

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ
АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

ДУБИНЕЦЬ Л. В., КЕДРЯ М. М., МАРЕНИЧ О. Л.

Вступ до спеціальності
«Електромеханічні системи автома-
тизації та електропривод»

2013

Вступ до спеціальності Електромеханічні системи автоматизації та електропривод.

Дубинець Л. В., Кедря М. М., Маренич О. Л. – Дніпропетровськ: Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, 2013, 119 с.

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів
(гриф № 1/11 – 16271 від 28.10.2013 р.)*

Розглянуті основні поняття та визначення спеціальності «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод», а також сумісних галузей науки та техніки.

Навчальний посібник для студентів спеціальності «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод». Посібник написано згідно з навчальним планом підготовки бакалавра з напрямку «Електромеханіка» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Може бути корисним для студентів інших ВНЗ III і IV рівнів акредитації, які навчаються за вказаною спеціальністю.

Ил. 33 Бібліогр: назв 4

ПЕРЕДМОВА

Науково-технічний прогрес обумовлює необхідність постійного вдосконалення та оновлення фахівцем своїх знань. Тому вміння самостійно отримувати знання повинно виховуватися у молодого фахівця ще в період його навчання у навчальному закладі.

Молоді люди, які тільки прийшли до університету, у більшості випадків не можуть правильно оцінити загальний рівень розвитку обраної ними галузі науки та техніки. Тому навчальний посібник, який пропонується, повинен допомогти майбутньому фахівцю побачити зв'язок різних галузей науки та техніки, які мають відношення до обраної спеціальності, діалектику розвитку та становлення обраної спеціальності.

Діяльність фахівця багатогранна, також різноманітні й вимоги, які до нього пред'являються.

Фахівець повинен володіти науковою та технічною підготовкою, яка дозволить вирішувати конкретні технічні завдання, застосовувати у своїй діяльності останні досягнення науки.

Основна умова успіху в навчанні – особиста в ній зацікавленість. Таким чином, розвиток розумових здібностей студента залежить не тільки від якості викладання, скільки від рішимості та цілеспрямованості самого студента.

Ось чому важливо у процесі навчання не втрачати віру у свої творчі можливості і не задовольнятися мінімальними результатами.

Мета посібника – допомогти студентам зорієнтуватися у своїй майбутній спеціальності, дати рекомендації по організації навчання в університеті.

ВСТУП

Історія вивчення та освоєння електрики розтягнулася на тисячі років і не закінчилась ще й сьогодні. Відомо, що ще за тисячу років до нашої ери у південно-східній Азії використовувались природні магніти для виготовлення компасу, а в руїнах стародавнього Вавилону були знайдені залишки пристрою, який, мабуть, був першою акумуляторною батареєю.

Перший історичний запис, що відноситься до електрики, веде нас у шосте сторіччя до н.е., коли Фалес із Мілета отримав статичну електрику, натираючи янтар сухою тканиною.

Але пройшло більше двох тисяч років до побудови першої електростатичної машини – генератор О. Геріке (у 1640 р.). Англієць У. Гільберт (1553–1603) займався вивченням електрики та магнітизму. Його дослідження властивостей магнітної стрілки привели до правильного висновку, що Земля являє собою магніт. Він відкрив також властивість сталі ставати магнітом під впливом магнетизму землі. Гільберту ми зобов'язані і словом «електрика», яке він прийняв від грецької назви янтаря. Гільберт встановив досить багато речовин, крім янтаря, які мають властивість електризуватися (скло, сірка, солома). Використовуючи ці речовини, О. Геріке винайшов апарат, при допомозі якого міг отримувати електрику більш простіше і вбільшій кількості, ніж Гільберт. Його машина являла собою шар із сірки, закріпленій на залізній вісі, який приводився у рух нескладним механізмом. Багаточисельні досліди О. Геріке значно сприяли встановленню суті електрики : він встановив закони при тяжіння та відштовхування у найпростішому вигляді і перший спостерігав витік енергії та електричну іскру.

С. Грей (1670 – 1736) вказав, що провідність електрики залежить від матеріала провідника. Він установив, що різні тіла, як, наприклад, волосся, смола, скло зберігають тривалий час надану їм електрику. Його досліди дозволили у майбутньому П. Мушенбруку створити лейденську банку, яка накопичувала електрику й була по суті першим конденсатором.

На початку другої половини XVIII сторіччя з'явився фізик, який не тільки пояснив дію електростатичної машини, а й навчив людей рятуватись від удару блискавки своїми відомими дослідженнями в галузі атмосферної електрики. Це був відомий американський вчений та

державний діяч Б. Франклін (1706 – 1790), який зробив суттєвий крок уперед в теорії електричних явищ. «Плюс», «мінус», батарея», «конденсатор», «провідник», «заряд», «розряд», «обмотка» – це пристрої і явища, яким Франклін першим дав назву.

Великий російський вчений М. В. Ломоносов (1711 – 1765) займався дослідженням атмосферної електрики. Він не тільки вказав на єдність грозових та електричних явищ, але й теоретично пояснив явище електризування і грозових хмар. Разом з Г. В. Ріхманом (1711 – 1753) він провів дослідження по вивченню блискавки.

В 1785 р. французький фізик Ш. Кулон (1736 – 1806) встановив закон електростатичних та магнітних взаємодій – перший з найважливіших законів електротехніки.

В 1791 р. італієць Л. Гальвані (1737 – 1798) встановив наявність тваринної електрики.

Італіанський фізик і фізіолог А. Вольта (1745 – 1827) при подальших дослідженнях встановив зовсім нове явище – виникнення електричного струму під дією різнорідних металів. Практичним наслідком його наукових досліджень був вольтов стовп – перше хімічне джерело струму. Це був високий стовп пластинок, які лежали одна на одній таким чином, що дві пластини із різних металів (одна мідна, друга цинкова) розділялися суконною прокладкою, просоченою розчином мідного купоросу. При з'єднанні обох кінців стовпа дротом по ній протікав електричний струм.

За допомогою створеною російським академіком В. В. Петровим (1761 – 1834) потужної для того часу гальванічної батареї їм у 1802 р. відкрито явище електричної дуги.

В 1820 р. датський фізик Х. Ерстед (1777 – 1851) відкрив магнітну дію електричного струму. Але сам Х. Ерстед не дав повного пояснення виявленій взаємодії провідника із струмом і магнітної стрілки. Ясно і глибоко розкрив сенс дослідів Х. Ерстеда французький вчений А. Ампер (1775 – 1836). Він довів, що електричний струм не тільки впливає на положення магнітної стрілки, а й самі струми взаємодіють. А. Ампер встановив закон (і вивів точні математичні формули) взаємодії односпрямованих і протилежно спрямованих струмів, а також створив перші електромагніти, які склалися з осердя із м'якого заліза, на яке намотувалась спіраль із проволочи, по якій проходив струм.

Загальні закономірності, яким підкоряється електричний струм, вивчили і дослідили два німецьких фізика Г. Ом (1787 – 1854) і Г. Кіргоф (1824 – 1887).

До 1843 р. англійським фізиком Д. Джоулем (1818 – 1889) і російським вченим Е. Х. Ленцем (1804 – 1865) був встановлений закон теплової дії електричного струму. Цей закон кількісно зв'язав електричні та теплові явища.

Величезний внесок у розвиток науки про електрику та магнетизм вніс англійський фізик М. Фарадей (1791 – 1867). М. Фарадей відкрив електромагнітну індукцію, яка стала основою електротехніки. Він установив усі основні випадки збудження індукційних струмів, і простір, який приймає участь у передачі електричної дії, назвав полем, у своїх думках побачив силові лінії – потоки електричних і магнітних сил, що пронизують простір. У першій же серії дослідів М. Фарадей отримав неперервний постійний струм при обертанні металевого диску між кінцями сильного електромагніту.

М. Фарадей побудував перший електричний двигун, використовуючи обертання провідника з струмом у постійному магнітному полі. Таким чином була доведена зворотність електромагнітного перетворення. У 1882 р. М. Фарадей побудував першу машину змінного струму.

Математично розробив і узагальнив принципи електродинаміки англійський вчений Дж. Максвел (1831 – 1879). Він показав, що усе відоме тоді про світло та електромагнітні явища можна викласти з допомогою системи диференціальних рівнянь у приватних похідних, куди електричні і магнітні поля входять як залежні змінні. Аналізуючи свої рівняння Дж. Максвел встановив, що збуджувальні електричні та магнітні поля розповсюджуються у просторі не миттєво, а з деякою швидкістю, яка залежить від властивостей середовища. Ця швидкість у повітрі виявилась рівною швидкості світла. Праці Дж. Максвела дозволили йому заявити, що світло – це електромагнітні хвилі.

Майже одночасно відкрили явище обертального магнітного поля Г. Феррарж (1885 р.) та Н. Тесла (1888 р.). Російський інженер М. О. Доліво-Добровольський (1862 – 1919) відкрив трифазний струм і побудував простий і надійний двигун з короткозамкненим ротором. Разом з відкриттям трансформатора це викликало революційне перетворення в промисловості, так як забезпечило можливість застосу-

вання електричного привода різних приводів і передачу електроенергії трифазним струмом.

Двадцяте сторіччя ознаменувалося новими відкриттями і винаходами в галузі застосування електрики. Вдалося збільшити потужність електротехнічних пристроїв при незмінному їх об'ємі за рахунок застосування нових матеріалів й більш досконалих конструкцій.

Вирішальний вплив на розвиток електротехніки здійснив бурхливий розвиток електроніки.

Перші промислові зразки транзисторів з'явилися у 1949 – 1950 р.р., а вже у 1955 – 1960 р.р. широке застосування в електротехніці отримали потужні кремнієві транзистори та силові діоди. В останні роки отримали стрімкий розвиток інтегральні схеми і мікропроцесори.

Широке застосування досягнень електроніки явилось основою розробки та промислового застосування принципово нових електротехнічних пристроїв та забезпечило гнучкість і здібність керування класичними машинами постійного та змінного струму, зокрема, на основі потужних напівпровідникових статичних перетворювачів.

Електротехніка – галузь науки і техніки, зв'язана із застосуванням електричних та магнітних явищ, безперервно і стрімко розвивається. Так, в лінійних прискорювачах синхротронах (прискорювачі електронів з орбітою певного радіусу, зростаючим у часі магнітним полем, яке визначає цей радіус, і сталою частотою прискорюючого електричного поля), бетатронах (циклічні прискорювачі електронів, в яких електрони прискорюються вихровим електричним полем, створеним змінним магнітним полем), які широко застосовуються для дослідження явищ в ядерній фізиці, магнітні поля відіграють першу роль. Чим більшу енергію частот потрібно отримати, тим більше потрібно збільшити радіус їх траєкторії, що здійснюється збільшенням напруженості магнітного поля.

До теперішнього часу класичні електромагніти створювали поле з індукцією не більше 2 Тл. Застосування зверхпровідників дозволило по крайній мірі у тричі збільшити інтенсивність магнітного поля.

Керована термоядерна реакція – дуже складна наукова і технічна проблема, з вирішенням якої зв'язана надія людства на практично безмежне виробництво енергії. Найбільш важливою задачею вирішення цієї проблеми є те, що для запалювання термоядерної реакції, яка сама себе підтримує, потрібно розігріти плазму до $(8...10) 10^7$ °C і

стримувати її з допомогою магнітного поля від дотикання із стінками камери протягом декількох секунд.

Перспективним напрямком розвитку електродинаміки є вирішення задачі прямого (без проміжних етапів) перетворення різних видів енергії в електричну. Один із таких напрямків – розвиток магнітогідродинамічного (МГД) перетворення теплоти в електрику. В МГД – генераторах розжарений іонізований газ прискорюється через камеру із сильним магнітним полем, яке взаємодіє з рухомими від’ємно і позитивно зарядженими частинами іонізованого газу і розділяє їх, відхиляючи до електродів – колекторів, які розташовані в камері. Відбувається пряме перетворення теплової енергії в електричну. Пряме перетворення енергії сонячних променів в електрику відбувається у сонячних батареях. Їх принцип дії засновано на явищі створення різниці потенціалів при освітленні деяких напівпровідникових матеріалів.

Взаємодіючи з багатьма галузями знань науки, електродинаміка бурхливо розвивається. Але, не дивлячись на свою фундаментальність, вона ще далека до завершення.

І на останнє наведемо тлумачення поняття електродинаміки класичної.

Електродинаміка класична – теорія електромагнітних процесів у різних середовищах та у вакуумі. Охоплює величезну сукупність явищ, в яких основну роль відіграють взаємодії між зарядженими частками, що здійснюються за допомогою електромагнітного поля. Усі електромагнітні явища можна описати за допомогою рівнянь Максвелла, які встановлюють зв’язок величин, які характеризують електричні та магнітні поля, з розподіленням у просторі зарядів і струмів. Зміст чотирьох рівнянь Максвелла для електромагнітного поля якісно зводиться до наступного : 1) магнітне поле створюється зарядами, які рухаються, та змінним електричним полем (струмом зміщення); 2) електричне поле із замкненими силовими лініями (вихрове поле) створюється змінним магнітним полем; 3) силові лінії магнітного поля завжди замкнені (це означає, що воно не має джерел – магнітних зарядів, потрібних електричним); 4) електричне поле з незамкненими силовими лініями (потенціальне поле) створюється електричними зарядами – джерелами цього поля.

Із теорії Максвелла витікає скінченність швидкості розповсюдження електромагнітних взаємодій та існування електромагнітних хвиль.

Основні визначення

Електромеханіка – наука про перетворення різних видів енергії (в основному механічної) у електричну і навпаки. Електропривод – сукупність засобів для перетворення електричної енергії в механічну. Основні складові частини електропривода: електричні машини, електричні апарати (включаючи електронні), системи керування, передавальні пристрої (редуктори, муфти та ін.).

Згадаємо деякі визначення та поняття, знайомі вам з курсу фізики, які широко застосовуються у електромеханіці.

У природі існує єдине електромагнітне поле. Магнітне поле виникає при протіканні електричного струму. Електричний струм – це рух електричних зарядів, який обумовлено наявністю електричного поля. Розглядаючи тільки магнітне, або тільки електричне поля, ми умовно нехтуємо іншим.

Магнітне поле – це особливий вид матерії, який проявляється у впливі з визначеною силою на магніти, провідники з струмом та у інших явищах.

Північним називають полюс магніту, який обертається до північного полюсу землі, графічно магнітне поле зображають за допомогою магнітних ліній, які у зовнішньому просторі мають напрямок від північного полюсу до південного. Уздовж цих ліній встановлюються магнітні стрілки. Усередині магніту магнітні лінії переходять від південного полюсу до північного.

Відокремити північний полюс від південного неможливо. У результаті розділу ми завжди отримаємо магніт з двома полюсами.

На відміну від електричного магнітне поле не має потенціалу, воно є вихровим полем, полем без джерел.

Тільки умовно визначають різницю магнітних потенціалів – магніторушійну силу (МРС).

Сукупність магнітних ліній, які пронизують дану поверхню, називають магнітним потоком через цю поверхню.

Векторна величина, яка чисельно дорівнює густині магнітних ліній у даній точці поля і направлена уздовж ліній поля, називається магнітною індукцією.

Напруженість магнітного поля – це МРС., розрахована на одиницю довжини магнітної лінії.

Закон повного струму визначає взаємну обумовленість і кількісний зв'язок між явищами протікання струму і виникненням магнітного поля: інтеграл по будь-якому замкненому контурі від добутку складової напруженості H магнітного поля в напрямку \overline{dl} на dl чисельно дорівнює повному струму, який охоплюється цим струмом.

$$\oint H \cdot dl = H_1 \cdot l_1 + H_2 \cdot l_2 + \dots + H_n \cdot l_n = \Sigma_i.$$

Закон електромагнітної сили (закон Ампера) визначає електромагнітну силу, яка діє на провідник із струмом розміщений у магнітному полі: якщо провідник l зі струмом i помістити в магнітне поле, то на цей провідник діє електромагнітна сила $f_{em} = Bli \sin \varphi$, де кут φ – кут між провідником та лініями магнітної індукції B . В електричних машинах, як правило, провідник перетинається з лініями магнітного поля під кутом $\varphi = 90^\circ$. Тоді $f_{em} = Bli$.

Закон електромагнітної індукції визначає електрорушійну силу (ЕРС), яка індукується в електричних колах при зміні магнітного потоку, зв'язаного з ними: при будь-якій зміні магнітного потоку Φ , який пронизує провідний контур, у цьому контурі наводиться (індукується) електрорушійна сила E , пропорційна швидкості зміни Φ у часі.

$$e \sim \frac{d\Phi}{dt}.$$

Закон Ленца: ЕРС, індукована в контурі відповідно до закону електромагнітної індукції, завжди має такий порядок, що створений нею струм перешкоджає зміні потоку Φ , під впливом якого ця ЕРС виникла.

Напрямок індукованої в провіднику ЕРС визначається за правилом правої руки: долоню правої руки розташовують у магнітному полі так, щоб лінії поля були напрямлені в долоню, а великий палець, відігнутий в площині долоні на 90° , розташовують у напрямку руху

провідника; тоді інші пальці руки, витягнуті в площині долоні, покажуть напрямок індукованої в провіднику ЕРС.

Напрямок дії електромагнітної сили визначається за правилом лівої руки : долоню лівої руки розташовують у магнітному полі так, щоб лінії поля були напрямлені в долоню, а чотири пальці, витягнуті в площині долоні, розташовують у напрямку струму в провіднику; тоді великий палець, відігнутий у площині долоні на 90° , покаже напрямок електромагнітної сили, яка діє на провідник.

Правило правого гвинта : якщо гвинт з правою нарізкою вгвинчувати у напрямку струму, то обертання гвинта відповідає напрямку магнітних ліній, які оточують провідник із струмом.

Стосовно котушки це правило формулюється так : якщо головку гвинта обертати у напрямку струму у витках котушки, то напрямок переміщення гвинта покаже напрямок магнітних силових ліній у середині котушки.

Самоіндукція – явище індукування ЕРС у колі при зміні струму у ньому.

Взаємоіндукція – явище індукування ЕРС у колах при зміні струму у інших колах, які магнітно-зв'язані з розглядаємими колами.

Електрична машина (ЕМ) – це машина, дія якої ґрунтується на використанні явища електромагнітної індукції і яка призначена для перетворення механічної енергії в електричну, або електричної енергії в механічну, або електричної енергії в електричну іншого роду струму, іншої напруги, іншої частоти.

Електричний генератор – ЕМ, призначена для перетворення механічної енергії в електричну.

Електричний двигун – ЕМ, призначена для перетворення електричної в механічну.

Електромашинний перетворювач – ЕМ, призначена для перетворення електричної енергії електричну іншого роду струму, іншої напруги, іншої частоти.

Трансформатор – статичний електромагнітний пристрій, маючий дві або більшу кількість індуктивно-зв'язаних обмоток і призначений для перетворення шляхом електромагнітної індукції однієї або декількох систем змінного струму в одну або декілька інших систем змінного струму. Відмітимо, що трансформатор не машина, так як він не має частин, які рухаються, але ЕМ та трансформатори єднає те, що їх дія ґрунтується на використанні закону електромагнітної індукції.

Статор – нерухома частина ЕМ.

Ротор – частина ЕМ, яка обертається.

Номінальний режим роботи ЕМ – це режим при якому машина призначена працювати заводом –виробником, і який характеризується номінальними напругою, струмом, швидкістю і т.д. Основні номінальні параметри вказують у паспорті (металева дощечка на остові машини).

По призначенню електричні машини (ЕМ) можна розділити на три види: генератори, двигуни, перетворювачі.

У всіх ЕМ використовуються явища електромагнітної індукції та електромагнітної взаємодії. Тому у кожній ЕМ повинні бути індуктор (частина, утворююча магнітний потік) та якір (частина в якій наводиться ЕРС при перетинанні обмотки якоря з лініями магнітного потоку).

1.1. Схема найпростішого електромеханічного перетворювача

Розглянемо основні процеси в ЕМ. Для цього застосовуємо найпростішу схему електромеханічного перетворювача (рис. 1).

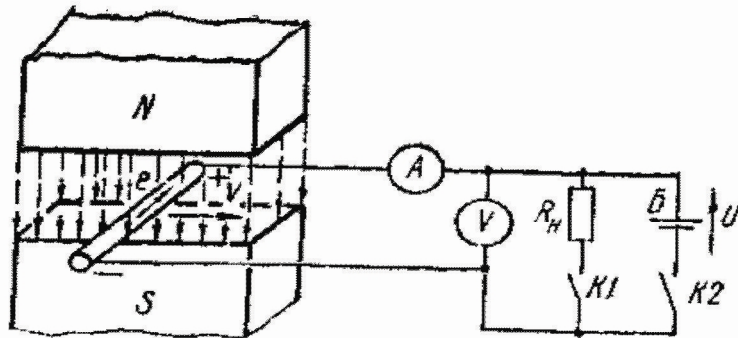


Рис. 1. Найпростіша схема електромеханічного перетворення

Якщо контакти К1 та К2 розімкнуті і провідник перетинає лінії магнітного поля із швидкістю V , то у ньому наводиться ЕРС (закон Фарадея)

$$e = BlV \quad (1)$$

пропорційна індукції B , довжині провідника l у магнітному полі (активна частина провідника) та швидкості взаємного перетинання поля і провідника V .

Під впливом цієї ЕРС у замкнутому контурі виникає струм. По закону Ленца цей струм завжди має такий напрямок, при якому виникаюча електромагнітна сила – сила Ампера намагається перешкодити тій зміні (руху), завдяки якому індукується ЕРС. Напрямок ЕРС, який вказано на рис.1, визначено по правилу правої руки.

1.2. Електромеханічний перетворювач у режимі генератора.

Якщо контакт К1 замкнений, а К2 розімкнутий, то маємо генераторний режим; при К2 замкнутому і розімкнутому К1 – режим двигуна. У генераторному режимі у колі протікає струм:

$$i = \frac{e}{R_H + (r_y + r_3)}, \quad (2)$$

де $(r_y + r_3)$ – опір активної частини провідника якоря та з'єднуючих провідників;

R_H – опір навантаження.

При цьому напруга на навантаженні, вимірювана вольтметром V :

$$u = iR_H = e \frac{R_H}{R_H + (r_y + r_3)} = e - i(r_y + r_3). \quad (3)$$

Із виразу (3) витікає: при збільшенні струму навантаження напруга зменшується у межах від $u=e$ при неробочому ході ($i=0$) до $u=0$ при короткому замиканні ($R_H=0$).

При проходженні струму по провіднику виникає електромагнітна сила взаємодії з магнітним полем (сила Ампера)

$$F_{\text{ем}} = Bli . \quad (4)$$

Напрямок сили $F_{\text{ем}}$ знаходять по правилу лівої руки. У нашому випадку (рис. 1) сила $F_{\text{ем}}$ направлена справа наліво, а зовнішня механічна сила, яка рухає провідник зліва направо.

Для забезпечення рівномірного руху потрібна первинна зовнішня механічна сила F_1 , така, щоб вона, переборола електромагнітну силу $F_{\text{ем}}$ та сили тертя $F_{\text{тр}}$, тобто $F_1 = F_{\text{ем}} + F_{\text{тр}}$ (5)

Помножимо обидві частини рівняння (5) на швидкість V , отримаємо рівняння потужностей :

$$F_1 \cdot V = F_{\text{ем}} V + F_{\text{тр}} V , \quad (6)$$

де $F_1 V = P_1$ – первинна механічна потужність;

$F_{\text{ем}} V = BliV = ei = P_{\text{ем}}$ – електромагнітна потужність, створювана в установці за рахунок електромагнітної взаємодії;

$F_{\text{тр}} V = p_0$ – потужність втрат неробочого ходу (тобто при відсутності навантаження), це в основному механічні втрати.

Корисна потужність P_2 у генераторному режимі виділяється на опорі навантаження R_H і дорівнює

$$P_2 = ui = ei - i^2(r_{\text{я}} + r_3) = P_{\text{ем}} - p_{\text{м}} , \quad (7)$$

де $p_{\text{м}}$ – частина виробленої електромагнітної потужності, яка витрачається на внутрішньому опорі самого генератора $r_{\text{я}}$ та на опорі з'єднувальних провідників r_3 .

Величину $p_{\text{м}}$ прийнято називати електричними втратами. Коефіцієнт корисної дії (ККД) установки

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma p} = \frac{ui}{ui + \Sigma p} , \quad (8)$$

де $\Sigma p = p_0 + p_{\text{м}}$ — сумарні втрати потужності при перетворенні енергії.

Основними характеристиками генераторів є залежність напруги від струму навантаження $u=f(i_H)$, яка називається зовнішньою харак-

теристикою машини, і залежність ККД від потужності навантаження $\eta=f(P_2)$.

1.3 Електромеханічний перетворювач у режимі двигуна.

Розглянемо тепер роботу електромеханічного перетворювача у режимі двигуна. При підключенні установки до джерела електроенергії контактом К2 напрямок струму в активному провіднику (обмотці якоря) зміниться на протилежний в порівнянні з генераторним режимом. Тому й напрямок електромагнітної сили F_{em} зміниться на протилежний, тобто у режимі двигуна ця сила направлена буде зліва направо (рис. 1). При цьому у провіднику наводиться ЕРС того ж напрямку, що й в генераторному режимі. Ця ЕРС діє проти збурюючої первинної дії, у даному випадку проти напруги джерела живлення (батареї). Тому ЕРС двигуна ще називають проти ЕРС. Для двигуна рівняння електричної рівноваги має вигляд

$$u = e + i(r_y + r_z) . \quad (9)$$

А рівняння механічної рівноваги має вигляд

$$F_{em} = Bil = F_H + F_{тер} , \quad (10)$$

тобто сила електромагнітної взаємодії при рівномірному руці витрачається на переборення внутрішніх сил тертя $F_{тер}$ та сил навантаження (на валу двигуна) F_H .

Домноживши (9) на “ i ”, отримаємо рівняння потужностей

$$ui = P_1 = ei + i^2(r_y + r_z) = P_{em} + p_m . \quad (11)$$

Домноживши (10) на “ V ” отримаємо

$$F_{em}V = P_{em} = F_HV + F_{тер}V , \quad (12)$$

або

$$P_{\text{ем}} = P_2 + p_0, \quad (13)$$

де $P_2 = F_n V$ – корисна механічна потужність, яка розвивається установкою.

p_0 – втрати НХ.

Найбільш важливою характеристикою двигуна є залежність частоти обертання “ n ” від обертаючого моменту “ M ” – $n=f(M)$.

ККД для двигуна

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Sigma p}{P_1} = \frac{ui - \Sigma p}{ui}. \quad (14)$$

Ми розглянули принципові співвідношення у електричній машині на основі схеми електромеханічного перетворювача (рис. 1).

1.4 Основні положення енергоперетворення.

На підставі вищезгаданих законів і принципів дії електричних машин можна сформулювати наступні основні положення енергоперетворення:

- 1) Безпосереднє взаємне перетворення механічної і електричної енергії в індуктивних електричних машинах можливе лише при умові, коли остання є енергією змінного струму.
- 2) Для такого енергоперетворення потрібен електричний контур, індуктивність якого змінюється.
- 3) Для перетворення змінного струму в постійний в електричному колі повинен бути електричний опір, який змінюється (його роль в електричних машинах виконує контакт щітка-колектор, опір якого змінюється від нескінченності, коли щітка не торкається колекторної пластини, до деякого мінімального значення, коли щітка повністю перекриває цю пластину).
- 4) Будь-яка електрична машина енергетично зворотня, тобто принципово може працювати і як генератор, і як двигун.
- 5) Оскільки для проявлення закону електромагнітної індукції необхідно лише відносне перетинання провідника і магнітного

поля, то будь-яка електрична машина кінематично зворотня, тобто у неї може обертатись або якір, або індуктор.

В реальних електричних машинах потрібно враховувати багато факторів, які не враховані в схемі рис. 1. Тому вивчення робочих процесів значно ускладнюється, про що дізнаєтесь при вивченні дисципліни “Електричні машини”.

1.5 Класифікація ЕМ.

Електричні машини сьогодні працюють усюди: у небі, на землі, на морі, у космосі.

Сучасні верстати мають по декілька двигунів, транспортні засоби (електровози, тепловози, трамваї, тролейбуси, вагони метро і т.п.) потребують електричних машин різних видів та призначення.

ЕМ стоять на літаках, судах, на електростанціях, у побутових пристроях та ін..

ЕМ класифікуються по різним ознакам.

По потужності ЕМ умовно ділять на слідуючи групи:

- Мікромашини — до 0,5 кВт;
- Машини малої потужності — 0,5 – 20 кВт;
- Середньої — 20 – 250 кВт;
- Машини великої потужності — більше 250 кВт.

Ці межі між машинами досить умовні.

Суттєвий вплив на конструкцію машини створює робоча частина обертання:

- тихохідні машини з частотою — до 500 об/хв.;
- машини з середньою частотою обертання — до 1500 об/хв.;
- швидкісні — до 3000 об/хв.;

зверх швидкісні, частота обертання яких досягає 150 000 об/хв.

Крім того, ЕМ відрізняються по значенню робочої напруги, яка змінюється у межах від долей вольт до десятків тисяч вольт.

Суттєвий вплив на конструкцію машини справляє також її виконання (відкрите, захищене, закрите, вибухонебезпечне), вид кріплення, система вентиляції та охолодження.

Основні дані ЕМ наводять у паспорті, де вказують тип, рід струму, напругу, потужність, струм, частоту обертання, ККД; для машин

змінного струму – коефіцієнт потужності, іноді розрахунковий режим роботи.

Можливі галузі застосування тих або інших типів ЕМ, крім відповідності вимогам приводного механізму по номінальним даним, визначаються їх робочими характеристиками і економічними показниками.

Принцип дії машини постійного струму (МПС). Застосування МПС, системи їх збудження, основні характеристики.

2.1 Перетворення змінного струму в обмотці якоря генератора постійного струму (ГПС) у постійний у зовнішньому колі.

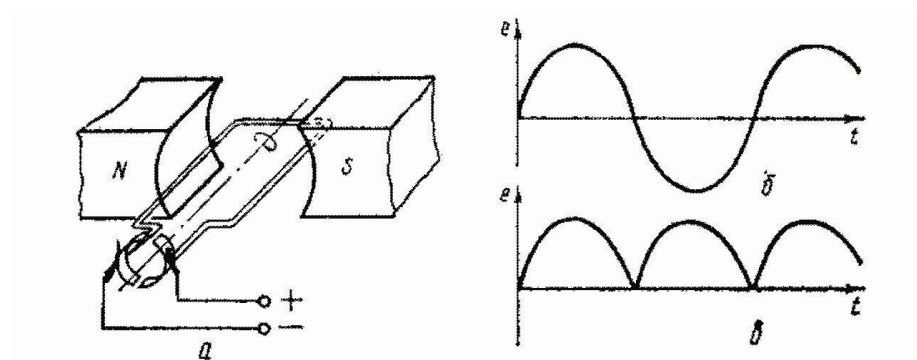


Рис.2 Принцип дії машини постійного струму:

а – будова;

б – крива зміни ЕРС, яка наводиться у витку при його обертанні;

в – крива зміни ЕРС у робочому колі (на щітках).

При обертанні рамки (обмотки) під полюсами, полярність яких чергується (N – S – N – S і т.д.) у її провідниках наводяться змінні ЕРС і протікає змінний струм.

У той же час у зовнішньому колі напруга та струм повинні бути постійними. Тому потрібен перетворювач, включений між зовнішнім колом та якірною обмоткою (рамкою на рис. 2).

Роль такого перетворювача виконує спеціальний пристрій – колектор. На рис. 2а колектор це два на півкільця, по яким ковзають нерухомі щітки. При такій конструкції контактного вузла кожна щітка з'єднана зі стороною витка, яка знаходиться увесь час під полюсом

незмінної полярності (або під північним, або під південним). Тому полярність кожної з щіток не змінюється (увесь час або плюс, або мінус). Відповідно не змінюється і напрямок струму у зовнішньому колі (рис. 2в).

У реальних машинах кількість рамок якоря та кількість колекторних пластин значно більше двох.

У зв'язку з розвитком напівпровідникової техніки з'явилися безколекторні МПС у яких ковзаючий контакт замінений керованим напівпровідниковим перетворювачем.

2.2 Застосування МПС, системи їх збудження. Основні характеристики.

Основна галузь застосування МПС — електроприводи з частими пусками, реверсуваннями, а також з плавним регулюванням швидкості у широкому діапазоні. Основні характеристики МПС визначаються системою збудження. Принципові схеми збудження МПС показані на рис. 3.

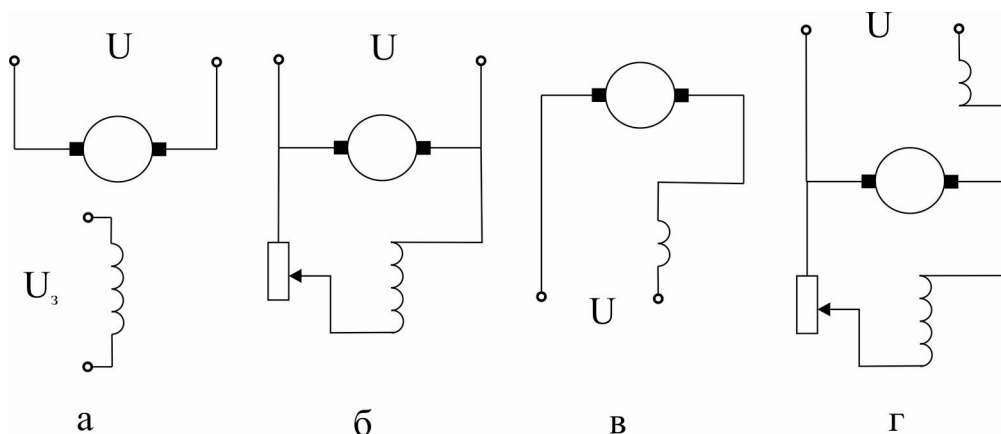


Рис.3 Принципові схеми збудження МПС

Обмотка збудження може підключатися до якірного кола або до стороннього джерела живлення.

На практиці для генераторів постійного струму (ГПС) переважно застосовують незалежне або паралельне (самозбудження) збудження; для двигунів (ДПС) — паралельне або послідовне збудження. Іноді і

для генераторів, і для двигунів застосовують змішане збудження (рис. 3г) — одну обмотку збудження включають паралельно обмотці якоря, а другу — послідовно.

Напруга на затискачах якірної кола генератора

$$U = E - IR_{\text{я}}, \quad (15)$$

де $E = c_e n \Phi$ — ЕРС, яка наводиться у якірній обмотці;

$R_{\text{я}}$ — опір якірної кола;

I — струм навантаження;

Φ — робочий магнітний потік машини;

n — частота обертів;

c_e — конструктивний коефіцієнт, постійний для даної машини.

При незалежному та паралельному збудженнях магнітний потік змінюється мало із зміною навантаження генератора (струму в обмотці якоря).

Так як опір якірної кола відносно малий, то при зміні струму навантаження напруга змінюється мало, і зовнішня характеристика $U=f(I)$ “жорстка” (рис. 4).

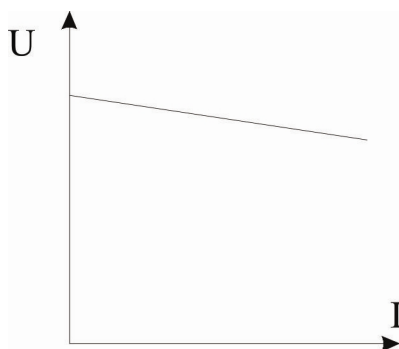


Рис.4 Зовнішня характеристика ГПС з незалежним збудженням

Напругу таких генераторів легко регулювати, змінюючи струм збудження, тим самим змінювати магнітний потік Φ .

Для ДПС

$$U = c_e n \Phi + IR_{\text{я}}. \quad (16)$$

Із рівняння (16)

$$n = \frac{U - I \cdot R_{я}}{c_e \Phi} \quad (17)$$

Електромагнітний момент $M \sim F_{ем} = BII$.

Тобто можна записати $M = k\Phi I$.

Тоді $I = \frac{M}{k\Phi}$, де k — коефіцієнт пропорційності. Останній вираз дає право записати

$$n = \frac{U}{c_e \Phi} - \frac{R_{я}}{c_e \Phi^2 k} \cdot M \quad (17a)$$

При паралельному збудженні магнітний потік мало залежить від навантаження. Тому як витікає з (17) при зміні навантаження обороти змінюються мало (характеристика 1 на рис. 5).

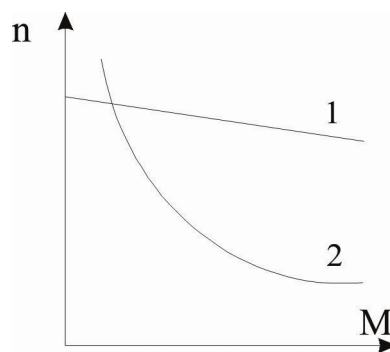


Рис.5 Механічні характеристики ДПС:

- 1 — з паралельним збудженням
- 2 — з послідовним збудженням

Механічна характеристика $n=f(M)$ у цьому випадку “жорстка”. При послідовному збудженні струм якоря є струмом збудження і магнітний потік змінюється із зміною навантаження. У результаті при збільшенні навантаження швидкість двигуна різко падає (характеристика 2 на рис. 5). Така характеристика називається “м’якою”.

Важливою властивістю ДПС послідовного збудження є можливість плавного регулювання частоти обертання у широких межах. Як видно з виразу (17), частоту обертання можна регулювати шляхом зміни живлючої напруги U , магнітного потоку Φ (струму збудження),

опору якірного кола $R_{я}$. Усі ці методи знаходять застосування в практиці електроприводу.

Принцип дії та основні характеристики синхронних машин (СМ), асинхронних машин (АМ).

3.1 Принципова схема СМ.

СМ застосовують в основному як генератори. З допомогою синхронних генераторів (СГ) виробляється майже уся електроенергія. На гідро-, тепло-, атомних електростанціях первинна механічна енергія турбін перетворюється в електричну в синхронних гідро- та турбогенераторах.

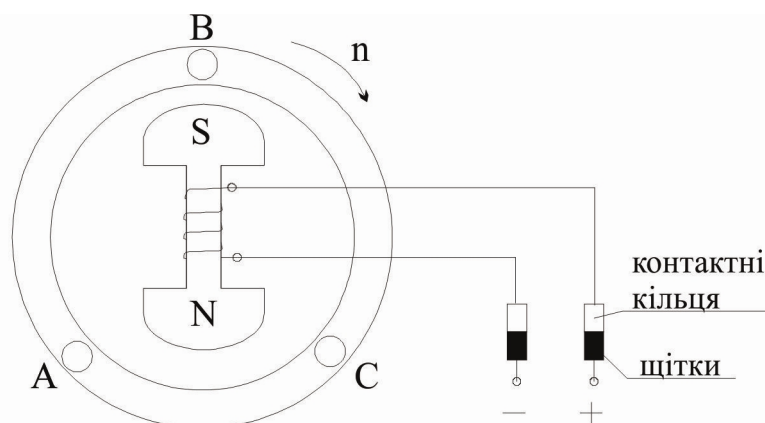


Рис 5а Принципова схема СМ

У більшості випадків якірна обмотка А-В-С розташована на статорі (звичайно це трифазна обмотка), а полюси збудження (N – S) розташовані на роторі.

При обертанні ротора з частотою обертання “n” потік збудження пересікає провідники обмотки статора (якоря) та індукуює в її фазах змінну ЕРС, яка змінюється з частотою

$$f_1 = p \cdot n, \quad (18)$$

де p – кількість пар полюсів якоря;

n – частота обертання ротора.

Якщо при цьому обмотку статора підключити до навантаження, то протікаючий по цій обмотці трифазний струм $I_{\text{я}}$ створить обертальне магнітне поле, частота обертання якого “ n_1 ” дорівнює

$$n_1 = \frac{f_1}{p}. \quad (19)$$

Із виразу (18)

$$n = \frac{f_1}{p}.$$

Тобто $n = n_1 = \frac{f_1}{p}$, а це значить, що ротор і поле статора оберта-

ються з однаковою частотою, тобто синхронно $n = n_1 = \frac{f_1}{p}$ – синхронна частота обертання. Незмінність частоти обертання ротора при незмінній частоті струму у живлячій мережі – основна властивість СМ.

3.2 Механічна характеристика синхронного двигуна (СД).

У режимі двигуна поле статора тягне за собою магніти системи збудження, а в режимі генератора – навпаки.

Якщо $n = n_1 = \frac{f_1}{p}$, то механічна характеристика СД абсолютно жорстка (рис. 6)

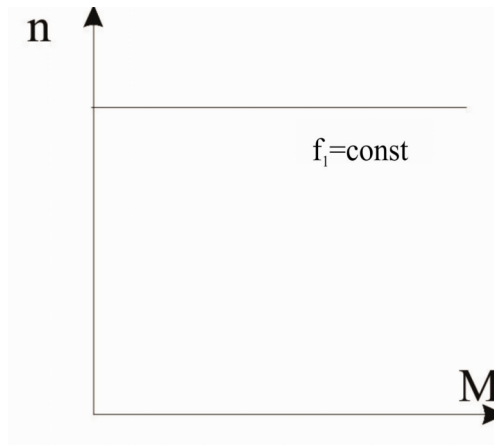


Рис.6 Механічна характеристика СД

При зміні навантаження швидкість обертання ротора залишається незмінною.

3.3 Зовнішня характеристика СГ.

Зовнішня характеристика СГ суттєво залежить від характеру навантаження (рис. 7).

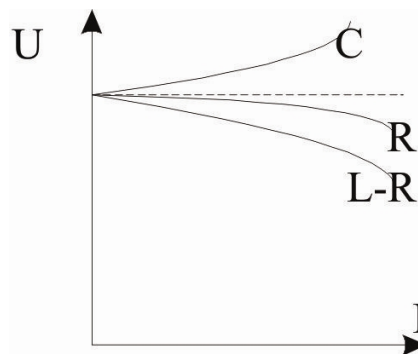


Рис.7 Зовнішня характеристика СГ

Основна галузь техніки де синхронні машини не мають конкуренції – це енергетика. Усі генератори на електростанціях від самих потужних до пересувних виконуються на базі синхронних машин.

3.4 Принцип дії та основні характеристики асинхронних машин (АМ).

АМ, як правило, використовують в якості двигунів. Найбільш поширені трифазні асинхронні двигуни (АД). Їх основна перевага — простота та надійність.

Частота обертання АД відрізняється від синхронної і змінюється зі зміною навантаження. Звідси і назва — асинхронний, тобто несинхронний.

Будова АМ показана на рис. 8.

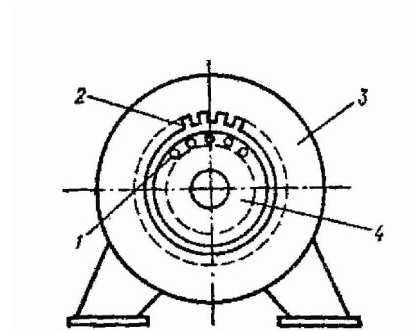


Рис.8 Будова АМ

При протіканні струму по трифазній обмотці статора створюється магнітне поле, яке обертається. На роторі, через який замикаються силові лінії цього магнітного поля, розташована: або коротко замкнута обмотка, або трифазна. При перетинанні магнітними силовими лініями поля статора провідників обмотки ротора в останній індукується ЕРС, під впливом якої в обмотці ротора протікають струми. В наслідок взаємодій цих струмів з магнітним полем статора виникають електромагнітні сили, під дією яких ротор обертається у тому ж напрямку, що і поле.

Очевидно, що величина і частота ЕРС, індукованих у роторі, залежить від частоти обертання поля по відношенню до ротора, тобто від того, на скільки ротор відстає від поля статора.

Відставання по частоті обертання, виражене у відносних одиницях, називають ковзанням.

$$S = \frac{n_1 - n}{n_1}$$

Асинхронні двигуни (АД) завжди обертаються з частотою меншою синхронної. По мірі наближення частоти обертання ротора до синхронної, ковзання наближається до нуля, значення індуктивних ЕРС і викликаних ними струмів у обмотці ротора зменшуються, відповідно зменшуються електромагнітні сили взаємодії між статором і ротором.

При синхронній частоті обертання ротора $n = n_1 = \frac{f_1}{p}$ ці сили дорівнюють нулю.

Механічна характеристика АД – $n=f(M)$ показана на рис 9.

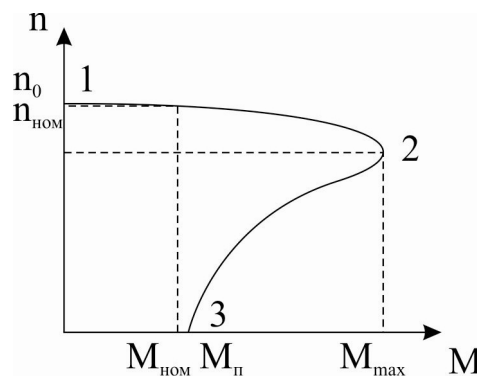


Рис 9 Механічна характеристика АД

АД різняться між собою по конструкції ротора. Найбільш поширені АД з короткозамкненим ротором (частіше інших з білячою кліткою).

В установках з підвищеними вимогами до експлуатаційних характеристик двигунів застосовують АД з фазним ротором.

В пазах ротора закладена, як правило, трифазна обмотка (як і на статорі), виводи якої приєднанні до кілець. Через ковзаючі контакти (щітки) у коло кожної фази обмотки ротора можуть бути включені додаткові опори. Змінюючи з допомогою цих опорів параметри роторної обмотки, можна впливати на робочі характеристики двигуна в процесі експлуатації – змінювати значення пускового моменту, пускового струму, регулювати частоту обертання.

ККД асинхронних двигунів достатньо високий – у малих машинах 0.8...0.85 і підвищується із збільшенням потужності.

Основні недоліки АД:

складність регулювання частоти обертання;
відносно малий коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$).

3.5 Спеціальні машини.

Крім розглянутих вище видів машин, у промисловості та побуті досить часто застосовують спеціальні машини. У малопотужних побутових установках та приладах (наприклад, в електричних бритвах) застосовують колекторні двигуни змінного струму. По ряду характеристик вони близькі до двигунів постійного струму з послідовним збудженням, але мають і свої особливості.

У системах автоматики застосовують специфічні типи електричних машин, наприклад, крокові двигуни, які відрізняються тим, що в них здійснюється не безперервне, а дискретне переміщення ротора; лінійні двигуни, в яких здійснюється не колове, а лінійне переміщення рухомої частини, що дозволяє суттєво спростити кінематичну схему деяких приводів.

В деяких пристроях спеціальні електричні машини використовують для перетворення, які подаються на них, сигналів, у “здібну” для системи керування форму електричних сигналів. Ці функції виконують тахогенератори різних типів, даючи сигнал, пропорційний частоті обертання; електромеханічні датчики прискорення; датчики кута повороту. Особливо широке розповсюдження отримали останні, так як з їх допомогою можна безконтактно з великою точністю вимірювати та порівнювати по значенню кути повороту і лінійні переміщення. Для цих цілей використовують електричні машини різних видів – сельсини, поворотні трансформатори і т.д. Особливо місце займають у системах автоматики електромашинні підсилювачі (ЕМП), які забезпечують підсилення слабких електричних сигналів. В кращих зразках ЕМП коефіцієнт підсилення досягає декількох десятків тисяч.

Принцип дії та застосування трансформаторів.

4.1. Принцип дії трансформатора.

Трансформатор – статичний пристрій, але основні електромагнітні процеси протікають в ньому так, як і в електричних машинах.

Особливо близькі по своїй природі до трансформаторів асинхронні машини.

Основне завдання трансформаторів в енергетичних системах полягає в забезпеченні на різних ділянках ліній електропередач і розподільчих мереж раціональної напруги.

Електрична енергія, виробляема на електростанціях, при передачі до споживачів проходить п'ять-шість ступенів трансформації.

Сучасні трансформатори мають складну конструкцію, їх потужність буває від долей ВА до 1200 МВА, ККД дуже високий – до 99.8 %. Принцип дії трансформатора розглянемо за допомогою рис.10, де зображено ескіз активної частини однофазного двообмоткового трансформатора.

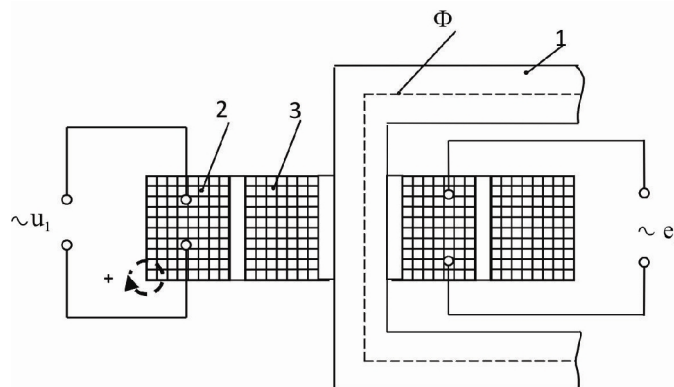


Рис 10 Будова трансформатора

На замкненому магнітопроводі 1, набраному з ізольованих листів електротехнічної сталі, розташовані концентричні обмотки 2 та 3. Ці обмотки зв'язані між собою загальним магнітним потоком Φ .

Принцип дії розглянемо на прикладі режиму неробочого ходу (рис. 11) – НХ (на первинну обмотку напруга подана, а вторинна – розімкнена, тобто споживач до неї не підключен).

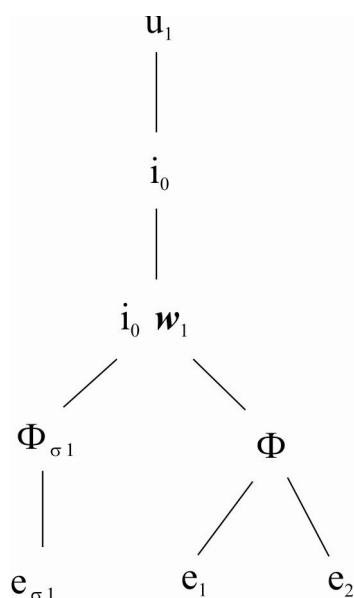


Рис 11 Принцип дії трансформатора

При подачі u_1 в первинній обмотці виникає струм i_0 , який створює МРС $i_0 w_1$, яка створює основний змінний потік Φ , що замикається по магнітопроводу 1 і наводить в обмотках ЕРС e_1 та e_2 , тобто Φ пронизує обидві обмотки.

Крім основного магнітного потоку Φ , МРС $i_0 w_1$ створює потік розсіяння $\Phi_{\sigma 1}$, зчеплений з витками тільки своєї обмотки. Потік $\Phi_{\sigma 1}$ наводить в первинній обмотці ЕРС $e_{\sigma 1}$.

При необхідності покращення відводу тепла «активну» частину занурюють в бак з трансформаторним маслом, що одночасно покращує і ізоляцію.

Для покращення тепловіддачі в навколишнє середовище на поверхні бака встановлюють спеціальні охолоджувачі труби, радіатори, що дозволяє значно збільшити поверхню охолодження.

Якщо радіаторів недостатньо, то у масло встановлять насоси, які забезпечують більш інтенсивну циркуляцію масла.

Для ще більшого покращення тепловіддачі (якщо це потрібно) встановлюють вентилятори, які обдувають радіатори, або охолоджують останні водою.

На Україні потужні трансформатори випускають у Запоріжжі.

4.2. Застосування трансформаторів.

Чим вище напруга, тим при тій самій передаваній потужності буде менше значення струму і тим менше буде потрібний переріз проводів лінії електропередач (ЛЕП).

Тому у місцях виробництва електроенергії на електростанціях вигідно підвищувати напругу до десятків і навіть сотень тисяч вольт, а потім передавати енергію по проводах до місця споживання, де напруга знижується до потрібних для споживача значень – 6, 12, 24, 36, 127, 20, 380, 500 В.

Схема передачі електроенергії на великі відстані показана на рис. 12.

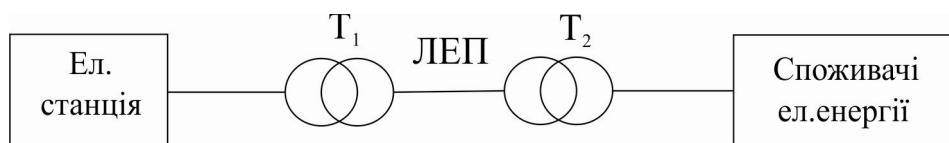


Рис 12 Схема передачі електроенергії:

T₁ – підвищуючий трансформатор

T₂ – знижуючий трансформатор

За допомогою трансформаторів зручно ізолювати електричні кола одне від одного, зв'язувати їх тільки магнітним потоком (ізолюючи трансформатори).

Трансформатори можуть бути однофазні та багатофазні (найчастіше трифазні).

При необхідності на магнітопроводі розміщують декілька вторинних обмоток з різною кількістю витків і відповідно отримують декілька вторинних напруг. Такі трансформатори називають багатообмотковими.

Електричні апарати.

5.1 Резистори та реостати.

Резистори та реостати широко застосовуються у різних схемах електричних установок. Вони складаються з ряду окремих електрично зв'язаних між собою резистивних елементів різної конструктивної форми, які виконані з матеріалу з високим електричним опором. Матеріали, з яких виготовляють резистивні елементи, повинні мати високий питомий опір, малий температурний коефіцієнт опору та високу допустиму температуру нагріву. Крім того, у ряду випадків необхідно застосовувати матеріал з високою стабільністю опору, з малою чутливістю до механічних дій та до атмосферних умов. Усі матеріали, які застосовуються для виготовлення резистивних елементів, повинні бути технологічними (можливість виготовлення різних конструктивних форм, зварювання і т.п.). Найбільш поширені провідникові матеріали: константан, манганін, хромонікелеві сплави, залізо, а також литий чавун та електротехнічна сталь. По способу виготовлення резистивного елемента з урахуванням технологічних і конструктивних ознак резистори діляться на: литі, штамповані стрічкові, штамповані плоскі, виті круглі проволочні, виті круглі стрічкові, виті овальні проволочені, плетені плоскі проволочні. По електричним характеристикам резистори та реостати бувають низької напруги (до 500 В) і високої напруги (більше 1000 В), малоамперні (до 10 А у тривалому режимі) і багатоамперні (більше 10 А), низькоомні (до 10 Ом) і високоомні (більше 10 Ом), лінійні і нелінійні.

По способу охолодження резистори бувають із природним та штучним охолодженням. У перших відвід тепла здійснюється за рахунок випромінювання та природної конвекції повітря, у других – за рахунок потоку повітря, яке нагнітається примусово за допомогою

вентилятора. Крім повітряного, застосовують масляне та водяне охолодження реостатів та резисторів.

5.2 Конденсатори електричні.

Електричний конденсатор— система з двох або більше рухомих чи нерухомих електродів (обкладок), які розділені діелектриком. Володіє здібністю накопичувати електричні заряди.

Основні параметри: ємність, робочі струм та напруга (постійні, змінні, імпульсні).

В потужних колах для підвищення коефіцієнта потужності промислових установок застосовують конденсатори з обкладками із алюмінієвої рулонної фольги, які розділені конденсаторною бумагою, що просочена мінеральним або трансформаторним маслом.

В генераторах імпульсних струмів, імпульсних зварювальних машинах та фільтрах високовольтних випрямлячів застосовують імпульсні конденсатори.

На тягових підстанціях конденсатори використовуються для відокремлення постійної складової випрямленої напруги.

У колах керування систем автоматичного керування широко застосовуються малогабаритні бумажні, слюдяні, плівкові, керамічні, скло емалеві конденсатори.

Електролітичні конденсатори призначені для роботи тільки у колах з постійною або пульсуючою напругою.

Ємність конденсаторів змінюється від декількох пікофарад до 2000 мкФ. Робоча напруга високовольтних конденсаторів доходить до 77 кВ.

5.3 Рубильники, перемикачі та пакетні вимикачі.

Рубильники— найпростіші ручні силові комутаційні апарати, які в основному призначені для нечастого замикання і розмикання силових електричних кіл.

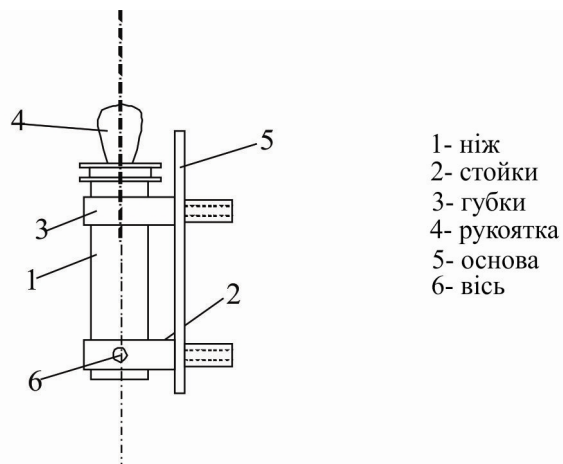


Рис.13

На рис.13 показано однополюсний рубильник, який має ніж, що обертається навколо вісі, яка проходить через один із його кінців та закріплена між стойками. Другий кінець ножа має рукоятку і при включенні входить між губками електрично з'єднуючи їх із стойками. Стойки та губки розташовані на основі із ізоляційного матеріалу. Ніж та стойки виготовляють як правило із міді.

Застосовують ще двух та трьох полюсні рубильники, ножі яких об'єднуються ізоляційною планкою.

Конструкція перемикачів аналогічна конструкції рубильника з тією різницею, що вони мають двійний комплект губок.

Переводячи ніж із одного положення в друге, можна стойки з'єднувати електрично з будь-яким комплектом.

Пакетний вимикач – це різновидність рубильників. Їх контактна система складається із окремих пакетів по кількості полюсів (комутуваних кіл). Пакет складається із ізолятора, в пазах якого знаходиться нерухомий контакт з винтовими затискачами для підключення проводів і пружинний рухомий контакт з пристроєм іскрогасіння.

5.4 Кнопки керування.

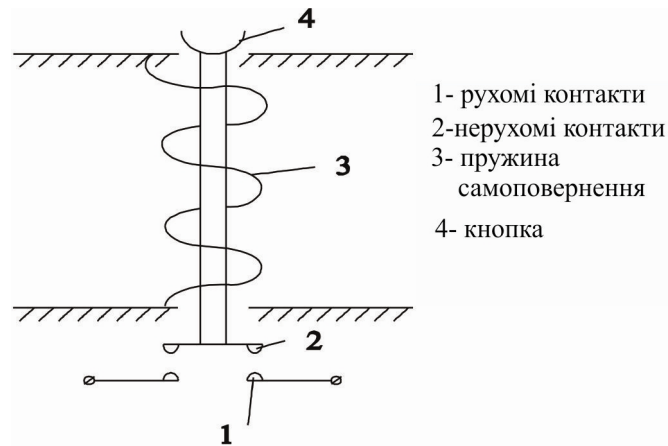


Рис.14

Ці кнопки застосовують для відносно рідкого дистанційного керування електромагнітними апаратами (контакторами, пускачами), а також для комутації кіл сигналізації та електроблокування (рис. 14). Кнопка має один або два контакти мостикового типу, які в залежності від призначення можуть бути розмикаючими або замикаючими. Кнопки можуть бути із самоповерненням у початкове положення і без нього. Декілька кнопок, змонтовані в одному корпусі – кнопочна станція.

Застосовують кнопки у колах постійного струму з напругою до 440 В та змінного з напругою до 500 В.

5.5 Реактори електричні.

Реактор електричний –статичний високовольтний електромагнітний пристрій, призначений для використання його індуктивності в електричному колі. Основною характеристикою реактора є його вебер-амперна характеристика –залежність результуючого потокозчеплення від струму ($\psi=f(I)$). В залежності від цієї характеристики ре-

ктори діляться на реактори з лінійною, обмеженою лінійною та нелінійною характеристиками.

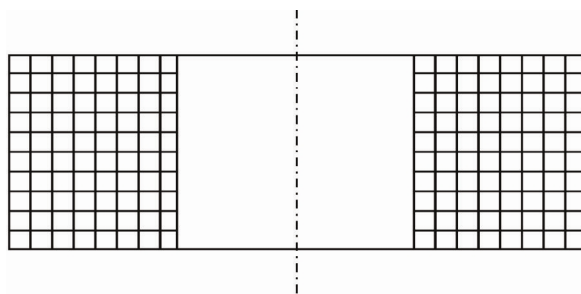


Рис.15

У перших вебер-амперна характеристика лінійна навіть при струмах, які в багато разів перевищують номінальне значення. Ці реактори як правило не мають магнітопроводу. Індуктивність їх незмінна.

У другому випадку вебер-амперна характеристика практична лінійна у заданому обмеженому діапазоні значень струмів.

Завдяки наявності у магнітному колі сталі індуктивність зростає на декілька десятків процентів в порівнянні із першим випадком.

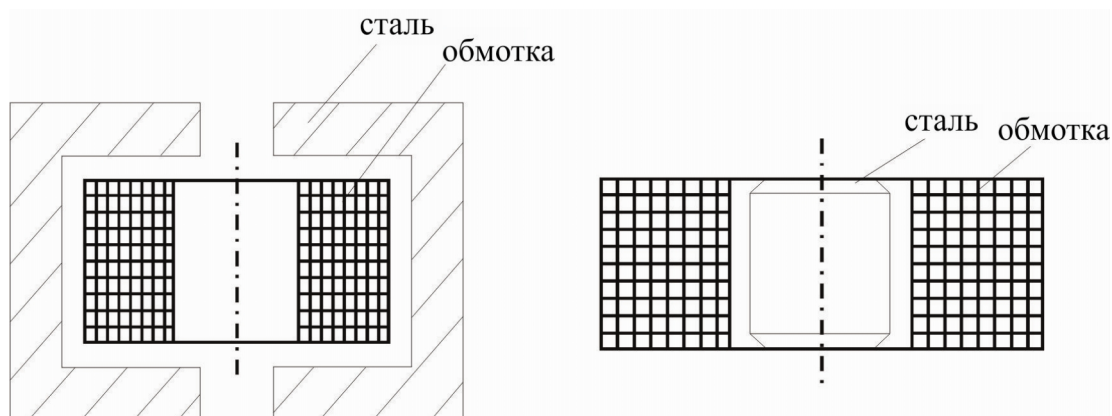


Рис.16

Магнітопровід у цьому випадку не замкнений. Значення струму, при якому вебер-амперна характеристика стає нелінійною, залежить від площі перерізу сталі.

У третьому випадку вебер-амперна характеристика суттєво нелінійна. Це досягається за рахунок наявності замкнутого або майже замкнутого магнітопроводу, тобто магнітопроводу з мінімальним повітряним зазором або взагалі без зазорів.

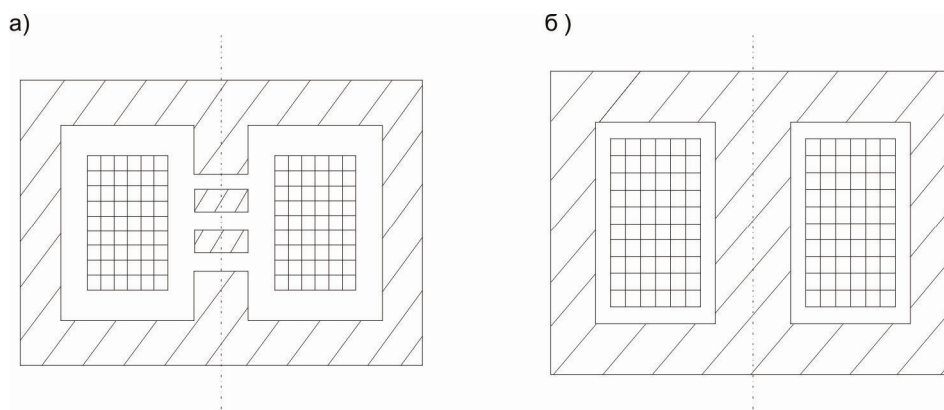


Рис.17

В порівнянні з реакторами другого виду (рис.16) індуктивність реакторів із зазорами у магнітопроводі (рис.17а) зростає у декілька разів, а реактори без зазорів у магнітопроводі (рис.17б) мають різко нелінійну вебер-амперну характеристику. Їх динамічна індуктивність може змінюватися у сотні або навіть тисячі разів.

Реактори можуть ділитися також по іншим ознакам: призначенню, кількості фаз, виду охолодження, особливостям обмоток та ін. Окрему і досить багаточисельну групу складають реактори для перетворювальних установок.

На боці змінного струму перетворювачів реактори вмикають:

- для обмеження амплітуди струму і швидкості його зростання при пробіі напівпровідникових приладів або при КЗ на виході перетворювача;
- у складі високочастотних фільтрів для обмеження радіозавад, які створюються перетворювачами;
- у складі резонансних фільтрів для зменшення змісту вищих гармонік у кривій струму, який споживається або віддається перетворювачами.

У кола постійного струму перетворювачів реактори вмикають для:

- згладжування струму;
- обмеження струму або швидкості його зростання при КЗ у колі постійного струму за місцем вмикання реакторів;
- обмеження різних зрівнювальних струмів.

5.6 Електромагнітні контактори, реле.

Це двухполюсні комутаційні апарати із самоповерненням, вмикання та вимикання яких здійснюється електричним сигналом.

Контактор– електромагнітний апарат, який призначено для частих дистанційних комутацій силових кіл (рис.18).

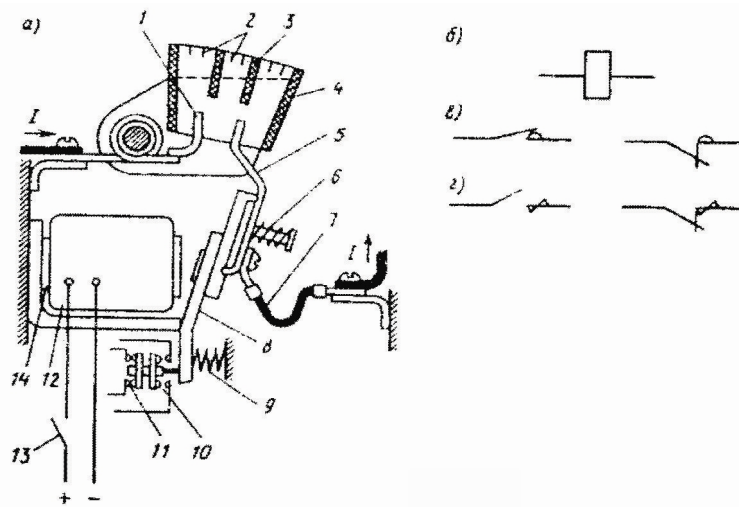


Рис.18

Будова однополюсного контактора показана на рис.18. На нерухомому осерді 14 магнітної системи встановлена втягуюча котушка 12. З рухомою частиною магнітної системи (якорем 8) зв'язан рухомий головний контакт 5, який приєднується до кола струму за допомогою гнучкого провідника 7. При подаванні напруги на котушку 12 (замиканні контакту 13) якір притягується до осердя і контакт 5 замикається з нерухомим головним контактом 1, що забезпечує комутацію струму I . Потрібне натискання головних контактів у їх робочому положенні забезпечується пружиною 6. У процесі стикання контактів 1 та 5 відбувається їх перекошування та притирання, що зменшує перехідний опір контакта. З якорем 8 зв'язані також допоміжні (блокуючі) контакти мостикового типу – замикаючі 10 та розмикаючі 11, які призначені для роботи у колах керування і розраховані на невеликі струми. Ці контакти спрацьовують одночасно із замиканням голо-

вних контактів. Розмикання контактора здійснюється шляхом зняття напруги з котушки 12 (контакт 13 розмикається). При цьому якір під дією сил тяжіння та сили зворотної пружини 9 повертається у «нормальний» стан. Виникаюча при розмиканні головних контактів електрична дуга гаситься у дугогасній камері 4. Для прискорення гасіння дуги можуть застосовуватися камери з ізоляційними перегородками 3. Іноді також встановлюють іскрогасні решітки із коротких металевих пластин 2.

Контактори змінного струму, у яких котушка живиться змінним струмом, по принципу дії та основним елементам не відрізняються від контакторів постійного струму.

При непритягнутому якорі індуктивність кола і відповідно індуктивний опір (ωL) в декілька разів менше, ніж при притягнутому якорі. Тому у процесі спрацьовування струм у котушці у декілька разів більший, ніж при притягнутому якорі. По цій причині для контакторів змінного струму обмежується кількість їх вмикань за годину. Крім того, пульсуючий магнітний потік, створюваний змінним струмом котушки, викликає вібрацію та гудіння магнітопроводу, а також його підвищений нагрів із-за дії вихрових струмів. Для зменшення цих небажаних факторів магнітопровід набирають з тонколистової трансформаторної сталі, а на осердя або якір надівають короткозамкнений виток. Є й універсальні контактори, які використовуються для комутації силових кіл як постійного, так і змінного струму.

Пристрої, аналогічні електромагнітним контакторам по конструкції і принципу дії, але комутуючі струми до 5 А – це реле.

5.7 Автомати.

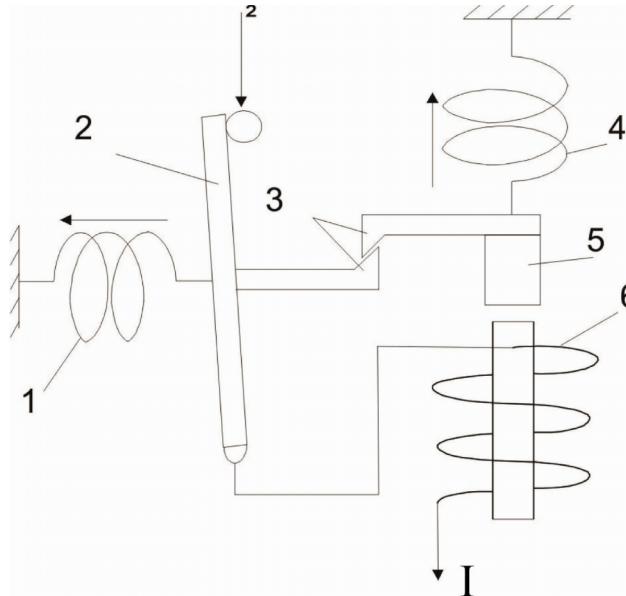


Рис.19

Автомати використовують для автоматичного розмикання електричних кіл при порушенні нормального режиму їх роботи, а також для рідких замикань і розмикань тих же кіл при нормальних умовах.

Принцип дії автоматів в основному такий, як й у електромагнітних контакторів. Але вони мають більш сильну систему дугогасіння і так званий механізм вільного розціплення (система зв'язаних ричагів) для забезпечення швидкого відключення.

Наприклад, на рис.19 показана принципова схема автомата максимального струму.

Коли струм I стає більшим заданого значення, електромагніт 6, притягуючи якір 5, переборює зусилля протидіючої пружини 4 і звільняє заскочку 3. Під дією зворотної пружини 1 відбувається швидке розмикання контактів 2.

5.8 Контролери та командо-контролери.

Контролери –це багатопозиційні електричні апарати для безпосередньої комутації силових кіл постійного і змінного струму.

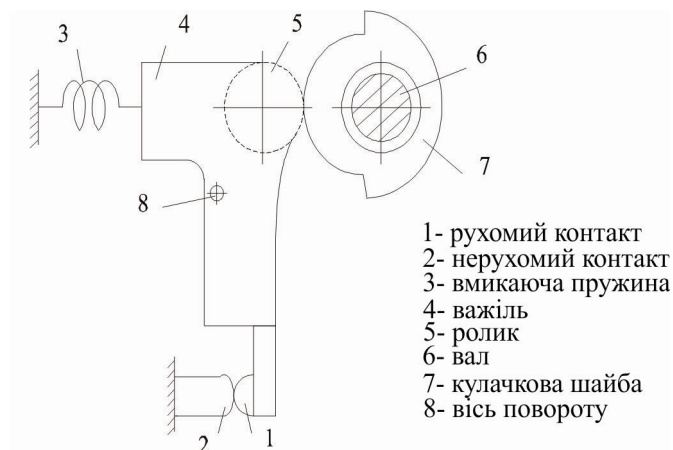


Рис.20

Контролери складаються із декількох або навіть десятків контактних елементів (рис.20), котрі закріплені в одній конструкції і спрацьовують під дією фігурних шайб, закріплених на загальному валу. Цей вал приводиться у рух спеціальним приводом.

При обертанні валу 6 виступ кулачкової шайби 7 натискає на ролик 5, повертаючи важіль 4 навколо осі 8.

У результаті контакти 1 та 2 розмикаються. Замикання контактів відбувається під дією пружини 3, коли ролик 5 збігає з виступу шайби 7.

Контролери застосовують для пуску, реверсування та регулювання частоти оборотів двигунів, а також для керування іншими апаратами. За рахунок профілювання кулачків забезпечується потрібна послідовність комутації контактних елементів.

Для дистанційного керування потужними електричними машинами та апаратами використовують командо-контролери.

Командо-контролери з допомогою своїх контактів керують котушками силових контакторів, які в свою чергу здійснюють комутацію

силових кіл двигунів. Конструктивно командоконтролер подібний до контролерів, але має контакти, розраховані на відносні малі значення струму у колах керування (у колах котушок силових контакторів).

5.9 Запобіжники.

При роботі електроприводу (ЕП) можуть відбуватися замикання електричних кіл між собою або на землю (корпус) –режим КЗ. Збільшення струму у силових колах ЕП зверх допустимих значень (зверхструмів) може викликатись також стопорінням руху виконавчого органу робочої машини, обривом однієї з фаз напруги, яка живить АД або СД, різким зниженням струму збудження ДПС і т.п. Для захисту ЕП і живлячої мережі від зверхструмів передбачається максимальний струмовий захист, який можна здійснювати з допомогою плавких запобіжників, реле максимального струму та автоматичних вимикачів.

Плавкі запобіжники FU вмикають у кожен ліній (фазу), живлячої двигун мережі, між вимикачем напруги мережі Q та контактами лінійного контактора КМ , а також у колі керування (рис.21).

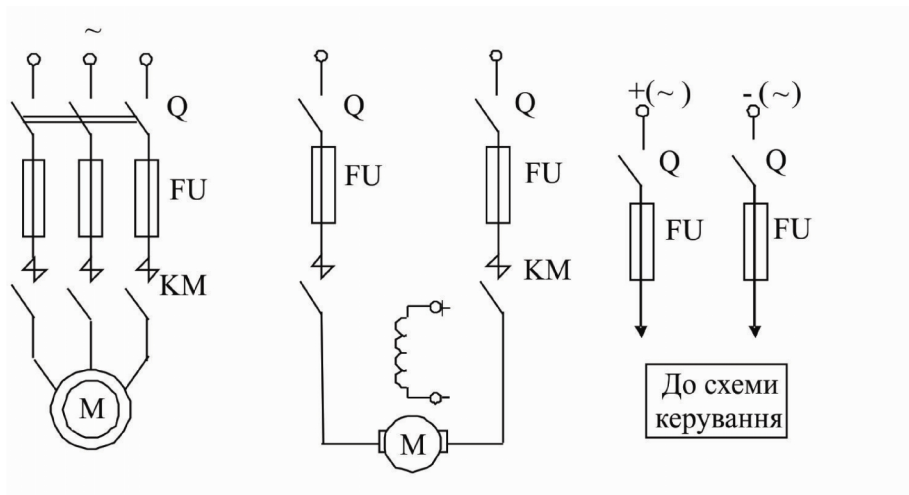


Рис.21

Основними елементами запобіжника є плавка вставка та дугогасійний пристрій. Вибір плавкої вставки робиться по струму, який розраховується таким чином, щоб вона не перегорала від пускового струму двигуна.

5.10 Магнітні пускачі.

Магнітний пускач– це спеціалізований комплексний апарат, призначений головним чином для дистанційного керування трифазними асинхронними двигунами, тобто для їх вмикання у мережу, вимикання із мережі, забезпечення теплового захисту та сигналізації про режими роботи. У відповідності з функціями пускача в нього можуть входити контактор, кнопки керування, теплові реле захисту, сигнальні лампи. Усі ці пристрої розміщуються в одному корпусі.

Магнітні пускачі різняться по призначенню (нереверсивні та реверсивні), наявності або відсутності теплових реле та кнопок керування, ступеню захисту від дії навколишнього середовища, значення струмів (які комутуються), робочій напрузі головного кола. На третьому курсі у Вас буде дисципліна «Електричні апарати».

Напівпровідникові приладита перетворювальна техніка.

6.1. Напівпровідниковий діод та його вольт-амперна характеристика.

Основою більшості напівпровідникових приладів є електронно-дірковий (р-п) перехід, який виникає на контакті двох напівпровідників з різними типами провідності. "р-п" перехід є основою найпростішого електроперетворювального приладу – напівпровідникового діода (рис.22).

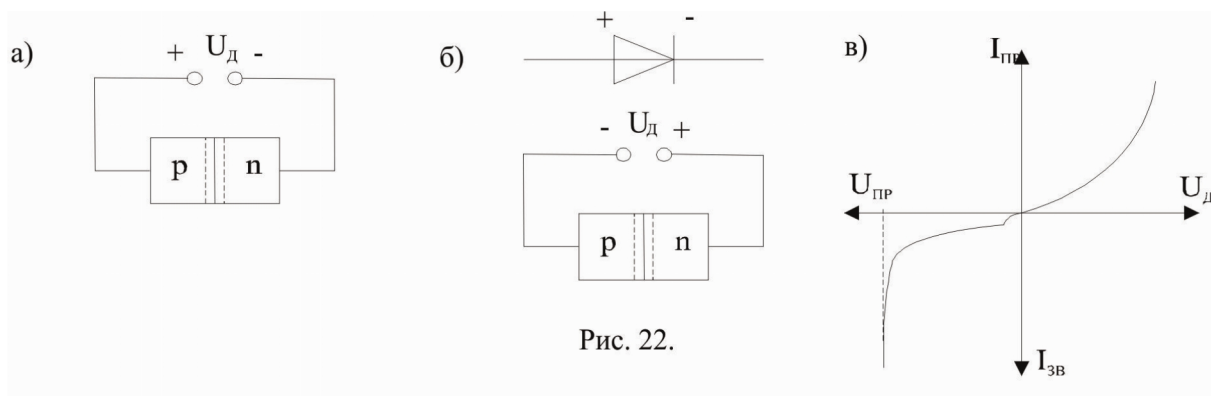


Рис.22

Якщо до р-п переходу прикласти зовнішню напругу U_d у прямому напрямку (рис.22а), то це приведе до зниження потенціального бар'єру на межі двох зон і викличе додаткову інжекцію основних носіїв із зони р у зону n, що відповідає збільшенню струму $I_{пр}$ у зовнішньому колі.

І навпаки, якщо р-п перехід змістити у зворотньому напрямку (рис.22б), то це приведе до збільшення потенціального бар'єру і практично до повного припинення дифузії основних носіїв через перехід,

що відповідає зменшення до мінімуму струму $I_{зв}$ у зовнішньому колі. Графік типової вольт-амперної характеристики р-п переходу наведено на рис.22в.

$U_{пр}$ – напруга пробою р-п переходу.

6.2. Транзистори, тиристори.

Крім діодів, є ще наступні напівпровідникові прилади:

- 1) Транзистор. Має два взаємодіючих р-п переходів і тришарову структуру р-п-р або п-р-п. Транзистори застосовують для підсилення потужності електричних сигналів.
- 2) Тиристор. Це напівпровідниковий прилад з двома стійкими станами, який має три (або більше) випрямляючих переходів і може перемикатися із закритого стану у відкритий і навпаки.

6.3. Види перетворення електричної енергії.

Електроенергія виробляється на електростанціях і передається споживачеві головним чином у вигляді змінного трифазного струму промислової частоти (50 Гц).

Але у промисловості, на транспорті є установки, для живлення яких змінний струм частотою 50 Гц не підходить.

Наприклад, тягові двигуни постійного струму на локомотивах. Питаннями, які зв'язані з перетворенням електроенергії, займається галузь науки і техніки, що отримала назву – перетворювальна техніка.

Основні види перетворення електроенергії наступні:

- 1) Випрямлення змінного струму – перетворення змінного струму у постійний;
- 2) Інвертування струму – перетворення постійного струму у змінний;
- 3) Перетворення частоти – перетворення змінного струму однієї частоти (звичайно 50 Гц) у змінний струм іншої частоти;

- 4) Перетворення кількості фаз;
- 5) Перетворення постійного струму однієї напруги у постійний струм іншої напруги.

Перспективи розвитку електромашинобудування напівпровідникових перетворювачів.

7.1. Підвищення якості ЕМ за рахунок використання нових матеріалів.

Для розвитку електроенергетики потрібні відповідні по потужності, економічні та високонадійні електричні генератори.

У промисловості потрібні малогабаритні прості в експлуатації, надійні електродвигуни.

Для систем автоматизованого електропривода потрібні швидкодіючі регульовані двигуни, мікромашини з мінімальною масою та об'ємом. Усі ці машини потрібно постійно вдосконалювати.

Суттєве підвищення якості електричних машин (ЕМ) можливо при використанні нових матеріалів. Підвищення якості ЕМ визначається підвищенням її стійкості при дії електричних, механічних та теплових навантажень на конструктивні елементи.

Статистика показує, що 80...90 % пошкоджень машин зумовлено пошкодженням обмоток. В обмотках виділяються основні втрати і на них максимально впливає нагрівання. В обмотках виникають значні перенапруги в елементах при поштовхах напруги живлення. На обмотки впливають значні механічні сили, особливо у перехідних режимах.

Усе це пред'являє високі вимоги як до матеріалу провідників обмоток, так і до їх ізоляції. У теперішній час нема можливості суттєвого покращення якості провідникових матеріалів. Для обмоток, як правило, використовують мідні або алюмінієві проводи. По електричній провідності мідь та алюміній програють тільки дорогоцінним металам. Відсутня перспектива на суттєве покращення електричних

якостей міді та алюмінію. Але різні сплави цих металів з підвищеними механічними та технологічними якостями знаходять значне застосування в електромашинобудуванні.

Причиною виходу з ладу обмоток найчастіше є пошкодження ізоляції, яка повинна витримувати тривалу дію різних факторів навколишнього середовища – вологи, озону, іноді масла та інших речовин, які є в атмосфері. Крім того ізоляція повинна бути високотеплопровідною для доброї передачі тепла від обмоток до навколишнього середовища та всередині самої обмотки. Створити абсолютно надійну ізоляцію, стійку до всіх цих факторів, неможливо. Але значний прогрес в покращенні якостей матеріалів для ізоляції електричних машин спостерігається постійно. Найпростіша хлопчатопаперова ізоляція, яка застосовувалась к перші десятиріччя виготовлення електричних машин була підсилена просочуванням лаками або компаундами, що зміцнило конструкцію обмотки, збільшило теплопровідність ізоляції. Значне розповсюдження отримала ізоляція на базі слюди-мікалента, мікафолій, міканіт. Найбільші досягнення пов'язані з розвитком хімії і створенням нових синтетичних ізоляційних матеріалів. Створено ряд високотеплостійких емалей для покриття проводів. Синтетичні плівки замінили папір та хлопчатопаперову тканину. Широке застосування знайшла склотканина, просочена лаком у сполученні із плівкою. Силіконові матеріали та лаки у сполученні із слюдою, склом забезпечують високу теплостійкість ізоляції. Просочення епоксидними компаундами різко підвищує механічну міцність конструкції.

Однак поряд з покращенням якості ізоляції підвищуються і вимоги до неї внаслідок зростання навантажень активних матеріалів при вдосконаленні конструкцій машин.

Крім того, розширення галузей застосування електричних машин (космос, атомні установки і т.п.) ставить нові вимоги до ізоляції. Підвищення якості ізоляції дозволяє створювати більш компактні машини, забезпечити велику економію активних матеріалів, визволити колосальний ремонтний парк – людей, обладнання, матеріали.

Вдосконалення другої важливої частини електричної машини – магнітопровода – визначається якістю магнітних матеріалів, які використовуються.

Основний з них – електротехнічна сталь. У теперішній час застосовують холоднокатану електротехнічну сталь з підвищеною магні-

топровідністю, яка має менші питомі втрати ($\sim 0,9$ Вт/кг), ніж гарячекатана. У результаті індукція у магнітопроводі може бути підвищена, що дозволяє зменшити масу та габарити магнітопровода і всієї машини.

Цікавими є роботи по втіленню у виробництво електричних машин різних типів феритів на синтетичній або силікатній основі. Ферит – це мілко дисперсний порошок магнітного матеріалу, який рівномірно розподілений у зв'язуючій речовині. При малій концентрації феромагнітних часток у фериті він має погані магнітні якості, низьку магнітну провідність. Але якщо частки достатньо малі, то ферити мають низькі втрати на перемагнічення і можуть використовуватися при високих частотах, наприклад в радіоапаратурі.

При збільшенні концентрації феромагнетика частки контактують одна з іншою і хоча їх магнітні властивості покращуються, одночасно збільшуються питомі втрати.

У теперішній час отримані вже ферити, які по своїм якостям наближаються до електротехнічної сталі.

Особливе місце займають роботи по створенню нових магнітотвердих матеріалів для постійних магнітів.

Магнітні матеріали на основі вуглецевих сталей були дуже слабкими –максимальна індукція такого магніта не перевищувала 0,5 Тл, під дією відносно слабкого зовнішнього зворотньо-направленого магнітного поля вони розмагнічувалися.

Суттєвим кроком уперед було створення сплавів типу ЮНДК. Магнітні матеріали цього типу характеризуються максимальною індукцією 1,2...1,3 Тл та розмагнічуючою напруженістю 400...600 А/см.

7.2. Вдосконалення традиційних конструкцій ЕМта створення принципово нових.

Велике практичне значення має підвищення механічної міцності магнітних сталей для роторів турбогенераторів.

У теперішній час діаметр ротора турбогенератора при частоті обертання 3000 об/хв по умовам механічної міцності не може перебільшувати 125 см. Тому у машинах великої потужності різко зростає до-

вжина ротора (до 6...7 м). Застосування більш міцних сталей дозволить надати турбогенераторам більш раціональну форму і спростити їх конструкцію.

Застосування нових матеріалів, створення нових машин вимагає значної наукової, дослідної та інженерної роботи – і це в майбутньому за Вами, спеціалістами-електромеханіками.

Основні робочі характеристики машини визначаються електромагнітними процесами. Але такий важливий показник якості, як надійність, визначається сукупністю електромагнітних, теплових, механічних і хімічних процесів, які відбуваються у різних вузлах машини, а також вихідними матеріалами та технологією виготовлення.

На конструкцію машини великий вплив має система охолодження. Машини відносно малої потужності охолоджується, як правило, вентилятором, змонтованим у машині. Але для машин спеціальних та великої потужності задача охолодження досить складна. Один із варіантів охолодження цих машин – використання так званих теплових насосів. У найпростішому варіанті такий насос – це трубка, наповнена речовиною з низькою температурою кипіння – фріоном, аміаком і т.п. Нижня частина трубки розміщується у нагрітій зоні машини. Рідина кипить, пари поступають у верхню частину трубки, яка обладнана радіаторами. Тепло віддається у навколишнє середовище. Для підвищення тепловіддачі радіатори охолоджуються струями повітря або води. Пари конденсуються і рідина стікає у гарячу зону. Процес йде безперервно.

Із покращенням конструкції зростають і вимоги до електричних машин. Так, значна увага приділяється питанню зменшення шуму і вібрацій. Боротьба із шумом на виробництві сприяє покращенню умов праці, підвищенню продуктивності.

Не менш важливо зниження шуму двигунів для побутових приладів та транспортних установок. Шум електричних машин обумовлений електромагнітними високочастотними процесами, а також процесами у підшипниках, вентиляторах та інших вузлах. Зниження шуму і вібрацій можливо тільки шляхом достатнього дослідження відповідних процесів і всієї конструкції.

І нарешті, ефективність конструкції машини, її надійність в значній мірі визначаються технологією виробництва.

Поряд з питанням вдосконалення традиційних електричних машин, увагу вчених і інженерів привертають можливості створення принципово нових конструкцій.

Один із перспективних напрямків таких розробок – це застосування зверхпровідників, в першу чергу для електромагнітів систем збудження. Але поки що зверхпровідні матеріали можуть працювати тільки при дуже низьких температурах, які можуть бути отримані у результаті охолодження рідким гелієм. Це суттєво ускладнює і збільшує вартість таких установок. Тому ведеться інтенсивний пошук зверхпровідних матеріалів, які могли б працювати при більш високих температурах. Фізики-теоретики прогнозують можливість створення зверх-провідників, які можуть працювати навіть при плюсових температурах. Створення таких матеріалів може здійснити переворот у всій електротехніці докорінно змінити вигляд і конструкцію електричної машини. Різко зросте ефективність усієї електроенергетики, зміняться схеми систем електропередачі і т.п.

Розвиток напівпровідникової та електронної техніки, розробка нових силових керуючих елементів дозволяють створювати не тільки нові системи керування звичайними машинами, але й нові типи електричних машин, які призначені для роботи тільки з керуючими елементами. Наприклад, безщіточні двигуни постійного струму і крокові двигуни.

У безщіточних двигунах постійного струму відсутні колектор і щітки. Система збудження, як правило, виконується з постійними магнітами, розташованими на роторі. Обмотка якоря розміщується на статорі. Виводи якірної обмотки приєднані до напівпровідникового перетворювача, який керується спеціальними датчиками, котрі подають сигнал на переключення комутатора в залежності від кута повороту ротора. Ці двигуни мають усі переваги звичайних машин постійного струму, а відсутність щіточного контакту підвищує їх надійність і дає можливість працювати в дуже складних умовах навколишнього середовища.

Крокові двигуни дуже підходять для систем дискретного керування.

Напівпровідниковий перемикач (комутатор) подає сигнали керування на обмотки крокового двигуна. При подачі чергового імпульсу ротор крокового двигуна повертається на визначений кут (робить крок). Імпульси керування мають високу частоту і точність. Таким

чином, електромашинобудування у перспективі буде розвиватися не тільки кількісно, але й якісно. І для цього розвитку потрібна велика праця вчених та інженерів.

7.3. Основні особливості і перспективи розвитку перетворювальних напівпровідникових пристроїв, які застосовуються в електромеханіці.

Складовою частиною багатьох систем автоматизованого електропривода є різного роду перетворювальні пристрої. Вони застосовуються для живлення якірних кіл і обмоток збудження електричних машин постійним струмом, який отримується у результаті випрямлення змінного струму живлячої мережі. З їх допомогою також змінюють частоту і напругу з метою забезпечення регулювання швидкості електроприводів змінного струму.

Сучасні перетворювальні пристрої створюються головним чином на основі напівпровідникових приладів. Вони застосовуються для перетворення змінного струму в постійний з регульованою напругою, перетворення постійного струму однієї напруги в постійний струм іншої напруги, перетворення частоти змінного струму і для інших цілей.

Основні переваги напівпровідникових перетворювальних пристроїв в порівнянні з перетворювачами інших типів (електромашинними, магнітними і т.п.) наступні: менші габарити та маса; кращі техніко-економічні показники; кращі умови роботи обслуговуючого персоналу; більш висока швидкодія.

7.4. Тенденція до заміни у системі генератор-двигун електромашинного генераторного блока напівпровідниковими пристроями.

У склад генераторного блоку системи генератор-двигун (Г-Д) входять приводний двигун змінного струму, силовий генератор постій-

ного струму, генератор або електромашинний підсилювач для живлення обмотки збудження основного генератора.

Для монтажу достатньо потужних електромашинних перетворювачів потрібно виготовлення відповідних фундаментів, що веде до збільшення габаритів будівлі і капітальних витрат. Крім того, експлуатація таких перетворювачів супроводжується безперервним шумом, який негативно впливає на роботу обслуговуючого персоналу. Електромашинні перетворювачі вимагають частого постійного обслуговування.

Недоліком системи Г-Д є також відносно низький ККД, який визначається добутком ККД трьох електричних машин – приводного двигуна змінного струму, головного генератора і генератора постійного струму для живлення обмотки збудження. Заміна електромашинного генераторного блока напівпровідниковим перетворювачем дозволяє створити перетворювач без обертових частин, меншої вартості і габаритів, більшим ККД.

7.5. Потужні перетворювачі змінного струму в постійний.

Важливою задачею є розробка перетворювачів змінного струму в постійний потужністю декілька тисяч кіловат при напрузі порядку декількох кіловольт, які дозволяють забезпечити плавне регулювання вихідної напруги у широких межах. При недостатній потужності напівпровідникових елементів перетворювача можливе їх послідовно-паралельне з'єднання. При цьому, завдяки послідовному з'єднанню елементів забезпечується потрібна величина загальної напруги перетворювача, а завдяки паралельного – потрібні величини струму. Але у цьому випадку збільшується кількість напівпровідникових елементів у схемі перетворювача, зростають труднощі узгодження їх роботи і керування ними. Це веде до збільшення вартості і зменшення надійності перетворювача. Тому створення потужних, високоекономічних і надійних напівпровідникових перетворювачів є актуальною технічною задачею.

Електропривод постійного струму.

8.1. Групи ЕП в залежності від збудження, формула для механічної характеристики двигуна.

В залежності від способу збудження двигуна електроприводи постійного струму можна розділити на три групи: електроприводи з двигуном незалежного, послідовного і змішаного збудження. Найбільш поширені електроприводи з двигунами незалежного збудження.

Раніше нами наведений вираз для механічної характеристики двигуна

$$n = \frac{U}{c_e \Phi} - \frac{R_{\text{я}}}{c_e \Phi^2 k} \cdot M .$$

Механічна характеристика є одним з основних критеріїв при виборі електродвигуна для привода виробничого механізму і має важливе значення для оцінки електромеханічних властивостей електропривода.

Якщо в наведеному виразі для механічної характеристики перейти від частоти обертання n до кутової швидкості

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} . \quad (20)$$

То рівняння механічної характеристики можна записати

$$\omega = \frac{U}{c \Phi} - \frac{R_{\text{я}}}{c \Phi^2 k} \cdot M , \quad (21)$$

$$\text{де } c = \frac{30c_e}{\pi}$$

8.2. Регулювання частоти обертання електродвигунів.

Одним з важливих питань роботи приводу є спосіб регулювання кутової швидкості електродвигуна. Найбільш поширеним способом регулювання швидкості є зміна напруги на якорі електродвигуна U .

З рівняння (21) видно, що з підвищенням напруги швидкість зростає, а при зниженні U – швидкість зменшується. Таким способом можна отримувати швидкості нижче номінальної, так як до якоря електродвигуна, як правило, не допускається підводити напругу більшу за номінальну.

Для реалізації цього способу застосовують різні регульовані перетворювачі (генератори постійного струму, тиристорні перетворювачі та ін.), які живлять якорне коло електродвигуна.

Важливим способом регулювання швидкості є також зміна струму збудження, і як наслідок зміна магнітного потоку Φ .

Цим способом можна підвищувати швидкість (регулювання вверх від номінальної швидкості) до значення, вказаного у паспортних даних двигуна. Зменшувати швидкість за рахунок збільшення магнітного потоку неможливо, оскільки при струмі збудження вище номінального магнітна система двигуна насичується, і магнітний потік практично не збільшується. Регулювання частоти обертання за рахунок введення додаткових резисторів послідовно з якорем має обмежене застосування, так як це пов'язано з великими втратами енергії у додаткових резисторах. Електроприводи постійного струму з двигунами незалежного збудження широко застосовуються в установках, які потребують регулювання швидкості: станах холодної та гарячої прокатки, металоріжущих верстатах та ін. Показником регулюючих властивостей електропривода є діапазон регулювання кутової швидкості обертання вала, визначаємий відношенням максимальної швидкості до мінімальної

$$D = \frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}}. \quad (22)$$

Наприклад, діапазон регулювання швидкості електроприводу столу поздовжньо-строгального верстата складає 15, а для електропривода подачі токарно-металоріжучих верстатів може досягати 2000.

Розглянемо тепер електропривод з двигуном послідовного збудження. Механічна характеристика електродвигуна з послідовним збудженням наведена на рис. 23.

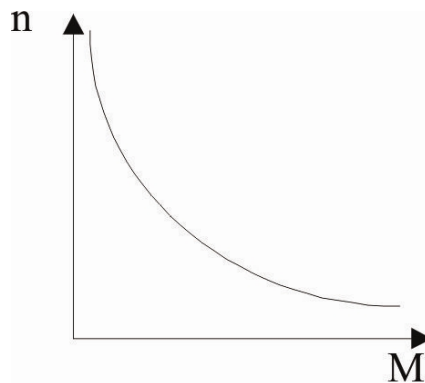


Рис.23

Усі вирази, наведені раніше для електродвигуна з незалежним збудженням, залишаються справедливими і для двигуна з послідовним збудженням. Частота обертання електродвигуна сильно залежить від моменту на валу. При малих навантаженнях частота обертання може значно збільшуватись, а при неробочому ході може настільки збільшитися, що приведе до руйнування електропривода. Останнє накладає особливі вимоги на з'єднання вала електродвигуна з робочим механізмом.

В електроприводах з двигунами послідовного збудження не можна застосовувати ремінні передачі, муфти тертя або інші пристрої, які дозволяють тимчасове роз'єднання вала електродвигуна від робочої машини.

Треба застосовувати циліндричні, черв'ячні редуктори, а також інші види передавальних пристроїв, які забезпечують надійне постійне з'єднання вала електродвигуна з валом робочої машини.

При відсутності насичення магнітної системи магнітний потік пропорційний струму, тоді момент буде пропорційний квадрату струму.

Ця особливість електропривода з двигуном послідовного збудження забезпечила його застосування у різних транспортних засобах: трамваях, електровозах, вагонах метро тощо.

Електроприводи з двигунами змішаного збудження застосовують головним чином у схемах тролейбусів, крокуючих екскаваторів.

8.3. Природні та штучні механічні характеристики двигунів.

Розглянуті механічні характеристики прийнято називати природними. Вони отримані при номінальних параметрах живлячої мережі, нормальній схемі включення двигуна і відсутності додаткових опорів у колах двигуна.

Якщо природні характеристики не відповідають вимогам до електропривода, обумовлених режимами роботи і технологічним процесом виробничої установки, використовують штучні характеристики. Ці характеристики отримують при умовах, які різняться від номінальних, тобто при живленні якірного кола двигуна через керовані перетворювачі напруги, при увімкненні додаткових опорів у кола двигунів, а також за рахунок змін схем увімкнення якоря та обмотки збудження.

Електропривод змінного струму.

9.1. Електропривод з асинхронними двигунами.

Розрізняють електроприводи з асинхронними, синхронними, а також з колекторними двигунами змінного струму.

Електроприводи з асинхронними двигунами бувають з електродвигунами, які мають короткозамкнений або фазний ротор.

Схеми включення АД наведені на рис. 24

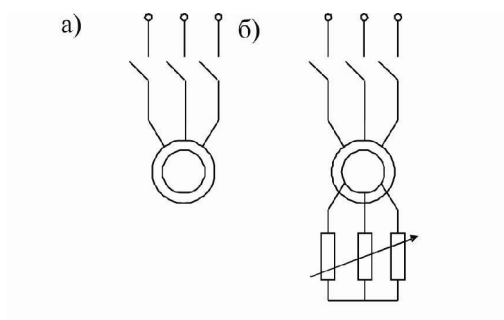


Рис.24 Схема включення асинхронних двигунів:

а) з короткозамкненим ротором

б) з фазним ротором

Нагадаємо механічну характеристику АД (рис. 25)

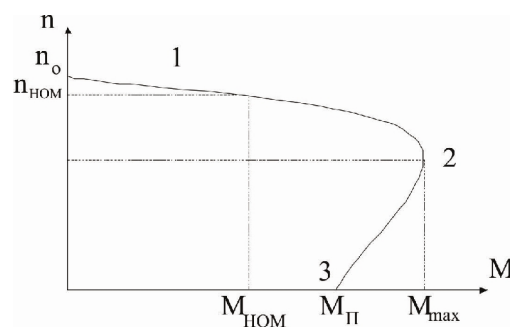


Рис. 25

Механічна характеристика АД може бути розділена на дві основні частини: стійка –між точками 1 та 2, нестійка –між точками 2 та 3.

Стойка –робоча частина характеристики. На нестійкій електропривод працювати не може, так як збільшення моменту навантаження приводить до зниження обертів і зменшенню моменту двигуна.

Оскільки момент, який розвивається двигуном, стає меншим ніж момент навантаження, то оберти різко зменшуються, впритул до повної зупинки. Тому при проектуванні асинхронних електроприводів щоб виключити перехід на нестійку частину характеристики, завжди визначають максимальне значення моменту навантаження на валу двигуна, який створюється виробничим механізмом.

Максимальний момент вибраного двигуна повинен бути більшим найбільшого моменту навантаження.

Другим важливим параметром електропривода з асинхронним короткозамкненим двигуном є пусковий момент, який відповідає точці 3 на механічній характеристиці. При розробці такого електропривода двигун слід вибирати так, щоб його пусковий момент був більше пускового моменту робочої машини, тобто моменту опору у нерухомому стані.

Природна механічна характеристика двигуна з фазним ротором аналогічна характеристиці двигуна з короткозамкненим ротором.

При введенні додаткових резисторів у коло ротора можна отримувати штучні характеристики з підвищеним пусковим моментом.

Тому двигуни з фазним ротором переважно застосовують для привода виробничих механізмів з великим пусковим моментом.

Асинхронні електроприводи в основному застосовують для виробничих механізмів, які не вимагають регулювання швидкості, або механізмів, для яких допускається ступеневе регулювання швидкості із застосуванням механічної коробки передач. Наприклад, вентилятори, насоси, ліфти, електричні крани та механізми і т.д.

Регулювання швидкості асинхронних електроприводів пов'язано з певними труднощами. Раніш відмічалось, що частота обертання ротора двигуна n відстає від частоти обертання n_1 магнітного поля статора. Це відставання виражається у відносних одиницях і називається ковзанням

$$S = \frac{n_1 - n}{n_1}. \quad (23)$$

Частота обертання поля статора залежить від частоти f_1 струму живлячої мережі і кількості пар полюсів

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p}. \quad (24)$$

Звідси частота обертання ротора

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p} \cdot (1 - S). \quad (25)$$

Із останнього виразу видно, що частоту обертання асинхронного електроприводу можна регулювати зміною частоти струму живлячої мережі f_1 або переключенням кількості пар полюсів обмотки p статора.

Частотний метод забезпечує плавне регулювання частоти обертання, але вимагає спеціальних перетворювачів частоти.

Метод регулювання шляхом переключення кількості пар полюсів застосовують у спеціальних полюсоперемикаємих (багато швидкісних) двигунах. Цей спосіб застосовують відносно рідко, так як він забезпечує тільки ступеневу зміну частоти обертання і не звільняє виробничі машини від коробок швидкості.

9.2. Електропривод із синхронними двигунами.

Синхронні електроприводи застосовують для виробничих установок великої потужності при постійній частоті обертання робочого органу.

Схема включення синхронного двигуна та його механічна характеристика наведені на рис. 26.

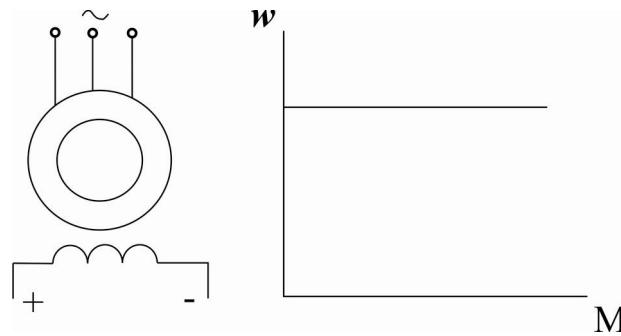


Рис. 26 Схема і механічна характеристика СД

Характерною особливістю синхронного двигуна є те, що зміна навантаження на його валу в певних межах не впливає на частоту обертання. Ця особливість пов'язана з електромеханічними властивостями синхронного двигуна.

Синхронні двигуни застосовують для привода насосів, потужних вентиляторів, компресорів, перетворювальних агрегатів і деяких інших машин і механізмів.

9.3. Електроприводи змінного струму з регулюємими колекторними двигунами змінного струму, з лінійним АД.

Є ще електроприводи змінного струму з регулюємими колекторними двигунами змінного струму, які застосовують відносно рідко. Наприклад, у побутових малопотужних електроприводах, які можуть працювати як від мережі змінного, так і постійного струму (електропривод пилососу, натирача підлоги та ін.).

Ще є електроприводи змінного струму з лінійними асинхронними двигунами.

Лінійний електродвигун є електромеханічним перетворювачем електричної енергії в механічну при поступальному або зворотно-поступальному русі. У цих приводах не потрібні пристрої для перетворення обертального руху у поступальний. Але лінійні двигуни ще не знайшли широкого застосування.

Режими роботи електроприводів.

Робота кожного електропривода пов'язана з пуском, рухом із сталою швидкістю і з зупинкою. В деяких електроприводах у процесі роботи може бути потрібна не одна, а декілька сталих швидкостей.

Наприклад, електропривод поздовжньо-стругального верстата спочатку працює з малою швидкістю до входу різця у метал, а в процесі різання швидкість знову зменшується для запобігання викришування металу та зниження якості обробки деталі.

10.1. Статичний (постійний) режим роботи електроприводу.

Розглядають статичний (або постійний) і динамічний (або перехідний) режими роботи електропривода.

Статичним називають режим, який характеризується роботою двигуна із постійною кутовою швидкістю, а також тим, що момент рушійний дорівнює моменту опору.

Ці параметри визначаються вимогами технологічного процесу. Один і той же електропривод повинен працювати у різних статичних режимах, що пов'язано з вимогами конкретного технологічного процесу. Наприклад, токарний верстат при чорновій обробці деталі працює з малою швидкістю і при великому зусиллі різання. Такий режим вимагає відповідно від електропривода малої кутової швидкості і великого обертаючого моменту. Чистова обробка виробу проводиться при високій швидкості різання та малому зусиллі на різці, що відповідає великій швидкості електропривода при малому статичному моменті. Для виконання вимог технологічного процесу потрібно, щоб електропривод мав відповідні статичні характеристики.

У сучасних технологічних процесах вимагається зміна у широких межах як моментів навантаження, так і робочих швидкостей; тому електропривод повинен мати множину статичних характеристик, повністю відповідаючи вимогам технологічного процесу. Це досягається застосуванням регульованих перетворювачів, живлячи електропривод.

Приклад множини статичних характеристик наведено на рис. 27.

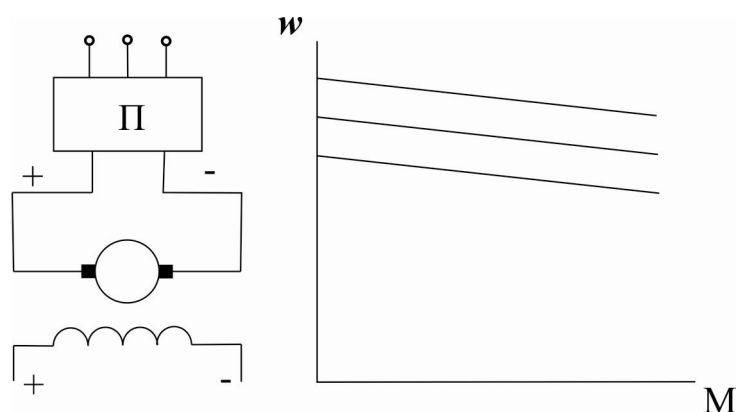


Рис. 27 Схема та механічні характеристики регульованого електропривода постійного струму

10.2 Динамічний (перехідний) режим роботи електроприводу.

Динамічним або перехідним режимом електропривода називають режим його роботи при переході від одного сталого стану до іншого. В динамічному режимі змінюється струм якірного кола, момент та швидкість. При розробці і дослідженні електроприводів потрібно знати, як ці величини змінюються у часі, оскільки це дозволяє визначати тривалість і характер перехідного процесу, його відповідність вимогам режиму роботи механізму, визначити механічні та електричні перевантаження в електроприводі, розрахувати потужності та вибрати двигуни, розробити систему керування електроприводом.

Динамічні режими займають значне місце в теорії і практиці електропривода.

Це пов'язано як з необхідністю обмеження динамічних зусиль, які можуть досягти руйнуючих значень, так і з вимогою забезпечити необхідну швидкодію, виходячи із заданої продуктивності установки.

По характеру динамічних режимів усі електроприводи можна розділити на дві категорії:

- 1) електроприводи, для яких характерним є сталий режим роботи з рідкими пусками, зупинками, переходами від однієї швидкості до іншої;
- 2) електроприводи, для яких динамічні режими є основними, і швидкість їх протікання визначає ефективність роботи електропривода.

До першої категорії відносяться електроприводи метало ріжучих верстатів токарної групи, безперервних прокатних станів та ін.

До другої категорії відносяться електроприводи реверсивних прокатних станів, електроприводи столів поздовжньо-строгальних верстатів та ін. Для них характерні часті пуски, гальмування, реверсування, переходи від однієї швидкості до іншої. Якщо динамічні режими є основними режимами роботи деякого електропривода, то їх тривалість в значній мірі визначає продуктивність промислової установки.

10.3. Шляхи керування динамічними режимами електроприводу.

Динамічні режими електропривода не є довільними процесами. Вимоги до параметрів, визначаючих характер та повний час протікання процесу, задаються умовами технологічного процесу. Ці вимоги (час протікання перехідного процесу, допустиме значення якірного струму, значення прискорення та сповільнення) є вихідними даними при розробці електропривода і системи керування.

Розглянемо можливі шляхи керування динамічними режимами електропривода.

На основі закону Ньютона динамічне зусилля $F_{\text{дин}}$, яке є добутком маси тіла m на прискорення a , дорівнює різниці між рухаючою силою $F_{\text{рух}}$ та силою опору $F_{\text{оп}}$, тобто

$$F_{\text{дин}} = ma = F_{\text{рух}} - F_{\text{оп}}. \quad (26)$$

Для обертаючого руху цю залежність можна записати

$$I \frac{d\omega}{dt} = M_{\text{рух}} - M_{\text{оп}}, \quad (27)$$

де I – момент інерції електропривода, приведений до валу двигуна;

$M_{\text{рух}}$ – момент, розвиваємиий двигуном (рухаючий момент);

$M_{\text{оп}}$ – момент опору, створюваний робочим органом машини;

$\frac{d\omega}{dt}$ – кутове прискорення.

Останній вираз називають рівнянням руху електропривода.

Різниця моментів електропривода (рухаючого моменту) і робочої машини називається динамічним моментом

$$M_I = M_{\text{рух}} - M_{\text{оп}}. \quad (28)$$

Використовуючи поняття динамічного моменту, можна записати

$$I \frac{d\omega}{dt} = M_I. \quad (29)$$

Звідси

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M}{I}. \quad (30)$$

Останній вираз показує, що прискорення електропривода пропорційне динамічному моменту й зворотно пропорційне приведенному моменту інерції електропривода, а також дозволяє зробити практичний висновок: керування динамічним режимом електроприводу безпосередньо пов'язано з керуванням його динамічним моментом.

Для пояснення фізичної суті поняття динамічного моменту розглянемо слідуєчий приклад. Якщо велосипедист рухається з незмінною швидкістю, то розвиваємиий їм момент дорівнює моменту опору руху велосипеда, тобто прискорення дорівнює нулю і режим є статичним.

Для зміни швидкості руху велосипедист повинен створити динамічний момент, збільшивши силу натиснення на педалі, що приведе до прискорення руху велосипеда.

Досягнувши потрібної швидкості, велосипедист знижує зусилля, яке він прикладає до педалей так, що динамічний момент стає дорівнювати нулю. При цьому велосипедист буде рухатися з новою, більш високою швидкістю.

Мозок і нервова система велосипедиста керують динамікою руху велосипедиста.

В електроприводі ці функції виконує система керування. Момент, розвиваємий електроприводом, пропорційний добутку струму якоря і магнітного потоку, тобто

$$M = c_m \Phi I_{\text{я}}. \quad (31)$$

Тому змінювати моменти електродвигуна можна, змінюючи струм якоря або магнітний потік двигуна.

Розглянуті вище приклади відносяться до випадку позитивного динамічного моменту. Але у процесі керування динамічними режимами електропривода при необхідності може бути отриманий і негативний момент двигуна. У цьому випадку динамічний момент

$$M_{\text{I}} = -M_{\text{рух}} - M_{\text{оп}}, \quad (32)$$

негативний і буде відбуватися сповільнення електропривода, що підтверджується також знаком мінус у наступному виразі

$$\frac{d\omega}{dt} = -\frac{M_{\text{I}}}{I}. \quad (33)$$

Технологічні процеси і особливості їх автоматизації.

11.1. Пояснення терміну – технологічний процес, види виробничих процесів.

Під технологічним процесом розуміють ціленаправлену дію на матеріал з метою такої зміни його розмірів, форми, фізичних, хімічних або яких-небудь інших властивостей, яка необхідна для створення потрібної продукції. На кожному підприємстві, у тому числі і на залізничному (депо, завод по ремонту залізничної техніки) виділяють основний виробничий процес (може бути декілька основних або головних процесів) і допоміжні виробничі процеси.

Під робочим процесом розуміють, як правило, дію різних видів енергії на вихідний матеріал (або матеріали). Сюди не можна віднести процеси транспортування матеріалу і енергії.

Допоміжні виробничі процеси зумовлені специфічними особливостями виробництва. Вони потрібні для обслуговування основного виробництва і забезпечення безперервного випуску продукції.

11.2. Механізація та автоматизація виробничого процесу.

Механізація виробничого процесу полягає у заміні мускульної праці людини машиною. Вона дозволяє збільшити продуктивність праці, залишаючи людині функції керування машиною та контролю за ходом процесу.

Вищим ступенем механізації є комплексна механізація, при якій передбачається заміна ручної праці машиною на основних і допоміжних етапах виробничого процесу.

Подальшим етапом вдосконалення виробництва є автоматизація виробничих процесів, тобто здійснення процесу без допоміжної участі обслуговуючого персоналу. У цьому випадку функції керування, а також захисту, контролю, сигналізації виконують спеціальні автоматичні пристрої. Роль людини обмежується наладкою, настройкою, ремонтом обладнання і загальним спостереженням за виробничим процесом.

На перших ступенях розвитку суспільного виробництва основною характеристикою праці була універсальність. Праця визначалась такими функціями, як виконання руху за допомогою використання ручного інструменту, а також функціями джерела енергії з боку людини і функціями управління всіма цими процесами.

В процесі розвитку технічного прогресу з'являлися інструменти і машини, які могли виконувати частину, або всі необхідні дії і операції. Це дозволило звільнити робітників від деякої частини ручної непродуктивності праці і праці з ручним інструментом. Водночас знижувалась доля праці робітника як джерела енергії, так як все в більших масштабах використовувались природні джерела енергії(вода, вітер, паливо).

Зі зменшенням непродуктивної ручної праці розширились функції управління виробничими процесами і знаряддями праці, а також з'явилися нові, більш різноманітні і спеціалізовані прийоми і методи обробки і т.п. Таким чином, механізація індустріальної праці викликала збільшення тієї долі суспільної праці, яка використовувалась на обслуговування машин і управління ними.

На сучасному етапі розвитку виробництва має місце тенденція збільшення швидкості дії окремих виробничих операцій, все більше розповсюдження процесів з тісними зв'язками між їх окремими видами, з'єднаними в єдиний виробничий процес.

Будь – яке порушення ходу процесу, якості виконання операцій, аварії з окремими механізмами або пристроями часто викликають порушення нормального протікання всього виробничого процесу, або повне його припинення.

В умовах підвищення жорсткості зв'язків між окремими виробничими процесами вимагається підвищення швидкості, точності, і

об'єктивності управління, котре частіше всього стає непосильним безпосередньо для людини.

В сучасних електромеханічних і електричних системах швидкість розповсюдження аварійних явищ настільки велика, що тільки окремі спеціальні прилади і обладнання, без ручного управління, можуть надійно захистити і локалізувати аварії, а також змінити режим роботи (включення і виключення).

Зріст масштабів, а також продуктивності машин і устаткувань з підвищенням вимог до якості і точності обробки також вимагають збільшення швидкості і об'єктивних методів контролю, які не пов'язані з суб'єктивними особливостями людини.

Багаті сучасні інтенсивні та складні виробничі процеси для якісного управління і регулювання вимагають складної і точної розрахункової математичної роботи з більшим об'єктом обчислювальних, порівняльних, облікових та інших операцій.

Ця робота не під силу людині, як по об'єму, так і по швидкості і точності проведення. Таким чином, є необхідність в обладнаннях, здійснюючих математичні обчислювання і розрахунки без посередньої участі людини, або полегшують його працю.

Цілий ряд виробничих процесів, зв'язаних з розпадом атомного ядра, сильними випромінюваннями і т.п., взагалі вимагають окремих методів управління, коли людина досить віддалена від зони діючих процесів з метою максимальної безпеки.

Необхідність в спеціальних обладнаннях, методах управління для окремих умов виробництва призвели до появи окремої галузі науки і техніки яка називається автоматикою. Сама назва автоматика походить від слова «автомат», яке пішло від древнє грецького терміна «аутоматус», під яким розуміють самодіючий апарат.

Таким чином, автоматика – це галузь науки і техніки, яка охоплює сукупність технічних засобів і методів управління, які звільняють людину від безпосереднього виконання функцій контролю і управління виробничими процесами.

В стані розвитку виробничих процесів і вимог до результатів роботи були обґрунтовані економічні і технічні необхідності переходу від механізованих процесів до автоматизованих. Автоматизація характеризує більш високий рівень розвитку виробництва ніж механізація.

Автоматизація передбачає використання методів і засобів автоматики для перетворення машин, механізмів, обладнання та виробничих процесів із неавтоматичних в автоматичні.

При автоматизації не тільки ручна праця безпосереднього виконання окремих виробничих операцій, але і будь - яка фізична та частково розумова праця, зв'язана з обслуговуванням обладнання і управлінням виробничими процесами, повинна бути замінена спеціальними самодіючими пристроями які потребують тільки налагодження і догляд з боку обслуговуючого персоналу.

І якщо у виробничому процесі машини полегшують і замінюють фізичну працю людини, то подібні автоматичні пристрої полегшують і замінюють головним чином його розумову працю. Найголовніше тут те, що людина звільняється від одноманітних операцій, які викликають підвищену втомленість.

При автоматизації іде процес вдосконалення виробництва перш за все за рахунок зменшення потоку інформації від людини до машини і підвищення самостійності різних рівней та ланок управління.

Ефективність автоматизації в багатьох випадках виключно висока: наприклад, Дніпрогес до автоматизації (до 1941 р.) обслуговували 290 робітників. Після відновлення в наслідок зруйнувань в війну і переводу на автоматичне управління вдалося зменшити обслуговуючий персонал до 6 чергових за одну зміну. В деяких випадках вдається зменшити не тільки кількість робітників, а і зменшити виробничі площі. Так, на автоматичні лінії по виробництву валів роторів електродвигунів зменшує виробничі площі в 1,92 рази.

Таким чином, в економічно розвинених виробництвах автоматизація являється одним з головних напрямків в розвитку технічного прогресу. Впровадження автоматики призводить до підвищення продуктивності праці, покращення її умов і подальшому зростанню добробуту суспільства.

11.3. Історія розвитку автоматизації

Окремі відомості про пристрої, які діяли без посередньої участі людини, відносяться до періоду, попередньому початку нашої ери. Механічні автомати застосовувались жрецькими, стародавнього Єгипту

і Греції для привернення віруючих. В період Середньовіччя був відомий механічний автомат – «залізна людина» Альберта Великого, який виконував функцію привратника. Загальною особливістю подібних автоматів з'явилося те, що вони не чинили ніякого впливу на загальне виробництво того часу.

Перший автомат, отримавший застосування у виробництві був запропонований в 1765 р. Механіком Ползуновим для його парової («вогнедіючої») машини. За допомогою такого автомату підтримувався постійний рівень води в паровому котлі незалежно від витрат пару. Принцип дії такого автомату широко застосовується в різноманітних областях науки і техніки. Він відомий, як принцип регулювання по відхиленню, або принцип Ползунова-Уатта. Останній вчений Дж. Уатт, в 1779 р. запропонував перший центр обіжний регулятор швидкості парової машини.

На початку ХІХ ст. відомого, як «вік пару» розвивалися і удосконалювалися автоматичні регулятори парових машин. Наприкінці ХІХ ст. з'являються різноманітні регулятори гідротурбін. В 1887 р. А. Г. Столетов створив перший фотоелемент – один із важливих сучасних елементів автоматики.

Приблизно у той же період відбувається розвиток основ теорії дії автоматичних пристроїв і регуляторів. Одна з перших робіт присвячених теорії дії астатичного регулятора належить відомому математику П. М. Чебишеву.

Основоположником інженерних методів теорії автоматичного регулювання являється професор Санкт-Петербурзького технологічного інституту А. А. Вишеградський, який в 1876 і 1877 роках опублікував свої роботи «Об общей теории регуляторов» і «О регуляторах прямого действия». Запропоновані ним методи оцінки стійкості і якості перехідних процесів використовуються в наступних роках.

Перший електричний диференціальний регулятор для автоматичної підтримки відстані між вуглями в дугових лампах винайдений В. Н. Чиколевым в 1863 р. Винахідники електрозварки Н. Н. Бенардос і Н. Г. Слав'янов в 1891 р. застосували автоматичні регулюючі пристрої для управління процесом зварювання.

Великий вклад в розвиток теорії автоматичного управління і регулювання внесли словацький вчений А. Стодола, австрійський математик А. Гурвіц, англійські вчені Д. К. Максвел і Е. Дж. Раус, російський математик А. М. Ляпунов та інші. Так в 1868 р. Д. К. Максвел

розробив основні принципи автоматичного регулювання. В 1837 р. Е. Морзе винайшов двопровідний телеграф, а А. Г. Белл в 1876 р. створив телефон. Велике значення здобула робота Н. Е. Жуковського «Теорія регулювання ходу машин», яка побачила світ в 1909 р.

На початку ХХ ст. все частіше почали використовувати електричну енергію. Побудова електричних станцій і систем потребують розробки автоматичних регуляторів частоти, а також багатьох інших автоматів.

На залізничному транспорті системи автоматики почали використовуватися з початком 20-х років цього століття. Так, в 1927 р. в США на Огайській залізниці на ділянці довжиною 65 км була введена автоматична централізація стрілок і сигналів.

Рішення задач подальшого розвитку виробництва призвело до утворення та впровадження нової техніки і все більш широкій автоматизації виробничих процесів. Подальшому розвитку автоматизації сприяло розвиток військової техніки, атомної енергетики і космічних досліджень. Тому перед вченими і промисловістю було поставлено ряд специфічних задач, рішення яких в багатьох випадках виявились достатньо загальними і були також використані в інших галузях народного господарства.

Особливе значення для сучасного розвитку промисловості має розвиток нового наукового напрямку – кібернетики – вчення про загальні закономірності процесів управління і зв'язку в організованих системах, які представляють собою машини, живі організми і їх об'єднання. Управління розглядається як процес перетворення інформації. Інформація про об'єкт сприймається управляючою системою, перероблюється в якості управляючих дій, які передаються до об'єкта управління.

Основоположником кібернетики являється американський вчений математик Н. Винер, який в 1948 і 1951 роках опублікував роботи, які дали імпульс розвитку цього напрямку науки і техніки. Великий вклад в розвиток кібернетики внесли вчені А. І Берг, В. М. Глушков, А. Н. Колмогоров, В. В. Солодовніков та інші.

11.4. Технічна, наукова та економічна основа автоматизації.

Автоматизація виникла і розвивається на базі механізації, тому являється більш вищим ступенем розвитку виробництва. Машини і виробничі процеси, які підлягають автоматизації, повинні володіти вищою ступінню механізації і спеціальними технічними вимогами, які передбачають наявність електричних, гідравлічних і пневматичних приводів з повільним та східчастим регулюванням швидкості обертання та лінійних переміщень, джерел електричної енергії, а також можливістю автоматизації без суттєвих змін вузлів та деталей, поєднаних з елементами автоматичних пристроїв та систем.

Науковою основою автоматизації являється технічна кібернетика, яка вивчає загальні закони отримання, передачі і переробки інформації. Інформація – це будь-яка сукупність відомостей про об'єкти, або явища. З позиції автоматики інформація є сукупність необхідних відомостей, які використовуються для активного впливу на систему управління. Дані про об'єкт стають інформацією тоді, коли отримують зміст і форму, яка пригодна для використання в процесі управління.

Економічну основу автоматизації складає комплекс організаційних і технічних заходів, які забезпечують високий економічний ефект від впровадження засобів автоматизації. Основними шляхами підвищення економічної ефективності являються:

- 1) підвищення продуктивності автоматизованих машин і обладнання;
- 2) максимальна уніфікація, нормалізація і стандартизація деталей та вузлів автоматичного обладнання;
- 3) підвищення надійності автоматичних пристроїв і систем;
- 4) зменшення витрат праці на технічне обслуговування і ремонт пристроїв і систем шляхом вживлення технічного діагностування.

Розвиток автоматизації у теперішній час є об'єктивною необхідністю, важливим засобом забезпечення якості продукції, збільшення продуктивності праці і покращення інших техніко-економічних пока-

зників.(Зверніть увагу на нашу спеціальність-Електромеханічні системи автоматизації та електропривода).

Перша особливість автоматизації у тому, що фізіологічні можливості людини у ряді випадків стримують подальше вдосконалення виробництва. Тільки при передачі функцій керування машинам стає можливим створення нового високопродуктивного обладнання, підвищення якості продукції.

Другою особливістю автоматизації є можливість забезпечити керування в небезпечних для людини, важкодоступних або взагалі не доступних сферах. Наприклад, атомні електростанції, дослідження у космосі, праця на великих глибинах у водоймах та ін.

Третя особливість автоматизації – можливість підвищення ефективності розумової діяльності людини .Завдяки автоматизації стає можливим швидко вирішувати складні логічні задачі, виконувати обчислення, ставити діагнози і т.п.

Четверта особливість автоматизації має соціальне значення. Автоматизація приводе до корінних змін характеру праці, підвищення культурного рівня обслуговуючого персоналу.

Ступінь автоматизації технологічного процесу характеризується долею участі людини в управлінні процесом або обладнанням. Оцінка проводиться по значенню коефіцієнту автоматизації

$$k_a = \frac{1}{1 + \frac{t_n}{t_a}},$$

де t_n – середній час виконання неавтоматизованих операцій управління

t_a – середній час, затрачений на автоматизоване виконання операцій.

При $k_a \geq 0.98$ рівень автоматизації досить високий. Технологічний процес при цьому визначається як автоматичний, так як доля ручної праці зведена до мінімуму, а він сам характеризується роботою за пультом управління.

При $0.5 \leq k_a < 0.98$ досягнуть середній рівень автоматизації технологічного процесу, який називається автоматизованим.

При $k_a < 0.5$ технологічному процесу відповідає низький рівень автоматизації. Згідно з цим розрізняють часткову, комплексну і повну автоматизацію виробництва.

Часткова автоматизація представляє собою автоматизацію окремих операцій або технологічних процесів. В багатьох випадках вона застосовується тоді, коли людина практично не може управляти виробничими процесами через складність і швидко текучість. Частково, як правило, автоматизується діюче виробниче обладнання. Системи часткової автоматизації називаються локальними системами.

При комплексній автоматизації ділянка, цех або завод працюють як автоматизований об'єкт. При цьому автоматизація охоплює усі основні виробничі функції підприємства, господарства і служб. Вона доцільна лише при високорозвиненому виробництві на базі досконалої технології і прогресивних методів управління з застосуванням надійного виробничого обладнання, діючого по заданій або самоорганізуючій програмі.

Повна автоматизація охоплює як основні, так і допоміжні виробничі процеси. Функції людини при цьому обмежуються загальним контролем стану процесу.

Ступінь автоматизації визначається насамперед її економічною ефективністю та доцільністю.

Основною складовою частиною автоматизації є керування.

Під керуванням розуміють цілеспрямовану дію, яка вносить бажані зміни в хід процесу, і яка базується на використанні інформації про цей процес. Ця інформація може бути до початку процесу (початкова інформація) або поступати при його здійсненні (робоча інформація).

Класифікація та особливості автоматичних пристроїв і систем.

Автоматизація виробничих процесів здійснюється за допомогою автоматичних пристроїв. Під поняттям «пристрій» при цьому розуміють різні по складності вироби. Так «пристроєм» може бути просте реле, призначене для відключення двигунів при перевантаженні. У той же час можуть бути відносні складні «пристрої», призначені, наприклад, для рішення задач регулювання електричного гальмування та ін.

12.1. Види автоматичних пристроїв.

В залежності від виконуваних функцій при автоматизації процесів розглядають слідуючи види автоматичних пристроїв:

1. Пристрої автоматичного контролю.

З їх допомогою контролюють зміни параметрів об'єму автоматизації, самого процесу, стану зовнішнього середовища та ін.

Наприклад, контроль температури підшипників, води у водозбірниках, швидкості руху та ін.

2. Пристрої автоматичної сигналізації.

Вони, як правило, працюють разом з пристроями автоматичного контролю і дають сигнали (оптичні, звукові) про відхилення від заданого режиму роботи або про необхідність його зміни.

Наприклад, існують сигналізації про не допустимий рівень води у водозбірниках, сигналізація про пожегу у приміщеннях, сигналізація про виникнення режиму КЗ та ін.

3. Пристрої автоматичного захисту.

Ці пристрої призначені для захисту установок або їх окремих елементів від режимів роботи, які можуть привести до пошкодження обладнання.

Досить часто застосовується захист від перевантаження по струму, мінімальний і нульовий захист від зменшення та зниження напруги, газовий захист трансформаторів та ін.

Пристрої автоматичного захисту часто діють разом з пристроями сигналізації про аварійне відключення установки.

4. Пристрої автоматичного керування та регулювання.

Пристрої цього виду повинні забезпечити потрібні зміни деякої величини або ж протікання якого – не будь процесу.

До них відносять відносно прості пристрої, які забезпечують певну послідовність операцій при пуску двигуна і потрібний режим розгону (реле, компресор). Прикладом більш складних пристроїв є регулятори швидкості електроприводів. З їх допомогою забезпечується стабілізація частоти обертання або її зміна по заданій програмі при зміні навантаження або в залежності від якихось інших факторів. Кібернетичними пристроями керування називають пристрої, настройка яких автоматично змінюється у процесі робіт в залежності від отриманої інформації про хід протікання процесу і про зміни зовнішніх умов.

Для цього потрібно отримувати додаткові відомості під час роботи об'єкту, так як початкових відомостей стає не достатньо для рішення задачі керування.

Кібернетичні пристрої часто вирішують логічні задачі. Наприклад, пристрій для керування вуличного руху на перехресті, який дає дозволяючий сигнал з урахуванням кількості автомашин на будь – якій стороні перехрестя та часу їх очікування.

5. Обчислювальні пристрої.

Електричні обчислювальні пристрої можуть вирішувати системи складних диференціальних рівнянь, визначати найбільш вигідні закони зміни деяких параметрів, перекладати з однієї мови на іншу та ін.

Обчислювальні пристрої, як правило, є не від'ємною частиною кібернетичних пристроїв автоматичного керування.

12.2. Системи автоматичного керування та її функціональна схема.

Під системою автоматичного керування розуміють сукупність (до якої входить і об'єкт керування) різних пристроїв, які з'єднані певним чином один з одним і забезпечують рішення поставленої задачі по керуванню об'єктом.

Прикладом може бути система динамічного гальмування підйомної машини. Вона складається із об'єкту, яким є сама підйомна машина, і різних пристроїв: динамічного гальмування, контролю та задання швидкості, виконавчих пристроїв.

При дослідженні роботи системи автоматичного керування. Функціональною схемою системи автоматичного керування називають систему елементів, показаних у вигляді прямокутників, розташованих в послідовності, яка відповідає дії їх один з одним. Напрямок дії вказується стрілками (рис.28).

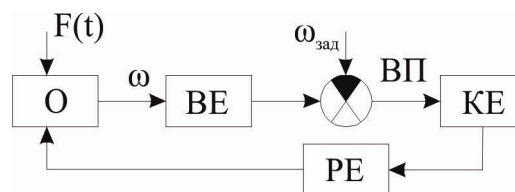


Рис. 28 Функціональна схема системи керування кутовою швидкістю

На рис. 28 показана функціональна схема системи керування кутовою швидкістю ω деякого об'єкту O , на який діє зовнішня сила $F(t)$. Вимірюючий елемент BE контролює зміну кутової швидкості і видає пропорційну їй величину, у вузол порівняння BP . Змінена ω порівнюється з заданою величиною $\omega_{зад}$.

Величина, пропорційна відхиленню дійсної швидкості від заданого значення, поступає до керуючого (підсилюючого) елемента KE . Останній діє на регулюючий елемент PE , який змінює режим роботи об'єкту O таким чином, щоб привести його швидкість до потрібного значення. Характерною особливістю даної системи є те, що вона замкнена, тобто на вхід системи подається інформація про значення

вихідної величини, яка порівнюється із заданим значенням. У цій системі здійснено найбільш поширений принцип регулювання по відхиленню вихідної величини.

12.3. Класифікація систем автоматичного керування по інформаційному принципу.

Досить часто системи автоматичного керування класифікують по інформаційному принципу. При цьому під “інформацією” розуміють сутність відомостей, джерелом яких є досвід.

Початкова (апріорна) інформація потрібна для проектування і подальшої нормальної роботи системи.

Вона повинна бути у розпорядженні до початку розробки системи. Початкова інформація є повною, якщо її достатньо для розробки та функціонування деякої системи з потрібною точністю на весь період експлуатації.

У процесі роботи таких систем не виникає потреби отримання додаткової інформації для зміни задачі або настройки даної системи. Системи автоматичного керування (САК) з повною початковою інформацією називають звичайними системами керування. Це найстаріший і добре вивчений клас систем автоматичного керування.

Звичайні САК базуються на використанні принципу керування по відхиленню керованої величини від заданого значення.

12.4. Кібернетичні системи автоматичного керування.

Якщо початкової інформації виявляється недостатньо для рішення поставленої задачі і виникає необхідність у робочій додатковій інформації, то такі системи називають системами з неповною початковою інформацією.

Вони створюють клас кібернетичних систем автоматичного керування.

Їх можна розділити на два підкласи: системи, які самі настраюються, та ігрові.

Розрізняють три види системи, які самі настраюються: екстремального керування; з коректуючими пристроями, які самі настраюються; та такі, які самі оптимізуються. Ще: настраюються, але не оптимізуються; настраюються на якийсь параметр.

Системи екстремального керування призначені для підтримки керованої величини на рівні, який відповідає екстремуму деякої функції при зміні зовнішніх умов.

При цьому оптимальне значення керованої величини при різних зовнішніх умовах також змінюється.

Нехай керована величина Y є функцією двох величин — регулюючого параметра X та характеристики зовнішніх умов λ (рис. 29).

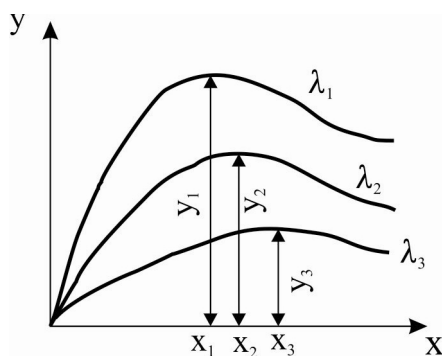


Рис. 29 Характеристики екстремальної САК

При λ максимальне (екстремальне) значення функції $y=f(x, \lambda)$ буде змінюватися (y_1, y_2, y_3) і може бути досягнуто при різних значеннях регулюючого параметру (x_1, x_2, x_3). Самонастроювання системи буде полягати у встановленні такого значення параметра « x », при якому може бути отримано максимальне значення керованого параметра « y » для даного значення λ .

Ігрові системи можуть бути застосовані при наявності багатьох взаємозв'язаних об'єктів. Задачу автоматичного керування у цьому випадку можна розглядати як проведення деякої гри, у якій приймають участь не менше двох сторін. Дії сторін можуть бути випадковими (стохастичними) або частково підкорятися деяким правилам – алгоритмам. У останньому випадку процеси керування можуть бути записані у вигляді деяких залежностей (детерміновані процеси). "Гра", як правило, складається з ряду послідовних етапів (кроків).

Основною особливістю ігрових САК є метод формування команд керування, який полягає у порівнянні можливих різних рішень на даному етапі керування.

Критерієм при порівнянні різних рішень є так звана функція вигоди.

Функція вигоди повинна бути заздалегідь задана на основі попереднього аналізу операції керування.

Рішення, відповідаючі максимальному значенню функції вигоди, називають оптимальним.

Обов'язковим елементом ігрової САК є керуюча машина. Її задача полягає у визначенні великої кількості можливих рішень і виборі з них оптимального. Прийняте рішення використовується для впливу на керуємий процес.

Електропривод рухомого складу залізничного транспорту. Перспективи розвитку електромеханіки.

13.1. ЕП електровозів, тепловозів, включаючи ЕП допоміжних механізмів (компресори, вентилятори).

Електропривод широко застосовується на електрорухомому (Е.Р.С.), тепловозах, пасажирських вагонах та інших видах рухомого складу.

Електровоз – це локомотив, який приводиться у рух електричними двигунами, які отримують енергію через струмоприймач від контактної мережі. У контактну мережу електрична енергія подається від тягової підстанції.

В залежності від роду використовуваного струму електровози розрізняють на електровози постійного струму та електровози змінного струму.

Є також електровози подвійного живлення з постійним та змінним струмом у контактній мережі.

Відносно рідко застосовують акумуляторні електровози, де двигуни живляться від акумуляторних батарей, встановлених на самому електровозі. Тепловоз – це локомотив, який приводиться у рух також електричними двигунами, які живляться струмом від спеціального генератора, який приводиться у рух за допомогою дизеля. Генератори бувають двох типів: постійного струму та змінного.

Допоміжні машини (компресори, вентилятори) на ЕРС, тепловозах, вагонах приводяться у рух також електричними машинами.

На рухомому складі застосовують цілий ряд спеціальних електричних машин (фазоперетворювачі на ЕРС змінного струму, генератори кіл керування на вагонах та ін.).

Колісні пари локомотивів приводяться у рух двигунами. Усі електричні машини і апарати, встановлені на рухомому складі, мають специфічні властивості і називаються – тяговими.

Вали тягових двигунів з'єднанні з віссю колісної пари за допомогою зубчатих передач, або спеціальних муфт.

Широке застосування отримав індивідуальний тяговий привод, при якому кожна колісна пара приводиться в обертання своїм тяговим двигуном.

Електрична частина рухомого складу, крім електричних машин, включає велику кількість апаратів, призначених для під'єднання тягових двигунів, зміни швидкості і напрямку руху, електричного гальмування, захисту обладнання від перенавантажень, перенапруг і струмів короткого замикання. Керують цими апаратами, як правило, дистанційно – з кабіни машиніста, купе провідника.

Для забезпечення роботи багатьох апаратів потрібне стиснуте повітря. Його отримують за допомогою компресора.

При роботі електричних машин, апаратів виділяється значна кількість тепла. При необхідності електрообладнання охолоджують потоком повітря, яке створюється – вентиляторами.

13.2. Принципова схема сучасної електроенергетики.

Широке застосування електричної енергії у всіх галузях техніки, у сільському господарстві та побуті є одним з основних напрямків технічного прогресу у теперішній час.

Але у процесі будувannya «Електричного світу» виявляються не тільки сильні, а й слабкі сторони використання цієї форми енергії. У розпорядженні людства нема суттєвих реальних природних запасів електроенергії в якій – не будь формі.

Використання природних джерел електричної енергії – атмосферної електрики або геострумів – поки не розглядається як реально технічна задача. Крім того, отриману будь – яким способом електричну енергію треба зразу використовувати. Накопичення її у чистому вигляді в якій – не будь значній кількості поки що людству не доступно.

Таким чином, принципова схема сучасної електроенергетики складається із наступних зв'язаних елементів: генераторна установка (електростанція), на якій один із доступних видів енергії(хімічної, теплової, механічної, промислової) перетворюється в електричну; лінія передачі, яка зв'язує генераторну установку із споживачем та споживач, який, як правило, використовує можливість відносно легкого перетворення електричної енергії в яку – не будь іншу форму, наприклад, у механічну, теплову, хімічну і т.д. У цій схемі електрика виконує роль передаючого агента. Тому її іноді називають транспортною формою енергії. Це настільки зручна для передачі, настільки гнучка у перетвореннях форма енергії, що є усі підстави припустити, що застосування електрики у всіх галузях техніки і її значення для людства буде зростати.

13.3. Сучасні лінії електропередач (ЛЕП) та перспективи їх розвитку.

Електроенергія у теперішній час передається головним чином по проводам кабельних та повітряних ліній. Такий спосіб передачі є найбільш простим. Але із збільшенням довжини ліній і підвищенням їх напруги вартість ЛЕП збільшується і ефективність використання електроенергії зменшується. Крім того, ЛЕП зверх високої напруг негативно впливають на екологію місцевості, де вони проходять. І ще, на спорудження ЛЕП витрачається дуже велика кількість кольорових металів – міді та алюмінія.

Тому великий інтерес викликають дослідження по створенню нових методів передачі електроенергії.

Один з них – використання зверхпровідних матеріалів. Їх принцип у тому, що при температурі абсолютного нуля (-273 K) усі провідники втрачають опір. Не дивлячись на необхідність значних затрат на холодильні установки, лінії передачі з таких кабелів можуть бути краще діючих ліній по економічних показниках. Уже є зразки зверхпровідних кабелів.

Другий напрямок – передача енергії без проводів. Цей метод передбачає велику концентрацію енергії, а також перетворення колосальних потужностей в енергію зверхвисоких частот. Поява квантово-

оптичних генераторів (лазерів, мазерів) об'єктивно робить реальною можливість використання цього напрямку. Уже проведені дослідження по передачі енергії на невелику відстань безпосередньо через простір (без проводів). При цьому ККД передачі отримали близько 40 %.

13.4. Розвиток генераторних установок.

Розглядається можливість створення сонячних електростанцій – супутників з передачею енергії на Землю за допомогою мікрохвильових генераторів.

Розробляються проекти «водневої енергетики», в якості носія та джерела енергії використовується водень. Основні переваги цього методу – можливість акумулювання енергії, створення водневих «чистих» двигунів, не забруднюючих навколишнє середовище.

Ведуться дослідження по підвищенню ефективності теплових електростанцій. Суттєвого підвищення їх ефективності можна досягнути шляхом застосування магнітогідродинамічних генераторів (МГД - генераторів) (рис. 30).

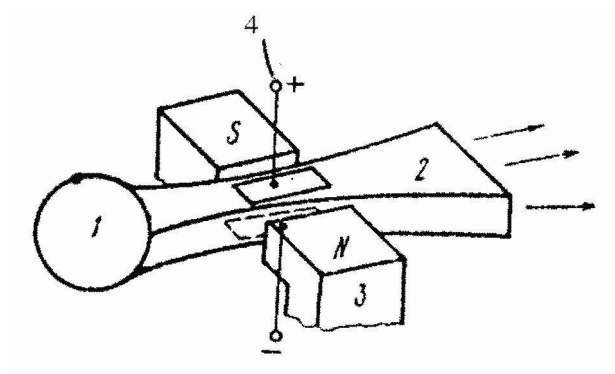


Рис. 30 Будова МГД – генератора:

1 – камера згорання; 2 – робочий канал (сопло);
3 – магнітна система; 4 – спеціальні контакти.

Робочим тілом у них є розжарені продукти згорання палива при початковій температурі 2200...2300 °С. При таких температурах газ іонізований являє провідне середовище (плазму). При проходженні газу через сопло, яке розширюється, і в якому створюється сильне магнітне поле, у газі наводиться ЕРС. Електрична енергія знімається

з спеціальних контактів, які вмонтовані у стінки сопла. Відроблений газ, розширений та охолоджений, використовується для нагріву парового котла звичайної теплової станції.

Є дослідні МГД – генератори потужністю до 25000 кВт.

Значне місце в енергетиці займає атомна електроенергетика.

Великий прогрес досягнуто в галузі малої енергетики у зв'язку з розробкою електрохімічних генераторів (топливних елементів).

Робочим тілом у них є гази або рідини, які безперервно подаються в елемент. Окислювачем є окисен. Хімічна енергія перетворюється в електричну без проміжних етапів. Ведуться роботи по використанню сонячної енергії та її похідних – енергії вітру, хвиль, теплової енергії земних надр.

Особливість цих видів енергії – мала концентрація, тому для отримання значних потужностей потрібно створювати приймаючі системи великих розмірів.

Розвивається і атомна енергетика, хоча Чорнобильська катастрофа показала можливі негативні сторони використання енергії розщеплюючихся елементів.

Перспектива цього напрямку – розробка установок термоядерного синтезу.

Розвиток електростанцій і в майбутньому буде пов'язаний з використанням електромеханічних перетворювачів енергії (електромашинних генераторів).

13.5. Сучасні споживачі електроенергії та перспективи їх розвитку.

Третьою ланкою енергосистем, заради якої вони і створюються, є споживачі електроенергії. Суттєву частину серед них складають електроприводи, в яких використовуються електричні двигуни різних типів. Одночасно зростає роль електротехнологій, коли використовується не механічна дія на об'єкт обробки, а дія електричних і магнітних полів, їх силових, хімічних та теплових ефектів.

Розвиваються нові електромеханічні процеси, коли поряд з традиційними гальванічними ваннами застосовують установки для анодної

обробки; установки, в яких використовують електрогідравлічний ефект та імпульсні магнітні поля.

Подальший розвиток отримують усі види електрозварки як електродугової, так і плазменної, лазерної, з допомогою потужних електронних пучків.

Види електростанцій та енергетичні системи. Основні напрямки розвитку автоматизованого електроприводу.

14.1. Теплові електростанції (ТЕС).

ТЕС, як правило, потужні електростанції, споруджені найчастіше близько до залежів палива і основних споживачів енергії. Основні елементи ТЕС наведені на рис. 31

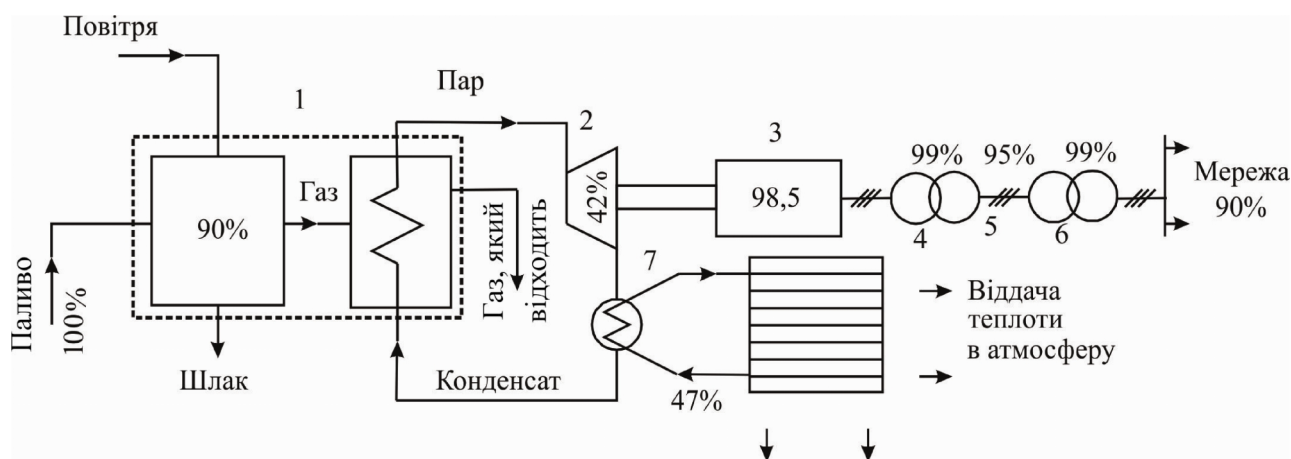


Рис. 31 Схема ТЕС і лінії електропередачі:

- 1 – котел; 2 – турбіна; 3 – генератор; 4 – підвищувачий трансформатор;
 5 – лінія електропередачі; 6 – понижувачий трансформатор;
 7 – конденсатор.

Первинним джерелом енергії є паливо (вугілля, газ, мазут, торф та ін.).

Теплота, яка виділяється при спалюванні палива у котлі 1, випарює воду і нагріває пар (робоче тіло). Нагрітий пар під високим тиском надходить у турбіну 2, яка приводить в обертання турбогенератор 3 змінного струму. Електроенергія, вироблена турбогенератором,

надходить у підвищуючий трансформатор 4, лінію електропередачі 5, понижуючий трансформатор 6 і далі у мережу, живлячу споживачів.

14.2. Атомні електростанції (АЕС).

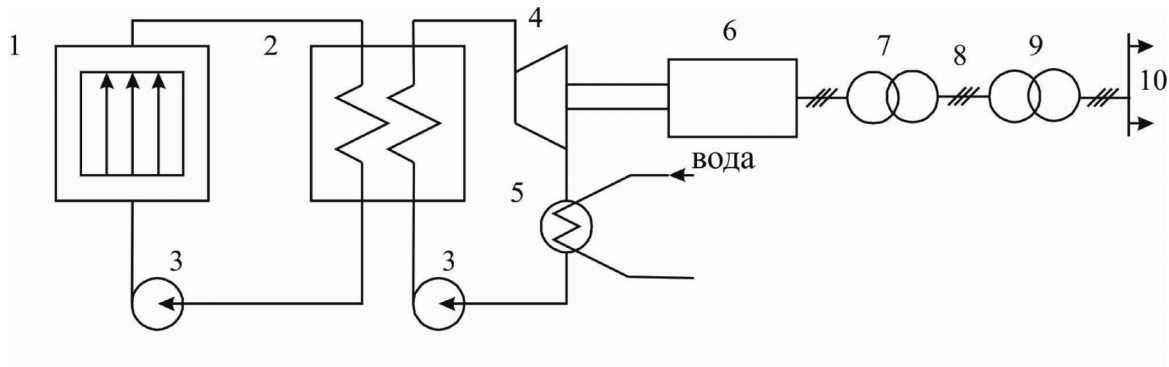


Рис. 32 Схема атомної електростанції і лінії електропередач:
 1- реактор; 2- теплообмінник; 3- насоси; 4- турбіни; 5- конденсатор; 6- генератор; 7- підвищуючий трансформатор; 8- ЛЕП; 9- понижуючий трансформатор; 10- мережа.

Первинне джерело енергії – ядерне паливо, яке завантажують у реактор 1(рис.31). Тепло, яке виділяється за рахунок розщеплення ядер урану у реакторі, нагріває теплоносій (воду під тиском, газ та ін.),циркулюючий у замкнутому контурі для запобігання радіоактивного забруднення.

У теплообміннику 2 тепло передається у другий контур, де створюється пар з високими температурою і тиском, який обертає турбіну 4

Будова та призначення інших елементів АЕС аналогічні відповідним елементам ТЕС,працюючих на звичайному паливі.

14.3. Гідро електростанції (ГЕС).

Первинне джерело енергії – енергія падаючої води на лопатки гідротурбіни, яка приводить в обертання генератор змінного струму.

Передача енергії споживачу – аналогічна вище приведеному процесу при ТЕС.

14.4. Необхідність збільшення напруги ЛЕП при збільшенні передаваної потужності.

Напруга генераторів електростанції по технічним причинам відносно не велика (20.....30 кВ), а потужність їх досягає сотень мегават. Тому значення струмів в цих генераторах може досягати десятків тисяч ампер.

Передача таких струмів на великі відстані практично не можлива, так як для цього потрібні були б проводи дуже великих перерізів. Крім того, втрати енергії при передачі, які пропорційні квадрату струму, також були б значними.

Тому з ростом потужностей напруги ЛЕП повинні збільшуватися. Типові напруги ЛЕП дорівнюють 110, 220, 330, 500, 750 кВ та вибираються в залежності від передаваної потужності і довжини лінії.

Розподільчі мережі (від трансформаторів підключених до ЛЕП до трансформаторів, від яких живляться споживачі) мають напругу 110, 35, 10, 6 кВ.

Для більш економічного використання обладнання та енергетичних ресурсів енергетичного району електростанції об'єднують в енергетичні системи. Це також збільшує надійність електропостачання споживачів, так як при перенавантаженні або аварії на одній з електростанцій споживачі не відключаються, а починають отримувати електроенергію від інших станцій.

14.5. Сучасні тенденції розвитку автоматизованого електроприводу.

Основні сучасні тенденції у розвитку автоматизованого електроприводу наступні: виробництво електричних машин з раціональним значенням потужностей для кожної галузі господарства;

розробка плавно регульованих електроприводів змінного та постійного струму на основі напівпровідникових елементів;

підвищення точності, надійності та інших показників якості роботи установки та їх продуктивності на основі застосування більш вдосконалих систем автоматичного керування;

глибше проникнення у суть фізичних явищ, які виникають при роботі складних електроприводів;

ускладнення задач, які вирішуються автоматизованим електроприводом, у зв'язку з широким застосуванням на виробництві сучасних пристроїв автоматичного керування і технічної кібернетики, ЕОМ та інших сучасних технічних засобів;

застосування в промисловості автоматичних ліній, які основані на застосуванні промислових роботів та маніпуляторів;

застосування автоматизованого електропривода як під системи, яка входить в автоматизовану систему керування деяким технологічним процесом;

розробка автономних електроприводів та відповідних систем керування ними.

Розглянемо деякі конкретні приклади вказаних систем.

Наприклад, потужність мережевого приводного двигуна зверхпотужного крокуючого екскаватора (ківш 125 м^3 , довжина стріли 125 м) складає більше 28 тис. кВт.

Потужність двигуна в електробритві – декілька десятків Вт.

Тривалий час системою електроприводів постійного струму різної потужності, яка забезпечує регулювання частоти обертання у широкому діапазоні, була і є система генератор - двигун. (рис. 33)

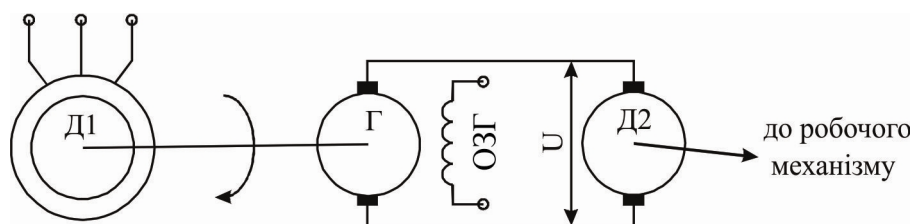


Рис. 33

Д1 приводить в обертання з сталою частотою обертання генератор Г, від якого отримує живлення двигун постійного струму Д2, обертаючий робочу машину. Частота обертання Д2 регулюється шляхом зміни напруги U генератора за рахунок регулювання струму в обмот-

ці збудження генератора ОЗГ. Основний недолік цієї системи у тому, що потрібні три електричні машини (Д1, Д2, Г), потужність кожної з яких приблизно дорівнює потужності двигуна Д2, який приводить в дію робочий механізм.

Тому система Г-Д є відносно громіздкою, дорогою, має низький ККД.

У теперішній час є тенденція заміни, де це можливо, Д1 та Г статичними напівпровідниковими пристроями.

Інтенсивні роботи ведуться по створенню плавнорегулюємих електроприводів змінного струму з асинхронними короткозамкненими двигунами на основі застосування регульованих напівпровідникових перетворювачів частоти.

14.6. Підвищення якості керування електроприводом.

Все більші вимоги пред'являються у відношенні якості керування. Ручне керування має суттєві недоліки, одне з основних є невелика точність роботи оператора, що може привести до продовження робочого циклу, зменшенню продуктивності, збільшенню браку. Особливо це проявляється у кінці зміни у результаті втоми оператора.

Автоматичне керування усуває недоліки ручного. У наш час широкое застосування знаходить програмне керування, коли система керування слідує за відповідністю дійсного режиму розрахунковому і при появі розбіжності намагається його усунути.

Більш складні задачі вирішуються за допомогою кібернетичних саморегулюємих та ігрових систем.

Перспективним є застосування промислових роботів та маніпуляторів. Їх розробка та дослідження поклали початок науково – технічного напрямку – роботехніки.

У промислових роботів є виконавчий орган – механічна рука, функції якого відповідають функціям людської руки.

Робота студентів у вищому навчальному закладі.

15.1. Етапи процесу навчання та засвоєння знань.

Успіх в навчанні визначається у першу чергу роботою студентів. Одне з найважливіших завдань, які стоять перед студентами, - навчитись вчитись. Це потрібно не тільки для навчання у ВНЗ, а й важливо для фахівця у його творчому житті.

Процес навчання і засвоєння знань можна поділити на наступні етапи: розуміння матеріалу, засвоєння знань, вироблення навиків практичного використання цих знань і, нарешті вміння творчо їх застосувати.

Якщо перші етапи відносно легко піддаються формальній перевірці, то придбати практичні навички, а тим більше вміння використовувати отримані знання студент може тільки шляхом самостійної творчої роботи. Отримані знання безперервно застосовуються під час вивчення наступних дисциплін і особливо у процесі підготовки до практичних, лабораторних занять і під час їх проведення.

15.2. Роль у навчальному процесі лекцій, практичних та лабораторних занять, курсових та дипломних проєктів.

Лекціям належить найважливіша роль у навчальному процесі. Саме вони несуть основний потік навчальної інформації, дають розуміння і знання, які потрібні для наступного практичного використання. В лекціях викладається

основне в даній дисципліні, виявляється найбільш сучасні тенденції і проблеми.

Не підготовлені студенти не зацікавляться матеріалом лекції, не зможуть активно сприймати її. Підготовленим можна вважати такого слухача, який засвоїв попередній матеріал, може, не збиваючись, слідкувати за думкою лектора, за логікою її розвитку.

Велика роль у засвоєнні лекцій належить конспекту. Важливо не механічно фіксувати слова лектора, а записуючи основні положення, проводити самостійну роботу по засвоєнню матеріалу. Активно працювати на лекції студент може тільки у тому випадку, якщо він підготовлений до неї. Підготовка – це в першу чергу опрацювання попереднього матеріалу. При систематичному перегляді попередніх лекцій витрати часу невеликі, але це дає великий ефект.

Після закінчення розділу є сенс повторити його у цілому по конспекту та підручнику.

Не існує альтернативи – чи конспект, чи підручник. Вірний метод роботи – використання як конспекту, так й підручника.

Найповніший конспект не замінює підручника. Намагання до формальної його повноти заважає міркувати на лекції, заважає свідомо сприймати матеріал. Потрібне розумне сполучення, яке створює найкращі умови для свідомого сприйняття матеріалу при найменших витратах часу.

Конспект по кожній дисципліні рекомендується вести в окремому зошиті, писати на одному боці аркуша, залишаючи поля. На полях зручно відмічати не зрозумілі місця, питання, вносити короткі пояснення. Чистий бік аркуша використовується для доповнень, перетворень які проводяться самостійно при роботі над матеріалом із підручника.

Писати бажано чітко, щоб не витратити час на розшифровку тексту. У той же час для прискорення ведення конспекту рекомендується широко використовувати скорочення та умовні позначення. Особливу увагу потрібно звертати на якісне та точне зображення графічного матеріалу.

При наявності якісного конспекту та підручника самостійна робота над матеріалом попередньої лекції потребує витрат часу від 15 до 30 хвилин, що передбачено у балансі часу самостійної роботи студентів. Ці витрати часу явно оправдані, бо при цьому виключається «штурмівщина» під час контрольних термінів, забезпечується більш міцне закріплення знань. Крім того, змінюється на краще вся атмосфера роботи. Розуміння матеріалу наступної лекції полегшує сприйняття та викликає цікавість у студента, змінює відношення між лектором та аудиторією. У благодатній обстановці лекція прохо-

дить з підйомом, жваво, більш цікаво і для слухачів і для лектора. Правильна систематична робота над матеріалом лекцій дає студенту не тільки розуміння дисципліни, яка вивчається, але і знання основних її співвідношень та положень.

Але навички практичного використання цих знань, вміння застосовувати їх для рішення конкретних задач набуваються при виконанні практичних і лабораторних занять, курсового та дипломного проектування, виробничих практик.

Практичні заняття дають навички рішення типових задач на основі теоретичних положень даної дисципліни. Ніщо так не сприяє підвищенню зацікавленості до дисципліни, свідомості своїх можливостей, як рішення задач, особливо зв'язаних з практикою.

Важливим боком підготовки фахівця є вміння працювати з цифровим матеріалом, виконувати обчислювання, володіти сучасною обчислювальною технікою.

Особливе місце у навчальному процесі займають лабораторні заняття. Вони не тільки підкріплюють теоретичний матеріал, але й дають підготовку, яка потрібна для науково-дослідної роботи. У ході лабораторних робіт здобуваються навички постановки та проведення експерименту, роботи з обладнанням та вимірювальною апаратурою, виявляються основні закономірності процесів. Все це необхідно для майбутнього фахівця.

Але, щоб лабораторні заняття виконували ці функції, потрібно свідоме відношення до них студентів. Найбільшу шкоду приносить механічна участь в лабораторних заняттях з наступним відтворенням результатів.

Лабораторні роботи виконуються бригадами, що необхідно для спостереження за різними приладами та оперативного проведення роботи. Активні члени бригади проводять усю основну роботу, а пасивні, не підготовлені, виконують тільки механічну роботу, переписують дані.

Для активної участі потрібна попередня підготовка до роботи – знайомство з теорією та постановкою роботи. Тільки у цьому випадку можливе свідоме планування та проведення роботи, оцінка отриманих результатів.

Студент, який не достатньо відповідально відноситься до проведення лабораторних робіт, буде мати великі прогалини у своїй підготовці, як фахівця.

Спеціаліст повинен не тільки мати достатні знання, але й вміти втілювати їх у конкретні інженерні рішення, які втілюються у проекти.

У навчальному процесі вміння та навички проектування здобуваються при виконанні курсових і дипломних проектів.

Курсовий проект складається із пояснювальної записки та графічної частини. У пояснювальній записці розглядається поставлена задача, наводяться основні розрахунки, дається обґрунтування прийнятих рішень, основні схеми та характеристики об'єкту, який спроектовано, оцінюється відповідність цього об'єкту технічному завданню, нормам, державним стандартам, а також дається техніко – економічна оцінка отриманих рішень, наводиться розділ по охороні праці.

При проектуванні студент використовує свої знання по цілому циклу дисциплін та втілює їх у розробку, яка повинна враховувати не тільки вимоги експлуатації, але й технічні можливості. Пояснювальна записка та графічна частина виконуються з урахуванням усіх діючих норм і рекомендацій.

Навчальне проектування ведеться під керівництвом викладача, але у ході виконання проекту від студента очікується все більша міра самостійності, і при захисті проекту студент відповідає за правильність прийнятих рішень.

Особливе місце у цьому відношенні займає дипломний проект, де керівник виступає у ролі лише консультанта, а усі основні рішення приймає проектувальник.

Якість оформлення пояснювальної записки, мова та стиль викладання, якість графічного матеріалу — все це характеризує, як загальну, так й інженерну культуру автора проекту. При проектуванні потрібно дотримуватись графіка виконання проекту, який дається керівником з урахуванням усього навчального процесу.

По більшості видів навчальних занять є методичні посібники та вказівки, які полегшують студентам підготовку та проведення робіт.

Навчальний процес в університеті здійснюється згідно навчального плану підготовки фахівців. Зразок навчального плану наведено у додатку.

2. План навчального процесу

№ п/п	Назва дисципліни	Семестр. контроль			Години									Розподіл аудиторних одиниць по курсах і семестрах												
		екзамен	залк	курсов. проект	всього за планом	всього кредитів за ECTS	аудиторні					індивідуальні завдання	самостійна робота	1 курс	2 курс	3 курс	4 курс	5 курс								
							лекції	лаборатор. роботи	практичні заняття	разом	1			2	3	4	5	6	7	8	9	10				
		кількість тижнів													16	16	16	16	16	16	16					
		кількість тижнів													16	16	16	16	16	16	16					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23				
Цілі дисциплін підготовки бакалавра																										
1. Цілі гуманітарної та соціально-економічної підготовки																										
1	Історія України	1			108	3	16		16	32	реф	76	101													
2	Історія української культури	2			72	2	16		16	32		40		101												
3	Українська мова (за професійним спрямуванням)	7			108	3	16		32	48		60							102							
4	Філософія	4			108	3	32		16	48		60			201											
5	Політологія	6			72	2	16		16	32		40						101								
6	Іноземна мова	3	12		180	5			96	96	кз-6	84	002	002	002											
7	Фізичне виховання		1234		288*	8*			256*	256*		32*	004	004	004	004										
					648	18	96	0	192	288	0	360	8	8	6	7	-	2	3	-						
1.1. Цілі гуманітарної та соціально-економічної підготовки за вибором студента																										
8	Вибіркова дисципліна		3		72	2	32			32		40			200											
9	Вибіркова дисципліна		5		72	2	32			32		40					200									
10	Вибіркова дисципліна		8		72	2	32			32		40								400						
					216	6	96	0	0	96	0	120	-	-	2	-	2		-	4						
1.2. Цілі математичної, природничо-наукової підготовки																										
11	Базисна математика	1234			684	19	128		144	272		412	203	202	202	202										
12	Загальна фізика	12			396	11	96	32	64	192		204	312	312												
13	Інженерна та комп'ютерна графіка		1д2д		180	5	16		64	80	кз-2	100	102	002												
14	Теоретична механіка	3	2		216	6	64		32	96	ррр-4	120		201	201											
15	ОТ та програмування	2	1		360	10	32	64	32	128	кз-2	232	121*	121*												
16	Прикладна механіка		4д		144	4	32	16	16	64	кз-2	80				211										
					1980	55	368	112	352	832		1148	18	19	7	8	-	-								
1.3. Цілі професійної та практичної підготовки																										

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	1.3.1 Цикл професійної підготовки																					
17	Теоретичні основи електротехніки	34			360	10	64	32	32	128	кз-3	232			211	211						
18	Теорія електродвигуна	67		7	324	9	80	32	32	144	кп	180						311	211			
19	Теорія автоматичного керування	456			360	10	112	16	48	176	кз-3	184			201	201	301					
20	Електричні машини	56		6	288	8	80	16	32	128	кп	160					301	211				
21	Модельвання електромеханічних систем	7			180	5	32	16	16	64	кп	116							211			
22	Економіка та організація виробництва		7		108	3	32		16	48		60							201			
23	Екологія та професійне спрямування		3		54	1,5	24			24		30			201							
24	Безпека життєдіяльності		3		54	1,5	16		8	24		30										
25	Основи охорони праці	8			54	1,5	16	8		24		30								210		
26	Основи метрології та електричні вимірюв.	4			162	4,5	32	32		64		98				220						
					1944	54	488	152	184	824		1120			7	11	7	13	11	3		
	1.3.2 Цикл практичної підготовки					0				0		0										
	Навчальна практика		2		126	3,5				0		126										
	Загально-запізнавальна практика		4		54	1,5				0		54										
	Експертна практика		6		54	1,5				0		54										
	Переддипломна практика				162	4,5				0		162										
	Дипломування				324	9				0		324										
					720	20	0	0	0	0	0	720										
	2. Варіативна частина																					
	2.1. Цикл дисциплін самостійного вибору ВНЗ																					
27	Загальний курс залізниць	1			126	3,5	32		32	64		62	202									
28	Безпека руху та ПТЕ залізниць		3		72	2	32			32		40			200							
29	Електрика та перетворювальна техніка	5	4д		216	6	64	32		96	кз-2	120				210	210					
30	Механіка електродвигуна		5		144	4	48		16	64	кп-1	80					301					
31	Вступ до електродвигуна і автоматизації	3	2		180	5	48		32	80	кз-1	100		101	201							
32	Елементи автоматизованого електродвигуна		5		126	3,5	32		16	48	кз-2	78					201					
33	Конструкційні матеріали		3		90	2,5	32			32		58			200							
34	Механічне обладнання з електродвигуном підприємств транспорту		5		108	3	32		16	48	кп-1	60					201					
						0				0		0										
35	Електричні апарати		6		144	4	48	16		64	кп-1	80							310			
36	Мікросхемотехніка	6		6	144	4	32	16		48	кп	96							210			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
37	Системи керування електроприводом	8	7	7	270	7,5	64	8	40	112	кр	158							302	211		
38	Силові перетворювачі і автоматизовані електроприводи	7		7	144	4	32		16	48	кр	96							201			
39	Мікропроцесорні пристрої		8		108	3	24		24	48		60								303		
40	Спеціальні електричні машини		7		108	3	32		16	48	кз-1	60							201			
41	Спеціальні питання теоретичних основ електроенергетики		5		108	3	32		16	48	кз-1	60					210					
42	Спеціальні електроприводи і автоматизація техніко логічних комплексів	8	7		180	5	32		32	64	рпр-1	116							101	202		
					2268	63	616	72	256	944		1324	4	2	7	3	16	7	13	13		
2.2. Цілі дисциплін вільного вибору студента																						
43	Військова підготовка або :	57	68	8	864	24	192		240	432	кр	432						304	304	304	303	
43	Прикладні програми в розрахунках електроприводів		56		306	8,5	48	64		112		194					220	120				
44	Системи автоматизованого електроприводу та їх моделі		6		144	4	32	16		48		96						201				
43	Цифрові елементи в електроприводах		8		126	3,5	24		16	40		86								302		
44	Теплообмінні процеси в електромеханічних системах		8		144	4	32			32		112								400		
45	Стандартні режими автоматичних систем при детермінованих впливах		7		144	4	32		16	48		96							201			
					864	21	168	80	32	280		584	-	-	-	-	4	6	3	9		
Разом за ОКР "Бакалавр"					8640	237	1832	416	1016	3264	0	5376	30	29	29	29	29	28	30	29	0	0

кп - курсовий проєкт, кр - курсова робота, рпр - розрахунково-графічна робота, кз - контрольне завдання, реф - реферат

* - позакредитна дисципліна

НВ _____ Матусевич О.О.

Перший проректор

Боднар Б.Є.

Декан факультету

Кійко А.І.

Зав.кафедрою "АЕП" _____ Муха А.М.

ЗМІСТ

Передмова	3
Вступ.....	4
ОСНОВНІ ВИЗНАЧЕННЯ	9
1.1. Схема найпростішого електромеханічного перетворювача	12
1.2. Електромеханічний перетворювач у режимі генератора	13
1.3. Електромеханічний перетворювач у режимі двигуна	15
1.4. Основні положення енергоперетворення	16
1.5. Класифікація ЕМ	17
ПРИНЦИП ДІЇ МАШИН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ (МПС). ЗАСТОСУВАННЯ МПС, СИСТЕМИ ЇХ ЗБУДЖЕННЯ, ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
2.1. Перетворення змінного струму в обмотці якоря ГПС у постійний у зов- нішньому колі	19
2.2. Застосування МПС, системи їх збудження. Основні характеристики.	20
ПРИНЦИП ДІЇ ТА ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИНХРОННИХ МАШИН (СМ), АСИНХРОННИХ МАШИН (АМ).	
3.1. Принципова схема СМ.....	24
3.2. Механічна характеристика СД.....	25
3.3. Зовнішня характеристика СГ	26
3.4. Принцип дії та основні характеристики в асинхронних машин (АМ)	27
3.5. Спеціальні машини	29
ПРИНЦИП ДІЇ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ТРАНСФОРМАТОРІВ.	
4.1. Принцип дій трансформатора	30
4.2. Застосування трансформаторів	32
ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ.	
5.1. Резистори та реостати	33
5.2. Конденсатори електричні	34
5.3. Рубильники, перемикачі та пакетні вимикачі	34
5.4. Кнопки керування	36
5.5. Реактори електричні.....	36
5.6. Електромагнітні контактори, реле.....	39
5.7. Автомати	41
5.8. Контролери та командо-контролери	42

5.9. Запобіжники	43
5.10. Магнітні пускачі	44
НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПРИЛАДИ ТА ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА.	
6.1. Напівпровідниковий діод та його вольт-амперна характеристика	45
6.2. Транзистори, тиристори	46
6.3. Види перетворення електричної енергії	46
ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОМАШИНОБУДУВАННЯ ТА НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ.	
7.1. Підвищення якості ЕМ за рахунок використання нових матеріалів....	48
7.2. Вдосконалення традиційних конструкцій ЕМ та створення принципово нових	50
7.3. Основні особливості і перспективи розвитку перетворювальних напівпровідникових пристроїв, які застосовуються в електромеханіці	53
7.4. Тенденція до заміни у системі генератор-двигун електромашинного генераторного блока напівпровідниковими пристроями	53
7.5. Потужні перетворювачі змінного струму в постійний.....	54
ЕЛЕКТРОПРИВОД ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.	
8.1. Групи ЕП в залежності від збудження, формула для механічної характеристики двигуна.....	55
8.2. Регулювання частоти обертання електродвигунів.....	56
8.3. Природні та штучні механічні характеристики двигунів	58
ЕЛЕКТРОПРИВОД ЗМІННОГО СТРУМУ.	
9.1. Електропривод з асинхронними двигунами (АД).....	59
9.2. Електропривод із синхронними двигунами.....	61
9.3. Електроприводи змінного струму з регулюємими колекторними двигунами змінного струму, з лінійним АД.....	62
РЕЖИМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ.	
10.1. Статичний (постійний) режим роботи електроприводу.....	63
10.2. Динамічний (перехідний) режим роботи електроприводу	64
10.3. Шляхи керування динамічними режимами електроприводу	65
ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ І ОСОБЛИВОСТІ ЇХ АВТОМАТИЗАЦІЇ.	
11.1. Пояснення терміну — технологічний процес, види виробничих процесів	68
11.2. Механізація та автоматизація виробничого процесу.....	68
11.3. Історія розвитку автоматизації	71
11.4. Технічна, наукова та економічна основа автоматизації	74
КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ АВТОМАТИЧНИХ ПРИСТРОЇВ І СИСТЕМ.	
12.1. Види автоматичних пристроїв	77
12.2. Системи автоматичного керування та її функціональна схема	79
12.3. Класифікація систем автоматичного керування по інформаційному принципу	80
12.4. Кібернетичні системи автоматичного керування	80

ЕЛЕКТРОПРИВОД РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ.

13.1. ЕП електровозів, тепловозів, включаючи ЕП допоміжних механізмів (компресори, вентилятори)..... 83

13.2. Принципова схема сучасної електроенергетики..... 84

13.3. Сучасні лінії електропередач (ЛЕП) та перспективи їх розвитку..... 85

13.4. Розвиток генераторних установок..... 86

13.5. Сучасні споживачі електроенергії та перспективи їх розвитку..... 87

ВИДИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ. ОСНОВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ.

14.1. Теплові електростанції (ТЕС)..... 89

14.2. Атомні електростанції (АЕС)..... 90

14.3. Гідро електростанції (ГЕС)..... 90

14.4. Необхідність збільшення напруги ЛЕП при збільшенні передаваної потужності..... 91

14.5. Сучасні тенденції розвитку автоматизованого електроприводу..... 91

14.6. Підвищення якості керування електроприводом..... 93

РОБОТА СТУДЕНТІВ У ВИЩОМУ НАВЧАЛЬНОМУ ЗАКЛАДІ.

15.1. Етапи процесу навчання та засвоєння знань..... 94

15.2. Роль у навчальному процесі лекцій, практичних та лабораторних занять, курсових та дипломних проектів..... 94

Додаток. Навчальний план підготовки бакалавра за напрямом 6.050702 «Електромеханіка»..... 98

ЛІТЕРАТУРА

- 1) Москаленко В. В. Электрический привод: Учеб. Пособие для студ. учреждений сред. проф. Образования [текст] – М.: Мастерство: Высшая школа, 2000. – 368 с.
- 2) Новиков А. В., Попович Н. Г., Постинков И. Н., Радченко Л. А. Введение в специальность. Электрические машины, электропривод и автоматизация промышленных установок. [текст] – Киев : Вища школа, Головное издательство, 1981, – 192 с.
- 3) Дубинець Л. В., Момот О. І., Маренич О. Л. Електричні машини . Трансформатори. Асинхронні машини: Навчальний посібник. [текст] Д.: Видавництво Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, 2004. – 208 с.
- 4) Дубинець Л. В., Момот О. І., Маренич О. Л. Електричні машини. Синхронні машини. Машини постійного струму : Навчальний посібник. [текст] Д.: Видавництво Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, 2007, – 200 с.
- 5) Шишмарев В.Ю. Автоматика [текст] – М.: Академия, 2008. – 288с.