносяться електростанції з газовими турбінами й магнітогідродинамічними генераторами.

Газотурбінна електростанція — це теплова електростанція, що перетворює хімічну енергію палива в електричну за допомогою газових турбін. Утворі робочої газової суміші високого тиску здійснюється в спеціальній камері згоряння турбіни. У цю камеру багатоступінчастим компресором нагнітається під більшим тиском повітря, потім за допомогою форсунки впорскується паливо, яке, згоряючи, викликає значне зростання тиску в камері. По відповідних до каналів газу надходять на лопатки турбіни й приводять в обертання її ротор і з'єднаний з ним ротор генератора. К.п.д. електростанції з газовими турбінами нижче, чим з паровими турбінами, що пояснюється наступним: водяні пари є кращим теплоносієм, чому продукти згоряння органічного палива, на яким працює газова турбіна; на приведення в дію компресора витрачається більш половини потужності турбіною, що розвивається. Основний недолік газової турбіни полягає в тому, що вона може працювати тільки на дуже чистих продуктах згоряння у вигляді природного газу або спеціально очищеного й тому дорогого рідкого палива. На електростанціях же з паровими турбінами використовується переважно низькосортне паливо.

Магнітогідродинамічний генератор (МГД-генератор) дозволяє одержати електричну енергію безпосередньо із плазми. МГД-генератор не має казана, турбіни, ротора й взагалі яких-небудь рухомих частин. Він являє собою резервуар, заповнений газами. Газ, розігрітий до температури 2600 — 2700°C, утворюють плазму, що володіє гарною провідністю. Плазма переміщається потужним магнітним полем, під дією якого в ній, як у провіднику, наводиться е.р.с. Таким чином, тепло безпосередньо перетворюється в електрику. Тепло продуктів згоряння, що виходять із каналу МГД-генератора, використовують для одержання пари в парогенераторі. Пару направляють у парову турбіну. Комбінація МГД-генератора з паровою турбіною дозволяє на такій електростанції досягти к.п.д. 50-55%, що вище к.п.д. теплових електростанцій з турбінами конденсаційного типу.

Дизельна електростанція (ДЕС) — це теплова електростанція, що перетворює хімічну енергію рідкого палива в електричну за допомогою дизельних агрегатів. Потужність ДЕС коливається від декількох сотень до декількох тисяч кіловатів. Основна перевага ДЕС — швидкий пуск, тому вони знайшли широке застосування як

пересувні електростанції на будівництвах, вилучених від електричних мереж, для живлення електрифікованого інструмента при виконанні ремонтних робіт у колійнім господарстві, виконання ремонтних робіт у комунальнім господарстві, міст і т.і. ДЕС застосовують також для електрифікації невеликих селищ, вилучених від державних електричних мереж, а також у якості джерел резервного живлення пристроїв СЦБ. К.п.д. ДЕС становить 30 — 32%.

Теплові електростанції працюють на вугіллі, нафті й газі, запаси яких у надрах землі не нескінченні. Слід мати на увазі, що нафта, газ і вугілля є кошовною сировиною для хімічної промисловості і їх потрібно розумно витратити, щоб не залишити без цієї сировини майбутні покоління. Чим більше ми витрачаємо традиційні види енергетичної сировини — нафта, газ і вугілля, тем менше їх залишається й тем дорожче з кожним днем вони нам обходяться. Тому вже сьогодні настало завдання збільшити масштаби використання невичерпних і поновлюваних джерел енергії — гідравлічної, атомної, геотермальної, сонячної й вітрової.

Гідроелектростанції. На гідроелектростанціях перетворюється механічна енергія водного потоку в електричну. Гідроелектростанції поділяються так: ГЕС — приплотинні, гребельні, дериваційні; ГАЕС — гідроакумуючі; ПЭС — Приплотинні й гребельні ГЕС будують на багатоводних річках, дериваційні, гідроакумуючі — на небагатоводних річках з великим перепадом води, приливні — на узбережжі моря.

На ГЕС встановлюють гідрогенератори (гідрогенератор — це блок з гідравлічної турбіни й генератора трифазного змінного струму) великої потужності: 225, 500, 640 мВт і більш. Наприклад, на Саяно-Шушенській ГЕС встановлено 10 гідрогенераторів потужністю по 640 мВт. ГЕС будують у місцях найкращого використання рік, тому що потужність ГЕС залежить від різниці б'єсів (рівнів води до й послі турбіни) і кількості води, що проходить через турбіну в одиницю часу.

Переваги ГЕС: високий к.п.д. використання енергії падаючої води, який з урахуванням втрат у гідротехнічних спорудженнях, гідротурбінах і генераторах становить 80-90%; зберігаються природні енергетичні ресурси, які можна використовувати для інших технічних цілей; звільняється транспорт від зайвих перевезень.

ГАЕС — це електростанція, що працює на воді, перекачаної з нижнього б'єфа у верхній. ГАЕС застосовують для покриття остропикової частини графіка навантажень у ранковий і вечірній годинник доби. У нічний час воду з нижнього б'єфа у верхній перекачують гідроагрегатами, які отримують живлення від електричної системи. Цим досягається поліпшення економічних показників ТЕС, що завантажуються в періоди спаду навантажень для наповнення басейнів добового регулювання ГАЕС.

ПЭС створюється відсіканням греблею морської затоки або бухти від моря. Хвиля припливу, спонукувана космічними силами, двічі в добу наступає на берег океану. Загальна потужність припливу становить 1 млрд. кВт. Енергія припливу виявлялася донедавна не використаною через її залежність від ритму руху Місяця (зупинка, падіння й наростання через кожні 6 год 50 хв, зменшення потужності при видимості місячного диска (протягом місяця). Розроблена конструкція ПЭС, яка дозволяє одержувати від неї відповідну кількість енергії незалежно від положення Місяця.

Атомні електростанції (АЕС). На АЕС перетворюється енергія розщеплення ядер атомів хімічних елементів в електричну енергію й тепло. В АЕС на теплових нейтронах використовується тепла енергія розпаду атомного ядра ізотопу ^{235}U урану (склад ^{135}P у природному урані 0,712%) або торія. Щоб одержати теплову енергію

розпаду атомного ядра довгостроково (а не у вигляді вибуху) і управляти нею, застосовують атомні реактори зі спеціальними сповільнювачами. По суті, АЕС є тепловою, тому що тепла енергія розпаду атомного ядра через спеціальні теплоносії передається воді, преутвореної в пару, яка надає руху турбогенератору. Однак внаслідок інтенсивного радіоактивного випромінювання потрібне спорудження спеціальних засобів для захисту від нього, що суттєво відрізняє АЕС від ТЕС. К.п.д. АЕС на теплових нейтронах становить 25-30%.

Природний уран містить у собі 99,283% ізотопу ^{238}U , тобто приблизно в 140 раз більше, ніж ізотоп ^{235}U . Світові запаси урану містять в 20-40 раз більше енергії, чому розвідані запаси вугілля й нафти. Енергетичні показники ізотопу урану ^{238}U характеризуються наступними даними: 1 кг урану відповідає приблизно 2000 т першосортного вугілля або 20 млн. кВт • год електроенергії; при розпаді ядер атома з 1 г урану виділяється $2,3 \cdot 10^4$ кВт • год енергії, 90% якої перетворюється в тепло. Однак використання ізотопів ^{238}U донедавна викликало технічні труднощі, тому що ядра ^{238}U діляться тільки під дією швидких нейтронів з енергією, що перевищує 1 Мев, тоді як ядра ^{235}U ефективно діляться під дією нейтронів малої швидкості з витратою невеликої енергії.

Витрати на будівництво АЕС із реакторами на швидких нейтронах економічно виправдовують себе, тому що в них повністю використовується уран, що добувається, і, крім того, відтворюється атомне паливо - плутоній. В АЕС із реакторами на теплових нейтронах використовується тільки 1-2% урану, що спалюється, решта — відходи (плутоній, який тепер буде використовуватися на АЕС із реакторами на швидких нейтронах). Одинична електрична потужність побудованих реакторів але швидких нейтронах досяглася 600 МВт. Перспективними є реактори потужністю 800 і 1600 МВт.

Геотермальні електростанції. Вони працюють на принципі використання глибинного тепла Землі. Джерелами глибинного тепла Землі є радіоактивні перетворення, хімічні реакції й інші явища, що відбуваються в земній корі. Температури порід із глибиною безупинно збільшуються й на глибинах 2—3 тис. м перевищують 100°C. Води, що циркулюють на більших глибинах, нагріваються водомісткими породами до значних температур і можуть бути виведені на поверхню свердловинами. У вулканічних районах глибинні води часто підігріваються гарячими газами, що піднімаються по тріщинах земної кори від магматичних вогнищ. У цих районах термальні води мають найбільш високі температури й розташовані близько до поверхні землі. Доступними є термальні води й пароводяні суміші з теплоємністю до 200 ккал/кг. Надглибинне буравлення дає можливість освоїти тепло більш енергоємних земних надр. Пароводяна суміш із теплоємністю до 200 ккал/кг, виведена на поверхню землі із глибини 200—450 м за допомогою шпар, направляється по трубопроводах у сепараційне обладнання. Отсепарована пара надходить у турбіни, а гаряча вода при температурі 120°C використовується для теплопостачання населення й технічних цілей. Перевага геотермальної електростанції полягає в тому, що вона не витрачає енергетичної сировини. Основний недолік - обмежена потужність.

Сонячні електростанції. Земля щодня одержує від Сонця в тисячу раз більше енергії, чому її виробляють усі електростанції миру. Завдання полягає в тому, щоб навчитися практично використовувати хоча б її невелика кількість. Розробка технології використання енергії Сонця тільки починається. У нашій країні дослідження в області сонячної енергетики ведуться вже кілька десятиліть. Над

проектами великих сонячних електростанцій працюють у ряді країн Європи, у Японії й США. Деякі з них будуть уведені в лад уже в самі найближчі роки. Створень великої кількості сонячних електростанцій займе кілька десятиліть. У місці знаходження електростанції Сонце світить не цілодобово. Тому в сонячній енергетиці однієї з важливих проблем, крім одержання електроенергії, є забезпечення тривалого зберігання й передачі енергії в більших масштабах. Дослідники дійшли висновку, що в якості партнера сонячної енергії повинні виступати різні види рідкого або газоподібного палива. Найбільш імовірною кандидатурою є водень. Одержання водню з використанням сонячної енергії, наприклад шляхом електролізу, може бути досить дешевим, а сам цей газ із високою температурною здатністю може перетворитися в електроенергію на сонячній електростанції, довгостроково зберігатися, транспортуватися по трубопроводах або перевозитися танкерами на інші електростанції.

У стадії технічних експериментів перебуває перетворення сонячної енергії, одержуваної штучними супутниками Землі на стаціонарних орбітах у районі екватора, у короткохвильове електромагнітне випромінювання, яке на Землі перетворюється в електроенергію.

Головний перспективний напрямок у світовій електроенергетиці полягає в максимальному використанні атомної енергії й поновлюваних джерел енергії — гідравлічної, геотермальної, сонячної, метрової, різниці температур глибинних і поверхневих вод Мирового океану.

Класифікація повітряних ліній

Залежно від призначення підвішених ланцюгів повітряні лінії зв'язку розділені на три класи. До I класу відносяться лінії зв'язку, на яких підвішені ланцюги, що зв'язують Міністерство шляхів сполучення з керуваннями доріг, а також останні між собою; до II класу — лінії несучі ланцюги, які зв'язують управління доріг з відділеннями доріг і відділення доріг між собою, а також лінії, на яких підвішені ланцюги зв'язку відділень; до III класу — лінії місцевого (станційного) зв'язку.

Залежно від інтенсивності голольодних відкладань на проводах повітряних ліній зв'язку ці лінії будують чотирьох типів: П — полегшений, Н — нормальний, ПОС — посилений і ОП — особливо посилений. Лінії типу П будують у негольодних і слабогольодних районах, де еквівалентна товщина стінки льоду на проводі не перевищує 5 мм. У районах із середньою інтенсивністю ожеледі, де еквівалентна товщина стінки льоду може збільшитися до 10 мм, будують лінії типу Н. У сильногольодних районах, де еквівалентна товщина стінки льоду досягає 15 мм, будують лінії типу ПОС, а де еквівалентна товщина стінки льоду досягає 20 мм і більш — лінії типу ОП.

Залежність числа опор на 1 км і довжини прольоту від типу лінії показана в табл. 1.

Таблиця 1

Тип лінії	Линии связи					Высоковольтные линии СЦБ		
	Эквивалентная толщина стенок льда, мм	I и II классов		III класса		Эквивалентная толщина льда, мм, не более	Число опор на 1 км линий	Длина пролета, м
		Число опор на 1 км линии	Длина пролета, м	Число опор на 1 км линии	Длина пролета, м			
О	5	20	50	12	83,3	—	—	—
Н	10	20	50	16	62,5	10	20	50
У	15	25	40	20	50	15	25	40
ОУ	20	28	35,7	20	50	20	28,5	35

На різних типах лінії встановлюють різне число посиленних і противітрових опор, що забезпечують стійкість лінії при ожеледі й вітрі.

На відміну від повітряних ліній зв'язку високовольтні (ВЛ) і високовольтно-сигнальні лінії автоматики й телемеханіки (ВСЛ СЦБ) будують трьох типів: Н, ПОС, ОП.

Повітряні лінії автоматики, телемеханіки й зв'язку складаються зі сталевих, мідних або біметалічних неізольованих проводів, підвішених на дерев'яних або залізобетонних опорах, по яким передаються електричні сигнали.

До повітряних ліній ставляться високовольтні лінії електропередачі (ЛЕП), високовольтно-сигнальні лінії СЦБ і лінії зв'язку.

На повітряних високовольтно-сигнальних лініях підвішують проведення трифазного силового ланцюга з лінійною напругою 10 кВ (раніше застосовували напруга 6 кВ) для електроживлення перегінних і станційних обладнань СЦБ. Крім проводів силового ланцюга, на опорах високовольтно-сигнальної лінії підвішують і сигнальні проведення.

На повітряних лініях зв'язку підвішують проведення магістрального, дорожнього й телефонно-телеграфного зв'язку відділень, проведення місцевого зв'язку, а також проведення автоматичного й напівавтоматичного блокування, диспетчерської централізації й диспетчерського контролю, телекерування тяговими підстанціями й ін. На роботу повітряних ліній впливають метеорологічні й кліматичні умови району, по яким проходить лінія, інтенсивність грозової діяльності, а також лінії електропередачі й тягова мережа дорогий. Найбільший вплив виявляють ожеледь, паморозь і вітер.

При змінній погоді на проводах повітряних ліній може утворюватися змішаний осад, що складається із шарів льоду й паморозі. Ожеледь — однорідне крижане відкладання на проводах повітряних ліній щільністю близько 900 кг/м³, що помітно збільшує механічне навантаження проводів і опор. Комбінація ожеледі й вітру може викликати обриви проводів і поломку опор.

Вплив вітру на повітряні лінії не обмежується тільки збільшенням навантаження на проводи й опори. При швидкості вітру до 5 м/с на відкритій місцевості іноді виникає вібрація проводів. При вібрації коливальна енергія проводів передається до місця його кріплення в'язанням на ізоляторі. Механічна напруга в місці кріплення, яка швидко міняється в проводі, сприяє зношуванню проводів й викликає його обрив. Для боротьби з наслідками вібрації проводів застосовують спеціальне кріплення проводів до ізоляторів (ресорне в'язання).

Дощ, туман і мокрий сніг також впливають на роботу повітряних ліній. Вони знижують опір ізоляції проводів через появу на ізоляторах вологої плівки. Поява вологи на сталевих проводах викликає їх корозію. Для того щоб опір ізоляції проводів

відповідав установленим нормативним значенням, що забруднилися ізолятори періодично чистять, а біті замінюють. При виготовленні сталевих проводів у сталь додають мідь, а поверхню оцинковують, що підвищує їхню корозійну стійкість.

При прямому ударі блискавки в повітряну лінію ушкоджуються проводи, ізолятори й опори. Повітряні лінії захищають від грози за допомогою блискавковододів, встановлюваних на найбільш відповідальних опорах (кутових, кінцевих, кабельних і ін.).

Атмосферні перенапруги, що виникають у проводах, викликані грозовими розрядами, становлять небезпеку для апаратури, включеної в ці проводи. Цю апаратуру захищають включенням у проводи розрядників і запобіжників.

У результаті електромагнітного впливу в проводах повітряних ліній, що мають зближення з високовольтними лініями електропередачі й тяговою мережею електрифікованих доріг, можуть з'являтися небезпечні напруги, що й заважають.

Для захисту ланцюгів сигналізації й зв'язку від небезпечних впливів, що й заважають, високовольтних ліній електропередачі розроблені заходи, що дозволяють знизити ці впливи до встановлених нормативних значень.

При будівництві повітряних ліній автоматики, телемеханіки й зв'язку слід ухвалювати заходи щодо захисту дерев'яних опор від гниття (просочення опор антисептиками, обладнання антисептичних бандажів, застосування залізобетонних приставок до опор), а залізобетонних опор — від корозії блукаючими струмами й від впливу хімічних речовин, що перебувають у ґрунті (покриття поверхні підземної частини опори бітумною мастикою).

У процесі експлуатації повітряні лінії необхідно оберігати від падіння на них дерев, від набросов на проведення різних предметів, а також від можливих пошкоджень ліній у місцях, що заливаються під час повіддя.

Підстанції

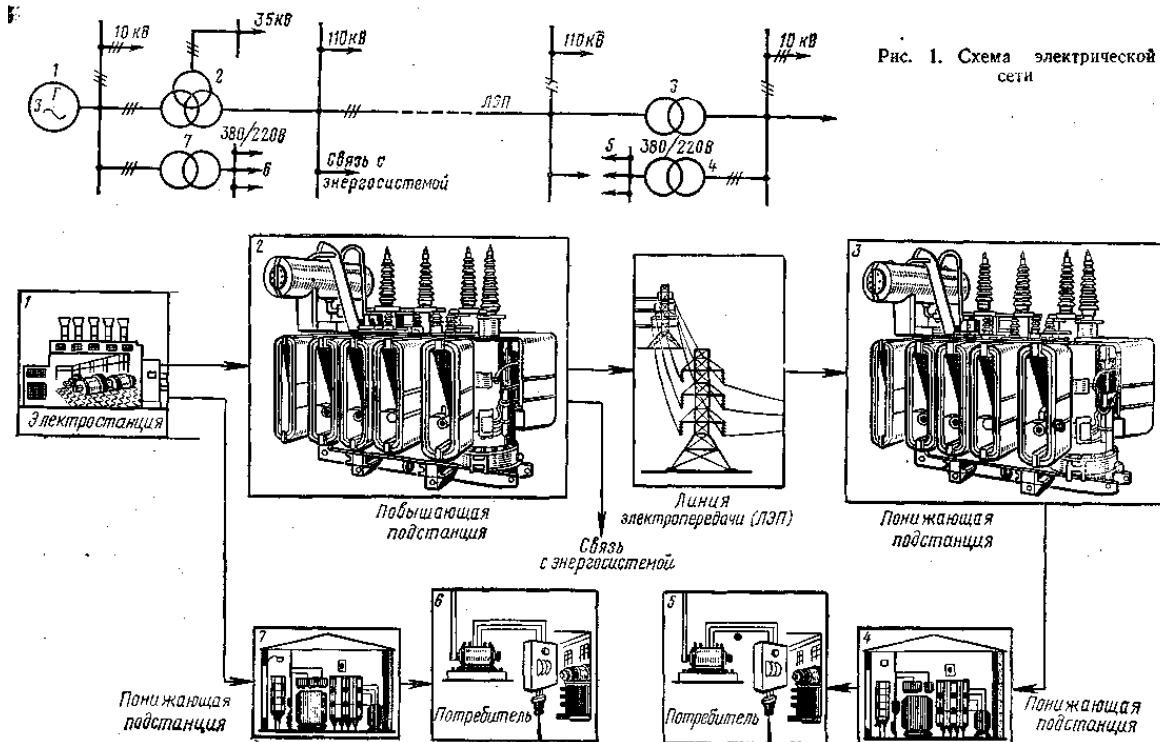
На електростанціях 1 (мал. 1) генераторами виробляється трифазний змінний струм промислової частоти 50 Гц напругою 10 кВ і вище й подається на підвищувальні підстанції 2. Змінний струм підвищеного напруги 35; 110 кВ і вище по лінії електропередачі (ЛЕП) передається до споживачів через трансформатори понижувальної підстанції 3, що знижують напругу до 10 кВ. Трансформатори понижувальної підстанції 4 знижують напругу до 380/220 В. Від шин зниженого напруги енергія надходить до споживачів 5. Споживачі 6 харчуються від шин електростанції через понижувальну підстанцію 7. Сукупність повітряних і кабельних ліній електропередачі й підстанцій, що працюють на певній території, називаються **електричною мережею**.

Електрична підстанція — це електроустановка, призначена для перетворення й розподілу електричної енергії. Підстанції бувають підвищувальні й понижувальні.

Підвищувальні підстанції 2 (див. мал. 1) споруджують звичайно безпосередньо при електростанціях. Вони служать для зв'язку електростанції з електричною системою й передачі електроенергії до споживачів високою напругою.

Понижувальні підстанції 3 (див. мал. 1) призначені для перетворення напруги живильної мережі в більш низьку напругу, при якій електроенергія передається споживачам, приєднаним до даної підстанції. Вони бувають із одним вторинною напругою 10(11) кВ і двома вторинними напругами 10(11) і 35(38,5) кВ, як підстанція 2. На перші встановлюють двохобмоткові трансформатори, а на других —

трёхобмотков. Напрягу 35 кВ використовують для живлення вилучених від підстанцій споживачів, а напруга 10 кВ — для живлення споживачів, розташованих поблизу підстанції.



ЛЕКЦІЯ

Вплив різноманітних факторів на експлуатаційну надійність устаткування

У процесі експлуатації всі устаткування систем електропостачання зазнають дію факторів, що істотно впливають на показники його експлуатаційної надійності. Усе різноманіття таких факторів умовно підрозділяють на суб'єктивні й об'єктивні.

До суб'єктивних відносять фактори, які переважливо залежать від дій обслуговуючого персоналу. До них, у першу чергу, слід віднести кваліфікацію, дотримання правил технічної експлуатації, організацію системи технічного обслуговування, виконання правил і заходів безпеки тощо. Практика експлуатації показує, що дії обслуговуючого персоналу можуть істотно знизити показники надійності устаткування. Треба мати на увазі, що похибки, допущені окремими особами під час проектування, виправляються зусиллями всього колективу й контролюються при проведенні численних випробувань нового обладнання. Похибки ж членів обслуговуючих бригад під час керування або проведення профілактичних робіт можуть вирішально вплинути на надійність усієї системи електропостачання. Практика свідчить, що понад 30% усіх відмов електроустаткування так чи інакше пов'язано з неправильними або помилковими діями обслуговуючого персоналу.

Часто причиною помилок є недостатнє знання принципів дії й конструкції самого пристрою, правил його експлуатації, невміння попереджувати й усувати несправності, недостатній досвід, недбалість під час обслуговування та й проведення інших профілактичних заходів і т. ін.

Найбільш поширеними помилковими діями обслуговуючого персоналу є:
—недотримання встановлених режимів роботи електроустановок;

- помилки під час вибору уставок і настроювання вимірювальних органів релейного захисту й автоматики;
- використання запобіжників, які не відповідають конкретним умовам;
- неправильне збирання схем настроювання, регулювання, випробування;
- неправильний вибір типу вимірювальних приладів і меж вимірів, неузгодження типу приладів зі схемою, яку настроюють;
- комутація знеструмлених кіл, які викликають аварійні ситуації;
- порушення порядку, об'єму й методики проведення заходів з технічного обслуговування;
- помилкові дії під час діагностичних процесів, які пов'язані з безсистемністю пошуку відмови;
- неправильна оцінка явищ, які спостерігаються в працюючому устаткуванні;
- помилки під час проведення операцій по відновленню (відсутність навичок, невчасне усунення несправностей, порушення технології й т. п).

Слід зазначити, що певного зменшення впливу кваліфікації обслуговуючого персоналу можна досягти впровадженням автоматизованих засобів контролю й діагностики, спрощенням профілактичних засобів, застосуванням пристроїв, які фіксують місце відмови, і т. ін. Проте повне виключення суб'єктивних факторів неможливе. Звідси виникає необхідність високої фахової підготовки обслуговуючого персоналу й ретельного контролю за його діями.

Велике значення має також дотримання графіків виконання профілактичних робіт, коли всі операції проводять у задані терміни й в обсязі, який забезпечує підтримання показників надійності устаткування у встановлених межах. Суворе виконання графіків дозволяє підвищити якість робіт, зменшити кількість помилок, скоротити загальний час на проведення робіт з технічного обслуговування й т. ін.

До об'єктивних відносять фактори, обумовлені фізико-хімічними процесами, пов'язаними з режимами роботи устаткування й дією навколишнього середовища. Об'єктивні фактори прийнято, у свою чергу, підрозділяти на зовнішні й внутрішні.

До зовнішніх відносять фактори, які обумовлені характером експлуатації й режимом роботи обладнання (електричний і температурний режим, механічні навантаження, електромагнітні перехідні процеси й т.п.), а також впливом навколишнього середовища. Під останнім розуміють сукупність природних розумів, за яких протікає експлуатація електроустановки. До головних факторів навколишнього середовища відносять: температуру, вологість, забруднення, механічні домішки в повітрі, біологічні фактори, сонячну радіацію та ін.

До внутрішніх відносять фактори, які обумовлюють якісні зміни в елементах електроустановок за рахунок процесів старіння, механічного й електричного зносу тощо.

Старінням називають відносно повільну незворотню зміну фізико-хімічних властивостей матеріалів елементів електроустановок на всіх етапах їх експлуатації. Старіння виявляється в структурних змінах матеріалів діелектриків, в окислюванні поверхні контактів, у хімічних реакціях і розкладанні просочувальних речовин, у зміні механічних і електричних властивостей полімерних матеріалів, порушенні герметизації під час появи тріщин і наскрізних каналів в армувальних швах ізоляторів тощо. Процеси старіння протікають безупинно й можуть значно прискорюватися під дією факторів навколишнього середовища та характеру роботи відповідних електроустановок.

Зносом називають зміну розмірів, форми, маси або стану поверхні елементів устаткування, що стикаються внаслідок руйнування (зношування) мікрооб'ємів поверхневого прошарку.

Відповідно до молекулярно-механічної теорії стійкості знос має подвійну природу. З одного боку, він обумовлений деформаційними процесами, які відбуваються в молекулярному прошарку, а з іншого — взаємодією поверхонь двох тіл, під час якої відбувається процес руйнування й виникнення молекулярних зв'язків на тлі таких явищ, як адгезія, дифузія, хімічний вплив тощо.

Механічний знос слід розглядати як механічний процес, ускладнений дією фізичних і хімічних факторів, які викликають зниження стійкості поверхневого прошарку. За умовами зовнішнього впливу на поверхневий прошарок розрізняють абразивний, кавітаційний, ерозійний знос та ін. Найчастіше знос є наслідком тертя з'єднаних поверхонь, які зношуються одночасно. Якщо плівки мастильних речовин між тертьовими поверхнями відсутні, виникає так зване **сухе тертя**. У цьому випадку сили тертя, що виникають внаслідок опору мікроповерхонь сполучених деталей, викликають пружні й пластичні деформації з утворенням продуктів зносу, зріз матеріалу з тертьових поверхонь абразивними частками, а також розриви молекулярних зв'язків у поверхневому прошарку.

Якщо поверхні слабо змащені, виникає **граничне тертя**. У цьому випадку тертьові деталі розмежовані лише тими прошарками молекул мастил, що адсорбовані на поверхні цих деталей внаслідок полярної активності й сил молекулярного притягання.

У тому випадку, коли ще продовжується безпосередній контакт тертьових поверхонь, алі є значна товщина прошарку мастила, виникає **напіврідинне тертя**. Під час такого тертя безпосереднє зіткнення тертьових поверхонь виключається. Товщина мастильного прошарку в цьому випадку перевищує розмір мікронерівностей на поверхні деталей і тертя виникає тільки за рахунок переміщення молекул у прошарку мастила.

Чіткої грані між граничним, напіврідинним і рідинним тертям не існує. Під час робочих процесів один вид тертя може переходити в інший залежно від величини зазору, в'язкості мастильних матеріалів, швидкості переміщення, кількості обертів, ступеня припрацювання тертьових поверхонь тощо.

Коли врахувати, що для електрообладнання систем електропостачання характерний широкий діапазон швидкостей переміщення.

Механічні навантаження

Механічні навантаження на електрообладнання виникають через удари й вібрацію під час використання його за призначенням або при транспортуванні, під впливом температурних і електродинамічних перевантажень, дії вітру, опадів та інших факторів навколишнього середовища.

Ударом називають миттєвий дотик сили до конструкції, під час якого в ній виникають загасаючі коливання на власній частоті. Амплітуда коливань може бути настільки значною, що настає злам деталей, обривши проводів, порушення паяння, деформація деталей та місць їх з'єднання й т. ін.

Вібрацією називають тривале знакоперемінне коливання, яку викликається зовнішніми силами. Наслідком вібрації можуть бути поломка деталей у результаті явища втомленості, обривши проводів, порушення регулювання, руйнування ущільнень та армування й т.п.

Досвід експлуатації показує, що найбільш небезпечними під година вібрації є частоти від 15 до 150 Гц, що відповідають резонансним частотам у конструкціях електроустановок.

Таким чином, результатом механічних навантажень є явище втомленості в матеріалах конструкцій, порушення кріплень, ослаблення гвинтових і заклепкових з'єднань, обриви проводів у місцях вигинів і пайки, деформація й поломка деталей, обриви виводів комплектуючих елементів монтажу, зсув елементів щодо бази, зміна зазорів у кінематичних схемах і підшипниках, порушення контактних з'єднань тощо.

На зниження впливу механічних навантажень спрямовані відповідні конструктивні рішення тієї або іншої електроустановки. У таких випадках передбачають масляні й пружинні буферні пристрої, засоби амортизації, пристрої, що запобігають самовільному розбиранню агрегатів і порушенню з'єднань (фіксуючі шплінти, пружинні шайби, а також інші пристрої, які захищають з'єднання від самовідгвинчування). Найважливішою умовою підтримки надійності устаткування на заданому рівні є відновлення цих елементів під година проведення профілактичних робіт.

Монтуючи пристрої релейного захисту і автоматики та іншої складної апаратури, зменшують навантаження на з'єднуючі проводи. Для цього передбачають жорсткий навісний монтаж елементів схеми з мінімальною довжиною виводів. Виводи перед паянням обкручують навколо відповідного пелюстка. Важкі елементи закріплюють на елементах конструкції додатковими пристроями.

Ефективним засобом зменшення впливу вібрації на елементи монтажу є заливання змонтованих вузлів спеціальними компаундами і смолами.

Температура навколишнього середовища

Електрообладнання може експлуатуватися в різноманітних температурних умовах навколишнього середовища. Зміна температури останнього може відбуватися під дією прямих сонячних променів, за рахунок сусідніх джерел підвищеної температури і внутрішнього нагрівання. Вплив температури тим сильніший, чим більші швидкість і частота її зміни.

Швидкі перепади можливі за розумів зміни добової температури, перенесення обладнання з нагрітого приміщення в середовище з холодним повітрям і навпаки.

Коливання температури протягом доби в тропічному кліматі досягають 15° , у помірному поясі — 25° , в арктичній зоні — 20° , у пустелі — 40° . Сезонні зміни температури в пустелі знаходяться в межах від -10° до $+50^{\circ}$ С, у помірному поясі — від -20° до $+40^{\circ}$ С, в арктичній зоні - від -50° до $+35^{\circ}$ С

Слід зазначити, що на надійність електрообладнання істотно впливає перехід температури через нуль градусів, особливо за умови високої вологості. У цьому випадку відбувається відкладення інею на контактах, примерзання якорів, реле, збільшення в'язкості мастильних матеріалів і трансформаторного масла, порушення блок-контактів у приводах, зменшення опору ізоляції і т.п.

Підвищення температури навколишнього середовища сприяє зростанню температури всередині електроустановки і зниженню її навантажувальної спроможності. Наприклад, якщо обладнання, що знаходиться під впливом прямих сонячних променів, забарвлене в темний колір, можливе підвищення температури до 70° С. Таким чином, фактичний коефіцієнт навантаження може набути значення вище розрахункового, що обмежує навантажувальні можливості обладнання.

Важливими факторами є швидкість і циклічність зміни температури, які сприяють появі механічних знакоперемінних зусиль, у результаті яких відбувається зміна посадкових і установочних зазорів, ослаблення кріплення деталей і вузлів, зсув деталей відносно одна одної, виникнення значних перенапружень, які викликають деформацію деталей, а також зміна електричних і магнітних параметрів відпох схем.

При зниженні температур втрачають міцність пластмаси, стають крихкими й розтріскуються гумові вироби та інші ізоляційні матеріали, знижується стійкість металевих конструкцій, руйнуються армувальні шви в ізоляторах, знижується ємність конденсаторів і т. ін.

Дуже чутливі до зміни температур параметри резисторів і напівпровідникових приладів. При зміні температури від $+60$ до -60°C , більшість параметрів змінюється на 15-25%.

Вологість

Волога постійно знаходиться в навколишньому повітрі і є одним з сильно діючих факторів середовища. Найбільш небезпечним є контакт елементів устаткування з водяними краплями, що спостерігається під час конденсації водяних парів в атмосфері (туман) або на поверхні елементів електрообладнання. Слід зазначити, що завдяки малому ефективному діаметру молекул води (2.68 А) вона легко проникає в пори багатьох матеріалів, які застосовують в електрообладнанні, і взаємодіє з ними. При цьому змінюються електричні характеристики матеріалів, виникають процеси гідролізу, прискорюються процеси старіння, підвищується інтенсивність корозії металів, створюються умови для розвитку цвілі й т. ін.

Наявність вологи в навколишньому повітрі прийнято характеризувати відносною вологістю, що являє собою виражене у відсотках відношення фактичної калкості вологи в повітрі до максимально можливої при даній температурі.

Нормальною вологістю прийнято вважати відносну вологість у межах від 60 до 65%. У реальних умовах у різних географічних зонах відносна вологість коливається від 5 до 95%, а в тропічній зоні досягає 98%.

На механічні й електричні властивості металів підвищена вологість повітря і конденсація впливають незначно, алі при цьому відбувається погіршення загальних характеристик електрообладнання за рахунок окислювання контактів, кородування металевих частин конструкцій і струмоведучих частин, розморожування ємностей, заповнених водою.

Особливо небезпечна волога для ізоляційних конструкцій. Багато ізоляційних матеріалів, що мають високу об'ємну гігроскопічність, всмоктуючи вологу, набрякають. Збільшення лінійних розмірів при цьому призводить до появи внутрішніх перенапруг, що супроводжується появою тріщин і місцевих порушень структури, зміною зазорів, посадкових розмірів тощо. Змінюються також ізоляційні якості. Так, при відносній вологості повітря в 98%, поверхневий опір ізоляції протягом 5 хвилин знижується на 40%.

Проникнення вологи всередину діелектрика призводить до зменшення об'ємного опору, збільшення діелектричних втрат, зміни ємності конденсаторів, зниження електричної стійкості, збільшення ємнісних зв'язків між ізольованими один від одного проводами й т.п.

Якщо волога потрапляє на мастильні матеріали, утворюється водяна емульсія. Якість і захисні властивості мастила при цьому різко знижуються. У системах

гідравлічних приводів волога, змішуючись з маслами, приводить до посилення корозійних процесів.

Зростанню вологості обладнання сприяють атмосферні опади, особливо дощ та сніг. Пробиваючись під дією повітря у вентиляційні щілини споруд та електроустановок, під чохла апаратури, краплі дощу й снігу призводять до погіршення роботи й відмови обладнання.

Особливо небезпечним є обледеніння, яку викликає погіршення функціонування багатьох елементів електроустановок і навіть їх механічне руйнування.

Для захисту від обледеніння необхідно здійснювати:

- добір матеріалів з низьким ступенем гігроскопічності;
- покриття деталей і вузлів негігроскопічними або гідрофобними матеріалами (фарби, лаки, мастила, пластмаси й т.п.);
- гальванічне покриття поверхні металів;
- герметизацію елементів обладнання;
- просочування деталей і вузлів негігроскопічними матеріалами;
- розміщення обладнання в спеціальних приміщеннях;
- введення в обладнання вологопоглиначів.

У якості вологопоглиначів особливо широко застосовують силікагель (SiO_2), який здатний поглинати до 60% вологи від власної ваги. Адсорбована силікагелем волога добрі утримується. Щоб її видалити, силікагель прогрівають при температурі понад 500°C . Застосування силікагелю зручно також тому, що просочений спеціальною речовиною, він у міру поглинання вологи змінює колір, що дозволяє контролювати ступінь його зволоження.

Корозія

Корозією називають руйнування металів внаслідок хімічної або електрохімічної взаємодії з навколишнім середовищем. При відносній вологості близько 100%, коли на поверхні металевих елементів обладнання утворюється видимий прошарок вологи, а також при безпосередньому попаданні на поверхню крапель вологи, виникає так звана мокра корозія. За характером процесів, які протікають при цьому, корозія аналогічна до корозії металів, занурених у корозійно-активний розчин, алі їх розвиток відбувається повільніше, оскільки тонкий прошарок вологи має досить високий омичний опір.

При відносній вологості в межах від 80 до 98% спостерігається волога атмосферна корозія. Плівка вологи на поверхні металу в цьому випадку дуже тонка і невидима неозброєним оком, а процеси корозії протікають повільніше, ніж у попередньому випадку.

Як перший, так і другий види корозії мають електрохімічний характер, у якому бере доля «корозійна пари», що складається з двох електродів (різнорідні метали) і електроліту. Корозійна пара виникає і на однорідному металі, якщо різні його ділянки знаходяться в різних середовищах. Таке явище характерне саме для вологої атмосферної корозії електрообладнання. Електролітом у цьому випадку є сконденсована волога, у різних місцях якої різна концентрація кислот і солей, парі яких завжди є в навколишньому середовищі. Смороду й обумовлюють електропровідність плівки або краплин вологи. Чим більше розчинено у воді корозійно-активних хімічних сполук, тим активніший електроліт і тим більшу корозію він може викликати. Тому особливо небезпечні опади в промислових районах, де кількість корозійно-активних домішок досить велика. Досвід експлуатації показує, що

в промислових районах корозійні процеси розвиваються в 5-6 разів швидше, ніж у сільських.

Слід мати на увазі, що в міру випаровування вологи з поверхні металу концентрація домішок у розчинах збільшується, а отже підвищується і їхня корозійна активність. Тому необхідно прагнути до якнайшвидшого видалення вологи з поверхні металевих деталей.

Крім мокрої і вологої атмосферної корозії на обладнання діють суха атмосферна і контактна корозія. Суха корозія виникає за умов відсутності конденсату на поверхні металу. Цей вид корозії характеризується появою на поверхні металу окисної плівки і пояснюється процесами зустрічної дифузії іонів металу й атомів або іонів кисню. Прикладом сухої атмосферної корозії є потемніння срібної поверхні контактів, яку призводить до збільшення їх перехідного опору.

До контактної корозії відносять інтенсивне руйнування деяких металів за умови їх зіткнення з певними сортами деревини. Наприклад, алюміній, свинець, сталь та інше, інтенсивно кородують при зіткненні з матеріалами, виготовленими з дубової або каштанової деревини.

Хімічній корозії піддаються металеві деталі обладнання, що знаходяться під впливом агресивних середовищ, які утворюються при випарюванні кислот і лугів, повільному розкладанні мастильних матеріалів, старінні гумових деталей тощо.

Досвід експлуатації доводить, що корозійні процеси протікають не тільки за позитивної, алі і за негативної температури (до -20°C). Встановлено, що якщо температура від -15° до $+10^{\circ}\text{C}$, метали кородують швидше, ніж за позитивних температур від $+10$ до $+20^{\circ}\text{C}$. Це пояснюється тим, що електроліт, який утворився, на поверхні металу діє більший час. Крім того, лід (його кірка) створює нерівномірну аерацію, тобто нерівномірний доступ кисню до електроліту на поверхні металу, що сприяє зниженню потенціалу металу і призводить до утворення додаткових анодних ділянок на елементах обладнання. Встановлено також, що конденсат перетворюється на лід тільки якщо температура менше за -20°C .

Кабельні лінії й металеві споруди, що знаходяться в землі, піддаються корозії, яка викликається дією блукаючих струмів. Ці струми відгалуджуються від заземлених джерел постійного струму й протікають по металевих елементах кабелів, арматурі залізобетону тощо. Радіус дії цих струмів іноді доходить до декількох кілометрів, а їх величина може складати десятки амперів.

Під впливом блукаючих струмів в анодних зонах металевих елементів гідроізоляції і в арматурі залізобетону утворюються перенапробування, хімічна корозія, яка приводить до відмов хімічного (розкладання, окислювання, потемніння), конструктивного і механічного характеру, а також до відмов через погіршення електричних характеристик апаратури.

Щоб зберегти обладнання від ураження цвілью, необхідно насамперед дотримувати передбачений для нього температурно-вологісний режим. Досвід експлуатації показує, що в приміщеннях, які добрі вентилуються, небезпека пошкодження цвільовими грибами значно знижується. Це відбувається тому, що потік повітря навіть з великою відносною вологістю сушити матеріали, механічно порушує ріст суперечку й пошкоджує плодові тіла. Для підвищення стійкості до впливу мікроорганізмів устаткування обробляють спеціальними фунгіцидними й гідрофобними речовинами.

Серйозних пошкоджень електроустаткуванню можуть завдати терміти й деякі види мурах. Проникаючи всередину обладнання, смороду поїдають вироби з деревини, пластмас, шкіри та інших матеріалів. Кабелі й проводи можуть також пошкоджуватися гризунами, а також деякими видами жуків, які руйнують оболонку й ізоляцію. Комахи й гризуни часто стають причиною відмов у контактних системах реле, перемикачів та іншої апаратури.

Головним засобом захисту від комах і гризунів є механічні перешкоди, які ускладнюють доступ до апаратури й кабелів, а також застосування ядохімікатів.

Забруднення навколишнього повітря

Помітно впливає на експлуатаційну надійність електроустаткування систем електропостачання забруднення навколишнього повітря механічними і хімічними домішками. До механічних домішок в першу чергу слід віднести пил і пісок, що містять дрібні частки гірських порід, ґрунту, диму і топкових газів промислових підприємств, залишки рослинних і живих організмів, різноманітні хімічні домішки та ін.

Пил і пісок, проникаючи в окремі частини електроустаткування, можуть викликати, по-перше, абразивні процеси, які сприяють підвищеному зносу третьових поверхонь і руйнуванню захисних покриттів, а по-друге, маючи високу гігроскопічність, вони можуть чинити шунтуючу дію в ізоляційних конструкціях і релейній апаратурі. Досить сказати, що поверхневий опір неочищеного ультрафарфора, якщо вологість 0%, складає $1 \cdot 10^{16}$ Ом, а якщо вологість близько 100% — всього $1 \cdot 10^9$ Ом.

Осідаючи на контактах реле і перемикачів, пил і пісок можуть утворювати плівки, які не проводять або слабо проводять струм, що стає причиною їх відмов. Пил органічного походження являє собою гарне середовище для розвитку грибкових утворень.

Крім пилу й піску в навколишньому повітрі є певна кількість хімічних домішок, що викидаються в атмосферу промисловими підприємствами. До них слід віднести сірчаний газ, окисли азоту, хлор, різні кислоти, солі й луги. Вплив цих домішок на обладнання значно посилюється із збільшенням вологості. До агресивних домішок слід також віднести солоні тумани на морському узбережжі та поблизу інших солоних басейнів. Усі ці домішки істотно посилюють корозійні процеси і старіння матеріалів, з яких виготовляють устаткування.

Серед заходів боротьби з механічними домішками варто виділити застосування пилонепроникних кожухів і корпусів. Для зменшення впливу агресивних домішок застосовують герметизацію, нанесення на поверхню елементів обладнання спеціальних, стійких до агресивного середовища, покриттів. Під час примусового охолодження електроустановок використовують протипильові фільтри і замкнуті системи охолодження.

Сонячна радіація

Сонячні промені діють на апаратуру й обладнання як у процесі застосування його за призначенням, так і при зберіганні на відкритому повітрі. Довгохвильова частина спектра сонячних променів переносить теплову енергію, яка сприяє підвищенню температури всередині трансформаторів, шаф розподільних пристроїв та іншого обладнання. Короткохвильова частина спектра (фіолетова й ультрафіолетова), є

головним фактором фотохімічного впливу, що приводить до окислювання органічних матеріалів, зміни їх фізичних властивостей, руйнування, вицвітання тощо.

Під дією прямих сонячних променів різко посилюється процес розпаду багатьох мастильних матеріалів, поліхлорвінілу, фторопласту, пластмас. Натуральний каучук і гума під дією сонячних променів твердіють і розтріскуються. Аналогічно відбувається руйнування лакофарбових покриттів, що втрачають свої захисні властивості. Головним засобом захисту тут є охорона від попадання на обладнання Прямих сонячних променів за допомогою навісів, тентів, кожухів, розміщення обладнання у спеціальних приміщеннях тощо.

ЛЕКЦІЯ

Вимоги ПТЕ до споруджень і обладнання електропостачання залізниць

Пристрої електропостачання мають забезпечувати надійне електропостачання:

- електрорухомого складу для руху поїздів із встановленими ваговими нормами, швидкостями й інтервалами між ними з дотриманням розмірів руху, що вимагаються;
- пристроїв СЦБ, зв'язку й обчислювальної техніки як споживачів електричної енергії I категорії. З дозволу Державної адміністрації залізничного транспорту України до завершення перевлаштування допускається електропостачання цих пристроїв за II категорією;
- всіх інших споживачів залізничного транспорту - відповідно до встановленої Державною адміністрацією залізничного транспорту України категорії.

За наявності акумуляторного резерву джерела електропостачання автоматичного й напівавтоматичного блокування він має бути в постійній готовності та забезпечувати безперебійну роботу пристроїв СЦБ і переїзної сигналізації протягом не менше 8 рік за умови, що живлення не вимикалося в попередні 36 годин.

Час переходу з основної системи електропостачання автоматичного й напівавтоматичного блокування на резервну або навпаки має не перевищувати 1,3 с.

Для забезпечення надійного електропостачання мають проводитися: періодичний контроль стану споруд та пристроїв електропостачання, виміри їх параметрів вагонами-лабораторіями, приладами діагностики й здійснюватися планові ремонтні роботи.

Рівень напруги на струмоприймачі електрорухомого складу має бути не меншим 21 кВ при змінному струмі, 2,7 кВ - при постійному струмі й не більше 29 кВ - при змінному струмі, та 4 кВ - при постійному струмі.

На окремих ділянках з дозволу Державної адміністрації залізничного транспорту України допускається напруга не менша 19 кВ при змінному струмі й 2,4 кВ - при постійному струмі.

Номінальна напруга змінного струму на пристроях СЦБ має бути 115, 230 або 380 В.

Відхилення від зазначених величин номінальної напруги допускається в бік зменшення не більше 10%, а в бік збільшення - не більше 5%.

Пристрої електропостачання мають захищатися від струмів короткого замикання, перенапружень та перевантажень вище встановлених норм.

Металеві підземні споруди (трубопроводи, кабелі тощо), а також металеві й залізобетонні мости, шляхопроводи, опори контактної мережі, світлофори,

гідроколонки тощо, що розташовані в районі впливу ліній, електрифікованих на постійному струмі, мають бути захищені від електричної корозії.

Тягові підстанції ліній, електрифікованих на постійному струмі, а також електрорухомий склад повинні мати захист від проникнення до контактної мережі струмів, що порушують нормальну дію пристроїв СЦБ та зв'язку.

Висота підвіски контактного проводу над рівнем верху головки рейки має бути на перегонах і станціях не нижчою 5750 мм.

У виняткових випадках на існуючих лініях ця відстань у межах штучних споруд, розташованих на коліях станцій, на яких не передбачається стоянка рухомого складу, а також на перегонах з дозволу Державної адміністрації залізничного транспорту України може бути зменшена до 5675 мм за електрифікації ліній на змінному струмі й до 5550 мм - на постійному струмі.

Висота підвіски контактного проводу має не перевищувати 6800 мм.

У межах штучних споруд відстань від струмопровідних елементів, струмоприймача й частин контактної мережі, що знаходиться під напругою, до заземлених частин споруд і рухомого складу має бути не меншою 200 мм на лініях, електрифікованих на постійному струмі, і не меншою 350 мм - на змінному струмі.

В особливих випадках на існуючих штучних спорудах з дозволу Державної адміністрації залізничного транспорту України може допускатися зменшення вказаних відстаней.

Відстань від осі крайньої колії до внутрішнього краю опор контактної мережі на перегонах і станціях має бути не меншою 3100 мм.

Опори у виїмках мають встановлюватися поза межами кюветів. У виїмках, що надміру заносяться снігом (крім скельових) і на виходах з їх (на довжині 100 м) відстань від осі крайньої колії до внутрішнього краю опор контактної мережі має бути не меншою 5700 мм. Перелік таких місць визначається начальником залізниці.

На існуючих лініях до їх реконструкції, а також в особливо важких умовах на заново електрифікованих лініях відстань від осі колії до внутрішнього краю опор допускається не меншою: 2450 мм - на станціях і 2750 мм - на перегонах.

Усі зазначені розміри визначені для прямих ділянок колії. На кривих ділянках ці відстані мають збільшуватися згідно з габаритним розширенням, встановленим для опор контактної мережі.

Взаємне розташування опор контактної мережі, наземних ліній і світлофорів, а також сигнальних знаків має забезпечувати чітку видимість сигналів і знаків.

Усі металеві споруди (мости, шляхопроводи, опори), на яких закріплюються елементи контактної мережі, деталі кріплення контактної мережі на залізобетонних опорах, залізобетонних і неметалевих штучних спорудах, а також металеві конструкції (гідроколонки, світлофори, елементи мостів і шляхопроводів тощо), що стоять окремо й розташовані на відстані, меншій 5 м від частин контактної мережі, що знаходиться під напругою, мають бути заземлені або обладнані пристроями захисного вимкнення при потраплянні на споруди й конструкції високої напруги.

Заземленню підлягають також усі розташовані в зоні впливу контактної мережі змінного струму металеві споруди, на яких може виникати небезпечна напруга.

На шляхопроводах і пішохідних мостах, розташованих над електрифікованими лініями, встановлюються захисні щити й суцільний настил у місцях проходу людей для огороження частин контактної мережі, що перебувають під напругою.

Контактна мережа, лінії автоблокування й поздовжнього електропостачання напругою понад 1000 В мають поділятися на окремі ділянки (секції) за допомогою повітряних проміжків (ізольованих сполучень), нейтральних вставок, секційних і врізних ізоляторів, роз'єднувачів.

Опори контактної мережі або щити, встановлені в межах повітряних проміжків, повинні мати відрізняюче забарвлення. Між цими опорами або щитами забороняється зупинка електрорухомого складу з піднятими струмоприймачами.

Схема живлення й секціонування контактної мережі, ліній автоблокування й поздовжнього електропостачання має затверджуватися начальником залізниці.

Викопіровки зі схеми додаються до технічно-розпорядчого акту станції.

Перемикання роз'єднувачів контактної мережі електродепо й екіпірувальних пристроїв, а також колій, де оглядається дахове обладнання електрорухомого складу, виконується працівниками локомотивного депо. Перемикання інших роз'єднувачів виконується тільки за наказом енергодиспетчера.

Привод роз'єднувачів з ручним управлінням мають бути замкнені на замки.

Порядок перемикання роз'єднувачів контактної мережі, а також вимикачів і роз'єднувачів лінії автоблокування й поздовжнього електропостачання, збереження ключів від замкнених приводів роз'єднувачів, що забезпечують безперебійність електропостачання й безпеку виконання робіт, визначаються начальником дирекції залізничних перевезень (начальником залізниці).

Перемикання роз'єднувачів і вимикачів проводиться за наказом енергодиспетчера працівниками інших служб, які пройшли навчання та склали іспити у відповідній комісії.

Відстань від нижньої точки проводів повітряних ліній електропередачі з напругою, вищою 1000 В, до поверхні землі при максимальній стрілі провисання має бути не меншою:

- на перегонах - 6,0 м;
- у тому числі у важкодоступних місцях - 5,0 м;
- на пересіченнях з автомобільними дорогами, станціях і населених пунктах - 7,0 м.

На пересіченнях залізничних колій відстань від нижньої точки повітряних ліній електропередачі з напругою більше 1000 В до рівня верху головки рейки неелектрифікованих колій винна бути не меншою 7,5 м. На електрифікованих лініях ця відстань до проводів контактної мережі має встановлюватися, у залежності від рівня напруги ліній, що перетинаються, відповідно до Правил влаштування електроустановок і за технічними умовами залізниці.

1 ЗАГАЛЬНІ ДОВІДКИ ПРО ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ

ЛЕКЦІЯ

Загальні відомості про електричні машини

Електрична машина, дія якої заснована на використанні явища електромагнітної індукції, призначена для перетворення механічної енергії в електричну, або електричної в механічну, або електричної енергії в електричну енергію іншого роду струму, іншої напруги, іншої частоти.

Електричну машину, що перетворює механічну енергію в електричну, називають *генератором*. Уся електрична енергія проводиться генераторами змінного струму (синхронними), установленими на електростанціях. Перетворення електричної енергії в механічну здійснюється двигунами. Будь-яка електрична машина може бути використана як у якості генератора, так і в якості двигуна. Властивість електричних машин змінювати напрямок преутвореної енергії називають *оборотністю*.

Якщо в магнітнім полі полюсів постійних магнітів або електромагнітів (мал. 2) N і S помістити провідник і під дією якої-небудь сили F_1 переміщати його, то в ньому виникне е.р.с.

$$e = Blv \sin \alpha = Blv$$

де B — магнітна індукція в місці знаходження провідника; l — активна довжина провідника (його частина, що перебуває в магнітнім полі); v — швидкість переміщення провідника в магнітнім полі; α - кут між векторами максимуму магнітної індукції й швидкістю переміщення провідника (у розглянутому випадку $\alpha = \pi/2$, тобто $\sin \alpha = 1$).

Напрямок е.р.с., яка індуктується у провіднику, визначається згідно із правилом правої руки (від глядача за площину креслення). Якщо провідник замкнути на який-небудь опір приймача енергії, то в ланцюзі, що утворювався, під дією е.р.с. протікає струм I , напрямком якого збігається з напрямком е.р.с. провідника. У результаті взаємодії струму провідника з магнітним полем полюсів створюється електромагнітна сила $F_{\text{эм}} = Ibl$ напрямком якої визначається за правилом лівої руки. Ця сила спрямована зустрічно силі F_1 і при $F_{\text{эм}} = F_1$ провідник переміщається з постійною швидкістю. Таким чином, механічна енергія, затрачувана на переміщення провідника, перетворюється в електричну, що віддається опору зовнішнього приймача електричної енергії, тобто машина буде працювати в режимі генератора.

Якщо від стороннього джерела електричної енергії через провідник пропустити струм, то в результаті взаємодії струму в провіднику й магнітного поля полюсів створюється електромагнітна сила $F_{\text{эм}}$ під дією якої провідник почне переміщатися в магнітнім полі, долаючи силу гальмування якого-небудь механічного приймача енергії, тобто машина буде працювати як двигун. Таким чином, у силу спільності законів електромагнітної індукції й електромагнітних сил будь-яка електрична машина може працювати як у режимі генератора, так і в режимі двигуна.

Електричні машини підрозділяють на машини постійного й змінного струму. У машинах змінного струму виникає обертове магнітне поле, частота обертання якого залежить від частоти струму мережі.

Будь-яка електрична машина складається із двох основних частин: нерухливої — статора, що й обертається — ротора.

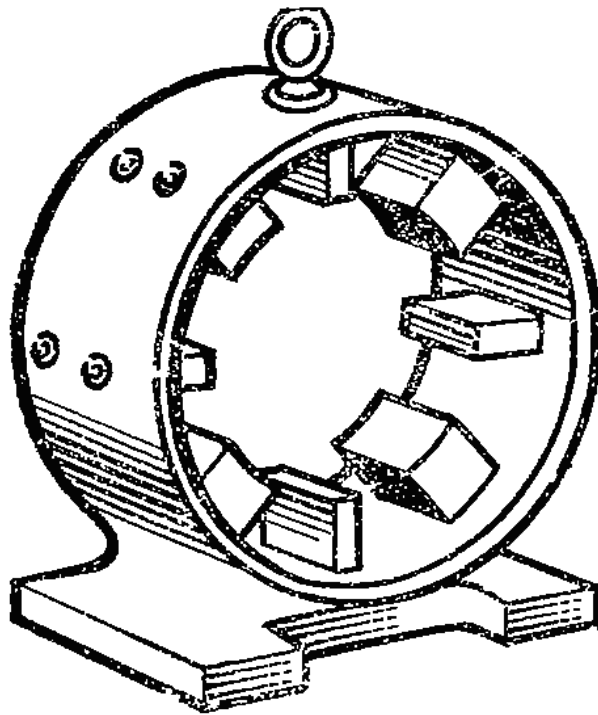


Рис. 3 Нерухлива частина електричної машини - статор

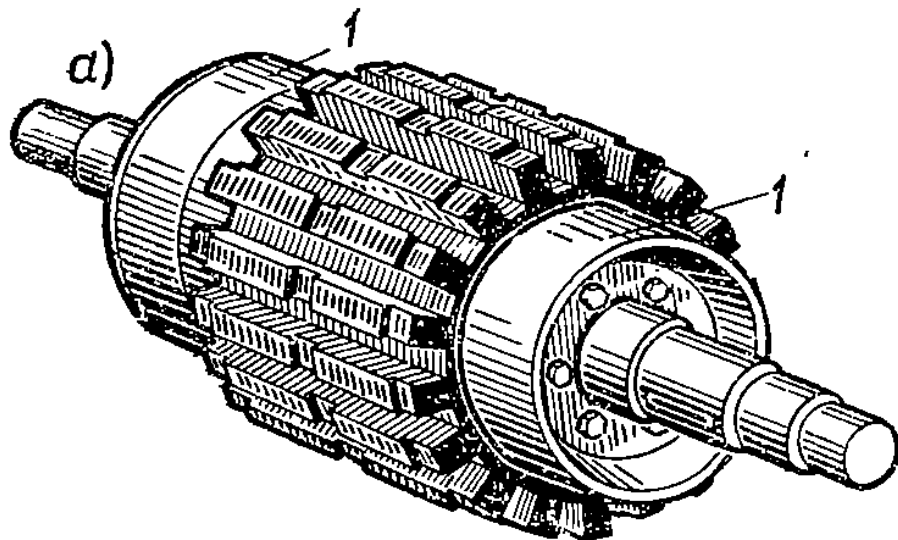


Рис. 4 Обертова частина електричної машини - ротор

Машини змінного струму можна підрозділяти на однофазні й багатofазні (звичайно трифазні), а залежно від принципу дії — на синхронні й асинхронні. У синхронних машинах процес перетворення енергії відбувається при синхронній швидкості, тобто при частоті обертання ротора, рівній частоті обертання магнітного поля. Синхронні машини широко застосовують у якості генераторів, і вся вироблювана електрична енергія виробляється генераторами цього типу. Застосування синхронних двигунів обмежується відносно невеликим колом спеціальних призначень (сталість частоти, підвищення $\cos\varphi$ і ін.). В асинхронних машинах процес перетворення енергії відбувається при несинхронній асинхронній частоті, тобто при частоті обертання ротора, не рівній частоті обертання магнітного поля. У силу ряду істотних гідностей асинхронні машини, застосовувані в якості двигунів, є найпоширенішим типом електричних машин.

Крім синхронних і асинхронних машин змінного струму застосовують колекторні машини, використовувані в якості двигунів змінного струму, що й допускають економічне регулювання швидкості в широких межах, у яких регулювальні характеристики близькі до характеристик двигунів постійного струму.

Електричні машини, застосовувані для перетворення електричної енергії в електричну енергію іншого роду струму (іншої напруги, числа фаз, частоти), називають *перетворювачами*. Електричні машини, використовувані в якості регуляторів і підсилювачів електромеханічних сигналів, називають відповідно *електромашинними регуляторами й підсилювачами*.

До електричних машин у силу спільності фізичних явищ відносять *трансформатор*, що є статичним електромагнітним перетворювачем змінного струму одного напруги в змінний струм іншої напруги. Принцип роботи трансформатора заснований на використанні явища взаємодукції між двома (або декількома) обмотками, поміщеними на замкнутому сталевому магнітопроводі. Трансформатори застосовують при передачі електричної енергії на більші відстані й розподілі її між споживачами, а також у різних перетворювальних, вимірювальних, захисних і інших обладнаннях.

2. ЕЛЕКТРОДВИГУНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

ЛЕКЦІЯ

Конструкція та принцип дії двигунів постійного струму. Двигуни типу МСП.

Машина постійного струму складається з нерухливої частини — статора й обертової частини — якоря, у якому відбувається процес перетворення механічної енергії в електричну (генератор) або назад — електричної енергії в механічну (електродвигун). Між нерухливою й обертовою частинами є зазор.

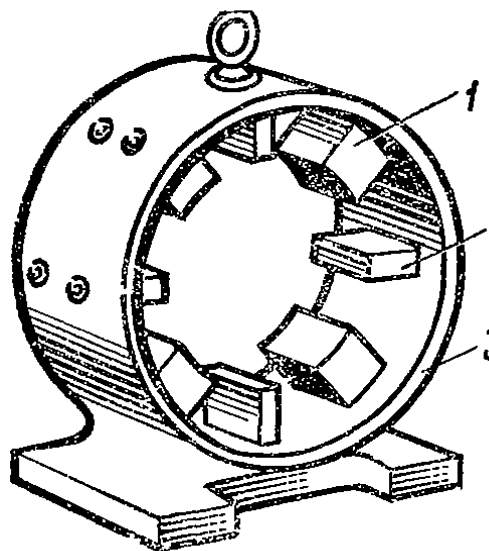


Рис. 1.6. Неподвижная часть машины постоянного тока

Нерухлива частина (мал. 1.6) складається зі станини 5, головних полюсів 1, призначених для створення основного магнітного потоку, додаткових полюсів 2, службовців для досягнення безіскрової роботи щіток на колекторі (поліпшення комутації). До станини кріплять болтами підшипникові щити, головні й додаткові полюси. Основний (головний) полюс (мал. 1.7, а) має сердечник 4 набраний з листів електротехнічної сталі товщиною 0,5—1мм, стягнутих шпильками. На сердечник насаджено дві котушки обмоток збудження 2. Нижню частину сердечника — полюсний наконечник 3 — виконують так, щоб повітряний зазор збільшувався від центру полюса до його кінців. Це робиться для

того, щоб зменшити викривлення поля під дією реакції якоря й розсіювання головного поля в зоні комутації. У компенсованих машин постійного струму в полюсних наконечниках виштамповують пази для розміщення компенсаційної обмотки. Число головних полюсів завжди парне, причому північні й південні полюси чергуються, що досягається відповідним з'єднанням котушок обмотки збудження полюсів. Котушки всіх полюсів з'єднують послідовно. Полюси кріпляться до станини 1 болтами або шпильками.

Додатковий полюс (мал. 1.7, б) складається із сердечника 1, виготовленого зі сталі, і обмотки 2, виготовленої з мідних шин прямокутного перерізу. Обмотки додаткових полюсів з'єднують послідовно з обмоткою якоря, а полюси встановлюють між головними полюсами й кріплять до станини болтами. Повітряний зазор під додатковими полюсами значно більше, чим під головними. Поперечний переріз додаткових полюсів розширюється у бік корпусу. Це збільшує поверхню прилягання додаткового полюса до корпусу, що дає більшу стійкість і попереджає насичення від великого потоку розсіювання додаткових полюсів.

Для створення електричного контакту з поверхнею колектора в машині встановлюють щітки, які прикріплюють до щіткотримача. Щіткотримач (мал. 1.8)

складається з натискних пластин 1; пружини 2, що передає тиск на щітку 5; з обойми 4. Для приєднання елементів електричному кола машини до щітки остання забезпечується гнучким мідним тросиком 5. Усі щіткотримачі однієї полярності з'єднують між собою збірними шинами, приєднаними до висновків машини. Щіткотримачі кріплять на траверсі.

Якір машини постійного струму складається із сердечника якоря з обмоткою, колектора, вентилятора й вала із шарикопідшипником або роликотримачем.

парне, причому північні й південні полюси чергуються, що досягається відповідним з'єднанням котушок обмотки збудження полюсів. Котушки всіх полюсів з'єднують послідовно. Полюси кріпляться до станини 1 болтами або шпильками.

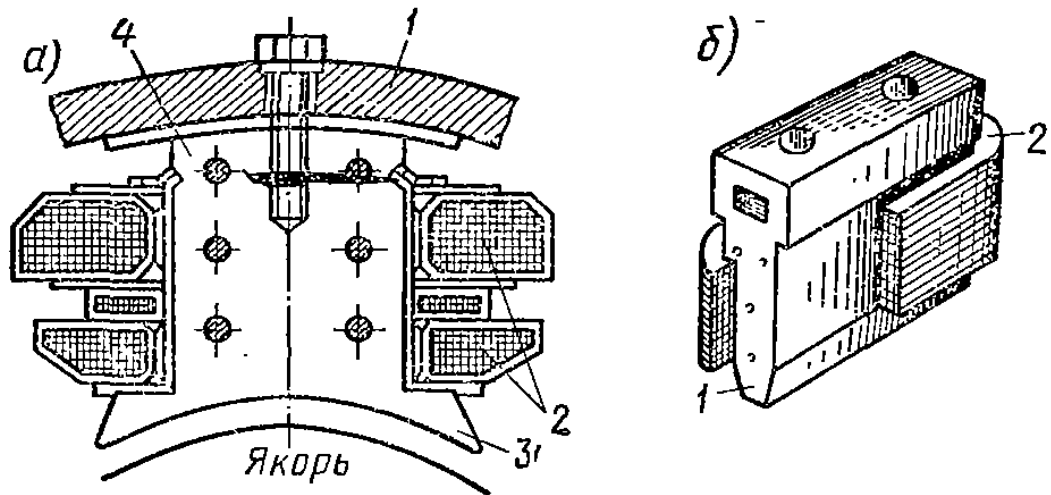


Рис. 1.7. Основной (а) и добавочный (б) полюсы

Додатковий полюс (мал. 1.7, б) складається із сердечника 1, виготовленого зі сталі, і обмотки 2, виготовленої з мідних шин прямокутного перерізу. Обмотки додаткових полюсів з'єднують послідовно з обмоткою якоря, а полюси встановлюють між головними полюсами й кріплять до станини болтами. Повітряний зазор під додатковими полюсами значно більше, чим під головними. Поперечний переріз додаткових полюсів розширюється убік корпусу. Це збільшує поверхню прилягання додаткового полюса до корпусу, що дає більшу стійкість і попереджає насичення від великого потоку розсіювання додаткових полюсів.

Якір машини постійного струму складається із сердечника якоря з обмоткою, колектора, вентилятора й вала із шарикопідшипником або роликотримачем електричного контакту з поверхнею колектора в машині встановлюють

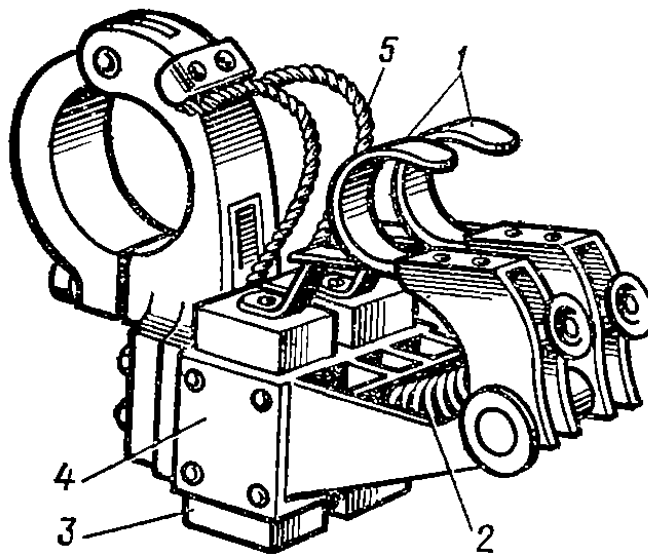


Рис. 1.8. Щеткодержатель

Сердечник якоря (мал. 1.9, *а*) машини являє собою пакет з листів електротехнічної сталі товщиною 0,5мм, які для зменшення втрат від вихрових струмів ізолюють друг від друга лаком.

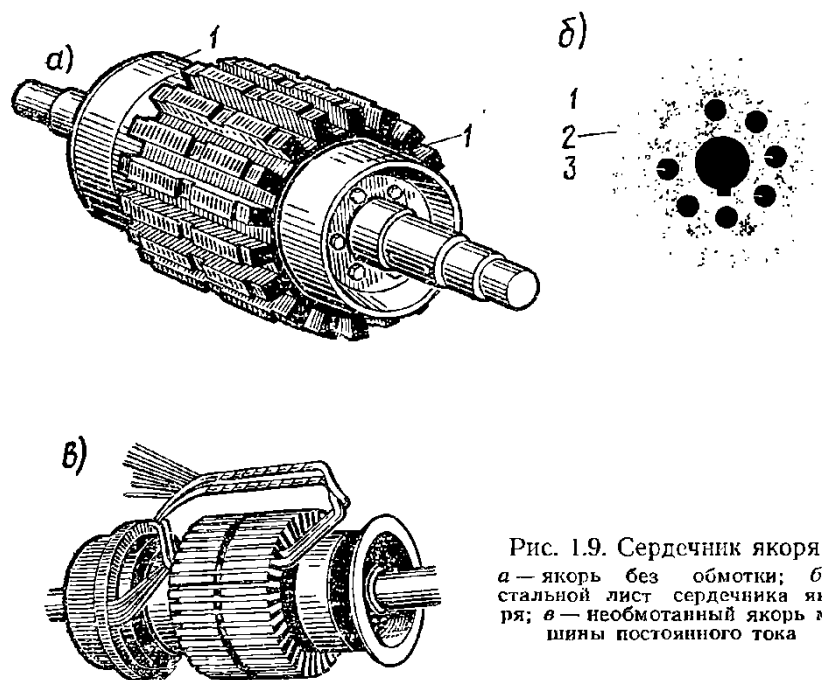


Рис. 1.9. Сердечник якоря:
а — якорь без обмотки; б —
стальной лист сердечника якоря;
в — необмотанный якорь машины постоянного тока

Пакет запресований на валу якоря й утримується в стислому стані натискними шайбами 1. Для кращого охолодження машини в сердечниках якоря влаштовують вентиляційні канали. Кожний лист пакета (мал. 1.9, *б*) має зубці 1, пази 2 і вентиляційні отвори 3. У пази сердечника укладають провідники обмотки якоря (мал. 1.9, *в*). Обмотку якоря приєднують до пластин колектора. На мал. 1.10 показаний колектор, зібраний із пластин 7 твердотянутої міді, ізольованих друг від друга й від вала якоря міканитовими прокладками 4 і манжетами. Колектор складається з корпуса 1, болтів 2 натискного кільця 3, міканитових прокладок 4. Для

зручності монтажу й забезпечення міцності кріплення колекторні пластини 7 виконують у формі «ласточкиного хвоста» 6. З'єднують колекторні пластини із проводами обмотки якоря за допомогою «петушков» 5, які мають прорізи для укладання й запаювання в них кінців секцій обмотки якоря.

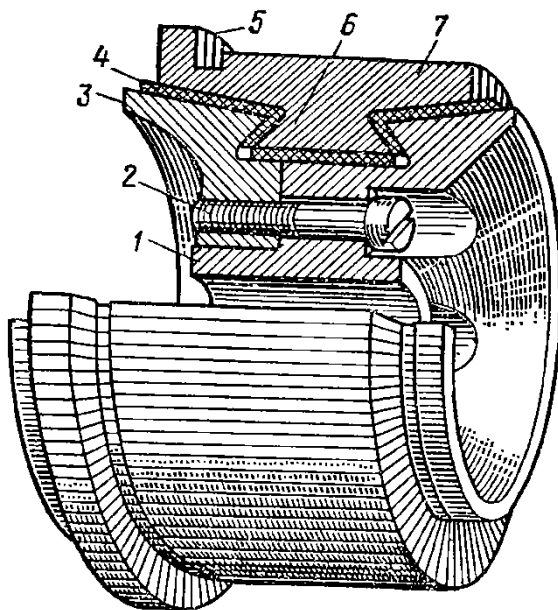


Рис. 1.10. Устройство коллектора

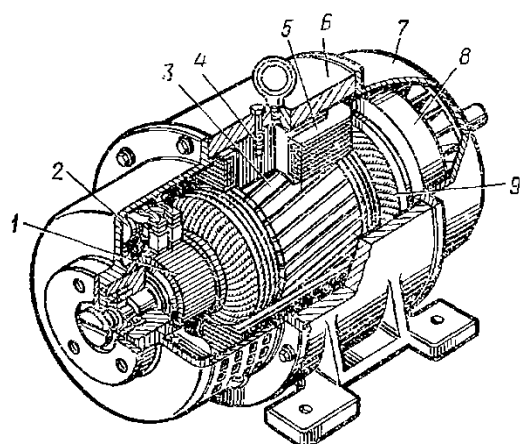


Рис. 1.11. Устройство машины постоянного тока

На мал. 1.11 показана будова машини постійного струму. До станини 6 болтами кріплять головні полюси, що полягають із сердечника 4 і котушки обмотки збудження 5. З торцевих сторін до станини кріплять бічні щити 7 з підшипниками, що втримують вал машини. Якір машини складається із сердечника 5, обмотки 9 і колектора 1. На валу якоря укріплений вентилятор 8, на колекторі поміщені нерухливі щітки 2.

ЯКІРНІ ОБМОТКИ МАШИН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Обладнання обмоток

Обмотка якоря — найважливіший елемент машини, що задовольняє наступним вимогам:

1) обмотка повинна бути розрахована на задані величини напруги й струму навантаження, відповідні до номінальної потужності, і мати необхідну електричну, механічну й термічну міцності, що забезпечують досить тривалий строк служби машини (до 20 років);

2) конструкція обмотки повинна забезпечити задовільні умови струмознімання з колектора без шкідливого іскріння;

3) витрата матеріалу при заданих експлуатаційних показниках (к.п.д. і ін.) повинен бути мінімальним;

4) технологія виготовлення обмотки повинна бути по можливості простій.

У сучасних машинах постійного струму обмотку якоря укладають у пази на зовнішній поверхні якоря (мал. 2.1), що спрощує технологію її виготовлення, підвищує використання провoda й робить обмотку більш надійною. Обмотка складається з ряду послідовно з'єднаних секцій, кожна з яких має дві активні сторони, розташовувані в пазах якорі. На торцевих сторонах сердечника якоря активні сторони з'єднують лобовими проводами. Для того щоб не було перетинання лобових з'єднань, тобто щоб вони не лежали в одній площині, обмотки виконують двошаровими (мал. 2.2). Активні сторони розташовують у пазах 1, що перебувають між зубцями 2, а з торцевих сторін скріплюють лобовими з'єднаннями 3. При цьому одна активна сторона кожної секції лежить у верхньому шарі паза, а інша — у нижньому (мал. 2.3). Кожну активну сторону секції 2 ізолюють і укладають у паз 3, попередньо ізолюваний. Після укладання всіх активних сторін паз закривають немагнітним клином 1. Для додання якорю більшої механічної міцності лобові з'єднання обмотки стягають сталевими бандажами.

Секції обмоток машин постійного струму можуть бути одновітковими (мал. 2.4, а), що складаються із двох активних проводів, і багатовітковими (мал. 2.4, б). Обмотки якорів машин постійного струму підрозділяють на петлеві (паралельні), хвильові (після довательные) і комбіновані (паралельно-послідовні).

Обмотки можуть бути простими й складними (кратними) причому останні утворюються з декількох простих обмоток. На мал. 2.5, а показана секція (котушка) багатовіткової хвильової обмотки. Напівкотушка із двох однакових напівсекцій хвильової обмотки зображена на мал. 2.5, б, а петлевої — на мал. 2.5, в. На розгорнутих схемах обмоток сторони секцій, що перебувають у верхньому шарі, зображують суцільними лініями, а сторони, розташовані в нижньому шарі, переривчастими лініями (мал. 2.6). Секції обмотки з'єднують один з одним у послідовний ланцюг таким чином, що початок наступної секції приєднують разом з кінцем попередньої секції до загальної колекторної пластини. Оскільки кожна секція має два кінці й до кожної колекторної пластини приєднані також кінці двох секцій, то загальне число пластин колектора D_0 дорівнює числу секцій обмотки S ; тобто $D_0 = S = N/(2w)$, де N — число активних проводів обмотки якоря; w — число витків у секції. У найпростішому випадку в пазу перебувають дві секційні сторони; одна у верхньому й інша в нижньому шарі.

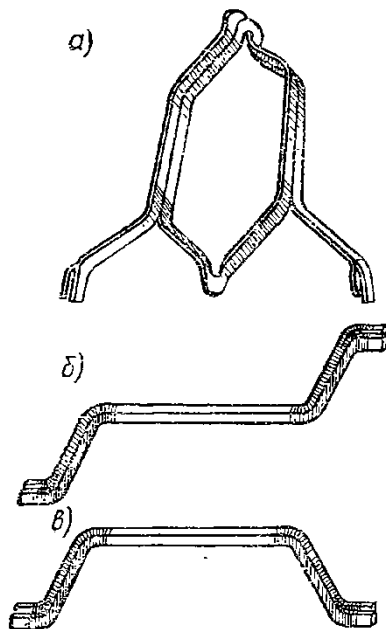


Рис. 2.5. Катушка (а) и полукатушка волновой обмотки (б), полукатушка секции петлевой обмотки (в)

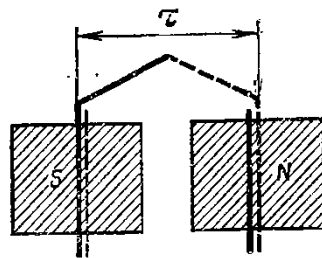


Рис. 2.6. Изображение секции на развернутой схеме

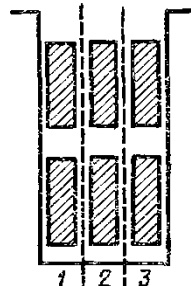


Рис. 2.7. Подразделение реального паза на элементарные

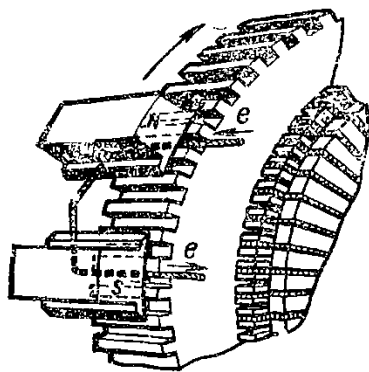


Рис. 2.1. Расположение активных сторон секции на сердечнике якоря

Рис. 2.2. Двухслойное расположение секций обмотки якоря

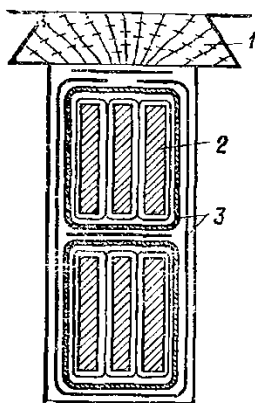


Рис. 2.3. Поперечный разрез паза с обмоткой

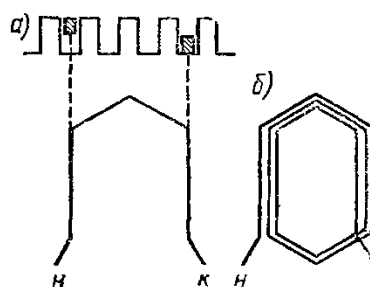


Рис. 2.4. Секции обмоток якоря

При цьому число пазів якоря $Z=S$. Для зменшення пульсації випрямленої напруги, а також щоб уникнути надмірно великої напруги між сусідніми колекторними пластинами число пазів повинне бути досить більшим. Однак виготовлення якорів з більшим числом пазів недоцільно, тому що при цьому пази

будуть вузькими, значна частина їх площі зайнята ізоляцією секцій від корпусу, і для провідників залишиться мало місця, виходить програш у потужності машини. Із цих причин звичайно в кожному шарі паза розташовують поруч трохи ($u_n = 29, 3, 4, 5$) секційних сторін (мал. 2.7). При цьому $K=S=un \cdot z$. У цьому випадку говорять, що в кожному реальному пазу є u_n елементарних пазів, тому в кожному шарі елементарного паза — одна секційна сторона. Очевидно, що загальне число елементарних пазів якоря $Z_s=un \cdot z=S=K$.

Під час обертання якоря кожна секція його обмотки включається те в одну, то в іншу паралельну галузі. Таке перемикання відбувається, коли сторони секції перебувають на нейтралі машини. Сукупність усіх явищ, що мають місце при перемиканні секції з однієї паралельної галузей обмотки в іншу, називають комутацією, а час, протягом якого відбувається цот процес, — періодом комутації.

До комутації першої секції (мал. 148, а) щітка Щ стосується пластини 1 колектора К. Струм I , що надходить із зовнішнього ланцюга, пройшовши щітку й колекторну пластину 1, розгалужується: одна половина йде у верхню галузі обмотки (по секціях I, III й ін.), а інша — у нижню галузі обмотки (по секції II й ін.). Після закінчення процесу комутації секції I (мал. 148, в) щітка Щ стосується другої пластини колектора К. Струм I як і раніше ділиться на дві рівні частини. Однак у секції I, яка перемикалася в нижню паралельну галузі, струм I_2 змінив напрям, тобто став спрямований за годинниковою стрілкою. Отже, за час, рівне періоду комутації, струм у секції змінюється з $1/2$ до $-1/2$. На мал. 148, б показане положення щітки Щ у середині періоду комутації. Ізоляційний прошарок між колекторними пластинами 1 і 2 перебуває посередине щітки, струм зовнішнього ланцюга I ділиться між паралельними галузями обмотки нарівно, секція I замкнена щіткою Щ накоротко.

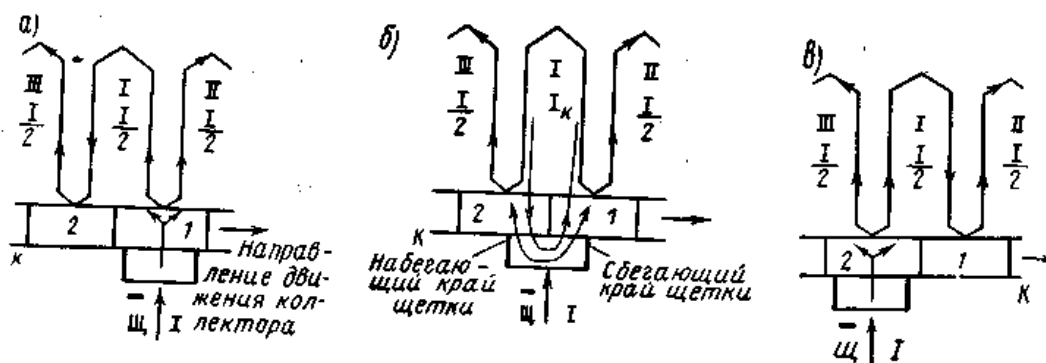


Рис. 148. Положення секции до коммутации (а), в середине периода коммутации (б) и после коммутации (в)

Зміна струму в короткозамкненій секції від $1/2$ до $-1/2$ приводить до появи в ній е.д.с. самоіндукції e_p , називаної в цьому випадку реактивної е.д.с.

Згідно із правилом Ленца напрям реактивної е.д.с. збігається з напрямком струму $1/2$ у розглянутій секції I до початку комутації. Під дією реактивної е.д.с. e_p у короткозамкненій секції виникає додатковий струм I_k , який складається з основним

струмом під, що збігає краєм щіток і віднімається — під, що набігає. Це приводить до відповідного до зміни щільності струму під щіткою.

Збільшена щільність струму під краєм, що збігає, щітки викликає його перегрів і іскріння, що може привести до псування колектора, щіток і машини в цілому. Особливо небезпечний коловий вогонь по колектору, тобто потужна електрична дуга між різнойменними щітками, що виникає при великій реактивній ε_p . Для того щоб поліпшити комутацію струму, потрібно усунути або обмежити додатковий струм комутації $I_k = \varepsilon_p / r_k$, де r_k — опір ланцюга, по якому протікає струм I_k . У цьому випадку струм I буде проходити рівномірно по всій поверхні щітки й іскріння на колекторі припиниться.

Використовують наступні способи, що поліпшують комутацію. Щітки зрушують із нейтралі так, щоб ε_k , що виникає в коротко-замкненій секції від зовнішнього поля, була рівна ε_p , але спрямована їй назустріч. Тоді $I_k = (\varepsilon_p - \varepsilon_k) / r_k = 0$. Для цього в генераторах щітки слід зрушувати за геометричну нейтраль по напрямкові обертання якоря, а у двигунах — проти обертання якоря. Цей спосіб можна застосовувати тільки при постійнім навантаженні, коли фізична нейтраль займає певне положення.

У машинах установлюють додаткові полюси, які, як і щітки, розташовують по лінії геометричної нейтралі. Магнітне поле додаткових полюсів не тільки компенсує поле якоря, але й набодит ε_k у короткозамкненій секції обмотки якоря. Завдяки послідовному з'єднанню обмотки якоря й обмотки додаткових полюсів збільшення навантаження приводить до автоматичного збільшення ε_p і ε_k , що компенсують одна іншу. Усі машини постійного струму постачають додатковими полюсами.

Загальні відомості про двигуни постійного струму

Принцип дії. Розглянемо роботу машини постійного струму в режимі двигуна. Дія двигуна заснована на явищі взаємодії провідника, по яким тече струм, з магнітним полем. Підключимо обмотки якоря й збудження машини постійного струму до мережі з постійною напругою U (мал.1. а). У цих обмотках з'являться струми I_a й I_b , причому струм збудження створить магнітний ноток Φ . Провідники обмотки якоря зі струмом I_a будуть взаємодіяти з магнітним потоком Φ . У результаті цього з'являться електромагнітні сили F , що створюють обертаючий момент M , і якір почне нрщатися. Напрямок сил F визначають за правилом лівої руки.

Електромагнітний момент M прямо пропорційний току I_a обмотки якоря й магнітному потоку Φ полюсів, т. е $M = C_M I_a \Phi$, де C_M — постійний коефіцієнт, що залежить від конструкції машини.

Електрична машина постійного струму може бути використана як генератор або двигун залежно від того, яку енергію (механічну або електричну) до неї підводять. При обертанні якоря двигуна в його обмотці індукуюється ε . $E = C \Phi n$. Користуючись правилом правої руки, легко встановити, що ε в обмотці якоря двигуна спрямована назустріч току, а отже, назустріч напрузі джерела U . Тому струм в обмотці якоря $I_a = (U - E) / r_a$ де r_a — опір обмотки якоря.

При постійнім навантаженні гальмовий момент на валу урівноважується обертаючим моментом і двигун має постійну частоту нрщения. Зі збільшенням навантаження, тобто гальмового моменту, частота й рощення двигуна почне падати.

У результаті цього буде знижуватися противо-э. буд. с. E і збільшуватися струм в обмотці якоря доти, поки обертаючий момент не стане рівним гальмовому. Після цього до нової зміни навантаження встановиться рівномірний рух якоря двигуна.

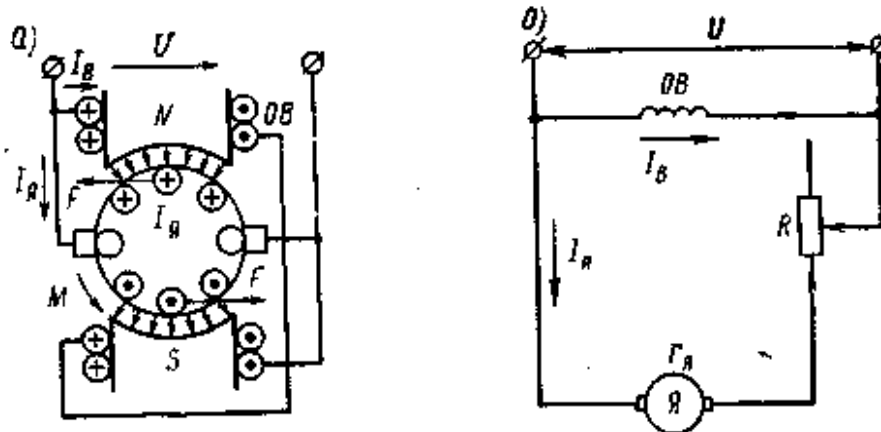


Рис. 1. Електродвигун постійного струму (а) і схема його включення (б)

Електродвигуни постійного струму і їх характеристики

Залежно від способу з'єднання обмотки якоря й обмотки збудження розрізняють двигуни паралельного, послідовного й змішаного збудження.

Двигун паралельного збудження. До включення рубильника P (мал. 3) необхідно поставити опір пускового реостата $R2$ на максимум і опір регулювального реостата $R1$ на нуль. Після включення в мережу якорь двигуна почне обертатися, і в міру збільшення частоти обертання опір пускового реостата поступово зменшують.

Робочі характеристики двигуна (мал. 4, а) виражають залежність частоти обертання n моменту, що обертає, M , струму I і к. п. буд. η від корисної потужності, що розвивається двигуном, P_2 при незмінній напрузі мережі. Частота обертання якоря двигуна $n = (U - I_A r_A) / (C\Phi)$.

При постійній напрузі U струм збудження двигуна не міняється, але магнітний потік зі збільшенням навантаження небагато зменшується через реакцію якоря. З іншого боку, зі збільшенням навантаження зростає струм I_A й внутрішнє спадання напруги $U_A = U - I_A r_A$. Зменшення магнітного потоку збільшує частоту обертання якоря, а збільшення спадання напруги в обмотці якоря зменшує її. У двигуна паралельного збудження переважає остання причина, тому частота його обертання зі збільшенням навантаження від нуля до номінальної зменшується на 5-10%.

Корисна потужність, що розвивається двигуном, $P_2 = M 2\pi n / 60$ момент, що тоді обертає, $M = 30 P_2 / (\pi n)$.

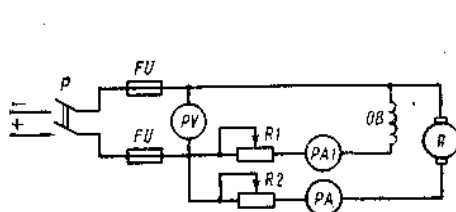


Рис. 157. Схема двигателя параллельного возбуждения

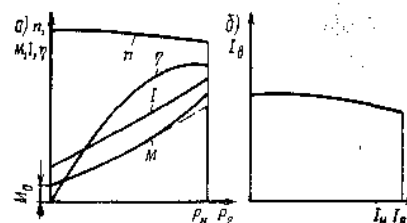


Рис. 4. Характеристики двигателя параллельного возбуждения

При постійній частоті обертання двигуна n обертаючий момент M був би прямо пропорційний потужності P_2 і залежність $M=f(P_2)$ мала б вид прямої, що проходить через початок координат. У дійсності частота обертання двигуна з увеличе нием навантаження небагато знижується й машина має момент холостого ходу M_0 . Отже, крива $M=f(P_2)$ відхиляється від прямої нагору й починається з ординати M_0 . Збільш. Рис. 3. Схема двигателя торційно корисної потужності двигуна P_2 С збільш. паралельного збудження двигуна швидко росте й досягає граничного значення 0,8—0,9 при навантаженні, близької до $P_n/2$, залишаючись надалі майже постійним. Щоб зі збільшенням навантаження частота обертання двигуна була постійної, слід зменшити магнітний потік двигуна, зменшуючи струм збудження регульовальним реостатом.

Регульовальна характеристика виражає залежність струму збудження I_e від струму якоря I_a (мал. 4, б) при постійній напрузі U і частоті обертання n , тобто $I_e = f(I_a)$ при $U = const$ і $n = const$. Ця характеристика показує, як слід регулювати струм збудження, щоб при різних навантаженнях частота обертання двигуна залишалася незмінної.

Електродвигуни паралельного збудження застосовують у тих випадках, коли при змінній навантаженні потрібно, щоб частота обертання залишалася постійної й була можливість її плавного регулювання. Електродвигун паралельного збудження типу СЛ-57Щ застосовують в автоматичних шлагбаумах залізничні переїзди, що обгороджують, з боку автомобільних доріг. Такий двигун має номінальну потужність 95 Вт при напрузі 24 В и струмі 7 А, частота обертання якоря двигуна 2200 об/хв.

Двигун послідовного збудження (мал. 5). Обмотка збудження OB , обмотка якоря A и пусковий реостат P з'єднані послідовно. Запуск двигуна послідовного збудження слід здійснювати з навантаженням, яке повинна бути не менш 20—25% номінальної внаслідок того, що струм збудження I_e дорівнює току якоря I_a . При холостому ході або малих навантаженнях споживаний струм невеликий, отже, незначний і магнітний потік Φ , а частота обертання двигуна $n = U - I_a (r_a + r_e) / (C\Phi)$ досягає небезпечного значення. Щоб уникнути розносу при раптовім розвантаженні для цих двигунів застосовують зубчасту передачу або безпосереднє з'єднання вала двигуна з робочим механізмом. Робочі характеристики двигуна послідовного збудження (мал. 5, б) мають дві особливості при збільшенні навантаження: різко знижується частота обертання $n = U - I_a (r_a + r_e) / (C\Phi)$; і різко збільшується обертаючий момент $M = C_M I_a \Phi = C_M I_a C_M I_a = C_{M2} I_a$, де C_{M1} — коефіцієнт пропорційності магнітного потоку й струму до насичення стали, а постійний коефіцієнт $C_{M2} = C_M C_{M1}$

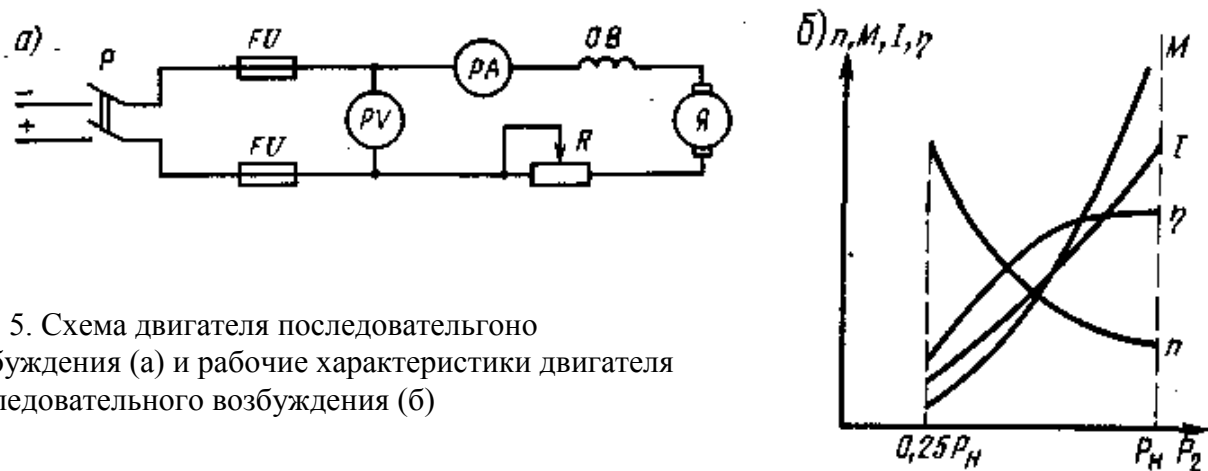


Рис. 5. Схема двигателa послeдoвaтeльнoгo вoзбуждeннa (a) и рaбoчe нe хaрaктeрeстeк дeвaтeлa послeдoвaтeльнoгo вoзбуждeннa (б)

Влaстeвoстe дeвгунeв пoслeдoвнoгo збуджeннa рoзбудoвувaтe бeльшe oбeртaючe мoмeнтe, пpиблeзнo пpopцeйнe квaдpaтy стpуму пpи мaлeх чacтoтaх oбeртaннa якopя й, нaвпaкe, мaлe oбeртaючe мoмeнтe пpи бeльшeх чacтoтaх oбeртaннa oбумoвлeють їxнe зaстocувaння в пeднeмaльнeх мeхaнeзмaх, eлeктpoвoзaх e тeплoвoзaх. Чacтoтy oбeртaннa дeвгунa пoслeдoвнoгo збуджeннa звeчaйнo рeгулeють рeocтaтoм, включeнeм пaрaлeльнo oбмoтцe збуджeннa.

Дeвгунe пoслeдoвнoгo збуджeннa тeпy МСП устaнoвлюють у стрeлoчнeх eлeктpoпpивoдaх, пpизнaчeнeх дeдaнцeйнoгo кeрувaння стрeлкaми пpи eлeктpичнeй, дeспeтчepськeй e гeркoвeй цeнтpалeзaцeй. Елeктpичнe хaрaктeрeстeк цeх дeвгунeв нaвeдeнe в тaбл. 1.

Тaблeцa 1

Тeп eлeктpo- дeвгунa	Нoмeнaльнa пoтужнeсть, кВт	Нoмeнaльнe oнaпpяжeн нe, В	Пoтpeблe -мeй стpум нe бeльш, А	Нoмeнaльнa чacтoтa вpщeннa, oб/хв	К. п. д. нe мeнш
МСП-0,1	0,1	30	10	1300	0,4
		100	2,5	1500	0,6
		160	1,8	1500	0,6
МСП- 0,15	0,15	30	7,7	850±10%	0,58
		110	2,2	850±10%	0,55
		160	1,5	850±10%	0,56
МСП- 0,25	0,25	30	12,5	1460±10%	0,67
		100	3,3	1700±10%	0,76
		160	2,5	1700±10%	0,7

Елeктpoдeвгунe тeпy МСП — дeвгунe зaкpитoгo тeпy, двoпoлюcнe рeвepcивнe, пpaцюють у пoвтopнo-кopтoкчacнoмy рeжeмe. Дeя рeвepcувaння мaють двe oбмoткe збуджeннa *OB1* e *OB2* (мaл. 6). Пpи включeннe пepшeй oбмoткe якeр дeвгунa oбeртaєтьcя в пpямoмy нaпpямкy, a пpи включeннe дpугoй oбмoткe — у звopтoнoмy. Елeктpoдeвгунe тeпy МСП-0,1 устaнoвлюють в eлeктpoпpивoдaх, пpизнaчeнeх дeя пepeвeдeння стрeлoк лeгкeх тeпeв. У нoвeх рoзpoбкaх цe дeвгунe нe зaстocoвують.

Електродвигуни типів МСП-0,15 і МСП-0,25 призначені для електроприводів важких типів і на сортувальних гірках.

Двигун змішаного збудження (мал. 7). Він має дві обмотки збудження: паралельну *ОВШ* і послідовну *ОВС*. Обмотки збудження, розташовані на одних полюсах, мають струми одного або різних напрямків.

У першому варіанті машин такого типу магнітний потік полюсів

$$\Phi = \Phi_{ОВС} + \Phi_{ОВШ}, \text{ а частота обертання } n = \frac{U - I_{\text{я}}(r_{\text{я}} + r_{ОВС})}{C(\Phi_{ОВС} + \Phi_{ОВШ})}.$$

Машини такого типу мають властивості двигунів послідовного збудження, але завдяки постійному магнітному потоку паралельної обмотки збудження вони не зазнають небезпеки розносу при малих навантаженнях і холостому ході, коли незначний магнітний потік $\Phi_{ОВС}$.

У другому варіанті обмотки з'єднані зустрічно й потік полюсів

$$\Phi = \Phi_{ОВШ} - \Phi_{ОВС}, \text{ а частота обертання } n = \frac{U - I_{\text{я}}(r_{\text{я}} + r_{ОВС})}{C(\Phi_{ОВС} + \Phi_{ОВШ})}.$$

Двигуни такого типу мають постійну частоту обертання, тому що при збільшенні навантаження магнітний потік, що підсилюється, допоміжною послідовною обмотки небагато розмагнічує машину й компенсує дія внутрішнього спадання напруги $I_{\text{я}}(r_{\text{я}} + r_{ОВС})$.

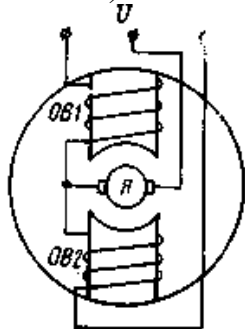


Рис. 6. Схема двигателя для перевода стрелок

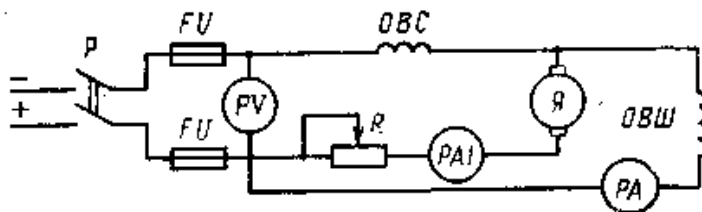


Рис. 7. Схема двигателя смешанного возбуждения

Втрати й коефіцієнт корисної дії машин постійного струму. Енергія, подводящая до електричної машини, не повністю перетворюється в корисну: частина енергії губиться в самій машині, перетворюючись у тепло. Чим більше енергії губиться в машині, тим більше нагрівання окремих її частин і нижче коефіцієнт корисної дії.

Розрізняють наступні види втрат.

Втрати в міді P_m виникають у результаті проходження струму по обмотках машини. Потужність втрат у міді визначають за законом Джоуля — Ленца:

$$P_m = \sum I^2 r,$$

де I — струм, що проходить по обмотці машини;

r — опір обмотки.

Для зниження цих втрат зменшують опір тих обмоток машини, по яких проходить струм великого значення, до яких ставляться обмотка якоря, послідовна обмотка збудження, обмотка додаткових полюсів. Для зменшення струму,

споживаного паралельною обмоткою збудження, її опір збільшують (виконують проведенням з малим поперечним перерізом з більшим числом витків).

Втрати в сталі $P_{ст}$ виникають у результаті перемагнічування якоря машини (втрати на гістерезис) і появи в ньому вихрових струмів. Для зменшення цих втрат якір набирають із тонких листів м'якої сталі.

Втрати на тертя $P_{тр}$ складаються із втрат від тертя в підшипниках, тертя щіток про колектор і тертя обертових частин про повітря. У сучасних машинах застосовують кулькові або роликові підшипники, у яких втрати на тертя становлять не більш 10% втрат у підшипниках сковзання.

Коефіцієнт корисної дії являє собою відношення корисної потужності P_2 до подвимої P_1 , тобто $\eta = P_2/P_1$ або $\eta = (P_2/P_1)100\%$. Корисна потужність генератора $P_2 = UI$, де U — напруга на затисках генератора; I — струм, що віддається їм у мережу.

Отже, його к. п. д. $\eta = (P_2/P_1)100\% = [P_2/(P_2 + P_m + P_{ст} + P_{тр})]100\%$.

Електрична потужність двигуна $P_1 = UI$, де U — подвимо напруга; I — струм, споживаний двигуном.

У цьому випадку $\eta = (P_2/P_1)100\% = [(P_1 - P_m - P_{ст} - P_{тр})/P_1] 100\%$.

На мал. 5, б представлені криві залежності к. п. д. машин постійного струму від навантаження. Максимум к. п. буд. (75-90%) відповідає навантаженню, рівної 75-100% номінальної потужності машини. К. п. буд. стрілочних електродвигунів 65-75%.

ЛЕКЦІЯ

Пуск в хід та напрям обертів двигуна.

Регулювання швидкості обертання двигунів

Пуск у хід і напрям обертання двигуна. У момент пуску якір двигуна перебуває в спокої й проти-э. буд. с. у ньому не виникає. У результаті цього по обмотці якоря тече струм $I_a = U/r_a$, який в 10—15 раз більше номінального струму двигуна. Такий великий струм може зашкодити двигун і різко знизити напруга живильної мережі. Тому пусковий струм двигуна знижують. Для зменшення пускового струму послідовно з обмоткою якоря включають пусковий реостат (мал. 1, б). Якщо опір цього реостата максимально, то пусковий струм $I_a = U/(r_a + R)$ обмежується до значення, рівного $(1,5 \div 2)I_H$ (номінального струму двигуна). У міру наростання частоти обертання опір пускового реостата поступово зменшують і доводять до нуля, коли двигун розів'є повну швидкість (проти-э. буд. с. буде максимальною).

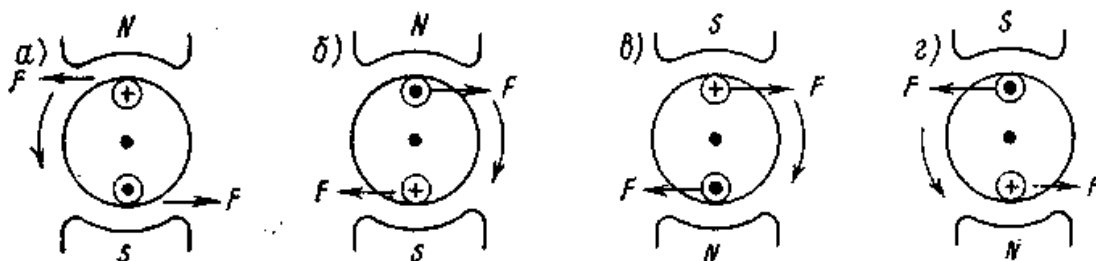


Рис. 2. Напрямок обертання електродвигуна

Пускові реостати розраховані на короточасне включення. Напрямок обертання якоря двигуна визначають за правилом лівої руки. Допустимо, що якір обертається

проти годинникової стрілки (мал. 2, а). Якщо змінити напрямок струму в обмотці якоря (мал. 2, б) або обмотці збудження (мал. 2, в), то напрямок обертання двигуна зміниться на протилежне. При одночасній зміні напрямку струму в обмотці якоря й обмотці збудження (мал. 2, г) напрямок обертання двигуна залишиться колишнім.

При синусоїдальній напрузі на затисках колекторного двигуна зміна полярності приведе до одночасної зміни напрямку струму в обмотці збудження й обмотці якоря. Тому за обоє півперіоду обертаючий момент двигуна буде спрямований в одну сторону. Таким чином, той самий колекторний двигун може працювати від постійного й від змінного струму.

Регулювання швидкості. Проти - е.д.с. в обмотці якоря електродвигуна $E = C\Phi n$, а струм $I_{\text{я}} = (U - E)/r_{\text{я}}$.

Отже, частота обертання якоря двигуна $n = E/(C\Phi) = (U - I_{\text{я}}r_{\text{я}})/(C\Phi)$, тобто частоту обертання двигунів можна регулювати зміною: напруги U , підводимого до двигуна; опору $r_{\text{я}}$ (реостатом у ланцюзі якоря); магнітного потоку Φ (реостатом у ланцюзі збудження).

Найбільше поширення одержали більш прості способи зміни магнітного потоку. У першому випадку регулювальний реостат R включають послідовно з обмоткою збудження OB (мал. 156, а), а в другому — паралельно їй (мал. 156, б).

Збільшення опору регулювального реостата в першому випадку спричиняє зменшення магнітного потоку Φ й збільшення частоти обертання, а в другому — збільшення магнітного потоку й зменшення частоти обертання. Для того щоб після включення двигуна частота обертання була найменшою, необхідно до включення рубильника встановити опір регулювального реостата на нуль у першому випадку й на максимум — у другому.

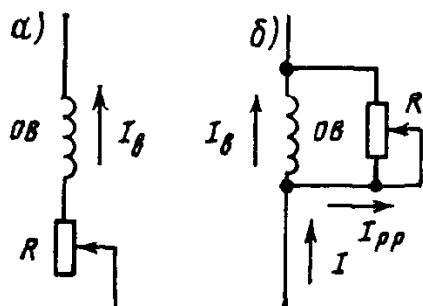


Рис. 156. Схеми включення регулювального реостата

3 ТРАНСФОРМАТОРИ ЛЕКЦІЯ

Призначення, конструкція та принцип дії силових трансформаторів

Однофазний і трифазний трансформатори

Трансформатор являє собою електромагнітний апарат, призначений для перетворення змінного струму одного напруги в змінний струм іншої напруги тієї ж частоти. Трансформатор може бути однофазним або трифазним.

Найпростіший однофазний трансформатор складається із замкнутого сталевого сердечника 1 (мал. 1) і двох магнітозв'язаних обмоток 2 і 3.

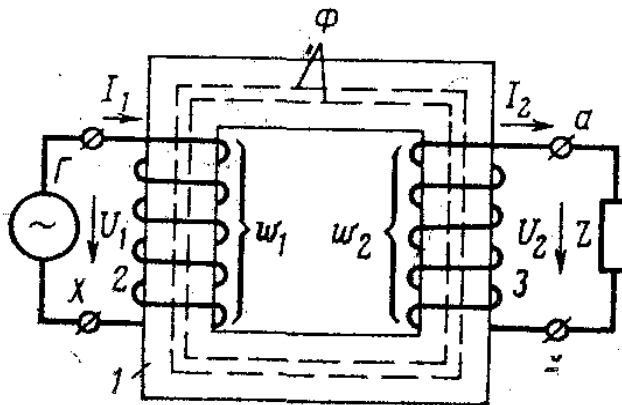


Рис. 1. Принципова схема однофазного трансформатора

Обмотку 2, з'єднану із джерелом електроенергії, називають первинною. Усі величини, що відносяться до цієї обмотки, називають первинними й позначають відповідними буквами з індексом 1. Обмотка 3, з'єднана зі споживачем енергії є вторинною. Усі величини, що відносяться до цієї обмотки, позначають із індексом 2. Під дією змінної напруги в первинній обмотці із числом витків w_1 струм I_1 , сила, що *намагнічує*, I_1 первинного струму збуджує в сердечнику трансформатора змінний магнітний потік $\Phi = \Phi_1 \sin \omega t$. Цим потоком у первинній обмотці наводиться е.р.с. самоіндукції

$$E_1 = 4,44f \omega_1 \Phi_m \text{ а у вторинній обмотці - е.р.с. взаємоіндукції}$$

$E_2 = 4,44f \omega_2 \Phi_m$ Тому на затисках вторинної обмотки виникає змінна напруга, а приймач енергії одержує струм $I_2 = U_2/Z_2$. Таким про разом, з боку вторинної обмотки трансформатор є джерелом електричної енергії, а з боку первинної обмотки-споживачем цієї енергії. Відношення діючих значень е.р.с., рівне відношенню чисел витків обмоток, називають коефіцієнтом трансформації:

$$K = E_1/E_2 = 4,44f \omega_1 \Phi_m / 4,44f \omega_2 \Phi_m = \omega_1/\omega_2$$

У трансформаторах, що знижують напругу, $\omega_2 < \omega_1$ а коефіцієнт трансформації $K > 1$.

Обмотку трансформатора, розраховану на більшу напругу, називають обмоткою вищої напруги (ВН). Обмотку, на, затисках якої діє менша напруга, називають обмоткою нижчої напруги (НН).

Електрична енергія в трансформаторі перетвориться з незначними втратами, і підведена до трансформатора повна потужність $S_1 = U_1 I_1$ майже дорівнює потужності віддачі $S_2 = U_2 I_2$ Тому при збільшенні напруги U_2 відповідно знижується й струм I_2 . Таким чином, обмотка нижчої напруги повинна мати менше число витків з більшим поперечним перерізом відповідно до більшої величини минаючого по ній струму, а обмотка вищої напруги — більше число витків з меншим поперечним перерізом. У ряді випадків обмотки трансформатора мають кілька відгалужень (мал. 2). Це дозволяє включати трансформатор у мережу з різною напругою U_1 , а на приймачі одержувати різні напруги U_2 залежно від числа витків, включених у роботу. Такі трансформатори використовують, наприклад, в електричній централізації для живлення ламп світлофорів, маршрутних показчиків, пульт-табло в різних режимах

(денному й нічному). Трансформатор складається із сердечника, по яким замикається магнітний потік, обмоток вищої й нижчої напруги, бака з маслом (якщо трансформатор має масляне охолодження), вивідних ізоляторів.

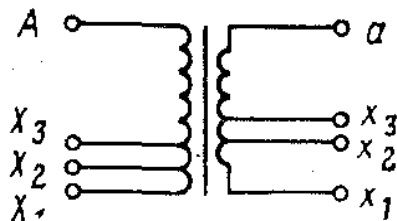


Рис. 2. Розташування відгалужень на обмотках трансформатора

Для зменшення нагрівання від вихрових струмів сердечник трансформатора набирають зі штампованих пластин електротехнічної сталі товщиною 0,35 або 0,5 мм, покритих плівкою лаку або окиси. Застосування електротехнічної сталі з великою магнітною провідністю сприяє збільшенню магнітного потоку й посиленню електромагнітного зв'язку між обмотками.

По конструкції сердечника трансформатори ділять на стрижневі, броньові, тороїдальні й стрічкові розрізні.

Сердечник однофазного стрижневого трансформатора (мал. 3, а) має два стрижні 5, на яких розміщаються обмотки, і два ярма 1, що замикають магнітний ланцюг. Такі сердечники збирають із Г-образних пластин. Обмотки стрижневого трансформатора розміщують на двох стрижнях магнітопроводу. Обидві половини однієї й тієї ж обмотки з'єднують так, щоб їх намагнічуючі сили склалися.

На стрижні сердечника надягають ізоляційні гільзи. Близьче до сталевго стрижня розміщують обмотку нижчої напруги 2, тому що її легше ізолювати від стрижня 5. Обмотку вищої напруги 4 відокремлюють від обмотки нижчої напруги ізоляцією 3. У якості ізоляції застосовують електротехнічний картон, спеціальний папір або тканину, просочену ласий.

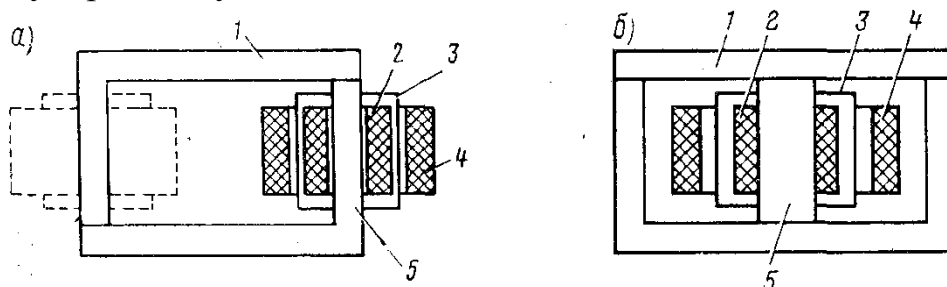


Рис. 3. Сердечники в обмотки стрижневого (а) і броньового (б) трансформаторів

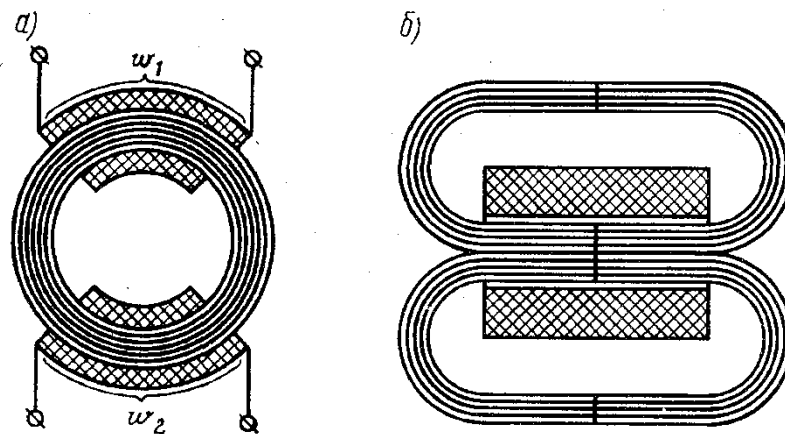


Рис. 4. Тороїдальний трансформатор (а) і трансформатор зі стрічковим розрізним сердечником (б)

Сердечники броньових трансформаторів (мал. 4, б) збирають зі штампованих пластин Ш- образної форми, і вони мають три стрижні. Обмотки нижчого 2 і вищого 4 напруги розміщують на стрижні 5. Між обмотками перебуває ізоляція 3. Обмотки трансформатора розміщують на середньому стрижні 5. Магнітний потік із середнього стрижня розгалужується на крайні стрижні через ярмо 1. У порівнянні зі стрижневими в броньових трансформаторах більше коефіцієнт електромагнітного зв'язку між обмотками, менше розсіювання магнітного потоку в навколишнє середовище. Завдяки цьому броньові трансформатори мають кращі електричні характеристики, виявляють менший індуктивний вплив на електричні кола, розташовані поблизу. Тороїдальні сердечники застосовують у малопотужних трансформаторах (мал. 4, а), найчастіше розрахованих для роботи на підвищених частотах. Їх виконують зі сталі спеціальних марок у вигляді пластин або стрічок товщиною від 0,2 до 0,08 мм. На мал. 4, б показана конструкція Ш-образного стрічкового сердечника й розташування на ньому обмоток.

Обмотки трансформатора звичайно мають циліндричну форму й виконуються з мідного проведення відповідного перерізу, що зменшує активний опір.

Для зменшення втрат на розсіювання й кращого відводу теплоти обмотки потужних трансформаторів виконують у вигляді дискових котушок, між якими, залишають вентиляційні канали. При цьому котушки вищої напруги й котушки нижчої напруги чергуються між собою. Трансформатори невеликої потужності називані сухими, мають природне повітряне охолодження.

Трансформатори значної потужності, як правило, мають масляне охолодження. У цих трансформаторів сердечник з обмотками міститься в сталевий бак із трансформаторним маслом, яке має високі ізоляційні властивості й гарну теплопровідність. Шари масла від сердечника й обмоток переміщуються до стінок бака й передають їм тепло, яке розсіюється в повітря. Для збільшення поверхні охолодження в потужних трансформаторах застосовують трубчасті баки.

Трифазний трансформатор.

Трифазний силовий трансформатор з масляним охолодженням (мал. 166) має сердечник 10 з обмотками 9, які поміщено в трубчастий бак 5, заповнений мінеральним маслом. На верхній кришці бака розташовані висновки обмоток вищого 2 і нижчого 3 напруг, ізольовані від кришки бака за допомогою прохідних ізоляторів. Бак заповнюють мінеральним маслом через кран 1. При необхідності масло зливають через кран 7. Під час роботи трансформатора обсяг масла в баку міняється. При збільшенні навантаження підвищується температура обмоток і сердечника трансформатора, а виходить, і трансформаторного масла. Масло розширюється й обсяг його збільшується. При зменшенні навантаження температура й обсяг масла зменшуються. Внаслідок цього в деяких трансформаторах бак заливають маслом не повністю, тобто залишають достатній повітряний простір для розширення масла.

Однак у таких трансформаторах масло погане захищене від навколишнього середовища. Шари гігроскопічного масла окислюється киснем повітря й насичуються вологою, у результаті чого різко зменшується електрична міцність масла й скорочується строк його служби. Для захисту масла від зіткнення з повітрям потужні трансформатори постачають розширником 5, який являє собою циліндричний резервуар.

Його з'єднують із баком трансформатора трубопроводом. Масло заповнює весь бак і частина розширника. У розширнику масло має більш низьку температуру, чому в баку, і стикається з повітрям меншою поверхнею. Тому воно менше окисниться й довше зберігає ізоляційні властивості. Розширник постачений показчиком рівня масла, грязевідстійником із краном для видалення вологи й опадів і трубкою для усмоктування й витиснення повітря.

При роботі трансформатора усередині бака можуть утворюватися гази. Для попередження деформації бака від газів, що виділяються, трансформатори великої потужності мають вихлопну *трубу* 4 з мембраною й газове *реле* 6. При великій скупченні гази видавлюють мембрану й виходять назовні. У випадку великого виділення газів газове реле автоматично відключає трансформатор від джерела електроенергії. На трьохстержневому сердечнику трансформатора (мал. 167) перебувають обмотки вищого *ВН* і нижчого *НН* напруг. Початок обмоток вищої напруги позначають буквами *A, B, Z*, а кінці — *X, Y, Z*. Початок обмоток нижчої напруги позначають буквами *a, b, z*, а кінці — *x, v, z*.

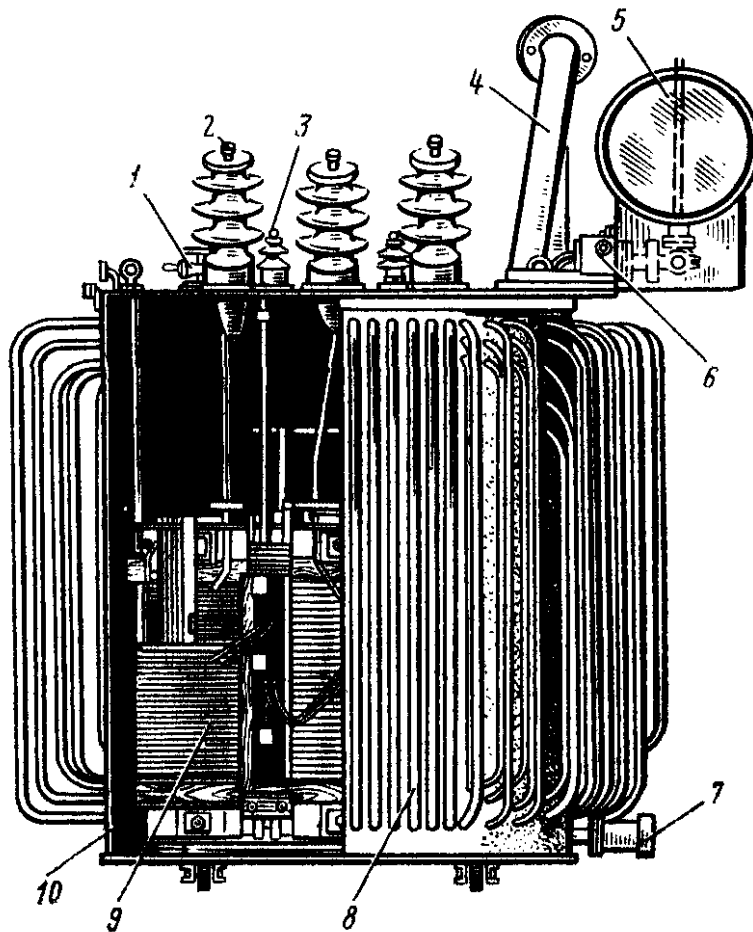


Рис. 166. Трехфазный силовой трансформатор

На кожному стрижні сердечника є обмотки вищого й нижчого напруг, що належать однієї фази. Обмотки фази одного напруги з'єднують зіркою або трикутником. Відповідно до цього прийняті наступні

стандартні групи з'єднання обмоток трифазних трансформаторів: зірка/зірка з виведеною нульовою точкою $Y/Y_0 - 0$; зірка трикутник $Y/\Delta - 11$; зірка з виведеною нульовою точкою трикутник $Y_0/\Delta - 11$; трикутник/зірка з виведеною нульовою точкою $\Delta/Y_0 - 11$.

У першій стандартній групі (мал. 168) обмотки першої фази $A-X$ і $a - x$ намотують в одному напрямку. Тому напруги цих обмоток U_A й U_a збігаються по фазі. По цій же причині збігаються по фазі напруги U_B і U_b , а також напруги U_C і U_c . При зазначенім з'єднанні обмоток збіжаться по фазі й відповідні лінійні напруги: U_{AB} і U_{ab} , U_{BC} і U_{bc} , U_{CA} і U_{ca} .

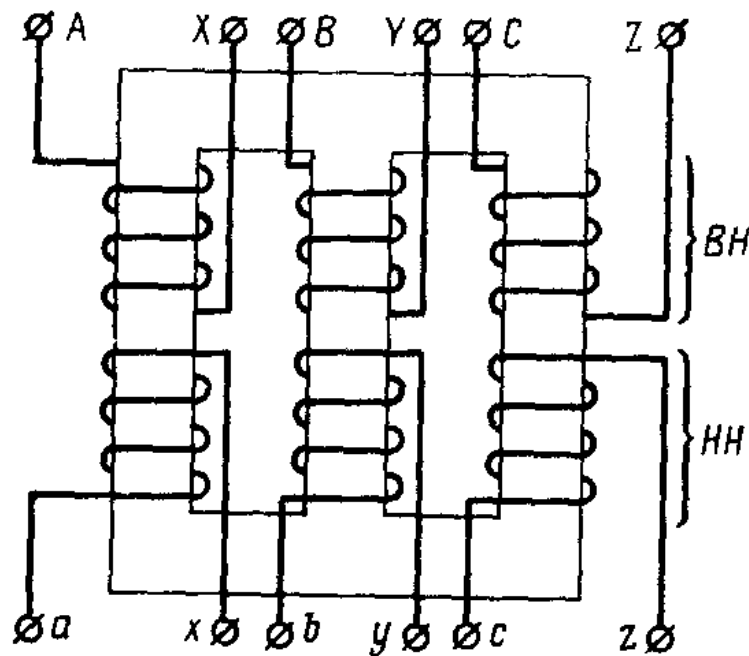


Рис 167. Схема обмоток трех-
фазного трансформатора

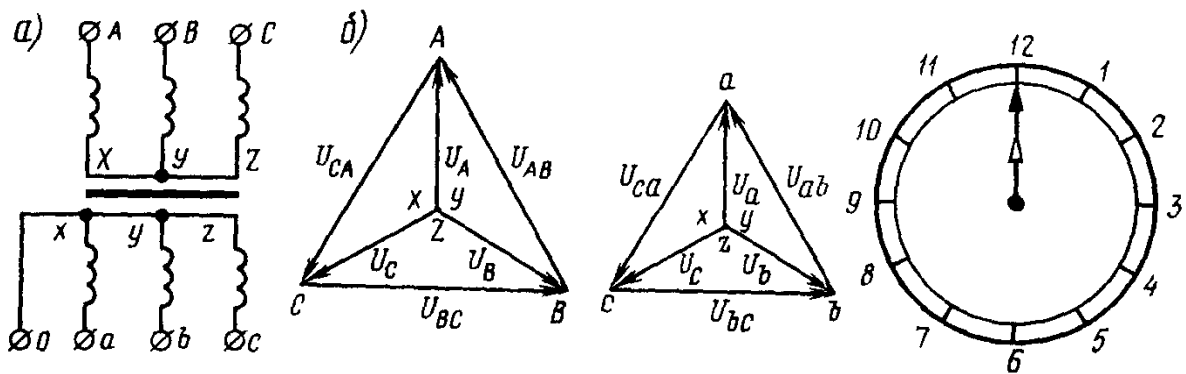


Рис. 168. Схема соединения обмоток по схеме $Y/Y-0$ (а) и векторные диаграммы фазных и линейных напряжений (б)

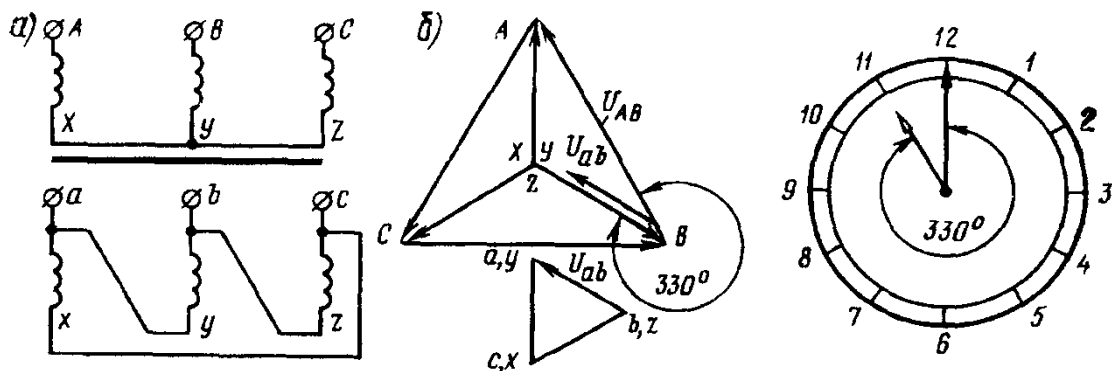


Рис. 169. Соединение обмоток по схеме $Y/\Delta-11$ (а) и векторная диаграмма на-
пряжений (б)

Тому що відсутнє кутовий зсув між однойменними лінійними напругами обмоток вищої й нижчої напруги, цю групу називають нульовий.

Назва групи залежить від кута зсуву фаз між зазначеними лінійними напругами й визначається за допомогою циферблата годин. Для цього хвилинну стрілку годин умовно ухвалюють за вектор вищої лінійної напруги й установлюють на число 12. Годинникову стрілку сполучають із вектором лінійної нижчої напруги. На циферблаті годин ця стрілка встановиться проти числа, яке й визначить групу трансформатора. У розглянутому способі з'єднання лінійна вища напруга збігається по фазі з лінійною нижчою напругою, тому годинникова стрілка, як і хвилинна, установиться проти числа 12. Така група з'єднання обмоток називається нульовий (нуль годин).

У другій стандартній схемі Y/Δ - 11 первинні обмотки з'єднують зіркою, а вторинні - трикутником (мал. 169, а). Фазні напруги обмоток вищої напруги збігаються по фазі з відповідними фазними напругами обмоток нижчої напруги (мал. 169, б). Однак лінійні напруги цих обмоток виявляться зрушеними по фазі.

Вектор нижчої лінійної напруги $U_{ав}$ утворює з вектором вищої лінійної напруги (U_{AB} кут 330°). Якщо хвилинну стрілку годин сполучити з вектором напруги (U_{AB} і встановити на число 12, то годинникова стрілка, сполучена з вектором напруги ($U_{ав}$), установиться на числі 11. Отже, трансформатор з таким з'єднанням обмоток відноситься до 11-й групи.

Вища нап- ляття	Нижча нап- ляття	Число годин з'єднання
		Y/Y_0
		Y/Δ^{11}
		Y/Δ^{11}
		Δ/Y^{11}

Δ - з'єднання трикутником

Y - з'єднання зіркою

З викладеного випливає, що група трансформатора виражає кутовий зсув між лінійними вищим і нижчим напругами в умовних одиницях, рівних 30 В нульовій групі цей зсув рівний 0, в 11-й— 330. Відношення лінійних напруг $U_{Л1}/U_{Л2}$ у трифазних трансформаторах залежить не тільки від числа витків ω_1 і ω_2 обмоток, але й від схеми їх з'єднання.

На щитку трифазного трансформатора вказують: схему й групу з'єднання обмоток; номінальні вище й нижче напруги (В або кВ); номінальну повну потужність (В - А або кВ•А); лінійні струми при номінальній потужності (А або кА); частоту й спосіб охолодження.

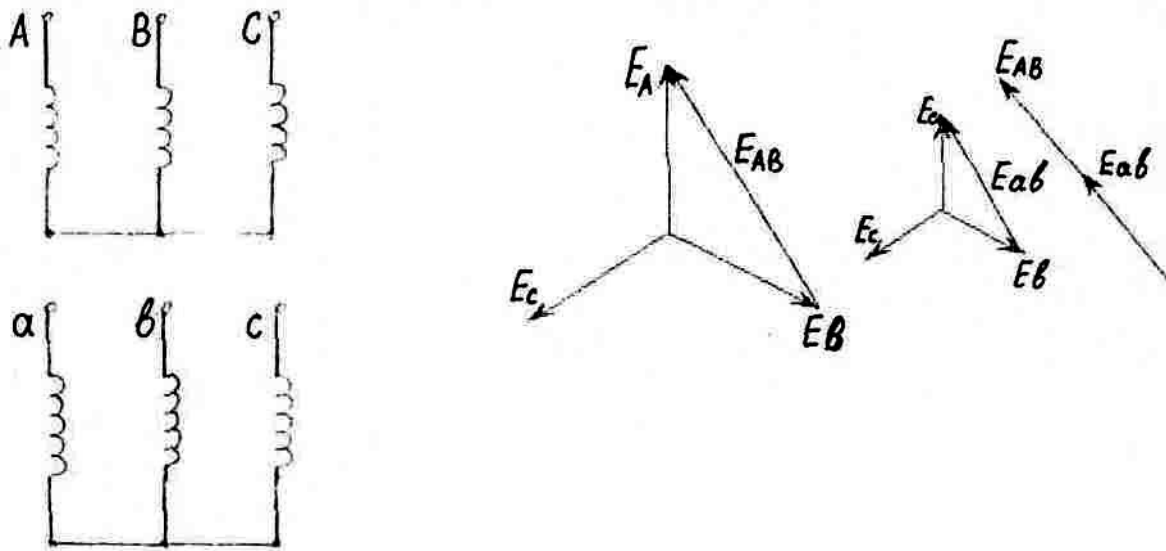


Рис.3 Схема з'єднання обмоток і векторні діаграми для трансформатора групи О.

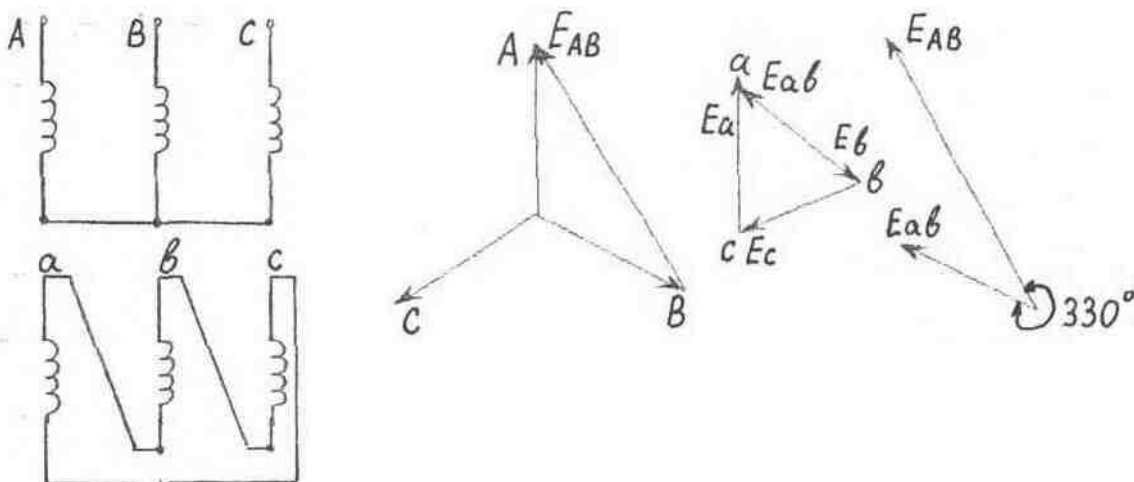


Рис. 5. Схеми з'єднання обмоток і векторні діаграми для трансформатора групи 11

Якщо два трансформатори мають однакові номінальні дані й однакову групу для збільшення струму, то їх можна включати на паралельну роботу. Вторинні напруги таких трансформаторів будуть зміщені щодо первинної напруги на той самий кут. У результаті цього вторинна е.р.с. одного трансформатора в будь-який момент часу буде рівна вторинної е.р.с. іншого. У випадку якщо трансформатори мають різні групи, їх вторинні напруги не буде збігатися по фазі. Так, якщо один трансформатор має групу 0, а іншої-групу 11, їх вторинні напруги будуть зрушено на кут 30° . При паралельнім включенні між такими трансформаторами виникнуть зрівнювальні струми, які зруйнують їхні обмотки.

Трифазні трансформатори застосовують на трансформаторних підстанціях, у потужних випрямних обладнаннях, які живлять різну апаратуру автоматики й телемеханіки.

ЛЕКЦІЯ

Режими роботи силових трансформаторів

У процесі експлуатації навантаження силових трансформаторів не залишається постійним, а змінюється протягом доби залежно від пори року.

При номінальних умовах роботи температура верхніх шарів масла трансформатора має бути в межах від 70 до 95°C . Слід зазначити, що температурний режим трансформатора істотно залежить від умов навколишнього середовища. Тому якщо трансформатор встановлений у закритому приміщенні, де умови охолоджуючого середовища можуть відрізнятися від номінальних, необхідно робити перерахунок потужності за формулою:

$$S = S_{\text{ном}} \left(1 + \frac{5 - \vartheta_0}{100} \right),$$

де $S_{\text{ном}}$ — номінальна потужність, кВА;

ϑ_0 — середньорічна температура приміщення, в якому встановлений трансформатор.

Відповідно до норм максимально допустима температура навколишнього повітря у приміщенні, де встановлений трансформатор, складає $+35^\circ \text{C}$. При цьому абсолютна температура повітря, виміряна на відстані 1,5-2 м від бака трансформатора, не повинна перевищувати температури зовнішнього повітря більше ніж на $5-8^\circ \text{C}$.

Температуру верхніх шарів масла контролюють за допомогою термометра і маслопоказчика на розширювачі, на якому нанесені три контрольні риски рівня масла, що відповідають температурі навколишнього середовища -35 , $+15$ та $+35^\circ \text{C}$.

Якщо трансформатор працює з навантаженням менше номінального, температура масла буде нижчою, що може збільшити термін служби ізоляції. Проте такий режим є неекономічним, оскільки при цьому не повністю використовуються можливості міді обмоток.

При номінальних умовах роботи розрахунковий термін служби трансформаторів становить близько 20 років.

Відповідно до стандарту 14209 вважається, що при зміні температури ізоляції трансформатора на 6° С термін їх служби змінюється вдвічі (при збільшенні температури — скорочується, а при зниженні — збільшується).

Через нерівномірність навантаження трансформаторів у часі вони мають значний запас у терміні служби. Тому, залежно від добового графіка навантаження, а також недовантаження, яке було в літню пору року, трансформатори допускають деякі перевантаження взимку.

Допустимі навантаження розділяють на нормальні (систематичні) й аварійні.

Нормальні перевантаження трансформатора визначають за допомогою коефіцієнта заповнення добового графіка K_3 з урахуванням його навантажувальної спроможності. Допустиму кратність навантаження стосовно його номінального значення визначають за діаграмою, наданою на рис. 9.22. На осі абсцис тут відкладена тривалість допустимого перевантаження, а на осі ординат — кратність навантаження стосовно номінального. На діаграмі надані криві для різних значень коефіцієнта заповнення добового графіка (K_3), що являє собою відношення площі, обмеженої лінією добового графіка навантаження, до площі прямокутника зі сторонами, одна з яких дорівнює абсцисі (24 год.), а друга — ординаті (максимум навантаження). Коефіцієнт заповнення знаходять за формулою:

$$K_3 = \frac{\sum I_t}{24 \cdot I_{\max}} = \frac{I_{\text{ср}}}{I_{\max}},$$

де $\sum I_t$ - площа фактичного графіка навантаження;

$I_{\max}$ — максимальний струм навантаження протягом доби;

I — середньодобовий струм навантаження.

Знаючи величину K_3 , за діаграмою навантажувальної спроможності можна встановити, протягом якого часу трансформатор може працювати з необхідним перевантаженням.

Якщо максимум навантаження за річним графіком у літню пору року менше номінальної потужності трансформатора, то в зимову пору допускається його перевантаження на 1% до кожного відсоті недовантаження влітку, але не більше 15%.

Розглянуті перевантаження можна допускати одночасно, але слід враховувати, що сумарне перевантаження трансформатора не повинне перевищувати 30%.

Систематичні перевантаження допускають і сухі трансформатори. Величину і час перевантаження у цьому випадку визначають: діаграмою, поданою на рис. 9.22, б.

В аварійних умовах на деякий час допускається аварійне перевантаження (таблиця 9.15), величина якого не залежить від попереднього навантаження і температури середовища.

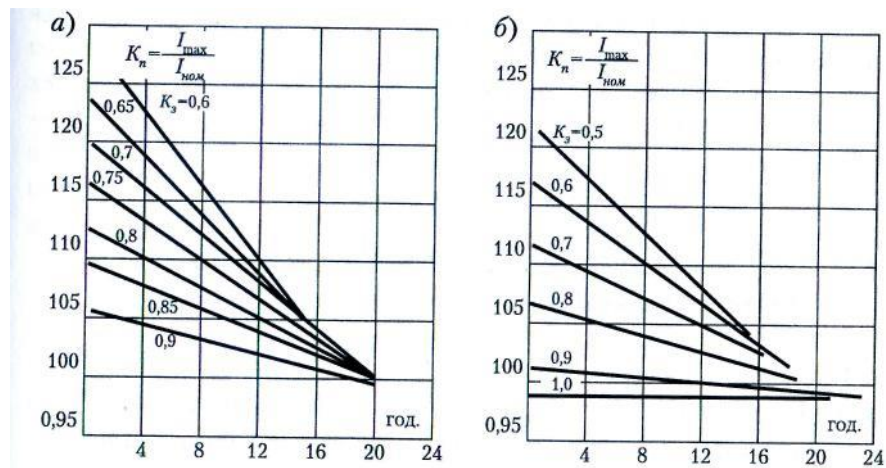


Рис. 9.22 Діаграми навантаження здатності трансформаторів:
а – масляних; б – сухих

При відсутності резерву в аварійних режимах допускається перевантаження масляних трансформаторів до 40% на термін не більш 6 годин на добу протягом не більше 5 діб поспіль. Коефіцієнт початкового навантаження при цьому має бути не вище 0,93.

Таблиця 9.15

Допустимі аварійні перевантаження трансформаторів			
Масляні трансформатори		Сухі трансформатори	
Перевантаження, %	тривалість хв.	Перевантаження, %	тривалість, хв.
30	120	20	60
45	80	30	45
60	45	40	32
75	20	50	18
100	10	60	5
200	1,5		

Нерівномірний розподіл потужності приймачів електричної енергії між фазами трифазних силових трансформаторів призводить до несиметричності струмів за фазами. Ступінь нерівномірності визначають за формулою:

$$K = \frac{100(I_{\max} - I_{cp})}{I_{cp}},$$

де $K_{\max}$ — струм максимально навантаженої фази в момент найбільшого навантаження трансформатора;

I_{cp} — середнє арифметичне значення струму трьох фаз у той же час.

Відповідно до правил, ступінь нерівномірності не повинен перевищувати 20%.

ЛЕКЦІЯ

Трансформатори залізничної автоматики й телемеханіки

Пускові трансформатори. В обладнаннях залізничної автоматики й телемеханіки для живлення рейкових кіл застосовують колійні трансформатори типів: ПОБС — подорожній однофазний із броньовим сердечником сухий, із природнім повітряним охолодженням, призначений для роботи від мережі змінного струму частотою 50 Гц; ПТМ - колійний малогабаритний, службовець для живлення станційних рейкових кіл змінного струму частотою 50 Гц; ПТ-25 — колійний і ПРТ-25 — подорожній релейн, що працюють від змінного струму частотою 25 Гц; ПТИ — колійний, призначений для імпульсних рейкових кіл.

В експлуатації перебуває кілька різновидів трансформаторів ПОБС; ПОБС-2АУЗ; ПОБС-3АУЗ; ПОБС-5АУЗ.

Цифри 2, 3, 5 — порядкові номери типу; буква А означає видозміну трансформатора; буква У — кліматичне виконання (для мікрокліматичного району з помірним кліматом); буква З - категорія розміщення (для експлуатації в закритих приміщеннях кам'яних, бетонних, дерев'яних або в закритих обсягах з теплоізоляцією). Конструкція трансформаторів для всіх типів прийнята однакової.

У середній частині трансформатора зовнішніми стінками є магнітопровід, а в нижній і верхньої - спеціальні захисні кожуха, що охороняють обмотку трансформатора від механічних пошкоджень. Нагорі трансформатора розташована контактна панель, яка кріпиться до стяжних болтів магнітопроводу.

Трансформатори типу ПОБС-2АУЗ застосовують для живлення рейкових кіл змінного струму частотою 50 Гц без дросель-трансформаторів, а також для живлення ламп групи світлофорів. Первинна обмотка 1 трансформатора (мал. 174) складається із двох частин. При послідовнім з'єднанні їх трансформатор включають у мережу напругою 220 В, а при паралельному — у мережу напругою 110 В. Вторинні обмотки трансформатора складаються із двох секційованих обмоток // і ///. Обмотка // має два проміжні висновки 2 і 3, а обмотка /// — один 2. При послідовнім погодженім включенні вторинних обмоток // і /// е.р.с, яка індуціюється в цих обмотках, складається. При зустрічнім з'єднанні обмоток е.р.с, яка індуціюється в обмотці ///, має зустрічний напрямок і віднімається з е.р.с, яка індуціюється в обмотці //. Таке включення обмоток // і /// дозволяє за допомогою перемичок одержати 43 різних напруг від 0,55 до 16,6 В.

Трансформатори типів ПОБС-3АУЗ відрізняються від трансформаторів типу ПОБС-2АУЗ тільки параметрами обмоток. Їх застосовують для живлення кодових рейкових кіл змінного струму частотою 50 Гц із колійними дросель-трансформаторами. За допомогою цих трансформаторів можна одержати на вторинних обмотках 45 різних напруг від 5,5 до 247,5 В.

Від трансформатора типу ПОБС-5АУЗ (мал. 175) можна одержати вторинні Колійний трансформатор типу ПТМ-А (мал. 176) призначений для живлення станційних рейкових кіл змінного струму частотою 50 Гц на ділянках з тепловозною тягою; потужність трансформатора 35 В-А. Первинна обмотка включена в мережу напругою 220 В, а із вторинних обмоток, комбінуючи висновки й перемички, можна одержати 24 напруги від 0,33 до 8,1 В.

На ділянках доріг, електрифікованих на змінному струмі, у рейкових колах частотою 25 Гц застосовують подорожні й релейні трансформатори типів ПТ-25АУЗ і ПРТ-АУЗ (мал. 177). Трансформатор типу ПТ використовують у якості живильного й кодового, а трансформатор типу ПРТ — у якості ізолюючого, що й погоджує.

За допомогою трансформатора ПТ-25АУЗ можна одержати 24 різних напруги від 2,5 до 60 В, а за допомогою трансформатора типу ПРТ-АУЗ також 24 різних напруги від 0,5 до 12 В. Номінальна потужність цих трансформаторів $65 \text{ В} \cdot \text{А}$.

Номінальна напруга первинної обмотки трансформатора типу ПТИУЗ для імпульсних рейкових кіл 220 і 440 В. За допомогою цього трансформатора можна одержати 32 різних напруги від 0,4 до 11,2 В. Номінальна потужність трансформатора $80 \text{ В} \cdot \text{А}$.

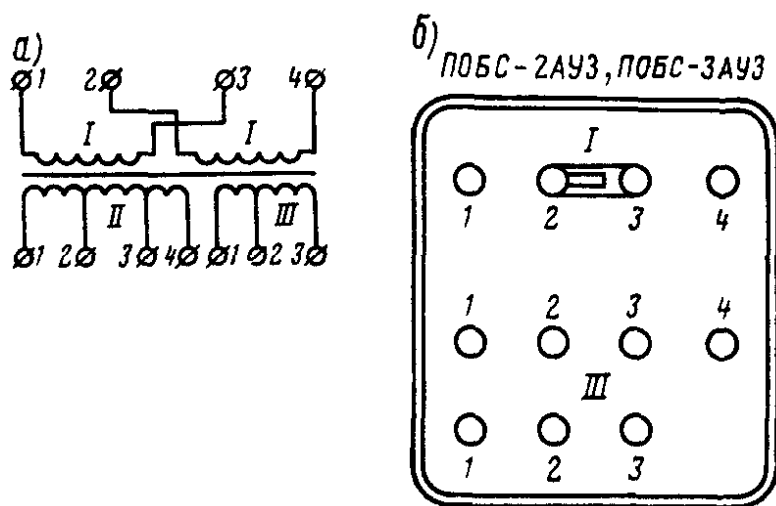


Рис. 174. Схема соединения обмоток (а) и расположение зажимов на контактной панели трансформаторов типов ПОБС-2АУЗ и ПОБС-3АУЗ (б)

Сигнальні, релейні й спеціальні трансформатори. До сигнальних ставляться трансформатори типів СОБС-2АУЗ, СОБС-3АУЗ, СТ-2А, СТ-3, СТ-3А, СТ-4, СТ-5, СТ-6. Первинна обмотка всіх трансформаторів, крім трансформатора типу СТ-2А, складається із двох частин, а в трансформаторів типів СТ-4 і СТ-5 — із трьох частин. При паралельному з'єднанні цих частин

трансформатор можна ввімкнути в мережу напругою 110 В, при послідовному — у мережу напругою 220 В. Трансформатори типів СТ-4 і СТ-5 мають проміжні висновки первинної обмотки відповідно на первинну напругу 195 і 185 В.

Трансформатори типу СОБС-2АУЗ (сигнальні однофазні броньовані сухі) застосовують для живлення світлофорних ламп і місцевих ланцюгів автоблокування. Номінальна потужність трансформатора виходить із двох основних вторинних обмоток // і /// (мал. 178). Обидві обмотки мають рівне число витків, однакові по напрузі й струму. Припустимий струм навантаження секційованих обмоток IV і V в 2 рази більше, ніж вторинних обмоток. Наявність двох пар обмоток дозволяє харчувати два електричні роз'єднані навантаження або жити навантаження із удвічі більшим струмом, з'єднуючи паралельно обмотки // і /// і послідовно з ними обмотки IV і V, а також одержати підвищену вторинну напругу при послідовнім з'єднанні всіх чотирьох обмоток.

Від обмоток // і IV трансформатора СОБС-2АУЗ при роздільнім живленні двох навантажень можна одержати напругу 20 В, регульоване від 2 до 20 В; від обмоток /// і V — 18 В, регульоване від 2 до 4 В і від 10 до 18 В; при паралельному з'єднанні

обмоток // і /// і послідовно з ними обмоток IV і V — напруга 24 В, регульоване від 1 до 24 В; при послідовнім з'єднанні всіх обмоток — напруга 38 В.

Сигнальні трансформатори типів СТ-2А, СТ-3, СТ-4, СТ-5 і СТ-6 застосовують у схемах живлення світлофорних ламп при центральнім живленні. Напруга на первинній обмотці в трансформаторів СТ-2А 165 В, а напруга, що знімається із вторинної обмотки, — 10-13 В (мал. 179, а) номінальна ємність 25 В•А.

Сигнальний трансформатор типу СТ-3А (мал. 179, б) використовують для живлення ламп стрілочних показчиків. Первинна обмотка цього трансформатора складається із двох частин. Вторинна обмотка секційована й дозволяє одержати чотири напруги — 11, 12, 13 і 14 В; номінальна потужність трансформатора 13 В•А.

Для більш широкого використання сигнальних трансформаторів в пристроях СЦБ розроблені нові типи, більш економічні. Трансформатор типу СТ-4 (мал. 179, в) виконано на напругу 110, 195 і 220 В. Він має секційовану вторинну обмотку, з котрої одержують напругу від 11,3 до 13,9 В; потужність трансформатора 16 В•А.

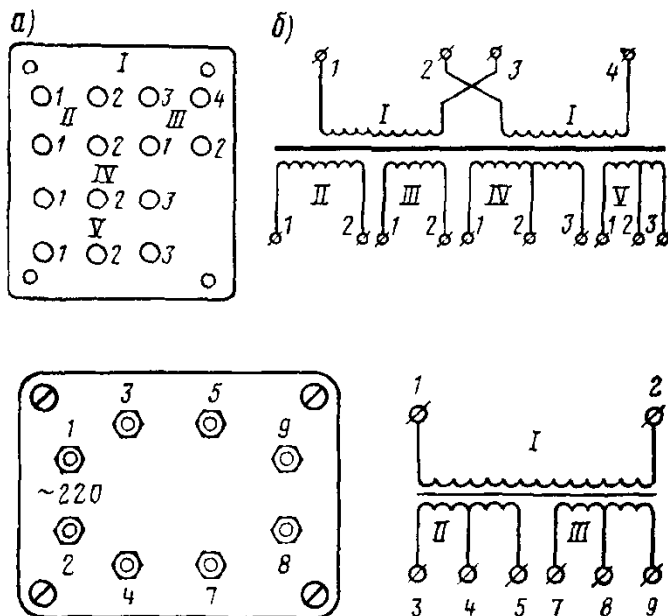


Рис. 175. Расположение контактов на панели (а) и схема соединения обмоток трансформатора типа ПОБС-5АУЗ (б)

Рис. 176. Нумерация выводов и схема соединения обмоток трансформатора ПТМ-А

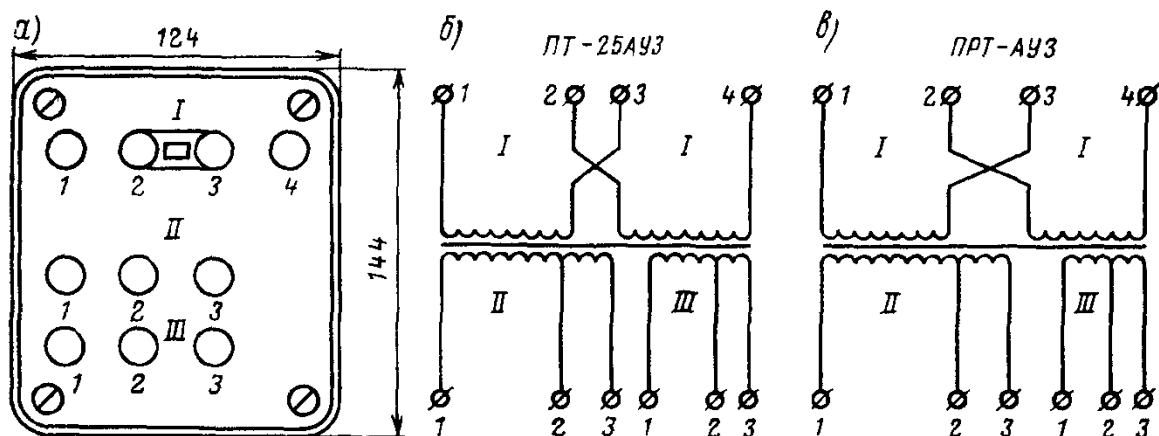


Рис. 177. Нумерация контактов на панели (а) и схема соединения обмоток трансформаторов типов ПТ-25АУЗ (б) и ПРТ-АУЗ (в)

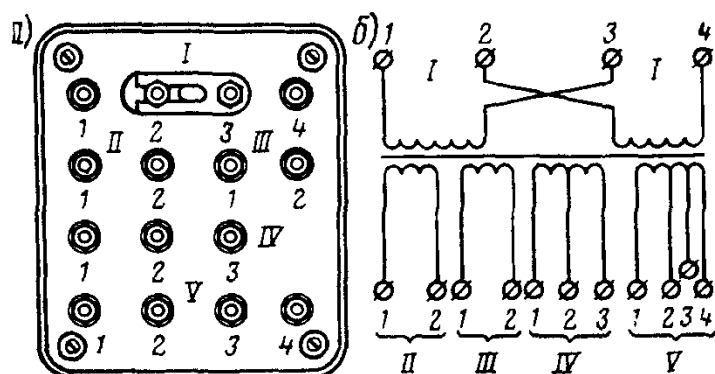


Рис. 178. Панель с выводами (а) и схема соединения обмоток трансформатора типа СОБС-2АУЗ (б)

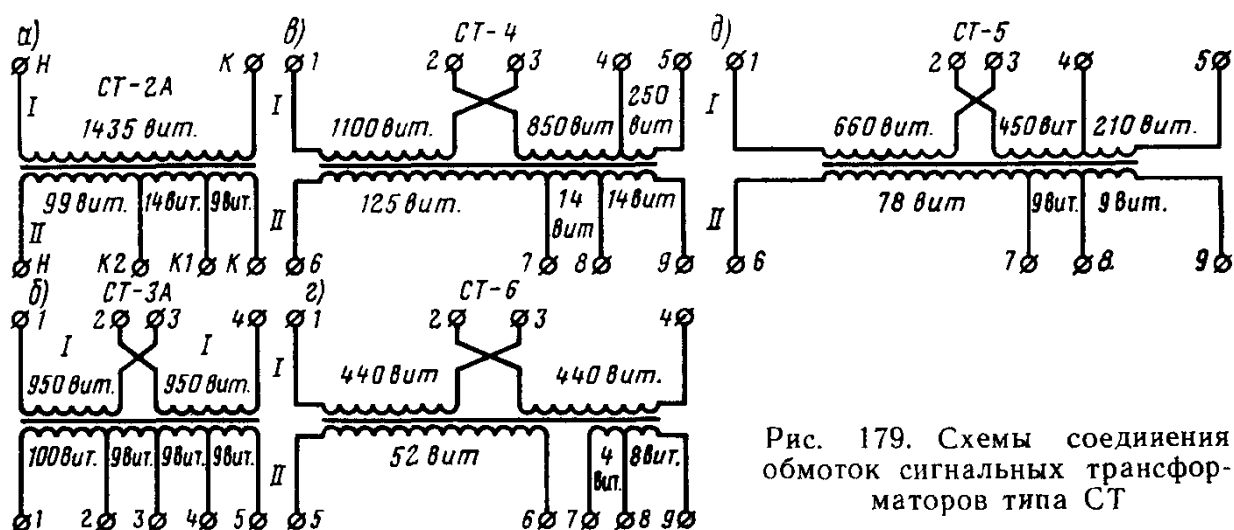


Рис. 179. Схемы соединения обмоток сигнальных трансформаторов типа СТ

Трансформатор типу СТ-5 (мал. 179, д) розраховано на первинні напруги 110, 185 і 220 В. Із вторинної його обмотки одержують напруги від 11,8 до 14,6 В; потужність трансформатора 25 В • А. Напруга первинної обмотки трансформатора СТ-6 (мал. 179, з) 110 і 220 В. Трансформатор має дві вторинні обмотки. При номінальнім навантаженні з них знімають напруги від 11,8 до 14,5 В; потужність трансформатора 40 В • А.

Сигнальний трансформатор типу СОБС-3АУЗ (мал. 180) призначений для живлення ламп світлофорів у пристроях сигналізації, централізації й блокування метрополітену. Трансформатор має одну первинну обмотку на номінальну напругу ПО В частотою 50 Гц. Вторинна обмотка складається із двох окремих обмоток із сьома виводами, що дозволяють при номінальному навантаженні за допомогою відповідних включень одержати напруги від 5,7 до 82,6 В; потужність трансформатора 50 В•А.

До релейних відносяться трансформатори типів РТЭ-1А и ТР-3 потужністю відповідно 0,8 і 0,5 В•А. Трансформатори типу РТ-3 встановлюють у рейкових колах змінного струму на ділянках з тепловозною тягою, а трансформатори типу РТЭ-1А — у рейкових колах на ділянках, електрифікованих на постійному струмі. Напруги, одержувані із вторинних обмоток трансформатора типу РТ-3, — 11,5 В, а типу РТЭ-1-85 В.

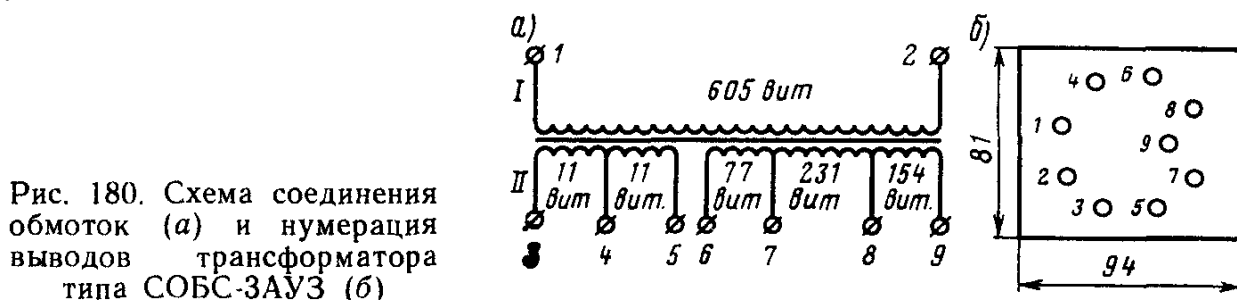


Рис. 180. Схема соединения обмоток (а) и нумерация выводов трансформатора типа СОБС-3АУЗ (б)

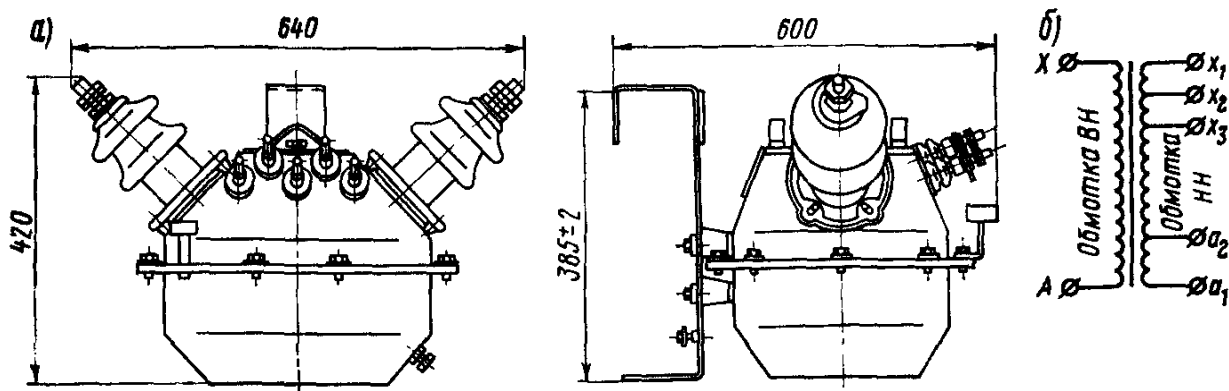


Рис. 181. Внешний вид трансформатора типа ОМ (а) и схема соединения обмоток (б)

Трансформатор типу СКТ-1 (однофазний із природнім охолодженням) застосовують у пускових стрілочних блоках типів ПС-110 і ПС-220 для живлення контрольного кола двохпроводної схеми керування стрілочним електроприводом. Первинна обмотка складається із двох обмоток. При паралельнім їхньому з'єднанні трансформатор включають у мережу напругою 110 В, а при послідовному — у мережу напругою 220 В. Напруга вторинної обмотки (висновки 111—114) при послідовнім з'єднанні двох частин обмотки — 165 В; потужність трансформатора 12 В•А.

Лінійні й силові трансформатори.

Лінійний трансформатор типу ОМ (однофазний з масляним охолодженням) служить для зниження напруги високовольтної лінії автоблокування з 6 або 10 кВ до

230 або 115 В. Він призначений для зовнішньої установки в пунктах живлення обладнань залізничної автоматики.

У високовольтну лінію автоблокування трансформатори типу ОМ включають так, щоб кожна із трьох фаз лінії була навантажена приблизно однаково. Практично трансформатор включають у крайні провода, розташовані на траверсах, але оскільки через кожні 3 км місця розташування проводів при схрещуванні міняються, то включення їх у кожну фазу чергується.

Трансформатори ОМ виготовляють потужністю 0,63 і 1,25 кВ • А (мал. 181) — однофазні двохобмоткові із природнім масляним охолодженням. Напруга первинної обмотки 6 або 10 кВ. Трансформатори являють собою герметичну конструкцію. Вони мають пробивні запобіжники на напругу 700-800 В. Номінальна частота живильної мережі 50 Гц. Трансформатори виготовляють із обмоткою нижчої напруги 230 або 115 В.

Вторинна обмотка трансформатора ОМ сікційована й має п'ять виводів: a_1, a_2, x_1, x_2, x_3 які дозволяють одержати номінальну напругу на низькій стороні при напругах у високовольтній лінії від -15% до $+5\%$ номінальної високої напруги.

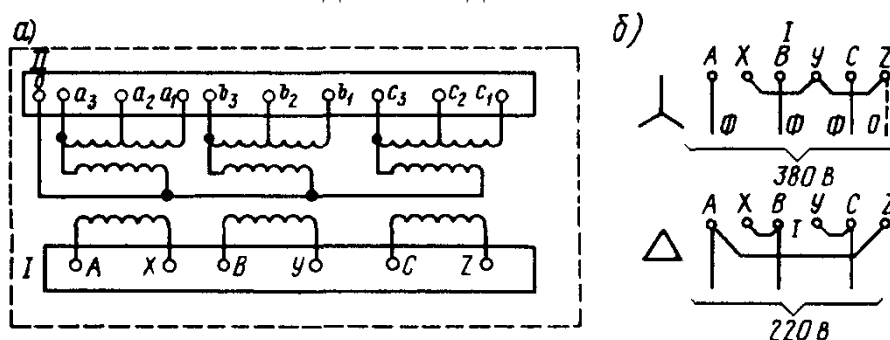


Рис. 183. Схема включення обмоток трансформатора типа ТС

На ділянках залізниць, електрифікованих на змінному струмі промислової частоти, для живлення сигнальних установок і лінійних споживачів застосовують комплектні трансформаторні однофазні підстанції (КТПО) із двома трансформаторами типу ЗНОМ-35-65В1 (мал. 182) (трансформатор, що заземлюється, напруги однофазний, природня циркуляція повітря й масла, кліматичне виконання В, категорія розміщення І). Трансформатор ЗНОМ-35-65В1 має три обмотки: одну первинну й дві вторинні — основну й додаткову. Напруга первинної обмотки 27,5 кВ, основної вторинної-100 В, додаткової вторинної — 127 В; гранична потужність трансформатора 1000 В • А.

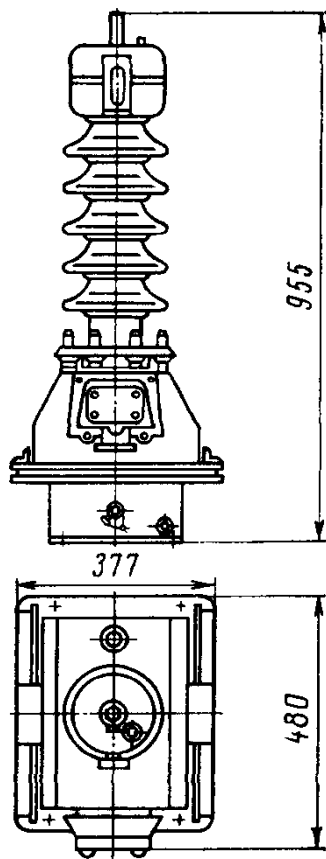


Рис. 182. Трансформатор типа ЗНОМ-35-65УІ

Для живлення пристроїв електричної централізації використовують трансформатор типу ТС — трифазний сухий із природнім охолодженням для внутрішньої установки. Трансформатор має первинну й вторинну обмотки (мал. 183, *а*). Первинну обмотку (мал. 183, *б*) можна включати в мережу напругою 220, 380, 400 або 500 В за схемою зірка (затиски *X*, *Y* і *Z* з'єднують між собою) або за схемою трикутник (з'єднують зажимами *A* — *Z*, *B* — *X*, *З* — *Y*). Вторинну обмотку включають тільки зіркою, для чого між виводами фазових обмоток *a_з*, *b_з*, *з_з* ставлять перемички. Трансформатори ТС випускають відкритого типу потужністю від 10 до 160 кВ • А. У трансформаторів ТС потужністю від 10 до 100 кВ • А номінальна напруга вторинної обмотки 133, 230, 400 В, а в трансформаторів потужністю 160 кВ • А — 127, 133, 220, 230 і 400 В. Випускають також трансформатори ТСЗ закритого типу потужністю 1,5 і 2,5 кВ•А.

ЛЕКЦІЯ

Колійні дросель-трансформатори

Колійні дросель-трансформатори (ДТ) призначені для рейкових кіл змінного струму з кодовим живленням на електрифікованих ділянках доріг. Вони забезпечують пропуск зворотного тягового струму в обхід ізолюючих стиків до тягової підстанції. Одночасно вони служать трансформаторами для подачі в рейкове коло змінного сигнального струму на її кінці живлення і прийому струму з рейок на релейному кінці.

Дросель-трансформатор (рис. 1) представляє собою реактивну котушку із сердечником, що має малий омичний і відносно великий індуктивний опір. Він складається із сердечника 5 і ярма 4, зібраних з листової трансформаторної сталі; на сердечнику насаджені основна 3 і додаткова 6 обмотки. Додаткова обмотка розташована зверху основної обмотки. Сердечник з обмотками укладений у металевий корпус 1 із кришкою 2. У корпус заливають трансформаторним олією до червоної риси.

У дросель-трансформаторів, які встановлюють на ділянках з електротягою постійного струму, між сердечником і ярмом у магнітному ланцюзі є повітряний зазор шириною 1-3 мм, який служить для стабілізації електричного опору дроселя змінному струму рейкового кола при підмагнічувальній дії постійного тягового струму. У дросель-трансформаторів, які застосовуються на ділянках з електротягою змінного струму, магнітне коло не має повітряного зазору і складається з замкнутого сердечника.

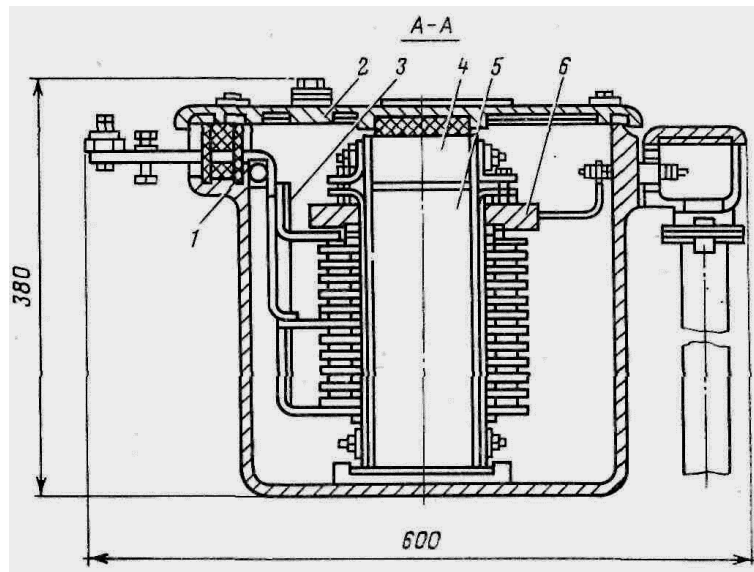


Рис. 1. Дросель-трансформатор типу ДТ-0,2-500

Основна обмотка дросель-трансформатора має три виводи: два крайніх і один — від середньої крапки обмотки (рис. 2). Крайні виводи основної обмотки приєднують до рейок, а середній — з'єднують із середнім виводом другого дросель-трансформатора суміжного рейкового кола перемичкою, по якій тяговий струм проходить з однієї ізолюючої ділянки в іншу. Додаткову обмотку виводять у

кабельну муфту на корпусі дросель-трансформатора і через кабель підключають до приладів рейкового кола.

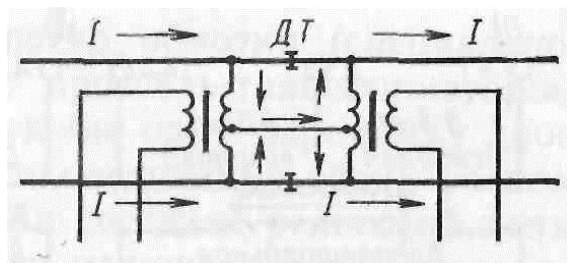


Рис. 2. Схема вмикання дросель-трансформатора в рейкове коло

Дросель-трансформатори типів ДТ-0,2 і ДТ-0,6 застосовують для ділянок доріг, обладнаних автоблокуванням на змінному струмі при електротязі на постійному струмі. Дросель-трансформатори типів ДТ-0,2-500 і ДТ-0,6-500 розраховані на пропуск номінального (тривалого) тягового струму 500 А через кожну секцію основної обмотки. Середній вивід обмотки розрахований на 1000 А.

Дросель-трансформатори типів ДТ-0,2-1000 і ДТ-0,6-1000 розраховані на номінальний (тривалий) тяговий струм 1000 А через кожну секцію основної обмотки. Середній вивід обмотки розрахований на 2000 А.

Дросель-трансформатор типу ДТ-0,6 з коефіцієнтом трансформації $n=15$ завжди встановлюють на живильному кінці рейкового кола, у нього додаткова обмотка не секційована і має два виводи (рис. 3, а).

Дросель-трансформатор типу ДТ-0,2 має змінний коефіцієнт трансформації. Його застосовують на релейному кінці і кінці живлення рейкових кіл частотою 50 Гц і довжиною до 1500 м із двохелементними колійними реле типу ДСШ і на релейному кінці кодових рейкових кіл довжиною до 2600 м. Додаткова обмотка (рис. 3, б) секційована і має п'ять виводів. Необхідний коефіцієнт трансформації підбирають включенням відповідних секцій додаткової обмотки. На виводах 1 і 2 $n=13$, на виводах 2 і 4 — $n=17$, на виводах 1 і 4 — $n=30$ і на виводах 0 і 4 — $n=40$.

На ділянках з електротягою змінного струму частотою 50 Гц на кінці живлення і релейному кінці рейкового кола встановлюють дросель-трансформатори типів ДТ-1-150 чи 2ДТ-1-150 (відповідно рис. 3, в и г). Крайні виводи основної обмотки дросель-трансформатора типу ДТ-1-150 розраховані на струм 150 А, а середній — на 300 А. Дросель-трансформатори типу ДТ-1-150 випускають для рейкових кіл змінного струму частотою 25 Гц одиночної і зведеної установки, у дросель-трансформатора ДТ-1-150 $n=3$. Дросель-трансформатор зведеної установки типу 2ДТ-1-150 сполучає в одному корпусі два дроселі-трансформатори і має ті ж електричні характеристики, що і дросель-трансформатор типу ДТ-1-150.

На станціях стикування рейкові кола працюють в особливих умовах, піддаючи впливу постійного і змінного тягових струмів. На таких станціях встановлюють дросель-трансформатори типів ДТ-0,6-500С з коефіцієнтом трансформації $n=3$.

Дросель-трансформатор типу ДТМ-0,17-1000 (рис. 3, д) призначений для ліній метрополітену, обладнаних автоблокуванням на змінному струмі й електротягою на постійному струмі. Дросель-трансформатор розраховано на пропуск номінального тягового струму 1000 А через кожну секцію основної обмотки, його коефіцієнт трансформації $n=40$.

На ділянках залізниць при електричній тязі на постійному струмі встановлюють дросель-трансформатори ДТ-0,2-500 і ДТ-0,6-500, а також ДТ-0,2-1000 і ДТ-0,6-1000; при електричній тязі на змінному струмі частотою 50 Гц - дросель-трансформатори ДТ-1-150 і 2ДТ-1-150.

На об'єкти будівництва дросель-трансформатори надходять разом з перемичками, призначеними для з'єднання дросель-трансформаторів між собою й підключення їх до рейок.

Тип дросель-трансформатора й місце його установки визначаються проектом. До установки дросель-трансформаторів монтують ізолюючі стики, у шейках рейок свердлять отвору для конічних болтів перемичок, комплектують основи, перемички, заготовлюють скоби для кріплення перемичок. Отвору для конічних болтів діаметром 22 мм свердлять на відстані не менш 160 мм друг від друга й не менш 100 мм від краю накладки ізолюючого стику (по горизонталі). Відстань від підосви рейок Р75, Р65, Р50 і Р43 до центра отвору становить відповідно 88,5; 78,5; 68,5; 62,5 мм.

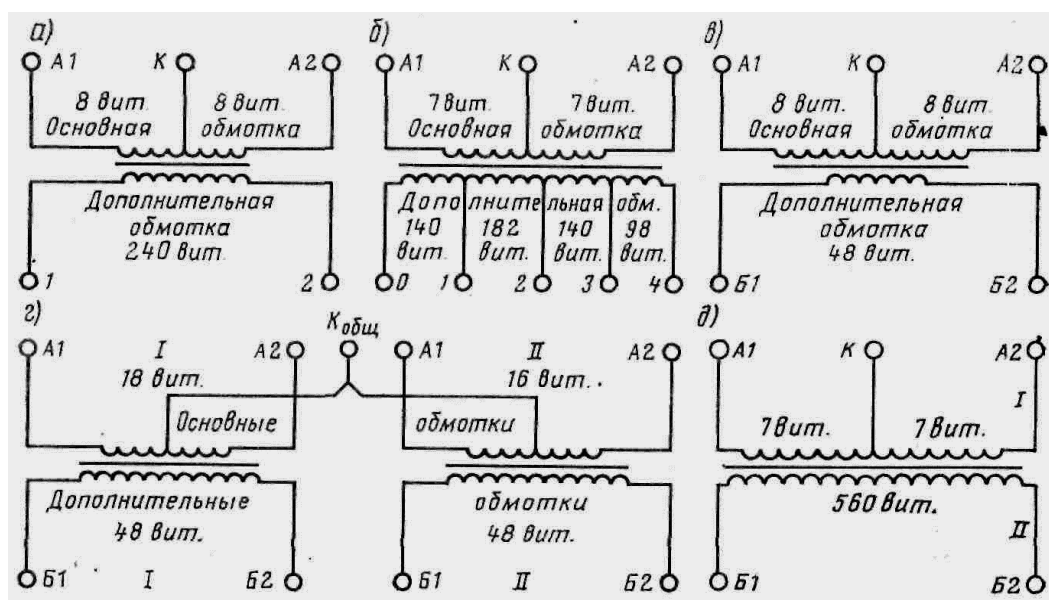


Рис. 3. Схеми вмикання обмоток дросель-трансформаторів різних типів

Технологія встановлення та обслуговування

На будівельному дворі заготовлюють бруски з відходів лісу діаметром 180 мм або зі старих шпал відповідної довжини, також скоби для кріплення перемичок. Після транспортування обладнання до місця провадження робіт приступають до його установки. На початку розмічають місця установки основ, потім наготовляють котловани (площадки) і встановлюють основи. Після вирівнювання основ по вертикалі й горизонталі, засипання й утрамбовки ґрунту на основи встановлюють дросель-трансформатор. Дросель-трансформатори ДТ-0,2 і ДТ-0,6 встановлюють піднімальним краном, а дросель-трансформатори ДТ-1-150 і 2ДТ-1-150 - вручну.

Колійний дросель-трансформатори на станціях встановлюють на хрестоподібних основах або конструкціях у вигляді плит (рис. 4). Для установки дросель-трансформаторів ДТ-1-150 і 2ДТ-1-150 використовують також основи колійних трансформаторних ящиків (стояка).

Дросель-трансформатори на хрестоподібних основах і конструкціях у вигляді плит не кріплять. Основа - плита має фасонну поверхню, що запобігає переміщення дросель-трансформатора. Із цією же метою на підставі є два припливи (рис. 4.). Дросель-трансформатори 2 типу ДТ-1-150 при установці на підставі-плиті фіксують наявними на підставі припливами 6. Дросель-трансформатори ДТ-1-150 і 2ДТ-1-150 кріплять до основ-болтами, закріплюючи їх стопорними гвинтами М8 у глухих отворах припливів на дросель-трансформаторах.

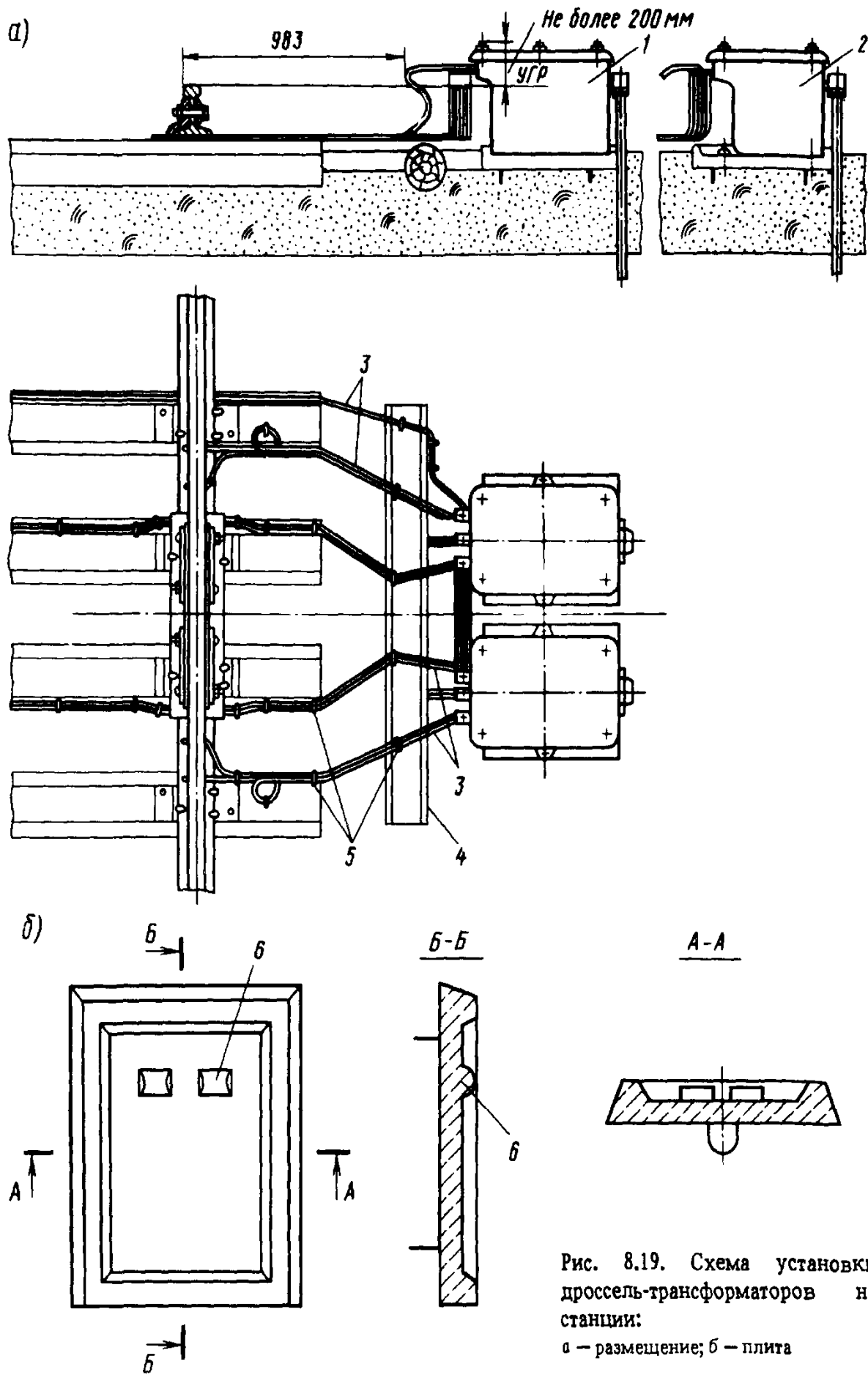
У крайніх колій станцій дросель-трансформатори розташовують на узбіччі колії, в інших - у міжколійя. Верхня частина встановленого на станції дросель-трансформатора повинна перебувати не вище 200 мм над УГР, а найбільш виступаючі частини його повинні бути розташовані не ближче 983 мм від внутрішньої грані головки ближньої рейки. При установці поруч двох дросель-трансформаторів різного типу дросель-трансформатор, що має менші розміри, зміщують у бік колії так, щоб обоє перебували на однаковій відстані від рейки.

Дросельні перемички 3 приєднують до рейок конічними болтами-наконечниками, привареними до кінців перемичок, попередньо очищаючи отвору в рейках від іржі. Інші кінці перемичок на заводі заварюють у латунні наконечники (рукавички) із двома болтовими отворами. Латунні наконечники оцинкованими сталевими болтами діаметром 13 мм з'єднують із висновками дросель-трансформаторів. Гайки болтів щільно затягують і закріплюють контргайками.

Для кріплення дросельних перемичок між корпусами дросель-трансформаторів і кінцями шпал уздовж залізничної колії укладають дерев'яні бруски 4 так, щоб їх попередньо затесана верхня площа була на рівні верхньої площини шпал. Перемички прокладають по брусках і верхній частині бічної поверхні шпал, прикріплюючи до них через кожні 30-40 см скоби 5 з оцинкованого сталевих дроту діаметром 5 мм.

Під скоби підкладають розрізані ізоляційні трубки (обрізки оболонок кабелю). Довга перемичка не повинна стосуватися ближнього до дросель-трансформатору рейки. На ділянках із залізобетонними шпалами перемички прокладають по спеціально покладених дерев'яних брусках, що прикріплюється до рейок або шпал скобами. Перемички між коліями укладають по відрізках шпал або брусам. Міждросельні перемички кріплять болтами до середніх висновків дроселя-трансформатора.

Кабель для підключення додаткової обмотки дросель трансформатора заводять через захисну трубу, жили кабелю підключають до клемних панелей муфти. Після установки й монтажу дросель-трансформатори заливають трансформаторним маслом до нанесеної на корпусі червоної риси.



Правила техніки безпеки при роботі з дросель-трансформаторами

Під час роботи зі колійними дроселями-трансформаторами необхідно строго виконувати основні правила по техніці безпеки. Необхідно, щоб працюючий був у діелектричних рукавичках чи користався інструментом з ізолюючими ручками. Перед зміною дросельної перемички варто установити тимчасову перемичку з мідного проводу і щільно закріпити її одним кінцем на підшві рейки струбциною, а іншим кінцем — на виводі дроселя-трансформатора спеціальним затиском.

Працювати з колійним дросель-трансформатором, до якого приєднаний фідер електротяги, що відсмоктує, можна тільки в присутності і під спостереженням працівників ділянки електропостачання. При виконанні робіт забороняється розривати коло мережної обмотки ізолюючих трансформаторів рейкових кіл без попереднього відключення чи замикання накоротко обмотки (спеціальною перемичкою під гайки), з'єднаної з дросель-трансформатором. Не дозволяється відключати від рейки хоча б одну перемичку дросель-трансформатора без попереднього з'єднання обох рейок із середньою точкою дросель-трансформатора сусіднього рейкового кола, а також відключати середню точку ДТ чи порушувати іншим способом коло протікання по рейках тягового струму.

4. АСИНХРОННІ ДВИГУНИ

ЛЕКЦІЯ

Трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором. Статор асинхронного двигуна (мал. 187) складається із сердечника 2, обмотки 3 і корпуса (станини) 1. Сердечник статора є частиною магнітопроводу й зібрано з окремих сталевих пластин 4 товщиною 0,35-0,5 мм. Щоб знизити до мінімуму втрати енергії на вихрові струми, пластини ізолюють друг від друга (найчастіше тонким шаром спеціального лаку). У пазах сталевго статора укладають проведення, що утворюють трифазну обмотку статора. Кожна фазна обмотка складається з однієї або декількох котушок і розрахована на певну номінальну фазну напругу. На двигуні вказується дві номінальні напруги (наприклад, 380 і 220 В), що відрізняються в $\sqrt{3}$ раз.

При більшій напрузі мережі фазні обмотки статора з'єднують зіркою, а при меншій напрузі — трикутником. У тому й іншому випадку до кожної фазної обмотки підводить однакова напруга, що є номінальною фазною напругою двигуна. Початку обмоток статора позначають С1, С2, С3, а кінці — С4, С5, С6.

Розташування виводів обмоток на щитку (мал. 188) зручно для з'єднання обмоток зіркою або трикутником. Сердечник статора з обмоткою розташований (звичайно запресований) усередині корпуса, який відливають із чавуну або алюмінієвого сплаву. З боків сердечник статора закривається кришками, у яких є підшипники.

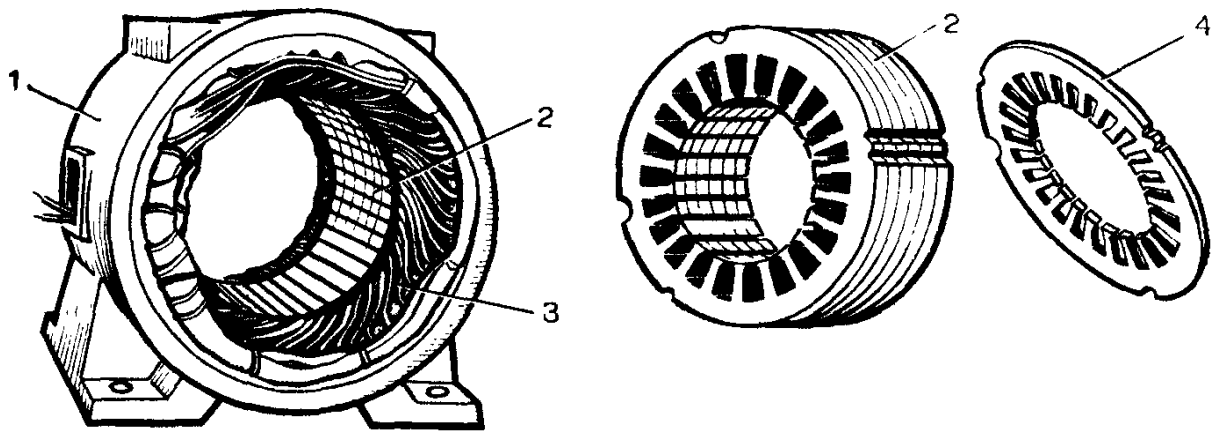


Рис. 187. Статор асинхронного двигателя

Ротор двигуна являє собою циліндр, набраний з листової електротехнічної сталі. Обмотка ротора складається з декількох мідних стрижнів, з'єднаних на кінцях мідними кільцями, і називається «білячим колесом» (мал. 189, а). У нових асинхронних електродвигунах короткозамкнена обмотка утворюється шляхом заливання пазів ротора алюмінієм (мал. 189, б).

При проходженні по обмотках статора трифазного змінного струму створюється магнітне поле, що обертається із частотою $n_1 = 60f/p$, де f — частота підведеного до двигуна струму; p — число пар полюсів, яке залежить від числа катушок.

Якщо є три катушки, то обертовий магнітний потік має два полюси ($p = 1$)

$$i \ n_1 = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000 \text{ про/хв.}$$

Якщо число катушок збільшити в 2 рази, то $p = 2$, а n_1

$$= \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ про/хв.}$$

Магнітні лінії поля статора перетинають обмотку ротора й у ній виникає струм, що створює своє магнітне поле. У результаті взаємодії магнітних полів ротор починає обертатися в напрямку магнітного поля статора із частотою n .

Ротор і поле статора обертаються з різними частотами. А якщо ні, то не було б перетинання ротора силовими лініями магнітного поля статора. Відношення різниці частот обертового поля статора n_1 і ротора n до частоти магнітного поля статора називають **ковзанням** (відставанням): $S = (n_1 - n)/n_1$ або $S = (n_1 - n)/n_1 \cdot 100\%$. При пуску двигуна $n = 0$, а $S = 1$, або 100%.

Під час холостого ходу двигун має мінімальне ковзання (1-2%). Зі збільшенням навантаження зменшується частота обертання ротора й збільшується ковзання при номінальній навантаженні, досягаючи 5-6%.

Електромагнітний зв'язок обмоток ротора й статора аналогічна електромагнітному зв'язку обмоток трансформатора. Тому зі збільшенням ковзання, коли лінії магнітного поля статора частіше перетинають ротор, збільшується струм в обмотках ротора й статора.

Частота струму в обмотці ротора залежить від ковзання: $f_2 = f_1 \cdot S$. При пуску $S=1$ і $f_2 = f_1 = 50 \text{ Гц}$. Зі зростанням частоти обертання ротора n зменшується ковзання S і частота f_2 . При холостому ході двигуна $f_2 = 1 \div 4 \text{ Гц}$.

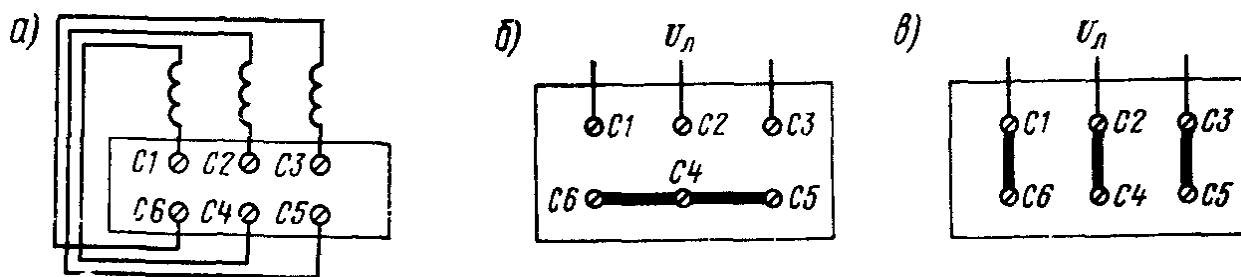


Рис. 188. Расположение выводов обмоток на щитке (а) и соединенные обмотки звездой (б) и треугольником (в)

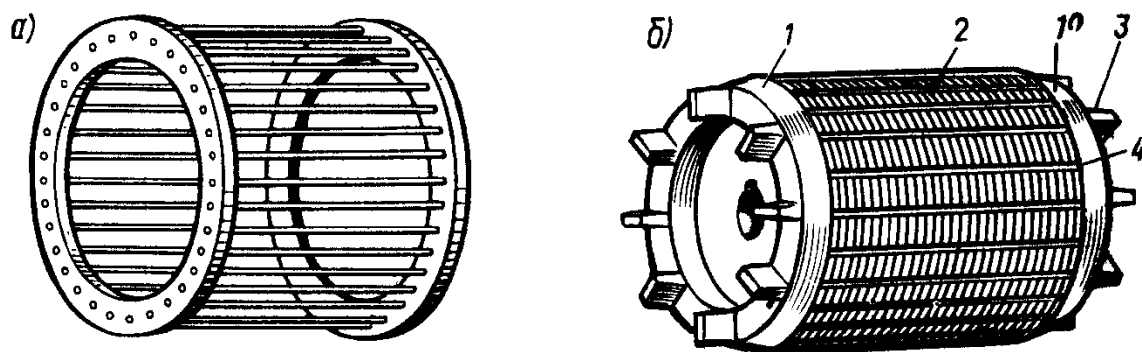


Рис. 189. Короткозамкнутая обмотка ротора (а) и короткозамкнутая обмотка ротора, выполненная в виде алюминиевой отливки (б):

1 — короткозамыкающие кольца; 2 — листы магнитопривода; 3 — вентиляционные лопасти; 4 — стержни

Завдяки простоті обладнання, дешевині й великій надійності в роботі короткозамкнені асинхронні двигуни одержали широке поширення. До недоліків короткозамкнених асинхронних двигунів ставляться: значне споживання струму в момент пуску; слабкий пусковий обертаючий момент; споживання реактивного струму через індуктивність обмоток статора зниження, що викликає, $\cos \varphi$.

При пуску двигуна магнітне поле статора з максимальною частотою перетинає нерухливий ротор і в ньому наводиться найбільша е.р.с. У результаті цього струм в обмотках ротора й статора більше номінального в 5-8 раз. Пускові струми не встигають нагріти машину до високої температури, але викликають зниження напруги в мережі, що негативно впливає на роботу інших споживачів, включених у цю же мережу.

Обертаючий момент M асинхронного двигуна утворюється в результаті взаємодії магнітного потоку Φ статора з активної складової струму ротора $I_{a2} = I_2 \cos \varphi_2$. Отже, $M = C \Phi I_2 \cos \varphi_2$, де C — коефіцієнт, що залежить від конструкції двигуна; φ_2 — різниця фаз е.р.с. E_2 і струму I_2 ротора.

При пуску в короткозамкненому роторі асинхронного двигуна виникає струм найбільшої частоти f_2 . Тому індуктивний опір ротора $XL_2 = 2\pi f_2 L_2$ значно більше активного r_2 .

Активна складова струму ротора $I_2 \cos \varphi_2 = I_2 r_2 / \sqrt{r_2^2 + x_{L2}^2}$ і обертаючий момент не досягають максимального значення. Зі збільшенням швидкості частота f_2 струму в роторі і його індуктивний опір почнуть зменшуватися, що у свою чергу викличе збільшення активної складової струму ротора й обертаючого моменту двигуна. Обертаючий момент асинхронного двигуна досягає найбільшого значення при рівності активного й індуктивного опорів ротора, тобто при $r_2 = X_{L2}$.

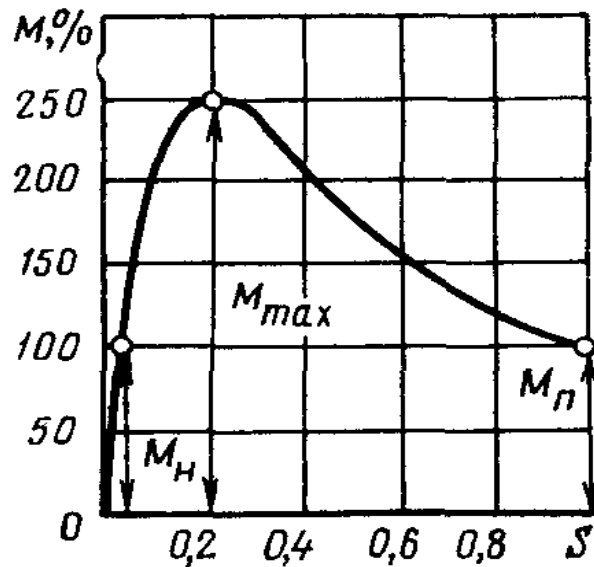


Рис. 190. Залежність обертаючого моменту асинхронного двигуна від ковзання

При подальшій збільшенні частоти обертання ця рівність порушується, тобто $X_{L2} < r_2$ і обертаючий момент знову почне зменшуватися.

При ковзанні $S = 1$ (мал. 190) двигун розбудовує пусковий момент M_H , при номінальній ковзанні $S_H = 0,02 \div 0,06$ — номінальний момент M_H . Максимальний момент M_{max} двигун розбудовує при ковзанні, названому критичним ($SKP \approx 0,2$).

Трифазні асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором типу МСТ застосовують у стрілочних електроприводах. Основні характеристики цих електродвигунів наведені в табл. 11.

Електродвигуни типів МСТ-0,25 і МСТ-0,3 установлюють в електроприводах важких і звичайних стрілок електричної централізації, типу МСТ-0,6 — в електроприводах стрілок маневрових районів.

Для збільшення початкового обертаючого моменту, необхідного для переведення стрілок, короткозамкнену обмотку ротора стрілочних електродвигунів виконують із підвищеним активним опором. Зміна напрямку обертання ротора електродвигуна здійснюється зміною місць двох лінійних проводів, що підводять струм до електродвигуна. При цьому змінюється напрямок обертання магнітного поля статора, а отже, і ротора. Асинхронні електродвигуни малої потужності включають у мережу змінного струму без пускових пристроїв. При значних потужностях (більш 5 кВт) пусковий струм обмежують.

Таблица 11

Тип электро- двигателя	Мощность, Вт	Напряжение питания, В, при соединении обмоток		Потребляе- мый ток, А	Частота вращения ротора, об/мин
		звездой	треугольни- ком		
МСТ-0,25	250	220	127	1,4/2,4*	1250±50
МСТ-0,3	300	190 ^{+5,7} _{-9,5}	110 ⁺³³ _{-5,5}	2,1/3,6	850±42,5
МСТ-0,3А	300	330 ^{+9,5} _{-16,5}	190 ⁺⁵⁷ _{-9,5}	1,2/2,1	850±42,5
МСТ-0,6	600	190 ⁺⁵⁷ _{-9,5}	110 ⁺³³ _{-5,5}	2,8/4,85	2850±285
МСТ-0,6А	600	330 ^{+9,5} _{-16,5}	190 ⁺⁵⁷ _{-9,5}	2/3,46	2850±285

* В числителе указывается потребляемый ток при соединении обмоток звездой, в знаменателе — при соединении обмоток треугольником.

Існують два способи пуску в хід короткозамкнених асинхронних електродвигунів. Безпосередній (прямий) пуск застосовують у випадку, якщо потужність двигуна значно менше потужності мережі. Пуск перемиканням обмоток із зірки на трикутник можна використовувати в тому випадку, якщо обмотки статора двигуна постійно повинні бути з'єднані трикутником. Для того щоб знизити пусковий струм, на період пуску обмотки статора з'єднують зіркою (мал. 191, а). Завдяки цьому напруга на кожній обмотці знизиться в $\sqrt{3}$ раз, а лінійний струм поменшається в 3 рази. Коли двигун розв'є швидкість, перемикають рубильник P_2 і обмотки з'єднують трикутником.

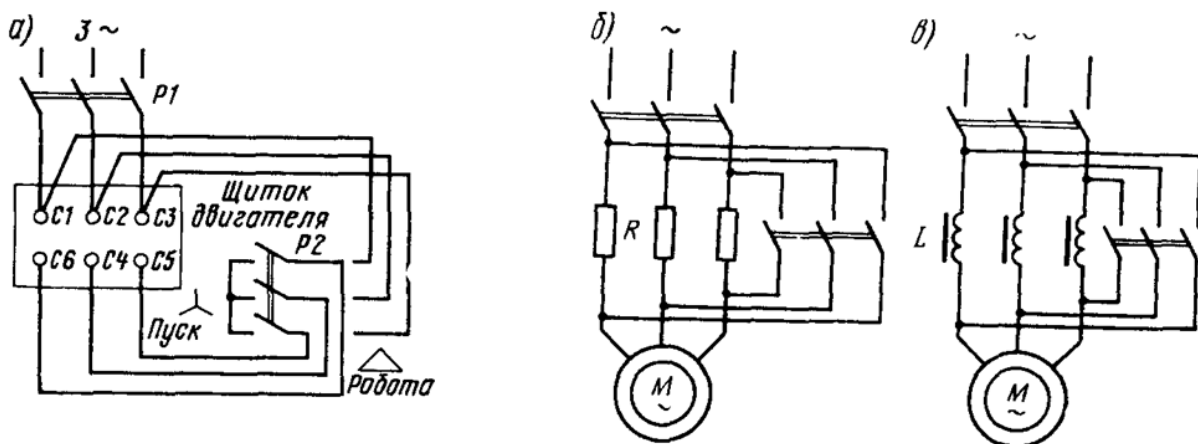


Рис. 191. Схемы пуска асинхронного двигателя:

а — переключением обмоток статора со звезды на треугольник; б, в — с короткозамкнутым ротором с помощью соответственно активных и индуктивных элементов

Для зниження пускового струму послідовно з обмоткою статора можна включати елементи з активним або індуктивним опором (мал. 191, б и в). Після пуску ці елементи шунтуються.

ЛЕКЦІЯ

Однофазні двигуни

Однофазний асинхронний двигун. Обмотка статора однофазного асинхронного двигуна складається з однієї котушки. Струм, що проходить по цій котушці, створює пульсуючий магнітний потік, який можна розкласти на два обертові магнітні потоки Φ_1 і Φ_2 , що мають однакову величину, але різний напрямок обертання.

Перший магнітний потік обертається (щодо нерухливого ротора) із частотою n_1 по рухові годинної стрілки, а другий — з такою ж частотою — у протилежному напрямку. При пуску моменти M_1 і M_2 , створювані кожним обертовим потоком, рівні, але спрямовані в протилежні сторони. У результаті пусковий обертаючий момент $M = M_1 - M_2 = 0$. Якщо ротора повідомити первісний рух, наприклад по рухові годинної стрілки, то обертовий у цьому ж напрямку магнітний потік Φ_1 буде діяти на ротор, як і в трифазному короткозамкненому двигуні.

Магнітний потік Φ_2 , що обертається щодо ротора в протилежному напрямку, буде індукіювати у роторі струми більшої частоти. Індуктивний опір ротора для цієї частоти зросте й ще більше буде відрізнятися від активного опору. У результаті цього обертаючий момент M_2 зменшується. Результируючий обертаючий момент $M = M_1 - M_2$ буде спрямований убік первісного руху ротора.

Пусковий обертаючий момент в однофазному асинхронному двигуні (мал. 192) може бути отриманий за рахунок додаткової пускової обмотки ПО, яку укладають у пазах статора під кутом 90° до головної обмотки ГО. Струм I_1 головної обмотки відстає по фазі від напруги U на кут φ_1 . Послідовно з пусковою обмоткою включений конденсатор $З$, і струм I_2 випереджає по фазі напруга на кут φ_2 . Тому струми в обмотках зрушені на кут $\varphi_1 + \varphi_2 = 90^\circ$ і в машині виникає обертове магнітне поле, яке створює пусковий момент. Однофазні асинхронні конденсаторні двигуни типу АСОМ-48 встановлюють у кодових колійних трансмітерах, які застосовують в пристроях кодового автоблокування й автоматичної локомотивної сигналізації. Електродвигун може харчуватися від джерела зі змінною напругою 110 В частотою 50 і 75 Гц. При частоті 50 Гц в електричну схему двигуна включають конденсатор ємністю 6 мкФ (мал. 193, а), при частоті 75 Гц — конденсатор ємністю 2 мкФ (мал. 193, б). Основні характеристики електродвигуна типу АСОМ-48: повна потужність 16,5 В•А; корисна потужність 3,5 Вт; к.п.д. 0,3; частота обертання якоря при частоті 50 Гц 982 об/хв, при частоті 75 Гц — 1473 об/хв.

В однофазну мережу можна включати трифазні асинхронні двигуни (мал. 194).

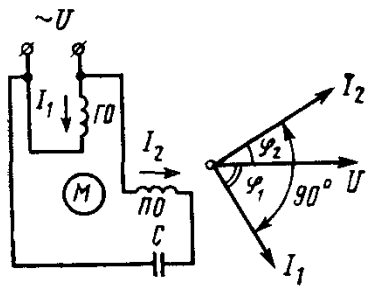


Рис. 192. Схема и векторная диаграмма однофазного асинхронного двигателя с конденсаторным пуском

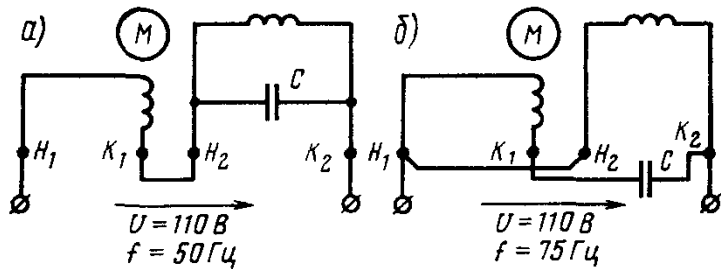


Рис. 193. Схема асинхронного двигателя типа АСОМ-48

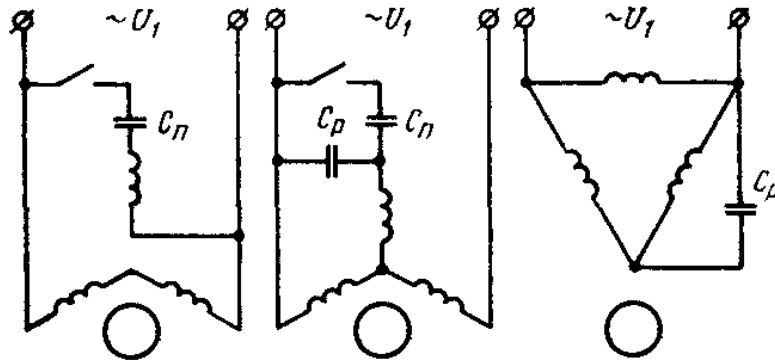


Рис. 194. Схемы вмикання трифазних асинхронних двигунів в однофазну мережу

ЛЕКЦІЯ Трифазні двигуни

Асинхронний двигун, винахідниками якого були Тесла й Доливо-Добровольский,- найпоширеніший тип електричних машин. Простота конструкції, економічність і висока надійність у роботі асинхронних двигунів обумовили їхнє широке застосування в різних галузях промисловості. Ці двигуни виготовляють на різні потужності в межах від декількох ватів до декількох тисяч кіловатів. Особливо велика потреба в трифазних асинхронних двигунах потужністю 0,4 — 100 кВт.

Сердечники статорів і роторів асинхронних машин збирають зі сталевих листів, ізолюваних друг від друга для зменшення втрат на вихрові струми. У пазах статора й ротора розміщують провідники обмоток.

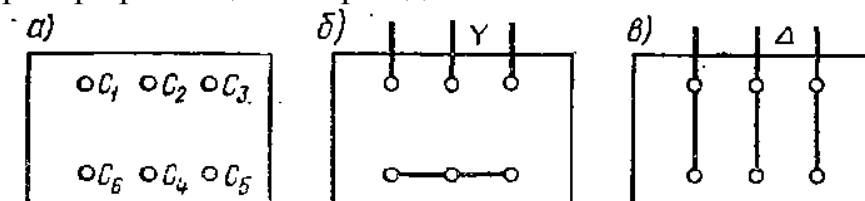


Рис. 17.2. Вывод начал и концов фаз обмотки статоров на щиток (а), расположение перемычек для включения обмотки статора в сеть звездой (б) и треугольником (в)

Статор кріплять у станині, а ротор — на валу машини. Початок C_1 , C_2 , C_3 і кінці C_4 , C_5 , C_6 трифазної обмотки статора виводять на щиток машини й мають

таке розташування (мал. 17.2, *а*), щоб обмотку статора було зручно з'єднати зіркою в (мал. 17.2, *б*) або трикутником Δ (мал. 17.2, *в*).

Це дає можливість кожному машині використовувати в мережах із двома різними напругами (наприклад, при 127 і 220 В або 220 і 380 У и ін.). Тому в паспорті машини й на щитку зазначено два значення напруги мережі, при яких може працювати машина (220/127; 380/220 В и ін.). Для включення в мережу з більшим із зазначених напруг обмотка статора з'єднується зіркою, а меншою напругою — трикутником. У двигунах останніх серій не роблять щитків для затисків, а випускають шість вивідних маркірованих кінців: C_1, C_2, C_3 — початку й C_4, C_5, C_6 — кінці фаз.

В залежності від типу обмотки ротора асинхронні машини можуть бути з короткозамкненим і з фазним ротором.

У цей час асинхронні двигуни виготовляють переважно з короткозамкненим ротором і лише при більших потужностях і в спеціальних випадках використовують фазну обмотку ротора. Обмотку короткозамкненого ротора виготовляють у вигляді білячого колеса зі стрижнів 1, покладених у пази сердечника й замкнених між собою на торцевих сторонах накоротко кільцями 2 (мал. 17.3). Таку обмотку звичайно виготовляють із алюмінію, який у гарячому стані під тиском заливають у пази ротора. Разом зі стрижнями відливають і замикаючі кільця, які постачають крилами для поліпшення вентиляції. На мал. 17.4 показане обладнання асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. У станині машини 1 укріплений сердечник статора 2 з обмоткою 4. Сердечник ротора 3 з обмоткою 5 жорстко закріплені на валу машини.

У двигунів з фазним ротором (з контактними кільцями) у пазах ротора розміщують трифазну ізольовану обмотку, подібну обмотки статора. Фази обмотки ротора з'єднують зіркою, їх початку, підключають до трьох контактних кільць, поміщених на валу машини й ізольованих як від вала, так і між собою. Ці кільця жорстко укріплені на валу й обертаються разом з ним. До кілець через щітки при пуску двигуна або для регулювання частоти обертання приєднують опір (реостат), що дозволяє збільшити повний опір ланцюга обмотки ротора й зменшити пускові струми, збільшуючи пусковий момент.

В асинхронному двигуні робочий процес може протікати тільки при частоті обертання ротора n_2 , не рівній частоті обертання магнітного поля n_1 . Частота обертання ротора може дуже мало відрізнятися від частоти поля, але при роботі двигуна вона буде завжди менше ($n_2 < n_1$). У цьому полягає основна принципова відмінність асинхронних машин від синхронних, - у яких частота обертання ротора завжди дорівнює частоті обертання магнітного поля статора. Робота асинхронного двигуна заснована на принципі електромагнітної індукції. Обертове магнітне поле, порушуване струмами в обмотці статора, перетинає провідники обмотки ротора й індукуює у цій обмотці е.р.с. Якщо обмотка ротора замкнена на який-небудь опір або накоротко, то в ній під дією індукційованих е.р.с. виникнуть змінні струми, взаємодія яких в обмотці ротора з магнітним полем обмотки статора створює обертаючий момент, що приводить ротор в обертання. Напрямок усякого індуктивного струму таке, що він протидіє причині, його, що викликала. Тому струми в проводах обмотки ротора прагнуть затримати обертове поле

статора, але, не маючи можливості зробити це, приводять ротор в обертання так, що він іде за полем статора.

На мал. 17.5 виділена частина окружності ротора, на якій перебуває один провідник його обмотки. Поле статора умовно презентовано північним полюсом N , який переміщається в просторі й навколо ротора за годинниковою стрілкою із частотою n_1 . Отже, полюс N переміщається щодо провідника обмотки ротора ліворуч праворуч, у результаті чого в цьому провіднику наводиться е.р.с., напрямком якої може бути визначено за правилом правої руки й показане на малюнку знаком точки. Якщо обмотка ротора замкнена, то під дією е.р.с. по цій обмотці виникає струм, спрямований в обраному нами провіднику так само, як і е.р.с. У результаті взаємодії струму в провіднику обмотки ротора з магнітним полем виникає сила F , яка переміщає провідник у напрямку, обумовленому за правилом лівої руки. Разом із провідником починає переміщатися й ротор. Якщо силу F помножити на відстань цього провідника від осі ротора (плече додатка сили), то ми одержимо обертаючий момент, що розвивається струмом даного провідника. Тому що на роторі поміщена велика кількість провідників, то сума добутків сил, що діють на кожний із провідників, на відстані цих провідників від осі ротора визначає обертаючий момент, що розвивається двигуном. Під дією обертаючого моменту ротор обертається в напрямку обертання магнітного поля.

Для реверсування двигуна, тобто для зміни напрямку обертання ротора, необхідно змінити напрямок обертання магнітного поля, створеного обмоткою статора. Це досягається в трифазних двигунах зміною чергування фаз обмоток статора, для чого слід поміняти місцями включення двох будь-які із трьох проводів, що підключають машину до мережі. Реверсивні двигуни постачені перемикачами, за допомогою яких можна змінювати чергування фаз обмоток статора, а отже, і напрямок обертання ротора. Незалежно від напрямку обертання ротора його частота n_2 як уже згадувалося, завжди менше частоти магнітного поля статора. Якби ці частоти чому-або виявилися однаковими, то магнітне поле статора не перетинало б провідників обмотки ротора й, отже, у них не виникали б струми, тобто не було б і обертаючого моменту.

ЛЕКЦІЯ

Конструкція й принцип дії синхронних генераторів

Синхронні машини використовують насамперед у якості генераторів. Їх установлюють на електричних станціях для перетворення механічної енергії в електричну.

Синхронний генератор складається з нерухливого статора 2 (мал. 196, а), на яким розміщуються три обмотки ($A - X$, $B - Y$, $3 - Z$) ротора, що й обертається, з полюсами, на яких *перебуває обмотка збудження ОВ*. Постійний струм, що надходить в обмотку збудження, намагнічує ротор, а первинний двигун обертає його із частотою n . При цьому обмотки статора перетинаються магнітним полем і в них індуюється змінні е.р.с, зрушені по фазі на кут 120° . Джерелом постійного струму збудження I_B є збудник невеликий генератор постійного струму, потужність якого становить 2—3% потужності трифазного генератора. Якір генератора постійного струму з'єднаний з валом синхронного генератора й приводиться в обертання загальним первинним двигуном.

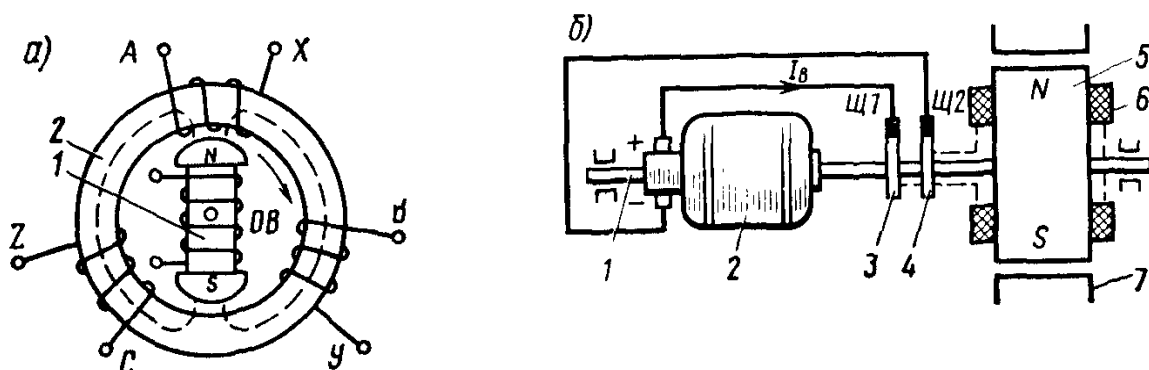


Рис. 196. Синхронний генератор (а) и его вращающаяся часть (б)

При роботі первинного двигуна (мал. 196, б) обертається вал ротора 1 і якір 2. Струм збудження I_B проходить від позитивного полюса збудника через щітку Щ1 і кільце 3, обмотку збудження синхронного генератора 6, кільце 4, щітку Щ2 до негативного полюса збудника.

У деяких синхронних генераторах для створення магнітного потоку використовується самозбудження. У таких генераторах ланцюг збудження підключають до обмоток статора 7 через спеціальний випрямляч. При обертанні ротора 5 в обмотках статора 7 виникає невеликий змінний струм за рахунок залишкової індукції. Цей струм випрямлюється й, надходячи в обмотку збудження, підсилює магнітний потік ротора, а отже, і е.р.с. генератора. Ротор можна обертати паровий або водяною турбіною або двигуном внутрішнього згоряння. Відповідно до цього синхронний генератор називається турбогенератором, гідрогенератором або дизель-генератором.

Частота f вироблюваного струму прямо пропорційна частоті обертання первинного двигуна n і числу пар полюсів ротора: $f = pn/60$. Тому тихохідні генератори, що працюють разом з водяними турбінами, мають велике число явно виражених полюсів. Генератори з неявно вираженими полюсами працюють разом з паровими турбінами і є швидкохідними.

У кожній обмотці статора наводиться е.р.с.

$$E = 4,44f\omega\Phi K,$$

де ω — число витків обмотки;

Φ — магнітний потік ротора;

DO — постійний коефіцієнт обмотки.

Е.р.с. і напруга генератора регулюють реостатом у колі обмотки збудження генератора постійного струму. Якщо збільшити струм збудження цього генератора, то збільшаться його напруга й струм збудження у синхронного генератора, у результаті чого зросте магнітний потік Φ ротора й індукційована е.р.с. E . К.п.д. синхронних генераторів великої потужності досягає 96—97%.

Синхронні генератори застосовують для резервного живлення обладнань залізничної автоматики й телемеханіки. Вони входять у комплект дизель-генераторних агрегатів (ДГА) (рис. 197), які використовують при несправності живильних трансформаторних підстанцій.

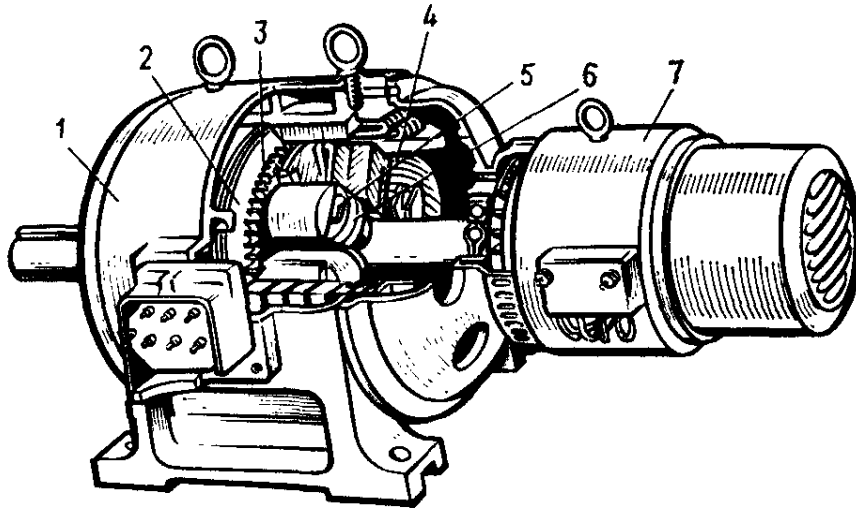


Рис. 197. Трехфазный синхронный генератор (дизель-генератор):

1 — корпус статора; 2 — сердечник статора; 3 — пазы сердечника статора; 4 — трехфазная обмотка статора; 5 — полюс ротора; 6 — катушка обмотки возбуждения; 7 — генератор постоянного тока

При з'єднанні обмоток статора зіркою лінійна напруга таких генераторів 380 В, потужність — 12, 24 або 48 кВ•А.

Дизель-генератори постачені апаратурою системи самозбудження й автоматичного регулювання напруги (мал. 198). Послідовно з навантаженням включені первинні обмотки трансформатора $T1$, а паралельно навантаженню — первинні обмотки трансформатора $T2$. Вторинні обмотки цих трансформаторів з'єднані паралельно й живлять випрямляч В, до якого підключена обмотка збудження $ОВ$ синхронного генератора. Вторинний струм I_i послідовного трансформатора залежить від струму навантаження I , вторинний струм I_u паралельного трансформатора — від напруги навантаження U . Струм на вході випрямляча I_{Σ} дорівнює геометричній сумі струмів I_i і I_u , тобто $I_{\Sigma} = I_i + I_u$. Струм збудження $I_{\Sigma} \sim I_{\Sigma}$ залежить не тільки від струму I і напруги U навантаження, але й від кута зсуву φ між ними. Тому таку схему називають схемою фазового компаундування.

Коефіцієнти трансформації трансформаторів $T1$, $T2$ і індуктивності L включених котушок вибирають так, щоб при будь-якому струмі I і куті φ зберігалася постійним напруга генератора U . Зі зростанням активної або активно-індуктивного навантаження збільшуються струми I_i , I_{Σ} , I_u і е.р.с. E . У результаті автоматично компенсується дія зростаючого спадання напруги на обмотках статора. Самозбудження синхронних генераторів відбувається так само, як і в генераторах постійного струму, за рахунок залишкового магнетизму. Однак внаслідок підвищеного опору випрямляча при малих напругах е.р.с. від залишкового магнетизму недостатня для самозбудження. Тому ухвалюють ряд заходів, що поліпшують процес самозбудження. Для цього паралельно випрямлячу В з боку змінного струму включають резонансний контур, що полягає з конденсаторів.

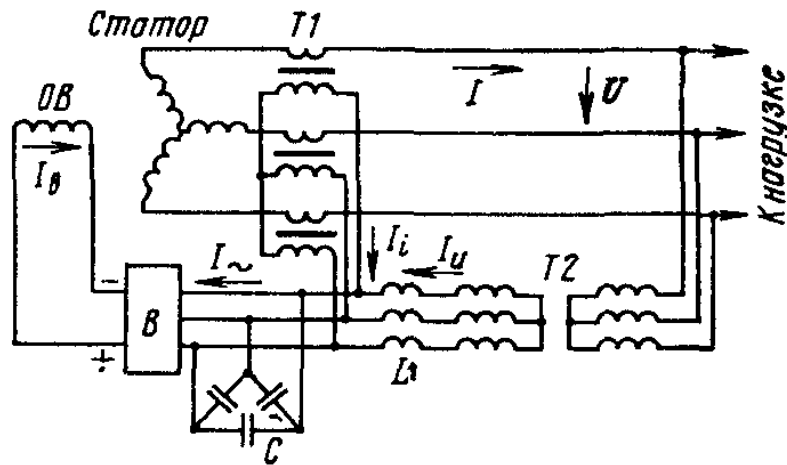


Рис. 198. Схема синхронного генератора з автоматичним регулюванням напруги

Ємність конденсаторів C вибирають такою, щоб під час пуску, коли частота обертання ротора $n < n_H$, настав резонанс напруг, при якому напруга на конденсаторах і на вході випрямляча підвищилася. Завдяки цьому знижується опір випрямляча, відбувається самозбудження. При частоті, що встановився, обертання ротора $n = n_H$ умова резонансу порушується й конденсатори практично не впливають на роботу схеми.

6. ОБЕРТАЮЧІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЛЕКЦІЯ

Будова та призначення обертаючих перетворювачів

Одноякірний перетворювач складається з якоря, що має тільки одну обмотку. У цьому випадку перетворення електричної енергії відбувається без проміжного її перетворення в механічну.

Двигун-генератор складається із двох машин, з'єднаних механічно, але електрично не зв'язаних між собою. Такий агрегат дозволяє перетворити рід струму, його напругу, частоту, число фаз. Якщо агрегат складається з машин змінного й постійного струму, то при роботі першої в якості двигуна, а другий у якості генератора можна перетворювати змінний струм у постійний. При зворотньому використанні машин можна перетворювати постійний струм у змінний. Якщо агрегат складається із двох машин змінного струму, то можна перетворювати частоту, напругу й число фаз змінного струму. Двигун-генератор найчастіше використовують для перетворення змінного струму в постійний. Перевага агрегату - можливість застосування нормальних електричних машин і плавного регулювання перетвореного напруги в широких межах внаслідок, відсутності електричного й магнітного зв'язку між обома машинами. Поряд із цим двигун-генератор має й істотні недоліки: низький к.к.д., дорівнює добутку к.к.д. обох машин; більші розміри й відносно висока вартість.

Для цілого ряду електротехнологічних установок, високошвидкісного привода, різних схем автоматики, схем збудження синхронних машин великої потужності й іншого необхідне джерело змінного струму підвищеної частоти (сотні й десятки тисяч герц). У якості такого джерела використовують перетворювачі частоти. Вони складаються з асинхронного або синхронного двигуна (у пересувних електростанціях застосовується двигун внутрішнього згоряння) і синхронного генератора підвищеної частоти нормальної або спеціальної конструкції.

Тому що частота $f = pn/60$, то для її підвищення необхідно збільшувати або частоту обертання n , або число полюсів $2p$. Межа збільшення частоти обертання визначається припустимими механічними напругами вузлів ротора, і для існуючих матеріалів лінійна швидкість не повинна перевищувати 150 м/с. Збільшення числа полюсів викликає або збільшення діаметра, що обмежується припустимою частотою ротора, або зменшення полюсного розподілу. При дуже малих полюсних розподілах укладання обмотки збудження досить утруднена, синхронні генератори нормальної конструкції випускають на частоту до 400 Гц. Для частот вище 400 Гц нормальна конструкція стає неприйнятною, і тут знаходять застосування генератори з постійними магнітами й генератори індукторного типу, що не мають обмотки на роторі.

Одноякірний перетворювач

Обладнання й принцип дії. Одноякірний перетворювач (мал. 38.1) являє собою конструктивне об'єднання машини постійного струму й синхронної й відрізняється від машини постійного струму наявністю контактних кілець 7, насаджених на вал якоря 2 з боку, протилежної колектору 3.

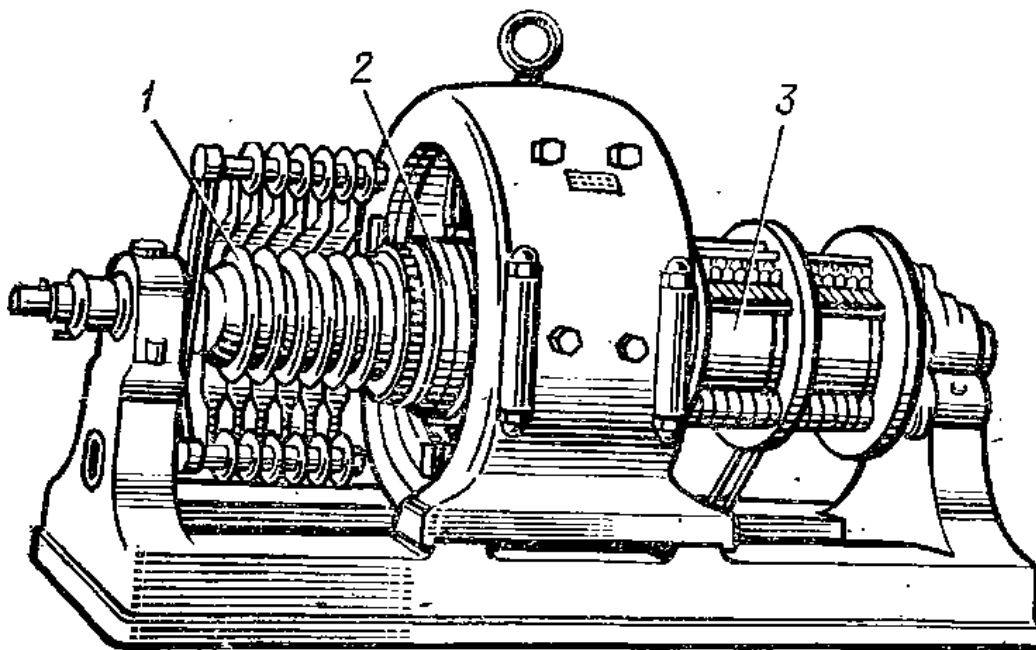


Рис. 38.1. Одноякірний перетворювач

На рис. 38.2 показана схема двополюсного трифазного перетворювача, у якого напруга на щітках + і – дорівнює напрузі постійного струму U_d , а напруга на контактних кільцях до дорівнює напрузі змінного струму U . Число контактних кілець m' у багатофазних системах дорівнює числу фаз m ; для однофазної системи

$m=1$ $m'=2$. Число пар паралельних галузей обмотки a , і до кожного кільця приєднують a рівнопотенціальних точок, тобто кільця є свого роду зрівнювальними з'єднаннями першого роду для обмотки постійного струму, яка звичайно виконується петлевою, і тільки для невеликих потужностей її виконують, хвильовий. Обмотки якоря приєднують до контактних кілець і до колектора. Для поліпшення комутації однакірні перетворювачі постачені додатковими полюсами.

Якщо при збуджених полюсах привести в обертання стороннім двигуном якір перетворювача, то в обмотці якоря буде наводитися змінна е.р.с., яку можна зняти з контактних кілець, а на щітках, розташованих на колекторі, — постійна е.р.с., як у машинах постійного струму. Таку машину називають *генератором подвійного струму*.

Якщо до контактних кілець підвести змінний струм, то машина з боку змінного струму буде працювати двигуном, а з боку постійного струму — генератором. У цьому випадку буде відбуватися процес перетворення енергії змінного струму в енергію постійного струму в одному якорі.

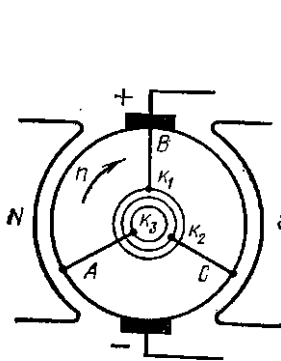


Рис. 38.2. Принципиальная схема двухполюсного трехфазного одноякорного преобразователя

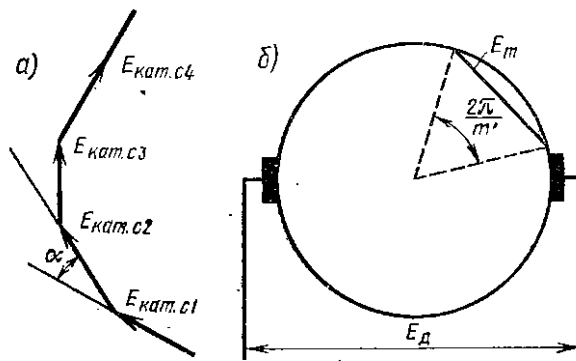


Рис. 38.3. Определение фазной э. д. с:
а — расположение векторов э. д. с. катушечных сторон;
б — образование замкнутого многоугольника из векторов э. д. с. катушечных сторон в пределе, переходящего в окружность

Якщо до щіток однакірного перетворювача підвести постійний струм, тоді машина з боку колектора буде працювати двигуном, а з боку кілець — генератором змінного струму.

Пуск перетворювача можливий з боку постійного й змінного струму. При пуску з боку постійного струму (при наявності джерела живлення) якір перетворювача розганяє до синхронної частоти й включається в мережу змінного струму, попередньо відключивши живлення з боку постійного струму.

Пуск із боку змінного струму проводиться одним з відомих способів; найчастіше застосовується асинхронний пуск синхронного двигуна.

Регулювання напруг. Так як співвідношення між постійної й змінної е.р.с. однакірного перетворювача є величиною постійною, то регулювання перетвореної напруги зміна струму збудження при постійній величині преутвореної напруги неможливо. Допустимо, що постійний струм перетвориться в змінний, тоді для наявного двигуна паралельного збудження індукційована е.р.с. $E = cn\Phi$. При зміні струму збудження I_e частота обертання n «магнітний потік Φ » міняється так, що їх добуток залишається **постійним**, тому залишиться практично постійною е.р.с. E_d , і разом з тим і э.д.с. E . Якщо перетвориться змінний струм у

постійний, то зміна I_e викликає зміну реактивного струму (див. U-образні криві, мал. 31.11), який виявляє, що розмагнічує або намагнічує дія, зберігаючи результуючий потік Φ практично незмінним при заданому U. Картина докорінно зміниться, якщо між мережею й контактними кільцями перетворювача ввімкнути котушку індуктивності, опір якої $2k_{ат}Y_{кат}$.- Якщо фазна напруга мережі C_c , а фазна напруга на контактних кільцях $\mathcal{E}_7$, те (мал. 38.6). Змінюючи величину струму збудження $I_{в}$, змінюємо фазу струму I , наприклад, від $\angle p^7$ для струму I' до ϕ'' для струму I'' і разом з тим спадання напруги на котушці від $jI'x_{кат}$ до $jI''x_{кат}$. Внаслідок цього напруга на контактних кільцях зміниться від Z до V'' і відповідно зміниться перетворена напруга. Цим методом можна регулювати напруга в межах $\pm 10\%$ від номінального. У некото- рых випадках ці межі можна збільшити до $\pm 15\%$ при значнім зменшенні $\cos \phi$ і потужності перетворювача. Напруга на кільцях можна також регулювати за допомогою регулювального трансформатора або індукційного регулятора, або*комбінацією зазначених елементів.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

Базова

1. Герман Л.А., Векслер М.И., Шелом И.А., Устройства и линии электроснабжения автоблокировки. Транспорт. 1987.-192 с. [Л.1]
2. Михайлов А.Ф., Частоедов Л.А. „Электроснабжение устройств автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта ”, Транспорт, 1981- 383 с. [Л.2]
3. Асс Э.Е., Гончаров А.Я., Справочник. Строительство устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, Транспорт, 1979 – 446 с. [Л.3]
4. Прохорский А.А. «Тяговые и трансформаторные подстанции: Учебник для техникумов ж. – д. трансп. – М.: Транспорт, 1983. – 469 с. [Л.4].
5. Китаев В.Е., Корхов Ю.М., Свирин В.К. «Электрические машины» Часть I -М., Высшая школа, 1978. - 185 с. [Л.5]. Китаев В.Е., Корхов Ю.М., Свирин В.К. «Электрические машины» Часть II –М., Высшая школа, 1978. – 184 с. [Л.5].
6. Буряк В.М., Навчальний посібник. Експлуатація електрообладнання системи електропостачання. Харків: Тимченко А.М., 2008.-491 с. [Л.6].
7. Асс Э.Е. Маслов Г.П., «Монтаж устройств автоматики и телемеханики на железнодорожном транспорте», -М; Транспорт, 1991.-336 с. [Л.7]

Допоміжна

1. Правила безпечної експлуатації пристроїв автоматики, телемеханіки та зв'язку на залізницях України. Міністерство транспорту України. Київ. 2004-156 с.
2. Правила технічної експлуатації залізниць України. 2003 – 133с.
3. Электропитание устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи; Учебник для вузов, ж.-д. транспорта /Вл.В.Сапожников,

Н.П.Ковалев, В.А.Кононов, А.М.Костроминов, Б.С.Сергеев –М: Маршрут, 2005-453с.

4 Журнал «Автоматика, связь, информатика» Москва.

15. Інформаційні ресурси

1 <http://www.scbist.ua>

2 <http://www.jd-enciklopedia.ru>

3 <http://www.twirpx.com>

4 <https://docs.google.com>

5 <http://new-scb.narod.ru>

6 <http://elibrary.ru>