

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЕЛЕКТРОПРИВОД І АВТОМАТИЗАЦІЯ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

Суми
2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ

СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра енергетики та електротехнічних систем в АПК та фізики

ЕЛЕКТРОПРИВОД І АВТОМАТИЗАЦІЯ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання

спеціальності 208 - «Агроінженерія»

Суми
2022

УДК – 5150-(075.8)
ББК 22.151.3(Я73)

Укладачі:

Чепіжний А.В., к.т.н. доцент; завідувач кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ;

Рясна О.В., старший викладач кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ

Електропривод та автоматизація Конспект лекцій для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання по спеціальності 208 - «Агроінженерія» /Суми, 2022 рік, 57 ст., рис. 13, табл. 1, бібл. 9.

В конспекті лекцій наведені теми лекційних занять.

Конспект лекцій призначений для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання спеціальності 208 - «Агроінженерія».

Рецензенти: Герасименко В.О., к.ф-м.н., доцент, завідувач кафедрою вищої математики СНАУ;

Кравченко В.О., к. ф-м. н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем

Відповідальний за випуск: Чепіжний А.В., к.т.н., доцент; завідувач кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ

Рекомендовано до видання навчально-методичною радою інженерно-технологічного факультету. Протокол № 6 від « 25 » травня 2022 року

Тематичний план

№ п/п	Назва розділу, теми	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
1	Лекції (осінній семестр)	18	68

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1.Лекційний матеріал	7
1.1 Вступ. Загальні відомості.....	7
1.2 Будова та принцип дії двигунів постійного струму.....	16
1.3 Будова та принцип дії асинхронних двигунів.....	28
1.4 Будова та принцип дії синхронних двигунів.....	33
1.5 Теоретичні основи механіки електроприводу.....	37
1.6 Енергетика електроприводу.....	41
1.7 Загальні відомості про схеми керування електроприводу.....	44
1.8Принцип побудови замкнених систем електропривода.....	51
Список рекомендованої літератури.....	54

ВСТУП

Дисципліна «Електропривод і автоматизація» є однією з основних профільюючих дисциплін у системі підготовки інженера електромеханіка та інженера механіка.

Метою вивчення дисципліни «Електропривод і автоматизація» є надання майбутнім спеціалістам досить глибоких знань і уявлень в галузі електричних машин, електромеханічного перетворення енергії та управління процесами такого перетворення, що повинно стати основою для практичної діяльності в галузі експлуатації електричних машин, електроприводів та систем автоматизації на їх основі.

Предметом вивчення дисципліни є: будова та принцип дії електричних машин; питання механіки електроприводу та загальні принципи його будови; схеми, характеристики, регульовальні властивості електроприводу з двигунами постійного та змінного струму; питання запуску та гальмування двигунів та їх вибір. Приділяється увага також вивченню розімкнених та замкнених систем електроприводів з двигунами постійного та змінного струму, які використовують у виробничих процесах агропромислового комплексу та ін.

Дисципліна базується на знаннях з вищої математики, фізики, загальної електротехніки, електроніки, теоретичної механіки. Оволодіння студентами навчальної дисципліни «Електропривод і автоматизація» дозволяє успішно засвоїти такі спеціальні дисципліни, як «Охорона праці в галузі», «Технічне обслуговування машин переробних підприємств», «Технічне обслуговування фермерської техніки», «Технічне обслуговування машин і обладнання», «Основи проектування енергетичних об'єктів АПК», «Електричні машини», «Основи електроприводу» та застосовувати знання при розв'язанні практичних виробничих завдань.

1. ЛЕКЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ

1.1. ЛЕКЦІЯ №1 (2 ГОДИНИ)

Тема: ВСТУП. Загальні відомості.

Мета: ознайомити студентів з призначенням та структурою дисципліни; основними поняттями про електричні машини та електропривод.

План:

1. Мета та задачі дисципліни.
2. Загальні відомості про електричні машини.
3. Загальні відомості про електропривод.

1. Дисципліна «Електропривод та автоматизація» є однією з дисциплін, яка дозволяє у повній мірі підготувати майбутнього «інженера».

1.Метою вивчення дисципліни «Електропривод та автоматизація» є надання майбутнім молодшим спеціалістам досить глибоких знань і уявлень в галузі електричних машин, електромеханічного перетворення енергії та управління процесами такого перетворення, що повинно стати основою для практичної діяльності в галузі експлуатації електричних машин, електроприводів та систем автоматизації на їх основі.

Предметом вивчення дисципліни є: будова та принцип дії електричних машин; питання механіки електроприводу та загальні принципи його будови; схеми, характеристики, регульовальні властивості електроприводу з двигунами постійного та змінного струму; питання запуску та гальмування двигунів та їх вибір. Придільється увага також вивченню розімкнених та замкнених систем електроприводів з двигунами постійного та змінного струму, які використовують в АПК та інших виробничих процесах.

Дисципліна базується на знаннях з вищої математики, фізики, теоретичної механіки.

2. Електрична машина – електромеханічний пристрій, який здійснює взаємне перетворення механічної і електричної енергії. Електрична енергія виробляється на електростанціях електричними машинами – генераторами, які перетворюють механічну енергію в електричну. Основна частина енергії (до 80%) виробляється на електростанціях, де при спалюванні хімічного палива (вугілля, торф, газ) нагрівається вода і переводиться в пару високого тиску. Пара подається в турбіну, де розширюється і приводить ротор турбіни до обертання (теплова енергія в турбіні перетворюється в механічну). Обертання ротора турбіни передається на вал генератора (турбогенератора). Внаслідок електромагнітних процесів, які проходять в генераторі, механічна енергія перетворюється в електричну.

Процес виробництва електроенергії на атомних електростанціях аналогічний тепловим з різницею, що замість хімічного палива використовується ядерне.

Процес вироблення електроенергії на гідроелектростанціях полягає в наступному: вода, піднята дамбою на певний рівень, скидається на робоче колесо гідротурбіни, отримана при цьому механічна енергія шляхом обертання колеса турбіни передається на вал електричного генератора, в якому механічна енергія перетворюється в електричну.

В процесі споживання електричної енергії здійснюється її перетворення в інші види енергій (теплову, механічну, хімічну). Біля 70% електроенергії використовують для приведення в дію верстатів, машин та механізмів, тобто для перетворення її в механічну енергію. Це перетворення здійснюється електричними машинами – *електродвигунами*.

Останнім часом значно зросло застосування електричних машин малої потужності – мікромашин потужністю від долей до декілька сотен ватт. Такі електричні машини застосовують в пристроях автоматики та обчислювальної техніки.

Особливий клас електричних машин складають двигуни для побутових електричних пристроїв – пилососів, холодильників, вентиляторів. Потужність цих двигунів незначна, конструкція проста і надійна.

Галузь науки і техніки, яка займається розвитком і виробництвом електричних машин називається електромашинобудуванням. Теоретичні основи електромашинобудування були закладені у 1821 р. М. Фарадеєм, який встановив можливість перетворення електричної

енергії в механічну (здійснив обертання магніту навколо прямого провідника з струмом) і створив першу модель електродвигуна. Важливу роль у розвитку електромашинобудування мали роботи вчених Д. Максвелла та Е.Х. Ленца. Основні етапи розвитку електромашинобудування:

- 1832 р. – перша модель генератора постійного струму, створена братами Піксі (США)
- 1838 р. – Борис Семенович Якобі створив електродвигун постійного струму обертального руху. Цей двигун був встановлений на катер, який виконав випробувальний рейс по Неві.
- 1889 р. Михайло Йосипович Доливо-Добровольський розробив систему трифазного струму та 3-фазний АД.

Вивчення електричних машин ґрунтується на знаннях фізичної суті електричних і магнітних явищ – перш за все законі електромагнітної індукції.

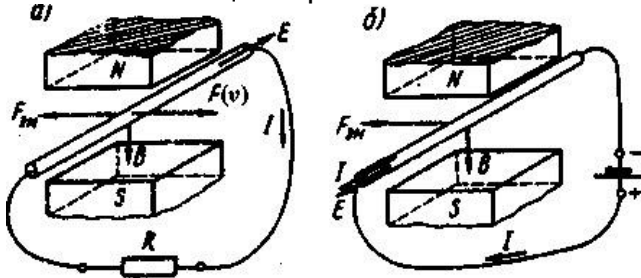


Рис.1 Поняття про «елементарний генератор» (а) та «елементарний двигун» (б)

В процесі роботи електричної машини в режимі генератора здійснюється перетворення механічної енергії в електричну. Природа цього явища пояснюється законом електромагнітної індукції: якщо зовнішньою силою F діяти на поміщений в магнітне поле провідник і переміщувати його (рис.1 а), наприклад, зліва направо перпендикулярно вектору індукції B магнітного поля зі швидкістю v , то у провіднику буде наводитися електрорушійна сила ЕРС: $E = Blv$,

де B – магнітна індукція, Тл; l – активна довжина провідника, тобто довжина його частини, яка знаходиться в магнітному полі, м; v – швидкість руху провідника, м/с.

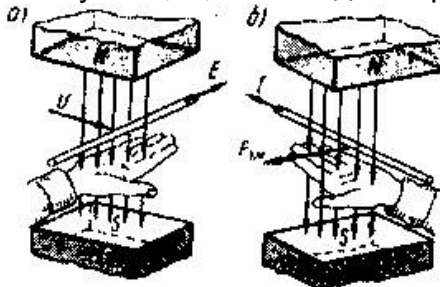


Рис. 2 Правила «правої руки» і «лівої руки»

Для визначення напрямку ЕРС слід скористуватися правилом «правої руки» (рис.2а): якщо розташувати праву долоню так, щоб відставлений великий палець збігався з напрямом руху провідника, а силові лінії магнітного поля входили в долоню, то напрям індукційного струму в провіднику збіжиться з напрямом витягнутих пальців. Застосувавши це правило, визначимо напрям ЕРС в провіднику (від нас). Якщо кінці провідника замкнені на зовнішній опір R (споживач), то під дією ЕРС в провіднику виникає струм такого ж напрямку. Таким чином, провідник у магнітному полі можна розглядати в цьому випадку як елементарний генератор. В результаті взаємодії струму I з магнітним полем виникає діюча на провідник електромагнітна сила:

$$F_{\text{ем}} = BI$$

Напрямок сили $F_{\text{ем}}$ можна визначити за правилом «лівої руки» (рис.2б): «Якщо ліву руку розташувати так, аби магнітні силові лінії входили в долоню, а витягнуті пальці долоні

спрямувати в напрямі струму через провідник, то відігнутий великий палець покаже напрям сили, яка діє на провідник у магнітному полі». В даному прикладі сила направлена зліва направо, тобто протилежно руху провідника. Таким чином, у розглянутому елементарному генераторі сила $F_{\text{ем}}$ є гальмівною по відношенню до рухомої сили F .

При рівномірному русі провідника $F = F_{\text{ем}}$. Помноживши обидві частини на швидкість руху провідника, отримаємо:

$$Fv = F_{\text{ем}}v$$

$$Fv = Blv = EI$$

Ліва частина рівняння визначає значення механічної потужності, яка витрачається на переміщення провідника в магнітному полі; права частина – значення електричної потужності, яка розвивається в замкненому контурі електричним струмом I . Знак рівенства між цими частинами показує, що в генераторі механічна потужність, яка витрачається зовнішньою силою перетворюється в електричну.

Якщо зовнішню силу F до провідника не прикладати, а від джерела електроенергії підвести до нього напругу U , так щоб струм I в провіднику мав напрямок, вказаний на рис.2 б, то на провідник буде діяти лише електромагнітна сила $F_{\text{ем}}$. Під дією цієї сили провідник починає рухатися в магнітному полі. При цьому в провіднику індуктується ЕРС з напрямком, протилежним напрузі U , прикладеній до провідника, врівноважується ЕРС E , наведена в цьому провіднику, а друга частина складає падіння напруги в провіднику:

$$U = E + Ir,$$

де r – електричний опір провідника.

Помножимо обидві частини на струм I і підставивши значення ЕРС маємо:

$$UI = BlvI + I^2r,$$

або

$$UI = F_{\text{ем}}v + I^2r.$$

З цього рівняння випливає, що електрична потужність (UI), яка надходить в провідник, частково перетворюється в механічну, а частково витрачається на покриття електричних втрат в провіднику. Отже, провідник зі струмом, поміщений в магнітному полі, можна розглядати як *елементарний електродвигун*.

Розглянуті «елементарні» електричні генератор та двигун відображають лише принцип використання в них основних законів та явищ електричного струму. Що стосується конструктивного виконання, то більшість електричних машин побудовано на принципі обертального руху їх рухомих частин. Узагальнена конструкція електричної машини (рис.3) складається з нерухомої частини 1 (статора), і обертової частини 2 – ротора. Ротор розташовується в розточці статора і відокремлений від нього повітряним зазором. Одна із зазначених частин машини має елементи, які збуджують в машині магнітне поле (наприклад, електромагніт або постійний магніт), а інша – має обмотку, яку умовно називають робочою обмоткою машини. Як статор, так і ротор мають осердя, виконані із магніто-м'якого матеріалу і мають незначний магнітний опір.

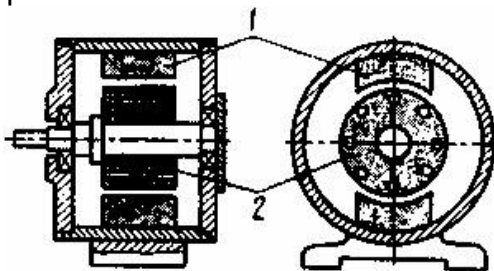


Рис.3 Узагальнена конструктивна схема електричної машини

Якщо електрична машина працює в режимі генератора, то при обертанні ротора (під дією приводного двигуна) в провідниках робочої обмотки наводиться ЕРС і при підключенні споживача з'являється електричний струм. При цьому механічна енергія приводного двигуна перетворюється в електричну. Якщо машина призначена для роботи в якості електродвигуна, то робоча обмотка машини підключається до мережі. При цьому струм, який виникає в провідниках обмотки, взаємодіє з магнітним полем і на роторі виникають електромагнітні сили, які приводять ротор до обертання. При цьому електрична енергія, яку споживає двигун із мережі, перетворюється в механічну енергію.

Електричні машини застосовують також в якості електромашинних перетворювачів та електромашинних підсилювачів (але зараз рідше).

В пристроях автоматики та обчислювальної техніки електричні машини застосовують не лише в якості двигунів, але і в якості тахогенераторів (для перетворення частоти обертання в електричний сигнал), сельсинів. Класифікація електричних машин:

1. По вихідній потужності:

- мікромашини ($P < 0,5$ кВт)
- малої потужності (0,5... 10 кВт)
- середньої потужності (10... 200 кВт)
- великої потужності ($P > 200$ кВт)

2. За частотою обертання:

- тихохідні ($n_2 < 300$ об/хв)
- середньої швидкохідності (300... 1500 об/хв)
- швидкохідні (1500... 6000 об/хв)
- зверх швидкохідні ($n_2 > 6000$ об/хв)

3. За принципом дії:

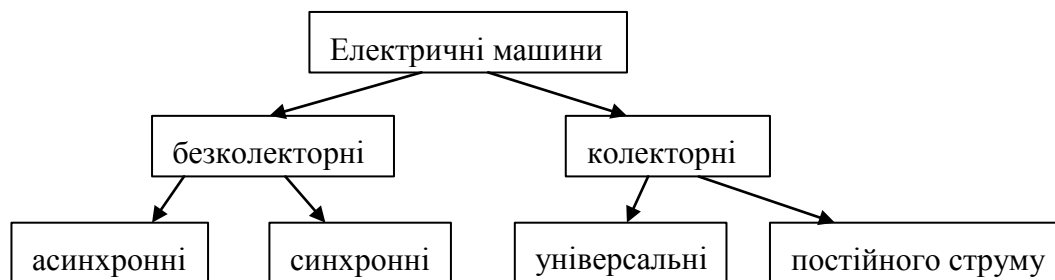


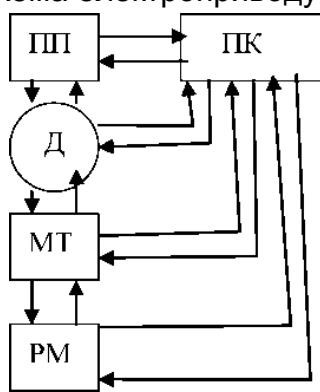
Рис.4 Класифікація електричних машин

Універсальні машини на відміну від машин постійного струму (МПС), працюють на постійному і на змінному струмі. Це машини незначної потужності (як реактивні синхронні двигуни).

Безколекторні машини можуть бути однофазними та багатофазними. Синхронні машини і колекторні машини постійного струму в залежності від способу утворення в них магнітного поля збудження розділяють на машини з обмоткою збудження і машини з постійними магнітами.

3. Історію розвитку електроприводу починають з 1838 року, коли російський академік Б.С. Якобі розробив ДПС обертального руху.

Структурна схема електроприводу:



Мережа

ПП - перетворюючий пристрій (трансформатор, випрямляч, інвертор, перетворювач частоти)

Д - електродвигун

МТ - механічна трансмісія(редуктор)

ВО - виконавчий орган робочої машини (механізму)

ПК - пристрій керування та захисту

Електроприводом називають сукупність електромеханічних пристроїв, призначених для перетворення електричної електроенергії в механічну і які забезпечують керування та захист.

Сучасний автоматизований електропривод – це високонадійна і економічна електромеханічна система, здатна повністю забезпечити автоматизацію технологічних процесів, досягти високої швидкодії та точності при своїй роботі, поліпшити умови праці обслуговуючого персоналу.

Класифікація електроприводу:

- 1) За кількістю двигунів (способом передачі механічної енергії): груповий, індивідуальний (привод млинів, насосів, сепараторів, конвеєрів, живильників) та взаємопов'язаний (багатодвигунний) – привод екскаваторів, бурових верстатів, конвеєри підземних трактів;
- 2) За призначення – головний та допоміжний;
- 3) За родом струму – змінного та постійного струму;
- 4) За родом механічного передаточного пристрою – редукторний електропривод та без редукторний;
- 5) За принципом регулювання швидкості та положення:
 - нерегульований;
 - регульований;
 - слідковий (за допомогою електроприводу здійснюється переміщення виконавчого органу відповідно з довільно змінним задаючим сигналом).
 - програмно-керуємий (електропривод забезпечує переміщення виконавчого органу відповідно з заданою програмою);
 - адаптивний (електропривод автоматично забезпечує оптимальний режим руху виконавчого органу при зміні умов його роботи);
 - позиційний (електропривод забезпечує регулювання положення виконавчого органу робочої машини);
- 6) За напрямком обертання – реверсивний та неререверсивний;
- 7) За родом електричного перетворюючого пристрою:
 - вентильний електропривод, перетворювальним пристроєм якого є вентильний перетворювач енергії – іонний та напівпровідниковий електропривод (тиристорний, транзисторний);
 - система керований випрямляч – двигун – вентильний електропривод постійного струму, перетворювальним пристроєм якого є керований випрямляч;
 - система перетворювач частоти – двигун (ПЧ-АД);
 - система Г-Д і магнітний підсилювач – двигун (МП-Д), регульований електропривод, перетворюючим пристроєм якого є відповідно електро-машинний перетворювальний агрегат або магнітний підсилювач.

Функції електроприводу: I. Основні:

- 1) пуск, зупинка, реверс, гальмування;
- 2) стабілізація параметрів
- 3) слідкування – обробка з певною точністю довільно змінюваного завдання;
- 4) програмне керування

II. Додаткові:

- 1) захист – технічні заходи по запобіганню розвитку аварії
- 2) блокування – технічні заходи, які запобігають появі аварійної ситуації в результаті неправильних дій обслуговуючого персоналу або пристроїв керування.

3) Сигналізація – отримання інформації про функціонування об'єкту Вимоги, які висувають до ЕП:

- 1) технологічні вимоги – оптимальна відповідність властивостей електропривода технологічним умовам роботи
- 2) надійність – ймовірність безвідмовної роботи об'єкту протягом заданого періоду часу
- 3) економічність – мінімальні приведені витрати на установку та експлуатацію ЕП протягом заданого періоду часу
- 4) безпечність – ймовірність не ураження обслуговуючого персоналу в процесі експлуатації.

Контрольні питання

1. Яка мета вивчення дисципліни?
2. Що називають електричною машиною?
3. Що відносять до електричних машин?
4. В чому полягає принцип дії елементарного електродвигуна?
5. Що називають електроприводом?
6. Які елементи входять у структурну схему електропривода?
7. Дайте класифікацію електроприводу.
8. Назвіть основні функції електроприводу.
9. Назвіть вимоги, які висувають до електропривода.

1.2 Лекція №2 (2 години)

Тема: БУДОВА ТА ПРИНЦИП ДІЇ ДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета: ознайомити студентів з будовою та принципом дії двигунів постійного струму. Удосконалювати вміння логічно мислити. Виховувати інтерес до знань.

План.

1. Призначення та класифікація двигунів постійного струму.
2. Принцип дії ДПС.
3. Будова двигунів постійного струму.

1. Електричні машини постійного струму використовують в якості генераторів та двигунів. Найбільше застосування мають двигуни постійного струму. Пояснюється це зростанням використання в якості джерел постійного струму напівпровідникових випрямляючих пристроїв, які мають більш високі техніко-економічні показники порівняно з колекторними генераторами постійного струму.

Двигуни постійного струму широко використовують для приводу підйомних механізмів в якості кранових двигунів і приводу транспортних засобів в якості тягових двигунів. Основні переваги двигунів постійного струму порівняно з безколекторними двигунами змінного струму – добрі пускові та регульовальні властивості, можливість отримання частоти обертання понад 3000 об/хв., а недоліки – відносно значна вартість, деяка складність у виготовленні та знижена надійність. Всі ці недоліки обумовлені наявністю в них щітково-колекторного вузла, який до того ж є джерелом радіоперешкод та пожежонебезпеки. Оскільки в колекторно-щітковому апараті, що здійснює постійну перекомутацію кіл електричної машини, виникає іскріння. Це знижує надійність машин і обмежує їх застосування.

ДПС застосовуються в промислових, транспортних та інших установках, де потрібне широке плавне регулювання частоти обертання (прокатні стани, електрична тяга, екскаватори).

За способом збудження двигуни постійного струму бувають зі збудженням від постійних магнітів (магнітоелектричні) та з електромагнітним збудженням. Останні відповідно до схеми вмикання обмотки збудження відносно обмотки якоря підрозділяють на двигуни з незалежним, паралельним (шунтові), послідовним (серієсні) та змішаним (компаундні) збудженням.

2. Характерною ознакою колекторних машин є наявність у них колектора – механічного перетворювача змінного струму в постійний і навпаки. Необхідність в такому перетворювачі пояснюється тим, що в обмотці якоря колекторної машини повинен протікати змінний струм, оскільки лише в цьому випадку в машині проходить безперервний процес електромеханічного перетворення енергії.

На рис. 1 зображена спрощена модель колекторної машини (генератора): між полюсами S і N постійного магніту знаходиться обертова частина машини – якор, вал якого за допомогою шківів та ремінної передачі механічно пов'язаний з джерелом механічної енергії. В двох повздовжніх пазах на осерді якоря розташована обмотка у вигляді одного витка a, b, c, d , кінці якого приєднані до двох мідних ізольованих один від одного а півкільця, які утворюють найпростіший колектор. На поверхню колектора накладені щітки A і B, які здійснюють ковзаючий контакт з колектором і зв'язують генератор із зовнішнім колом, де підключене навантаження опором R .

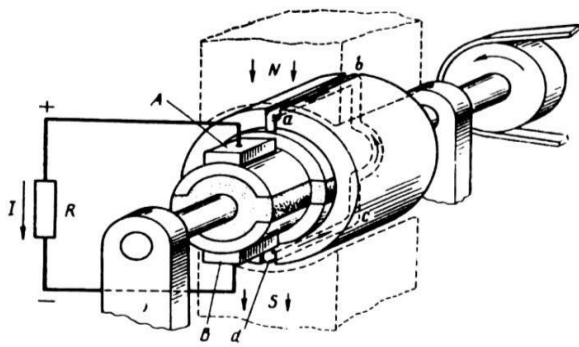


Рис. 1 Спрощена модель колекторної машини

Припустимо, що приводний двигун обертає якір генератора проти годинникової стрілки, тоді у витку на якорі, що обертається в магнітному полі постійного магніту, наводиться ЕРС, миттєве значення якої є $2Blv$, а напрямок для положення якоря, зображеного на малюнку, зазначено стрілками.

Відповідно з принципом оборотності електричних машин спрощена модель машини постійного струму може використовуватися в якості двигуна постійного струму. Для цього необхідно відключити навантаження генератора R і підвести до щіток машини напругу від джерела постійного струму. Наприклад, якщо до щітки А підключити «+», а до щітки В «-», то в обмотці якоря виникає струм I , напрямок якого показано на рис.2.

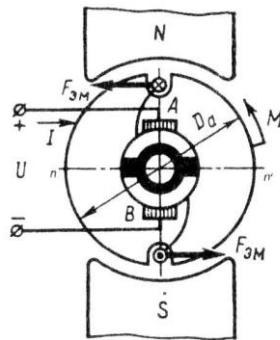


Рис.2 До принципу дії ДПС

В результаті взаємодії цього струму з магнітним полем постійного магніту (полем збудження) з'являються електромагнітні сили $F_{эм}$, які створюють на якорі електромагнітний момент M і обертають його проти годинникової стрілки. Після повороту якоря на 180° електромагнітні сили не змінюють свого напрямку, оскільки одночасно з переходом кожного провідника обмотки якоря із зони одного магнітного полюсу в зону іншого полюса в цих провідниках змінюється напрямок струму.

Таким чином, призначення колектора і щіток в двигуні постійного струму – змінювати напрямок струму в провідниках обмотки якоря при їх переході із зони магнітного полюса однієї полярності в зону полюса іншої полярності.

Розглянута спрощена модель машини постійного струму не забезпечує двигуну стійкої роботи, оскільки при проходженні провідниками обмотки якоря геометричної нейтралі nn' (рис.2) електромагнітні сили $F_{эм} = 0$ ([магнітна індукція](#) в середині міжполюсного простору дорівнює нулю). Однак зі збільшенням кількості провідників в обмотці якоря (при рівномірному їх розподілі на поверхні якоря) та кількості пластин колектора обертання якоря двигуна стає стійким та рівномірним.

В процесі роботи двигуна його якір обертається в магнітному полі. В обмотці якоря індуктується ЕРС E_a , напрямок якої можна визначити по правилу «правої руки». По своїй природі ця ЕРС не відрізняється від ЕРС, що наводиться в якірній обмотці генератора. У

двигуні ж вона спрямована проти напрямку струму I_a , і тому називається протиелектрорушійною силою (проти ЕРС) якоря (рис.3)

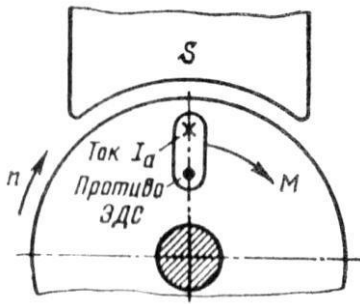


Рис.3 Напрямок проти ЕРС в обмотці якоря двигуна

Для двигуна, який працює з постійною частотою обертання:

$$U = E_a + I_a \sum r \quad (1)$$

Струм якоря:
$$I_a = \frac{U - E_a}{\sum r}$$

(2)

Якщо помножимо обидві частини рівняння (1) на струм I_a , отримаємо рівняння потужності для кола якоря:

$$UI_a = I_a^2 \sum r + E_a I_a \quad (3)$$

де UI_a - потужність в колі обмотки якоря, $I_a^2 \sum r$ - потужність електричних втрат в колі якоря.

Стать двигуна:

$$\Phi I_a \omega \text{ або } E_a I_a = M \omega = P_{\text{ем}} \quad (4)$$

де p – число пар полюсів двигуна; N і a – кількість відповідно активних провідників і паралельних віток обмотки якоря; Φ – потік збудження двигуна; $\omega = 2\pi n/60$ - кутова частота обертання якоря; $P_{\text{ем}}$ – електромагнітна потужність двигуна.

Перетворивши вираз (3) з урахуванням (4), отримаємо:

$$UI_a = M \omega + I_a^2 \sum r$$

Аналіз цього рівняння показує, що із зростанням навантаження на вал двигуна, тобто зі збільшенням електромагнітного моменту M , зростає потужність в колі обмотки якоря, тобто потужність на вході двигуна. Але оскільки напруга живлення, підтримується постійною ($U = \text{const}$), то збільшення навантаження двигуна супроводжується зростанням струму в обмотці якоря I_a .

3. Електромашинобудівні заводи виготовляють машини постійного струму, призначені для роботи в різних галузях промисловості, тому окремі вузли цих машин можуть мати різну конструкцію, але загальна конструктивна схема машин однакова. Нерухома частина машини постійного струму називається статором, обертова частина – якорем (рис.4).

Статор складається із станини 6 та головних полюсів 4. Станина призначена для кріплення полюсів та підшипникових щитів і є частиною магнітопроводу, оскільки через неї замикається магнітний потік машини. Станину виготовляють із сталі.

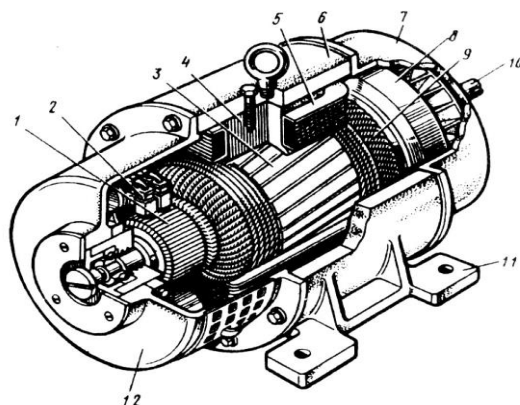


Рис. 4 Будова машини постійного струму

В нижній частині станини є лапи 11 для кріплення машини до фундаментної плити, а по колу станини розміщені отвори для кріплення осердя головних полюсів. Станину виконують суцільною із сталевих труби або з листової сталі, за винятком машин з досить великим зовнішнім діаметром, у яких станину виконують роз'ємною.

Головні полюси призначені для створення в машині магнітного поля збудження. Головний полюс складається із осердя 6 та полюсної котушки 5. З боку, поверненому до якоря, осердя полюса має полюсний наконечник, який забезпечує необхідний розподіл магнітної індукції в зазорі машини. Осердя головних полюсів виконують шихтованими з листової конструкційної сталі товщиною 1 – 2 мм або з тонколистової електротехнічної анізотропної холоднокатаної сталі.

Якір складається з валу 10, осердя 3 з обмоткою та колектора 1. Осердя якоря має шихтовану конструкцію і набирається із штампованих пластин тонколистової електротехнічної сталі. Листи покривають ізоляційним лаком, збирають в пакет та запікають. Готове осердя напресовують на вал якоря. На поверхні осердя якоря є повздовжні пази, в які укладають обмотку якоря.

Обмотку виконують мідним дротом круглого або прямокутного перерізу. Пази якоря після заповнення їх дротами обмотки закривають клинами (текстолітовими або гетинаксовими). В деяких машинах пази не закривають клинами, а накладають на поверхню якоря бандаж (виконаний з дроту або скло стрічки з попереднім натягом).

Колектор 1 є одним із складних вузлів машини постійного струму. Основними елементами колектора є пластини трапецієдального перерізу з міді, зібрані таким чином, що колектор має циліндричну форму. В залежності від способу закріплення колекторних пластин розрізняють два типи колекторів: зі сталевими конусними шайбами і на пластмасі.

Електричний контакт з колектором здійснюється за допомогою щіток, які розміщені у щіткоутримувачах. Всі щіткоутримувачі однієї полярності з'єднані між собою збірними шинами, підключеними до виводів машини. Одна з основних умов безперебійної роботи машини – щільний і надійний контакт між щіткою і колектором.

Крім того машина постійного струму має два підшипникові щити: передній 12 (з боку колектора) та задній 7. На передньому підшипниковому щиті є оглядове вікно (люк) з кришкою, через яке можна оглянути колектор і щітки, не розбираючи машину. Кінці обмоток виведені на зажими коробки виводів. Вентилятор 8 призначений для самовентиляції машини: повітря потрапляє в машину з боку колектора, омиває нагріті частини (колектор, обмотки, осердя) і викидається з протилежного боку через решітку.

Колекторні двигуни змінного струму реалізують основні переваги машин постійного струму. Двигуни досить просто регулюються, дають можливість одержати дуже високі оберти якоря, мають великий пусковий момент. Колекторний двигун можна також використовувати як універсальний, тобто вмикати на постійну і на змінну напругу.

Пускові властивості двигунів постійного струму

В двигунах постійного струму незалежного та паралельного збудження пусковий струм у 20...30 разів більший за номінальний.

Щодо обмеження пускового струму використовують один із трьох способів пуску.

1. Пуск за допомогою пускового реостата (додатковий опір у йолі якоря).
2. Пуск при зниженій напрузі, що подається на якір двигуна, здійснюється за допомогою джерела регульованої ЕРС.

3. Прямий пуск (здійснюється для двигунів малої потужності, до 1 кВт).

Особливістю двигунів послідовного збудження є те, що струм якоря є також і струмом збудження. Число обертів якоря значною мірою залежить від електромагнітного моменту. Двигун послідовного збудження витримує великі перевантаження при помірному підвищенні струму та стійко працює при значно знижених обертах якоря. При малих навантаженнях оберти нескінченно підвищуються, двигун „іде у рознос”. Двигуни такого типу треба використовувати з постійним навантаженням на валу. Розвантажувати такий двигун не можна.

Особливістю двигуна змішаного збудження є те, що магнітний потік створюється двома обмотками.

На рис. 5. наведені механічні характеристики двигунів із різними способами збудження. Розрізняють два типи компаундних двигунів. У двигунах послідовно-паралельного збудження переважає послідовне збудження. Механічна характеристика досить м'яка, але двигун не боїться розвантаження, тобто збільшення обертів при розвантаженні двигуна обмежене. У двигунах паралельно-послідовного збудження переважає паралельне збудження. Механічна характеристика такого двигуна жорстка, але м'якша, ніж характеристика двигуна паралельного збудження.



Рис. 5 механічні характеристики двигунів із різними способами збудження: паралельне, послідовне, змішане

Регулювання швидкості обертання якоря. Великою перевагою двигунів постійного струму є можливість регулювання швидкості обертання якоря у широких межах кількома досить простими способами.

Є три способи регулювання швидкості обертання якоря:

- зміною напруги;
- зміною опору кола якоря;
- зміною магнітного потоку.

Регулювання зміною напруги використовується звичайно у системах «генератор — двигун». Цим способом можна регулювати оберти у дуже широких межах, аж до зупинки якоря. Недоліком цього способу є необхідність використання джерела з регульованою ЕРС.

Регулювання швидкості обертання якоря введенням додаткового опору у коло якоря також дає змогу змінювати оберти у широких межах (до зупинки якоря). Цей спосіб не вигідний з енергетичної точки зору — виникають додаткові втрати на регулюючому реостаті.

Змінюючи струм збудження, можна змінювати магнітний потік статора. При послабленому потоці швидкість обертання буде більшою, ніж швидкість при номінальному потоці. Але при зменшенні струму збудження до нуля швидкість обертання буде обмеженою. Цей спосіб є ефективнішим.

Двигуни послідовного й змішаного збудження
Пуск у хід двигуна.

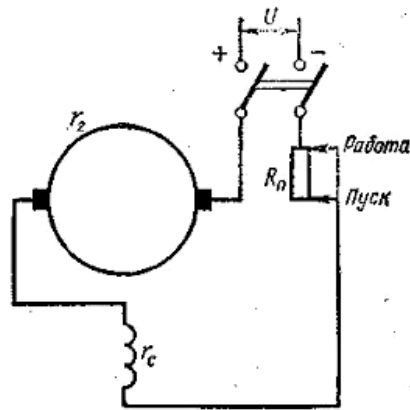


Рис. 6. Схема включення двигуна послідовного збудження

На рис. 6 представлена принципова схема включення двигуна постійного струму послідовного збудження, де R_n — пусковий реостат. Як і у двигунах паралельного збудження, цей реостат тут включається також для обмеження пускового струму двигуна, коли при нерухомому якорі в момент пуску його е.р.с. $E = 0$, а опір ланцюга якоря $(r_a + r_f)$ порівняно невеликий. Тільки в малих двигунах послідовного збудження потужністю до декількох десятків або сотень ват можна застосовувати безреостатний пуск у хід. Процес пуску в часі в розглянутому двигуні протікає так само, як і у двигунах паралельного збудження, а саме: пусковий струм - двигуна спочатку зростає і потім зменшується до величини $I_2 = (U - E)/(r_a + r_f)$, а швидкість обертання - у цей період поступово досягає сталого значення.

Обертаючий момент двигуна. Повний електромагнітний обертаючий момент двигуна послідовного збудження визначається також по рівнянню (8.4). Однак у цьому двигуні струм якоря I_2 є струмом збудження, що створює корисне магнітне поле Φ в повітряному проміжку. Отже, обертаючий момент двигуна залежить тільки від струму навантаження. Графічно цю залежність можна визначити за допомогою кривої намагнічування двигуна $\Phi = f(I_2)$ (рис. 7, крива 1). Повний обертаючий момент цього двигуна, по рівнянню (8.4),

$$M = c_M \Phi I_2 \equiv OAba,$$

т. е. пропорційний площі прямокутника OAb (див. рис. 7). Відкладаючи в якому-небудь масштабі відрізок $Ac = M = OAb$ і повторюючи цю операцію для різних значень струму I_2 , можна одержати криву 2 повного обертаючого моменту двигуна. Якщо відняти з повного моменту M момент холостого ходу M_0 , то одержимо криву 3 корисного моменту на валу двигуна $M_2 = M - M_0$ (див. рис. 7).

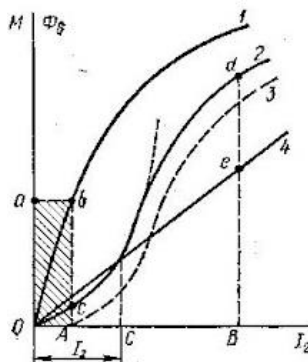


Рис. 7. Криві обертаючих моментів двигуна послідовного збудження

При невеликих струмах якоря I_2 , коли насиченість магнітної системи двигуна практично відсутній, можна приблизно покласти поле $\Phi = k\Phi I_2$, а отже, повний момент $M \equiv I_2$ і крива 2 цього моменту спочатку наближається до параболи (див. рис. 7). При великих значеннях струму I_2 , коли магнітна система двигуна стає усе більше насиченою, пропорційність між

полем $\Phi\delta$ і струмом I_2 порушується й обертаючий момент двигуна зростає повільніше. На рис. 8.11 для порівняння зображена крива 4 повного моменту двигуна паралельного збудження в припущенні, що моменти обох двигунів рівні при номінальному струмі якоря $I_2 = OC$. Криві 2 і 4 (див. рис. 7) показують, що за інших рівних умов пусковий момент $B\delta$ двигуна послідовного збудження при струмі $I_2 n = OB$ більший за пусковий момент Bc двигуна паралельного збудження.

Швидкісна характеристика двигуна. Швидкісна характеристика двигуна послідовного збудження являє собою графічно зображену залежність швидкості обертання від струму якоря при постійній напрузі на затискачах двигуна $U = \text{const}$:

$$n = f(I_2).$$

Вираз для швидкості обертання (об/хв) цього двигуна можна написати відповідно до рівняння (8.12) у наступному вигляді:

$$n = [U - I_2(r_2 + r_c)] / (c_E \Phi_\delta), \quad (8.14)$$

де r_2 — опір обмотки якоря і перехідних контактів щіток і колектора, Ом; r_c — опір послідовної обмотки збудження, Ом.

Якщо скористатися залежністю магнітного поля в повітряному проміжку двигуна послідовного збудження у вигляді $\Phi\delta = k\Phi I_2$, то на підставі рівнянь (8.4) і (8.14) можна написати наступне рівняння механічної характеристики $n = f(M)$ цього двигуна:

$$n = \sqrt{c_M U} / (c_E \sqrt{k_\Phi} \sqrt{M}) - (r_2 + r_c) / (c_E k_\Phi), \quad (8.15)$$

при цьому коефіцієнт $k\Phi$ із зростанням насичення магнітної системи двигуна при помітному збільшенні струму якоря I_2 трохи зменшується.

Як показують рівняння (8.14) і (8.15), швидкість обертання двигуна зі збільшенням навантаження зменшується внаслідок падіння напруги $I_2(r_2 + r_c)$ у ланцюзі якоря і зростання магнітного поля $\Phi\delta$ або моменту M . Якщо для спрощення знехтувати цим падінням напруги і вважати магнітну систему двигуна ненасиченою, використавши залежність $\Phi\delta = k\Phi I_2$, то швидкість обертання якоря буде

$$n \approx U / (c_E k_\Phi I_2) \quad \text{или} \quad n \approx \sqrt{c_M U} / (c_E \sqrt{k_\Phi} \sqrt{M}).$$

$$\text{Тоді } n I_2 = U / (c_E k_\Phi) \approx \text{const} \quad (8.16)$$

$$\text{або } n \sqrt{M} = \sqrt{c_M} \cdot U / (c_E \sqrt{k_\Phi}) \approx \text{const} \quad (8.17)$$

Залежність (8.16) являє собою рівняння рівнобічної гіперболи, віднесеної до осей координат як до асимптот (рис. 8.12, крива 1). У дійсності магнітне поле полюсів при насиченні магнітної системи зростає не пропорційно струму, а повільніше. Внаслідок цього швидкість обертання двигуна зі збільшенням струму зменшується також повільніше (крива 2).

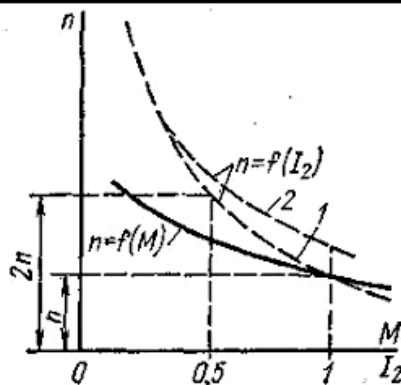


Рис. 8. Схема включення двигуна змішаного збудження

При струмі якоря $I_2 = 0$ швидкість обертання двигуна послідовного збудження теоретично, відповідно до рівняння (8.16), повинна би бути рівною нескінченності. Однак практично струм I_2 через механічні й магнітні втрати в якорі не може бути рівним нулю навіть при холостому ході двигуна, а отже, і швидкість обертання його не може бути нескінченно

великою. Але ця швидкість все-таки значно перевершує припустиму конструкцією якоря величину. Тому не слід включати двигун послідовного збудження на повну напругу мережі без механічного навантаження на його валу.

Що стосується способів регулювання швидкості обертання двигунів постійного струму послідовного збудження, то, відповідно до рівняння (8.14), вони не відрізняються від розглянутих для двигунів паралельного збудження. При регулюванні швидкості обертання двигуна убік її зниження можна включити регульований опір послідовно в ланцюг якоря, а при регулюванні швидкості убік підвищення – шунтувати обмотку збудження регульованим опором для зменшення потоку полюсів за рахунок відгалуження струму цієї обмотки в зазначений опір.

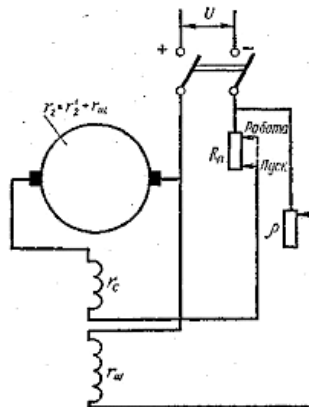


Рис. 9. Схема включення двигуна змішаного збудження

Двигуни змішаного збудження. На рис 9 представлена принципова схема включення двигуна постійного струму змішаного збудження. При невеликих потужностях цих двигунів послідовна обмотка збудження в них відіграє допоміжну роль. Головною в цих двигунах є обмотка паралельного збудження, а послідовна обмотка включається згідно з нею й служить для збільшення пускового моменту двигуна. Швидкісна й механічна характеристики двигуна змішаного збудження при однаковому масштабі займають графічно проміжне положення між аналогічними характеристиками двигунів паралельного й послідовного збудження.

Контрольні питання

1. Назвіть сферу використання двигунів постійного струму.
2. Які бувають двигуни постійного струму?
3. Поясніть принцип дії двигуна постійного струму.
4. Назвіть основні вузли двигуна постійного струму.
5. З чого складається статор машини постійного струму.
6. З чого складається якор машини постійного струму.
7. Які бувають колектори?

1.3 ЛЕКЦІЯ №3 (2 ГОДИНИ)

Тема: БУДОВА ТА ПРИНЦИП ДІЇ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Мета: ознайомити студентів з будовою та принципом дії асинхронних двигунів. Удосконалювати вміння логічно мислити. Виховувати інтерес до знань.

План

1. Призначення, класифікація асинхронних двигунів.
2. Принцип дії асинхронного двигуна.
3. Будова асинхронного двигуна.

1. Асинхронні машини отримали широке застосування у сучасних електричних установках і є найбільш поширеним видом безколекторних електричних машин змінного струму. Асинхронна машина обернена і може працювати як в генераторному, так і у режимі двигуна. Однак переважне застосування мають асинхронні двигуни, які складають основу сучасного електроприводу. Галузь використання асинхронних двигунів широка – від приводу пристроїв автоматики і побутових електроприладів до приводу потужного гірничого обладнання (екскаваторів, дробарок, млинів). Відповідно з цим потужність асинхронних двигунів, які випускаються електромашинобудівною промисловістю, складає діапазон від долі ват до тисяч кіловат при напрузі від десятків вольт до 10 кВ.

Найбільше застосування мають трифазні асинхронні двигуни, які розраховані на роботу від мережі промислової частоти (50 Гц). Асинхронні двигуни спеціального призначення виготовляють на підвищені частоти змінного струму (200, 400 Гц).

2. Принцип дії АД: прикладена напруга створює струм статора, а той – поле статора. Основний магнітний потік перетинає обмотку ротора і наводить в ній ЕРС. Під дією ЕРС в роторі створюється струм ротора, який створює магнітний потік ротора. Взаємодія двох магнітних полів створює обертальний момент. Струми в обмотці ротора виникають унаслідок того, що ротор при обертанні відстає від обертового поля. Значення цих струмів визначається частотою обертання магнітного поля відносно ротора. Для оцінки цієї частоти вводиться поняття відносної різниці частот обертання, або ковзання, АД:

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0}$$

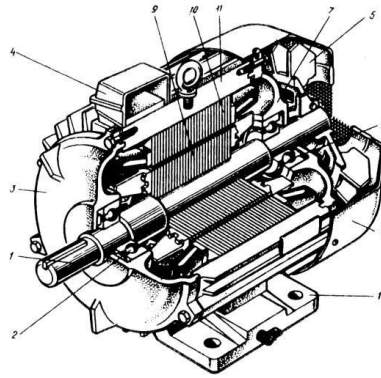
де n_0 – частота обертання магнітного потоку, або синхронна частота

n – частота обертання ротора, об/хв.

Ковзання виражають в долях одиниці або у відсотках. Із збільшенням навантажувального моменту на валу АД частота обертання ротора зменшується. Відповідно, ковзання АД залежить від механічного навантаження на валу двигуна і може змінюватися в діапазоні $0 < s \leq 1$.

3. Асинхронний двигун складається з двох основних частин, розділених повітряним зазором: нерухомого статора та ротора, який обертається. Кожна з цих частин має осердя і обмотку. При цьому обмотка статора включається в мережу і є первинною, а обмотка ротора – вторинною.

За конструкцією асинхронні двигуни розділяють на два види: двигуни з короткозамкненим та фазним ротором. Найбільш широке використання мають АД з короткозамкненим ротором (рис.1). Нерухома частина двигуна – статор – складається з корпусу 11 та осердя 10 з трифазною обмоткою. Корпус двигуна відливають з алюмінієвого сплаву або з чавуну або виконують зварним. Даний двигун має закрите обдуване виконання. Тому поверхня його корпусу має ряд повздовжніх ребер, призначення яких полягає в тому, щоб збільшити поверхню охолодження двигуна.



В корпусі розташовано осердя статора, яке має шихтовану конструкцію: відштамповані листи з тонколистової електротехнічної сталі товщиною 0,5 мм покриті шаром ізоляційного лаку, зібрані у пакет і скріплені спеціальними скобами або повздовжніми зварними швами по зовнішній поверхні пакету. Така конструкція осердя сприяє значному зменшенню вихрових струмів, які виникають в процесі перемагнічування осердя обертальним магнітним полем. На внутрішній поверхні осердя статора є повздовжні пази, в яких розташовані пазові частини обмотки статора, з'єднані в певному порядку лобовими частинами, які знаходяться за межами осердя по його торцевим бокам.

В розточці статора розташована обертова частина двигуна – ротор, який складається з валу 1 та осердя 9 з короткозамкненою обмоткою. Така обмотка («біляча клітка») являє собою ряд металевих (алюмінієвих або мідних стрижнів, розміщених в пазах осердя ротора, замкнених з двох сторін

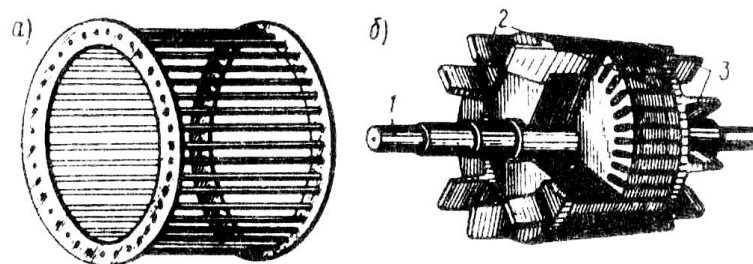


Рис.2 Короткозамкнений ротор

а – обмотка «біляча клітка»; б – ротор з обмоткою, виконаною методом лиття під тиском;
1 – вал; 2 – короткозамкнені кільця; 3 – вентиляційні лопатки

короткозамкненими кільцями. Осердя ротора також має шихтовану конструкцію, але листи ротора не покриті ізоляційним лаком, а мають на своїй поверхні тонку плівку окисла. Це є достатньою ізоляцією, яка обмежує вихрові струми, оскільки величина їх незначна із-за малої частоти перемагнічування осердя ротора.

Короткозамкнена обмотка (рис.2) в більшості випадків виконується заливкою зібраного осердя ротора розплавленим алюмінієвим сплавом. При цьому одночасно зі стрижнями обмотки відливаються короткозамкнені кільця та вентиляційні лопатки.

Вал ротора обертається в підшипниках, розміщених у підшипникових щитах. Охолодження двигуна здійснюється методом обдуву зовнішньої ребристої поверхні корпуса. Потік повітря створюється відцентровим вентилятором, прикритим кожухом. На торцевій поверхні цього кожуха є отвори для забору повітря. Двигуни потужністю понад 15 кВт окрім закритого виконують ще і захищеного виконання з внутрішньою самовентиляцією. В підшипникових щитах цих двигунів є отвори (жалюзі), через які повітря вентилятором проганяється через внутрішню порожнину двигуна. При цьому повітря омиває нагріті частини (обмотки, осердя) двигуна і охолодження є більш ефективним, ніж при зовнішньому обдуві.

Кінці обмоток фаз виводять на затискачі коробки виводів 4. Виводи обмоток фаз розміщують на панелі таким чином, щоб з'єднання обмоток фаз було зручно виконувати за допомогою перемичок, без їх перехрещування (рис.3)

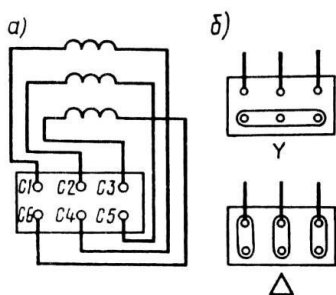


Рис. 3 Розташування виводів обмотки статора (а) і положення перемичок при з'єднанні обмотки статора зіркою і трикутником (б)

Асинхронний двигун з фазним ротором конструктивно відрізняється від розглянутого двигуна головним чином будовою ротора (рис.4). Статор цього двигуна також складається з корпусу 3 та осердя 4 з трифазною обмоткою.

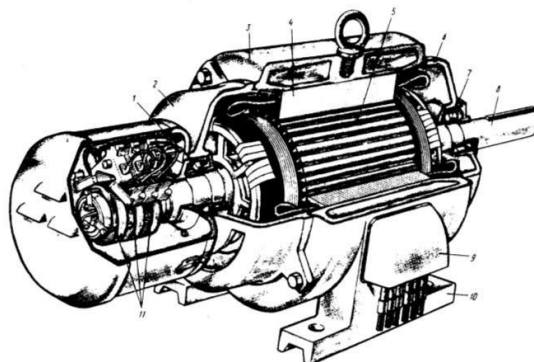


Рис. 4 Будова АД з фазним ротором

У нього є підшипникові щити 2 і 6 з підшипниками качання 1 та 7. До корпусу 3 прикріплені лапи 10 і коробка виводів 9. Однак ротор має більш складну конструкцію. На валу 8 закріплене шихтоване осердя 5 з трифазною обмоткою, виконаною аналогічно обмотці статора. Цю обмотку з'єднують зіркою, а її кінці приєднують до трьох контактних кілець 11, розташованих на валу і ізольованих один від одного і від валу. Для здійснення електричного контакту з обмоткою ротора на кожне контактне кільце накладають дві щітки, розміщені у щіткоутримувачах.

АД з фазним ротором мають більш складну конструкцію і менш надійні, але вони мають кращі регульовальні та пускові властивості, ніж АД з к.з. ротором.

Контрольні питання

1. Назвіть сферу використання асинхронних двигунів.
2. Поясніть принцип дії асинхронного двигуна.
3. Що таке ковзання асинхронного двигуна?
4. Який діапазон зміни ковзання в різних режимах роботи АД?
10. Поясніть конструкцію короткозамкненого та фазного ротора.

1.4 ЛЕКЦІЯ №4 (2 ГОДИНИ)

Тема: БУДОВА ТА ПРИНЦИП ДІЇ СИНХРОННИХ ДВИГУНІВ (2 год.)

Мета: ознайомити студентів з будовою та принципом дії синхронних двигунів. Удосконалювати вміння логічно мислити. Виховувати інтерес до знань.

План

1. Загальні відомості про синхронні машини.
2. Збудження синхронних машин.
3. Будова синхронного двигуна.

1. Синхронні машини – це безколекторні машини змінного струму. За будовою вони відрізняються від асинхронних машин лише конструкцією ротора, який може бути явнополюсним або неявно полюсним. Що стосується властивостей, то синхронні машини відрізняються синхронною частотою обертання ротора ($n_2 = n_1 = \text{const}$) при будь-якому навантаженні, а також можливістю регулювання коефіцієнта потужності, встановлюючи таке його значення, при якому робота синхронної машини стає найбільш економічною. Синхронні машини обернені і можуть працювати як в режимі генератора, так і в режимі двигуна.

Синхронні генератори складають основу електротехнічного обладнання електростанцій, тобто практично вся електроенергія виробляється синхронними генераторами. Одиначна потужність сучасних синхронних генераторів сягає мільйонна кіловат і більше.

Синхронні двигуни застосовують головним чином для приводу механізмів значної потужності (млини, вентилятори, насоси), які не потребують регулювання частоти обертання. Такі двигуни за своїми техніко-економічними показниками переважають порівняно над іншими двигунами. В потужних електроенергетичних установках синхронні машини іноді застосовують в якості синхронних компенсаторів – генераторів реактивної потужності, які дають можливість підвищити коефіцієнт потужності всієї установки.

2. На роторі синхронного генератора розташовано джерело МРС (індуктор), який створює в генераторі магнітне поле. За допомогою приводного двигуна ротор генератора приводиться в дію з синхронною частотою n_1 . При цьому магнітне поле ротора також обертається і, зчіплюється з обмоткою статора та наводить в ній ЕРС.

Синхронні двигуни конструктивно не відрізняються від синхронних генераторів. Вони також складаються із статора з обмоткою та ротора. Тому незалежно від режиму роботи синхронна машина потребує процесу збудження – наведення в ній магнітного поля.

Основним способом збудження синхронних машин є електромагнітне збудження, суть якого полягає в тому, що на полюсах ротора розміщують обмотку збудження. При проходженні по цій обмотці постійного струму виникає МРС збудження, яка наводить в магнітній системі машини магнітне поле.

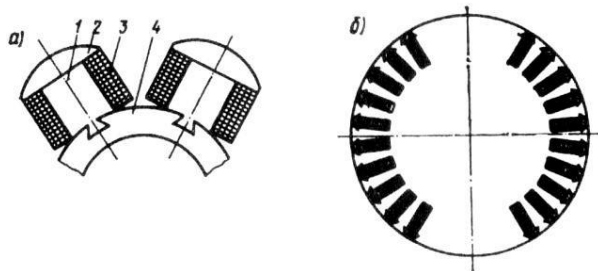
До останнього часу для живлення обмотки збудження застосовувалися спеціальні генератори постійного струму незалежного збудження (збудники), обмотка збудження якого отримувала живлення постійного струму від іншого генератора (паралельного збудження), який називають підзбудником. Ротор синхронної машини і якоря збудника і підзбудника розміщені на одному валу і обертаються одночасно. При цьому струм в обмотку збудження синхронної машини надходить через контактні кільця та щітки. Для регулювання струму збудження застосовують регульовальні реостати, які включають в коло збудження збудника.

В сучасних синхронних двигунах для збудження застосовують тиристорні збуджувальні пристрої, які включають в коло змінного струму і здійснюють автоматичне керування струмом збудження, в тому числі і перехідних. Такий спосіб збудження є найбільш надійним і економічним, оскільки ККД тиристорних збудників вище, ніж у генераторів постійного струму. Промисловістю випускаються тиристорні збудники на різні напруги збудження з допустимим значенням постійного струму 320 А.

Найбільше поширення в сучасних серіях синхронних двигунів отримали тиристорні збудники типів ТЕ8-320/48 (напруга збудження 48 В) та ТЕ8-320/75 (напруга збудження 75 В). Потужність, яка витрачається на збудження, складає від 0,2 до 5% корисної потужності машини (менше значення відноситься до машин великої потужності).

3. Синхронна машина складається з нерухомої частини – статора – і обертової частини – ротора. Статори синхронних машин в принципі не відрізняються від статорів асинхронних двигунів, тобто складаються з корпусу, осердя та обмотки.

Ротори синхронних машин можуть мати дві принципово відмінних конструкції: явнополюсну та неявнополюсну.



Конструкція роторів синхронних машин
вираженими полюсами;
б) неявнополюсний ротор з вираженими полюсами

1) Зовнішній наконечник;
2) Котушка;
3) Осердя (ядро);
4) Обмотка (моточка);
5) Контактний кільця;
6) Лопатки вентилятора;
7) Підшипники ковзання;
8) Підшипники валу;
9) Підшипники валу;
10) Корпус;
11) Полімери;
12) Обмотка статора;
13) Сталеві щити;
14) Виводи

Синхронні двигуни серії СДН2 (рис.2) виготовляють потужністю від 315 до 4000 кВт при частотах обертання від 300 до 1000 об/хв. і призначені для включення в мережу частотою 50 Гц при напрузі 6 кВ.

Осердя статора 4, запресоване в сталевий корпус, складається з пакетів сегментів, зібраних із штампованих листів електротехнічної сталі товщиною 0,5 мм. Для кращого охолодження двигуна пакети розділені радіальними вентиляційними каналами шириною 10 мм.

Обмотка статора 12 двохшарова з укороченим шагом. Осердя полюсів 11 ротора кріпляться до основи 3 шпильками 5. Обмотка ротора складається з полюсних котушок. Контактні кільця 8 кріпляться на кінці вала. На роторі є лопатки 6 відцентрового вентилятора. Стоякові підшипники ковзання 2 і 7 встановлені на підшипникових напівщитах 1 і 9. Двигун з торцевих сторін прикритий

сталевими щитами 13. В обшивці 10 корпуса є вентиляційні вікна, прикриті жалюзі. На боковій поверхні корпуса розташована коробка виводів 14. Збудження двигунів здійснюється від тиристорних перетворювачів з автоматичним регулюванням струму збудження при пуску та зупинці двигунів.

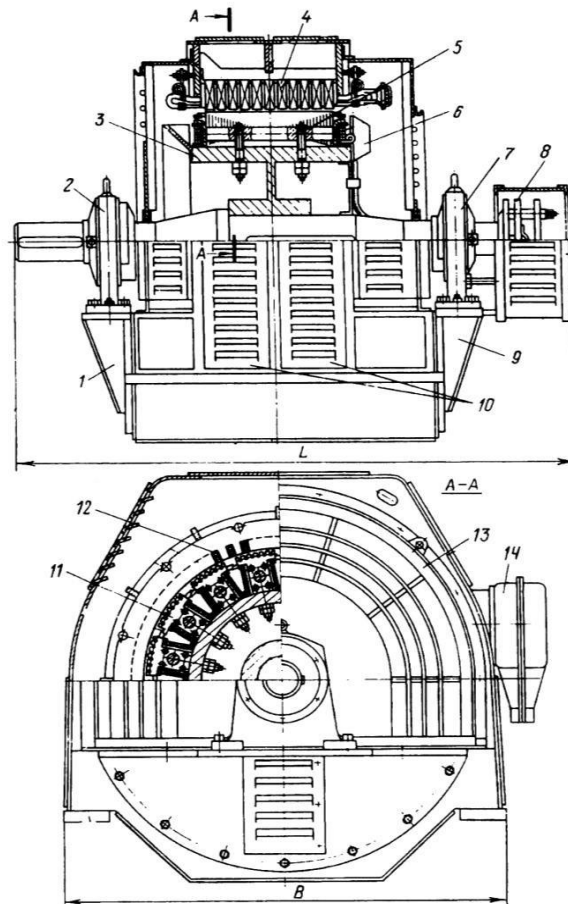


Рис.2. Будова синхронного двигуна СДН2

Контрольні питання

1. Де застосовують синхронні машини?
2. Які існують способи збудження синхронних машин?
3. Поясніть будову явнополюсних та неявнополюсних роторів.
4. Поясніть будову синхронного двигуна СДН2.
5. Які достоїнства тиристорних збудників?

1.5. ЛЕКЦІЯ №5 (2 ГОДИНИ)

Тема: ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МЕХАНІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ (2 год.)

Мета: ознайомити студентів з теоретичними основами механіки електроприводу. Набуття навичок механічних розрахунків електроприводу. Виховувати інтерес до знань.

План.

1. Поняття про механічні характеристики.
2. Рівняння руху електроприводу.
3. Приведення статичних моментів та моментів інерції до валу двигуна.

1. **Механічною характеристикою робочої машини** називають залежність моменту опору (моменту навантаження, статичного моменту) від частоти обертання машини.

$$M = f(\omega) = M_{xx} + (M_H - M_{xx}) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_H}\right)^x$$

де x – параметр, який характеризує характер навантаження;

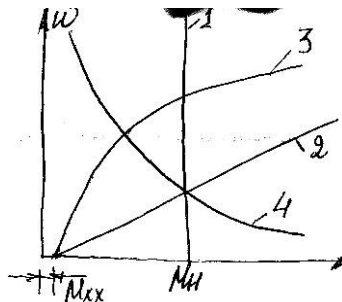
M_{xx} – момент холостого ходу, $M_{xx} = (5 \div 10)\% M_H$;

M_H – номінальний момент

Розглянемо випадки:

1) $x = 0$
 $M_c = M_H$
від

2) $x = 2$



$=const$, тобто механічна характеристика не залежить швидкості. До цієї групи відносять всі вантажопідіймальні механізми.

M_c – лінійно зростаюча характеристика (привод ератора, що працює на постійний опір)

$x = 2, M_c \propto \omega^2$ – вентиляторна характеристика (вентилятори, повітродувки, турбонасоси) 4) $x = -1, M_c \propto \frac{1}{\omega}$ –

токарні верстати

Потужність, яку споживає електродвигун витрачається на подолання статичних та динамічних навантажень.

Статичний момент (навантаження) – це робочі моменти та зусилля разом з силами тертя в механічній передачі.

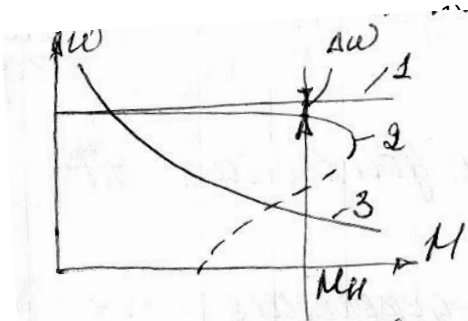
За характером дії моменти навантаження ділять на активні та реактивні.

Активним називають статичний момент, який при одному напрямку перешкоджає обертанню, а при іншому – сприяє. Він виникає незалежно від руху і створюється сторонніми джерелами механічної енергії (момент від вантажу, що висить на канаті). Момент завжди направлений в один бік і при зміні напрямку обертання знак свій не змінює.

Реактивний статичний момент – виникає лише внаслідок руху та направлений проти нього, тобто цей момент завжди є гальмівним. При зміні напрямку обертання реактивний момент змінює свій знак. Обумовлений силами тертя.

Динамічний момент визначається запасом кінетичної енергії рухомих мас механізму. Виникає і діє лише при прискоренні та гальмуванні руху електроприводу. За рахунок цього моменту змінюється кутова швидкість. Причини динамічного навантаження – пуск, гальмування, реверс, регулювання швидкості.

Механічна характеристика двигуна – це залежність його швидкості від моменту, що розвивається $f(M)$. Розрізняють:



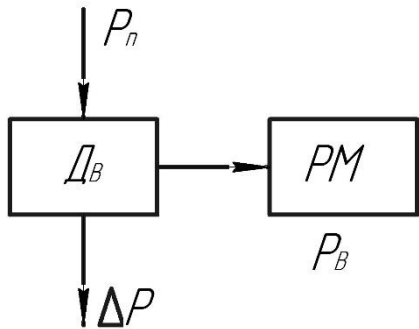
природну – відповідає основній (паспортній) схемі п'ючення двигуна та номінальним параметрам пруги живлення;

2) штучні характеристики – коли в схему вводять додаткові елементи (резистори, конденсатори) або змінюють параметри мережі живлення.

Ступінь зниження швидкості при збільшенні навантаження характеризується жорсткістю механічної характеристики. За жорсткістю електродвигуни поділяють на групи:

- 1) абсолютно жорстка характеристика (СД)
- 2) жорстка характеристика (АД, ДПС НЗ)
- 3) м'яка – збільшення моменту супроводжується значним зменшенням швидкості (ДПС ПЗ, ДПС ЗЗ).

2. Рівняння руху ЕП.



P_n – потужність, яку споживає двигун із мережі

P_B – потужність на валу двигуна

ΔP – втрати потужності

$$P_n = P_B + \Delta P + P_{дин} = P_c + P_{дин}$$

де $P_{дин}$ – потужність, що витрачається на зміну запасу кінетичної енергії:

$$P_{дин} = J\omega \frac{d\omega}{dt}, \text{ де } J - \text{момент інерції, кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J = mr^2$$

$$\frac{P_n}{\omega} = \frac{P_c}{\omega} + J \frac{d\omega}{dt}$$

$$M_{дв} = M_c + J \frac{d\omega}{dt} - \text{рівняння руху електроприводу}$$

Якщо:

- 1) $M_{дв} > M_c$ $\frac{d\omega}{dt} > 0$ – прискорення
- 2) $M_{дв} < M_c$ $\frac{d\omega}{dt} < 0$ – гальмування
- 3) $M_{дв} = M_c$ $\frac{d\omega}{dt} = 0$ – сталий режим роботи ЕП

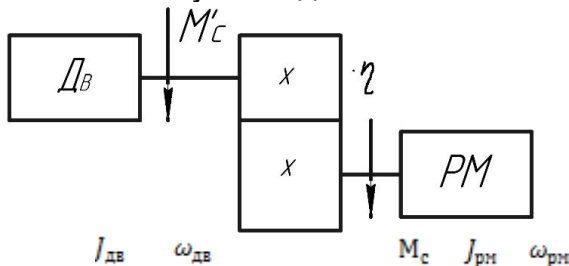
3.

$$\omega_{рн} = \omega_{дв}$$

$$J_{\Sigma} = J_{дв} + J_{рн}$$



В загальному вигляді система може мати вигляд:



i – передаточне число редуктора

η – ККД редуктора

Для спрощення розрахунків динаміки привода проводять приведення (перерахунок) моментів опору та моментів інерції від однієї осі обертання до іншої, зазвичай до осі двигуна. Приведення M_c ґрунтується на балансі потужностей:

$$M'_c \omega_{дв} = M_c \omega_{рн} \cdot \frac{1}{\eta}$$

$$M'_c = M_c \frac{\omega_{pm}}{\omega_{dv}} \cdot \frac{1}{\eta} = M_c \cdot \frac{1}{\eta \cdot i}$$

Приведення моментів інерції ґрунтується на рівнянні запасу кінетичної енергії:

$$J' \frac{\omega_{dv}^2}{2} = J_{pm} \frac{\omega_{pm}^2}{2} \Rightarrow J' = J_{pm} \cdot \frac{1}{i^2}$$

В довідниках вказують маховий момент GD^2 :

$$J = \frac{GD^2}{4} \text{ [кг} \cdot \text{м}^2\text{]}$$

$$J = \frac{GD^2}{4g} \text{ [Н} \cdot \text{м}^2\text{]}$$

Контрольні питання

Контроль знань студентів здійснюється проведенням тестування (тестові питання приведені у збірнику тестів)

1.6 ЛЕКЦІЯ №6 (2 ГОДИНИ)

Тема: ЕНЕРГЕТИКА ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Мета: ознайомити студентів з основними енергетичними показниками роботи електроприводу. Набуття практичних навичок визначення енергетичних показників.

План.

1. Втрати потужності та енергії в ЕП.
2. Коефіцієнт корисної дії електроприводу.
3. Коефіцієнт потужності ЕП.

1. До основних енергетичних показників ЕП відносять ККД, коефіцієнт потужності, втрати потужності та енергії.

Втрати потужності та енергії в ЕП складаються з втрат в електродвигуні, механічній передачі, силовому перетворювачі та системі керування. Втрати потужності в двигуні – це сума постійних K та змінних V втрат: $\Delta P = K + V$.

Постійні втрати не залежать від струмів двигуна і до них відносять втрати в сталі магнітопроводу, механічні втрати від тертя в підшипниках та вентиляційні втрати. Для СД та ДПС НЗ це також втрати в обмотках збудження.

Змінні втрати – це втрати, які виділяються в обмотках двигунів при протіканні по ним струму, який залежить від механічного навантаження ЕП. Для ДПС: $V = I^2 \cdot R = I_H^2 \cdot R \cdot (I/I_H)^2 = V_H \cdot x^2$

де $x = I/I_H$ - кратність струму; $V_H = I_H^2 \cdot R$ - номінальні змінні втрати потужності; I_H – номінальний струм двигуна; R – опір обмоток.

Для АД: $V = 3I_1^2 R_1 + 3I_2'^2 R_2' \approx 3I_2'^2 (R_1 + R_2') = V_H \cdot x^2$

$\Delta P = V = \Delta P_1 + \Delta P_2 = M \cdot \omega_0 \cdot s(1 + R_1/R_2')$

Для СД: $V = 3I_1^2 \cdot R_1 = 3I_{1H}^2 \cdot R_1 (I_1/I_{1H})^2 = V_H \cdot x^2$

Втрати потужності при роботі двигуна в номінальному режимі ($x = 1$) визначають за паспортними даними двигуна:

$$\Delta P_H = P_H (1 - \eta_H) / \eta_H$$

де η_H – номінальний ККД.

Постійні втрати потужності: $K = \Delta P_H - V_H$

За час роботи t_p двигуна з постійним навантаженням втрати енергії:

$$\Delta A = \Delta P \cdot t_p$$

2. ККД ЕП як електромеханічної системи визначається добутком ККД перетворювача $\eta_{пу}$ та пристрою керування $\eta_{пк}$, електродвигуна η_d та механічної передачі $\eta_{мп}$: $\eta = \eta_{пу} \eta_{пк} \eta_d \eta_{мп}$.

Визначаючим при цьому є ККД двигуна, який визначають:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P}$$

Для АД: $\eta = 1 - s$.

Способи підвищення ККД двигунів: обмеження часу роботи двигуна на холостому ході; забезпечення навантаження двигуна при його роботі, близькій до номінальної; заміна мало навантаженого двигуна на двигун меншої потужності; використання регулятора економичності.

3. ЕП, які підключаються до мережі змінного струму, споживають з неї активну P та реактивну Q потужності. Активна потужність витрачається на виконання ЕП корисної роботи та покриття втрат в ньому, а реактивна потужність забезпечує створення електромагнітних полів двигуна та інших його елементів і безпосередньо корисної роботи не здійснює.

Робота ЕП характеризується коефіцієнтом потужності:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

Основні заходи по підвищенню $\cos\varphi$ АД: заміна мало завантажених АД двигунами меншої потужності; обмеження часу роботи АД на ХХ, коли АД працює з низьким $\cos\varphi$; зниження напруги живлення АД, які працюють з малим чи змінним навантаженням; заміна АД на СД, коли це можливо за умовами технологічного процесу робочої машини та економічно обґрунтовано.

Контрольні питання.

1. Які показники характеризують енергетику ЕП?
2. Що входить до складу постійних та змінних втрат потужності?
3. Як пов'язані між собою втрати потужності та енергії?
4. Що називають середньозваженим ККД?
5. Яким чином можна підвищити ККД ЕП?
6. Що таке коефіцієнт потужності?
7. Якими шляхами можна досягти підвищення коефіцієнту потужності?

1.7 ЛЕКЦІЯ №7 (2 ГОД.)

Тема: ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СХЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

Мета: ознайомити студентів з основними відомостями про схеми керування електроприводом. Набуття практичних навичок читання електричних схем.

План

1. Класифікація схем керування електроприводом.
2. Умовні позначення в електричних схемах.
3. Особливості читання електричних схем.

1. Основна задача при проектуванні, монтажі та експлуатації електроприводу – створення електроприводів з простим та надійним керуванням, щоб звести до мінімуму кількість аварійних відключень. Рациональне керування електроприводами повинне сприяти швидкому виявленню аварійної ділянки, ліквідації аварії та забезпеченню повторного пуску механізмів, які зупинилися. Для цього в якості обов'язкових заходів передбачають: аварійно-попереджувальну сигналізацію; електроблокування механізмів, які входять у технологічний потік; контроль за режимом роботи технологічного устаткування та допоміжних механізмів.

Системи керування електроприводами класифікують за способом керування, де розрізняють системи ручного й автоматичного керування.

Ручним називають керування, якщо операції здійснюють за безпосереднього впливу людини на апарати керування. Недоліком такого керування є потреба у розміщенні апаратів керування поблизу електродвигуна й обов'язкова присутність людини. Таке керування має низьку точність і потребує багато часу на виконання операцій. Його застосовують для керування невідповідальними механізмами, які мають просту схему керування і робота яких не пов'язана з роботою інших.

Автоматичним називають керування, за якого людина подає тільки імпульс на пуск установки в роботу або її зупинку, а всі інші операції виконуються автоматично, чим забезпечується належна швидкість і точність виконання операцій керування.

Є також напівавтоматичне керування, за якого оператор здійснює вплив на автоматичні пристрої, що виконують окремі операції.

За типом застосовуваних апаратів розрізняють схеми релейно-контактні й напівпровідникові. У релейно-контактних схемах для керування механізмами використовують електромеханічні апарати (реле, контактори, магнітні пускачі), у напівпровідникових — напівпровідникові перетворювачі (некеровані силові вентиляти, тиристори, транзистори тощо).

Автоматизовані системи керування електроприводами бувають розімкнені та замкнені.

До розімкнених відносять схеми, в яких для керування електроприводом не використовуються зворотні зв'язки за його координатами чи технологічним параметрам машин (механізмів), які приводяться в дію. Ці схеми відрізняються простотою реалізації, широко застосовуються там, де не потребують високої якості керування рухом ЕП, зокрема для пуску, реверсу та гальмування двигунів.

Розімкнені схеми, здійснюючи керування електроприводом, забезпечують і захист ЕП, мережі живлення та технологічного устаткування при виникненні різних ненормальних режимів – коротких замикань, перевантаженні двигунів, зникненні напруги живлення або обриві фази. Для цього вони містять відповідні апарати та пристрої, які знаходяться у взаємодії з пристроями керування двигунами. В розімкнених схемах керування головним чином використовується релейно-контактна апаратура, до складу якої входять командні малопотужні апарати, силові комутаційні апарати з ручним та дистанційним управлінням, реле керування та захисту.

Замкнені структури ЕП застосовують у випадках, коли необхідно забезпечити рух виконавчих органів робочих машин з високими показниками – значним діапазоном регулювання швидкості та точністю її підтримання, заданими якістю перехідних процесів і

точністю зупинки, а також високою економічністю або оптимальним функціонуванням технологічного обладнання і самого ЕП.

Основною ознакою замкнених структур є таке автоматичне керування, за якого ЕП найкраще виконує свої функції за будь-яких керуючих і зовнішніх збурень, що діють на робочу машину.

2. Керування електроприводами здійснюють за допомогою електричних апаратів та інших пристроїв, електрично з'єднаних між собою. Графічне зображення з'єднань між електричними машинами, апаратами, приладами та іншими складовими, які належать до системи керування електроприводом, називають електричною схемою. Залежно від призначення електричні схеми поділяють на принципові та монтажні.

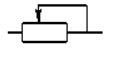
Принципова електрична схема слугує для з'ясування роботи системи керування електроприводом або електроустановкою загалом, монтажна — для виконання за нею електромонтажних робіт. Під час креслення електричних схем усі елементи, які входять до них, зображують у вигляді стандартизованих умовних графічних позначень. Деякі позначення для електричних схем подано в табл. 1.

Крім графічного кожному елементу електричної схеми присвоюють також літерні позначення, або літерний код. Загалом такий код має складатися з двох літер, які мають самостійне змістовне значення. Перша літера вказує на групу елементів, наприклад Н — прилади сигналізації, друга — на вид елемента (його конкретне призначення), наприклад НЛ — прилад світлової сигналізації, НА — прилад звукової сигналізації.

Якщо в схемі є кілька елементів чи пристроїв, які позначають одним літерним кодом, то після нього ставлять порядковий номер.

У схемах керування електродвигунами кнопку, за допомогою якої подається імпульс на пуск двигуна, позначають кодом SB2 або SBC, на зупинку — кодом SB1 або SBT. Позначення кнопок керування двигунами через SBT і SBC зручне, якщо ряд електродвигунів пов'язаний спільною схемою керування

3. Особливості читання електричних схем керування електроприводом полягають

Назва елемента	Умовне позначення
Котушка контактора, магнітного пускача, реле	
Контакт комутаційного пристрою	
замикальний	
розмикальний	
замикальний зі сповільнювачем, що діє у разі спрацювання	
у разі повернення	
розмикальний зі сповільнювачем, що діє у разі спрацювання	
у разі повернення	
Реле електротеплове (теплового захисту)	
Електродвигун постійного струму	
Обмотка послідовного ввімкнення	
паралельного ввімкнення	
Лампа розжарювання	
Запобіжник плавкий	
Дзвінок електричний	
Резистор постійний	
змінний	

у розумінні умовних позначень та принципів побудови, де кожен елемент і зв'язок зображені згідно зі стандартами. Важливо знати, що схема відображає принцип роботи, а не фізичне розташування компонентів. Читання вимагає послідовного аналізу, щоб відстежити шлях струму, роботу контактів та взаємодію елементів, особливо при налагодженні та ремонті.

Ключові аспекти читання схем:

Умовні графічні позначення: Зображення на схемах — це стандартизовані символи, які показують тип і принцип дії кожного елемента (наприклад, реле, контактор, двигун).

Послідовність: Починайте аналіз з джерела живлення, дотримуючись послідовності, щоб простежити, як сигнал проходить через ланцюг, активує реле, яке, в свою чергу, може замикати або розмикати контакти, що керують двигуном.

Принципові схеми: Розуміння того, що принципова схема показує, як працює система, але не як розташовані компоненти фізично. Це критично для розуміння логіки роботи, а не для монтажу.

Зв'язки: З'єднувальні лінії вказують на електричні зв'язки між компонентами. Звертайте увагу на перетини ліній (іноді з крапкою, що означає контакт) і паралельні лінії, що показують різні контури.

Позначення елементів: Кожен елемент має буквено-цифрове позначення, яке допомагає ідентифікувати його в специфікації або на корпусі пристрою. Наприклад, у системах автоматики реле можуть мати позначення, що вказують на їхній тип (наприклад, "Н" для нейтрального реле).

Функціональність: Для розуміння роботи, важливо усвідомити, які елементи керують якими іншими елементами, наприклад, як кнопка "пуск" активує контактор, а той, у свою чергу, підключає двигун.

Лаконічність: У деяких випадках, наприклад, при читанні схем керування великих установок, можуть використовуватися окремі частини схеми для зображення певних функціональних блоків. Доцільно почати з найпростішого сегмента, який охоплює основні елементи управління, і поступово переходити до більш складних.

На принципових електричних схемах (рис. 1) зображують усі елементи електричних машин і апаратів, які належать до цих схем (обмотки, котушки, контакти), а також пристрої регулювання, сигналізації тощо. Під час креслення принципових схем елементи електричних машин, апаратів, пристроїв регулювання, контролю і сигналізації зображують не згідно з їх справжнім розміщенням у просторі, а витягнутими в лінію в порядку проходження крізь них струму від одного полюса джерела живлення до іншого. В цьому разі окремі деталі апарата можна зображати в різних місцях схеми. Усім елементам того самого апарата, наприклад котушці, контактам, присвоюють однакові літерні позначення. Це значно полегшує читання схеми, яке полягає в простежуванні кіл проходження електричного струму, визначенні послідовності роботи електричних апаратів і складанні уяви про роботу схеми загалом.

Для зручності читання схем електричні кола поділяють на кола головного струму і допоміжні. До перших належать силові кола двигунів, генераторів, до других — кола керування.

На принципових схемах усі елементи й апарати зображують у положенні, в якому вони знаходяться, коли струм крізь них не проходить, тобто коли схема знеструмлена.

Правила виконання всіх типів електричних схем встановлюються ДСТУ ГОСТ 2.702:2013[3], при виконанні схем цифрової обчислювальної техніки керуються ГОСТ 2.708-81[4].

Керування електроприводом засувки (рис. 2.21) може здійснюватися у режимі місцевого керування (перемикач SA у положенні "1") та автоматичного (положення "2"). При місцевому керуванні залучені кнопки: SB3 — відкрити, SB4 — закрити, SB1 — зупинка, SB2 — режим деблокування. Крайні положення засувки контролюються кінцевими вимикачами KBO та KB3, про що сигналізують лампи HL1 та HL2.

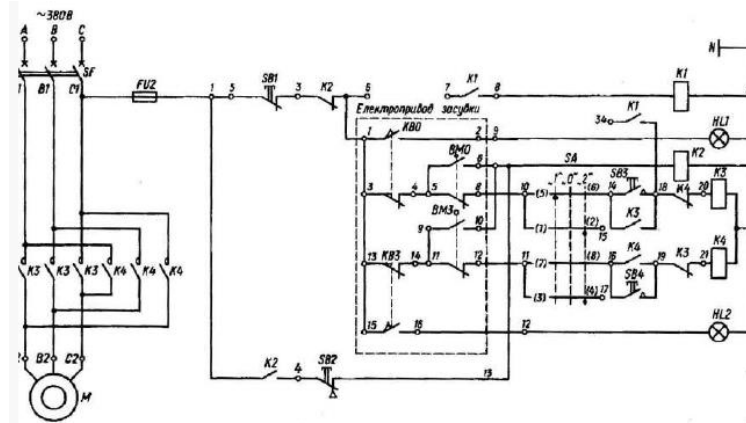


Рис. 1. Принципова електрична схема керування електроприводом засувки з двосторонньою муфтою

При заклинюванні засувки в процесі відкриття двигун відключається контактом ВМО (вимикач муфти обмеження моменту), а в процесі закриття – контактом ВМЗ. У цій схемі застосована двостороння муфта обмеження моменту. Є схеми, де контролюється тільки момент закриття засувки. Коли відбувається заклинювання засувки при закритті чи відкритті, спрацьовує реле К2, яке стає на саможивлення замикаючим контактом К2 (точки 1 -4) та розриває всі кола керування розмикаючим контактом К2 (точки 3 - 6), схема набуває заблокованого положення. Щоб повторно ввести схему в дію після налагодження, натискають кнопку SB2 – деблокування.

Контрольні питання.

1. Як класифікують схеми керування електроприводами за способом керування?
2. Що означає ручне керування електроприводом?
3. В чому полягає принцип автоматизованого керування електроприводом?
4. Які функції виконують розімкнені схеми керування електроприводом?
5. Назвіть особливості замкнених схем керування електроприводом.

1.8 ЛЕКЦІЯ №8 (2 ГОД.)

Тема: ПРИНЦИП ПОБУДОВИ ЗАМКНЕНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Мета: ознайомити студентів з основними принципами побудови замкнених систем керування. Виховувати інтерес до знань, спрямувати пізнавальну активність студентів на самовдосконалення.

План.

1. Види зворотного зв'язку.
2. Схеми замкнених систем електропривода.

1. При побудові схеми замкненої ЕМС для регулювання вихідних координат – швидкості, прискорення, положення – зазвичай використовуються зворотні зв'язки за швидкістю, положенням, струмом і напругою.

Усі види зворотних зв'язків в ЕП ділять на позитивні та від'ємні, лінійні і нелінійні, жорсткі та гнучкі. Позитивним називається зворотний зв'язок, сигнал якого направлений узгоджено (складається) із задаючим сигналом, а сигнал від'ємного зв'язку направлений йому назустріч.

Жорсткий зворотний зв'язок характеризується тим, що він діє як у сталому, так і у перехідному режимах ЕП. Сигнал гнучкого зворотного зв'язку виробляється лише у перехідних режимах ЕП і призначений для забезпечення необхідної якості, наприклад стійкості руху, допустимого перерегулювання.

Лінійний зворотний зв'язок характеризується пропорційною залежністю між регульованою координатою і сигналом зворотного зв'язку, в той час як при реалізації нелінійного зв'язку ця залежність нелінійна.

2. На схемі ЕМС із загальним підсумовуючим підсилювачем (рис.1) електромеханічна частина представлена електродвигуном ЕД і механічним перетворювальним пристроєм МПП. Електромагнітний момент M двигуна в загальному випадку є регульованою координатою електропривода.

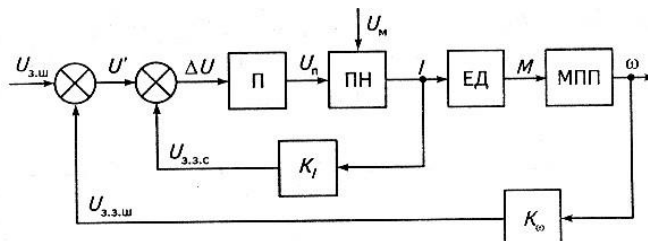


Рис.1 Структурна схема замкненої ЕМС із загальним підсумовуючим підсилювачем

Побудова схем із загальним підсилювачем основана на використанні підсилювача П, на входи якого подається алгебрична сума заданого сигналу за швидкістю $U_{зш}$ і сигналів зворотних зв'язків за всіма координатами, наприклад за швидкістю $U_{зш}$ і струмом $U_{зс}$. Ці сигнали надходять із виходу системи за допомогою спеціальних датчиків із коефіцієнтами передачі відповідно K_{ω} і K_I . З виходу підсилювача U_n подається на керуючий вхід перетворювача напруги ПН, в якому напруга мережі U_m перетворюється на напругу із заданими параметрами.

Дана схема порівняно проста, однак її недолік полягає в неможливості незалежного регулювання координат і, як наслідок, у труднощах досягнення оптимального регулювання водночас усіх координат.

Розвитком схеми із загальним підсилювачем є схема, зображена на рис.2, де використовуються нелінійні зворотні зв'язки. У результаті дії зворотних зв'язків у деякому діапазоні вони виявляються вже розділеними між собою, проте і в цій схемі неможливо здійснити незалежне регулювання всіх координат.

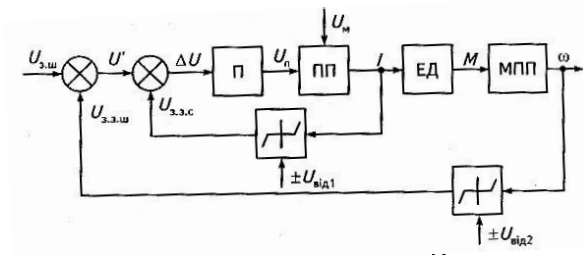


Рис.2

Зазначений недолік із загальним підсилювачем можна усунути використанням так званих систем підпорядкованого регулювання координат із послідовною корекцією (рис.3)

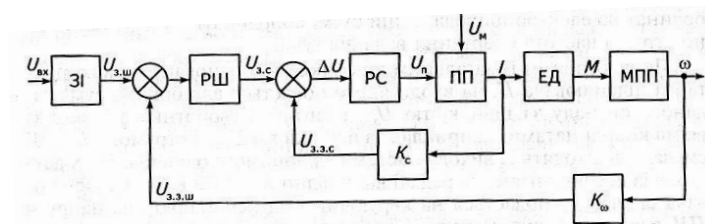


Рис.3

Особливість цих систем полягає у відповідності кількості підсилювачів і замкнених контурів числу регульованих координат. При цьому замкнені контури розташовуються таким чином, що вихідний сигнал зовнішнього контуру є задавальним входним сигналом внутрішнього контуру. Тим самим кожен внутрішній контур підпорядковується зовнішньому контуру. У схемі рис.3 першим контуром є контур струму (координата I), що підпорядковується зовнішньому відносно нього контуру швидкості (координата ω). Кожен контур має свій підсилювач і називається регулятором положення, швидкості, струму й моменту відповідно.

Схема рис.3 містить лише регулятори швидкості РШ й струму РС. Як приклад показано, що для забезпечення необхідної якості перехідного процесу входний задавальний сигнал за швидкістю $U_{з.ш}$ подається на вхід регулятора швидкості через так званий за датчик інтенсивності ЗІ. Така побудова системи забезпечує роздільне регулювання координат і роздільне (оптимальне) настроювання якості процесу регулювання.

Контрольні питання

1. В яких випадках необхідне створення замкнених схем електроприводу.
2. Яку структуру силової частини мають більшість замкнених ЕП?
3. Які існують види зворотного зв'язку в електроприводі?

Список рекомендованой літератури

Базова

1. *Бородин И. Ф., Недилько Н. М.* Автоматизация технологических процессов. — М.: Агропромиздат, 1986. — 368 с.
2. *Гончар В. Ф.* Електрообладнання і автоматизація сільськогосподарських агрегатів і установок. — К.: Вища шк., 1985. — 207 с.
3. *Е.Л.Жулай, Б.В.Зайцев* «Электропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній» К.: Вища освіта, 2001 – 288с.
4. *Электропривод* / О. С. Марченко, Ю. М. Лавріненко, П. І. Савченко, Є. Л. Жулай; За ред. О. С. Марченка. — К.: Урожай, 1995. — Ч. 1. — 208 о.
5. *Идельчик И. Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям. — М.: Госэнергиздат, 1975. — 568 с.
6. *Калинушкин М. П.* Вентиляторные установки. — М.: Высш. шк., 1979. — 223 с.
7. *Ключев В. И., Терехов В. М.* Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов. — М.: Энергия, 1980. — 360 с.
8. *Лобаев Б. Н.* Расчет воздухопроводов. — К.: Госстройиздат УССР, 1959. — 196 с.
9. *Механізація виробництва продукції тваринництва* / І. І. Ревенко, Г. М. Кукта, В. М. Манько та ін.; За ред. І. І. Ревенка. — К.: Урожай, 1994. — 264 с.

Допоміжна

10. *Механізація та автоматизація у тваринництві і птахівництві* / О. С. Марченко, О. В. Дацишин, Ю. М. Лавріненко та ін.; За ред. О. С. Марченка. — К.: Урожай, 1995. — 416 с.
12. *Некрасов С. С.* Обработка металлов резанием. — М.: Агропромиздат, 1988. — 365 с.
13. *Новиков Ю. Ф., Гонка В. В.* Электромобильные машины для животноводства. — М.: Агропромиздат, 1988. — 190 с.
14. *ОСТ 70.2.3-79.* Испытания сельскохозяйственной техники. Методы оценок электроприводов сельскохозяйственных агрегатов. — М., 1980. — 38 с.
15. *Фоменков А. П.* Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий. — М.: Колос, 1984. — 280 с.
16. *Центробежные вентиляторы* / Под ред. Т. С. Соломаховой. — М.: Машиностроение, 1975. — 414 с.

Інформаційні ресурси

1. Ключев В. И., Терехов В. М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов, — М.: Энергия, 1980.— 360 с **Источник:** http://bamper.info/view_news.php?id=637 © bamper.info
2. Ковчин С.А. и Сабинин Ю.А. - Теория электропривода: учебник для вузов <http://www.torrentino.com/torrents/134380>
3. Москаленко В. В. Автоматизированный электропривод: Учебник для вузов. Москва: Энергоатомиздат, 1986. <http://www.nppsaturn.ru/moskalenkoVV.htm>
4. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. Учебник для вузов - 3 изд.
5. М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов http://books.iqbuy.ru/categories_offer/9785769544972/avtomatizirovannyi-elektroprivod-tipovyh-proizvodstvennyh-mehanizmov-i-tehnologicheskikh-kompleksov-uchebnik-dlya-vuzov-3-izd-belov-novikov-rassudov
6. Ключев В. И., Терехов В. М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов.— М.: Энергия, 1980.- 360 с. <http://www.shram.kiev.ua/megafaza/books/elprivod.shtml>
7. Кузнецов Б. В. Выбор электродвигателей к производственным механизмам. Мн. Беларусь, 1984 г. [Кузнецов Б. В. Выбор электродвигателей к производственным механизмам. Мн. Беларусь, 1984 г.](#)

Чепіжний Андрій Володимирович
Рясна Ольга Василівна

ЕЛЕКТРОПРИВОД І АВТОМАТИЗАЦІЯ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет, вул. Г.-Кондратьєва 160

Підписано до друку: ____ 2022 р. Формат А5: Гарнітура Times New Roman Сур
Тираж: 50 примірників Замовлення ____ № ____ Ум. друк. арк. 1,7