

62-83(025 8)

B19

П.О. Васи́лега
Д.В. Му́ріков

ЕЛЕКТРОПРИВОД РОБОЧИХ МАШИН

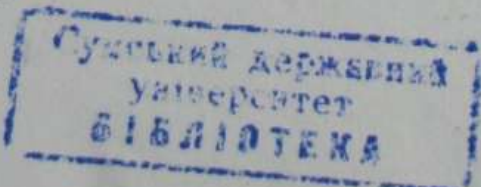
Навчальний посібник

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів вищих
навчальних закладів

WASS93



Суми
Університетська книга
2006



УДК 62-83(075.8)

ББК 31.291я73

В19

Рецензенти:

Лупенко А.М., кандидат технічних наук, доцент Тернопільського державного національного університету;

Пижов В.М., кандидат технічних наук, доцент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»;

Черв'яков В.Д., кандидат технічних наук, доцент Сумського державного університету

Гриф надано Міністерством освіти і науки України.
Лист № 14/18.2-1675 від 12.07.05

Василега П.О., Муріков Д.В.

В19

Електропривод робочих машин: Навчальний посібник / За ред. П.О. Василега. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2006. – 228 с.

ISBN 966-680-243-0

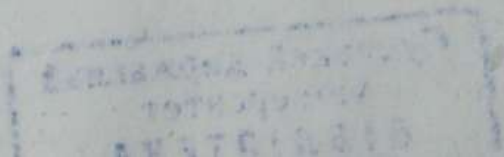
У посібнику розглянуто питання, пов'язані з електроприводом робочих машин. Загальні питання основ електропривода доповнюються аналізом конструкції, принципу дії, технічних параметрів електричних апаратів і машин, а також електричних схем ручного та автоматичного керування роботою робочих машин. Приведені приклади розрахунку потужності та вибору електродвигуна. Посібник призначений для студентів вищих навчальних закладів.

ББК 31.291я73

© Василега П.О., Муріков Д.В.,
2006

© ТОВ «ВТД «Університетська
книга», 2006

ISBN 966-680-243-0



ЗМІСТ

Вступ	7
Розділ 1. Основи електропривода	10
1.1. Основні терміни і визначення	10
1.2. Основні види електроприводів	13
1.3. Види електричних схем електропривода	13
1.4. Основи механіки електропривода	16
1.4.1. Приведення моментів і сил	16
1.4.2. Механічні характеристики робочих механізмів ...	18
1.4.3. Механічні характеристики електродвигунів	20
1.4.4. Умови роботи електропривода в усталеному режимі	21
1.4.5. Рівняння руху електропривода	23
Розділ 2. Основні положення про електричні апарати загального призначення в електроприводах робочих машин ...	26
2.1. Основні визначення і класифікація	26
2.2. Головні складові частини електричних апаратів	27
2.2.1. Електричні контакти	27
2.2.2. Пристрій дугогасіння	29
2.2.3. Привод електричних апаратів	30
2.3. Основні характеристики і параметри електромагнітного привода	34
Розділ 3. Конструкція і принцип дії електричних апаратів загального призначення для електропривода робочих машин	38
3.1. Пускорегулювальні електричні апарати	38
3.1.1. Контактори	38
3.1.2. Реле проміжні	41
3.1.3. Реле часу	43
3.2. Електричні апарати захисту	46
3.2.1. Запобіжники плавкі	47
3.2.2. Реле теплові	49
3.2.3. Реле струму	51
3.2.4. Реле напруги	53
3.2.5. Мікроперемикачі	55

3.2.6. Кінцеві вимикачі	56
3.3. Комутаційні електричні апарати	57
3.3.1. Рубильники	57
3.3.2. Пакетні вимикачі	59
3.3.3. Тумблери	60
3.3.4. Кнопки керування і кнопкові станції	61
3.4. Комбіновані електричні апарати	62
3.4.1. Автоматичні вимикачі (автомати)	62
3.4.2. Магнітні пускачі	65

Розділ 4. Вибір електродвигуна для електропривода робочих машин

4.1. Аналіз режиму роботи електродвигуна	68
4.1.1. Тривалий режим роботи	69
4.1.2. Короткочасний режим роботи	69
4.1.3. Повторно-короткочасні режими роботи	70
4.1.4. Переміжні режими роботи	73
4.2. Вибір виду електродвигуна	77
4.2.1. Асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором	77
4.2.2. Асинхронні двигуни з фазним ротором	79
4.2.3. Синхронні двигуни	81
4.2.4. Двигуни постійного струму	82
4.3. Вибір номінальної напруги	84
4.4. Вибір номінальної швидкості	85
4.5. Вибір за конструктивним виконанням	86
4.5.1. Вплив кліматичних факторів навколишнього середовища	86
4.5.2. Ступінь захисту	87
4.5.3. Спосіб монтажу	89
4.6. Вибір електродвигуна за потужністю	90
4.6.1. Методи розрахунку необхідної потужності електродвигуна	91
4.6.2. Вибір електродвигуна і перевірка правильності вибору при роботі в режимі S1	93
4.6.3. Вибір електродвигуна і перевірка правильності вибору при роботі в режимі S2	95
4.6.4. Вибір електродвигуна і перевірка правильності вибору при роботі в режимі S3	96
4.6.5. Вибір електродвигуна і перевірка правильності вибору при роботі в режимах S4 – S8	97
4.6.6. Спрощений спосіб вибору електродвигуна	102

Розділ 5. Робота електроприводів робочих машин

у перехідних і сталому режимах	105
5.1. Особливості пуску електропривода	105

5.1.1.	Вимоги до пускового моменту електродвигуна	105
5.1.2.	Вимоги до пускових струмів	106
5.1.3.	Вимоги до часу пуску	107
5.1.4.	Шляхи вирішення проблем пуску	107
5.2.	Особливості гальмування електропривода	111
5.2.1.	Гальмування на вибіг	111
5.2.2.	Динамічне гальмування	112
5.2.3.	Гальмування противмиканням	113
5.3.	Регулювання швидкості електропривода	114
5.3.1.	Регулювання швидкості електропривода з асинхронним двигуном із короткозамкненим ротором	114
5.3.2.	Регулювання швидкості електропривода з асинхронним двигуном із фазним ротором	116
5.3.3.	Регулювання швидкості електропривода із синхронним двигуном	118
5.3.4.	Регулювання швидкості електропривода з двигуном постійного струму	119
5.4.	Реверс електропривода	121
5.5.	Робота електропривода з постійною швидкістю	122
Розділ 6. Електропривод робочих машин для переміщення рідин і газів		
6.1.	Особливості роботи робочих машин для переміщення рідин і газів	126
6.2.	Спеціальні електричні апарати	130
6.2.1.	Спеціальні електричні апарати для автоматичного керування роботою компресорів	130
6.2.2.	Спеціальні електричні апарати для автоматичного керування роботою насосів	133
6.3.	Електричні схеми керування роботою робочих машин для переміщення рідин і газів	137
6.3.1.	Основні правила креслення та опису роботи принципів електричних схем	137
6.3.2.	Принципова електрична схема керування роботою насоса з використанням поплавкового реле ...	139
6.3.3.	Принципова електрична схема керування роботою насоса з використанням електродного реле рівня рідини	141
6.3.4.	Принципова електрична схема керування роботою компресорної установки з використанням електроконтактних манометрів	143
6.3.5.	Принципова електрична схема керування роботою холодильної установки	147

Розділ 7. Електропривод робочих машин із великими інерційними моментами	151
7.1. Особливості пуску	151
7.1.1. Проблеми пуску	151
7.1.2. Способи вирішення проблеми пуску	152
7.1.3. Електропривод з обмежувальною розгінною гідродинамічною муфтою	153
7.2. Особливості гальмування	157
7.3. Особливості реверсу	158
7.4. Особливості вибору електродвигуна	160
Розділ 8. Електроприводи робочих машин для хімічних, газо- і нафтопереробних підприємств	163
8.1. Вимоги до системи електропостачання	163
8.2. Вимоги до навколишнього середовища	165
8.3. Вимоги до електрообладнання	166
8.4. Особливості вибору складових частин електропривода	170
8.4.1. Особливості вибору електродвигунів	170
8.4.2. Особливості вибору електричних апаратів і приладів	176
8.4.3. Особливості вибору електроосвітлювального обладнання	180
8.5. Електричні схеми керування роботою електропривода	186
8.5.1. Електрична схема керування роботою електропривода центрифуги	188
8.5.2. Електрична схема керування роботою електропривода цементного млина	190
Список літератури	194
Додатки	197

ВСТУП

Одним із головних напрямків підвищення продуктивності праці та якості продукції в промисловості є автоматизація промислових установок і технологічних процесів. Рівень автоматизації значною мірою залежить від використання сучасних зразків електропривода, який забезпечує перетворення електричної енергії в механічну енергію руху робочих органів або навпаки, а також керує їх рухом.

Електропривод є невід'ємною складовою частиною всіх робочих машин, і правильність його вибору великою мірою визначає ефективність і надійність їх роботи. Від електропривода залежать такі основні показники робочих машин, як точність, надійність, а також швидкість і діапазон її регулювання, величина навантажень, особливо на час пуску та гальмування, та ін.

Підвищення вимог до електропривода, розширення його функцій приводить до зростання його складності. Сьогодні ціна електропривода дуже часто складає значну частину від загальної ціни робочої машини, а тому правильний вибір тієї чи іншої системи електропривода суттєво впливає на собівартість.

Правильне поєднання механічних характеристик виконавчих органів робочих машин та електропривода є умовою вдалого конструктивного і технологічного рішення при проектуванні робочих машин.

Актуальними є також питання, пов'язані з раціональним використанням електроенергії та енергозбереженням. Лише глибокі знання тих процесів, які відбуваються у всіх складових частинах робочої машини чи установки, включаючи і електропривод, можуть бути запорукою успішного вирішення цього питання.

Усе зазначене обумовлює необхідність ґрунтовного вивчення студентами неелектротехнічних спеціальностей основ електропривода, конструкції, принципу дії та основних характеристик промислового електрообладнання, методик правильного розрахунку їх параметрів та вибору за каталогами, можливостей підвищення економічності й надійності як електропривода, так і робочої машини в цілому.

Пропонований посібник рекомендований для студентів неелектротехнічних спеціальностей, його основу складають матеріали лекцій, які протягом багатьох років читаються авторами для студентів Сумського державного університету в курсі «Електропривод робочих машин галузі» для спеціальностей «Гідравлічні та пневматичні машини» та «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельної галузі». Основи електротехнічних знань студенти отримують при вивченні курсу «Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка». Цей курс є базовим для вивчення питань, що розглядаються в пропонованому посібнику. Знання, набуті студентами в результаті вивчення курсу «Електропривод робочих машин галузі», допомагають їм успішно вирішувати проблеми, що виникають під час роботи над курсовими та дипломною роботами, зокрема, конкретні питання вибору електрообладнання для електропривода окремих машин та апаратів, автоматизації технологічних процесів, вирішення таких економічних задач, як розрахунок питомих втрат електроенергії, енергетичної складової в собівартості продукції та ін.

Навчальний посібник також дає відповіді на деякі питання, пов'язані з правилами техніки безпеки при роботі з електрообладнанням робочих машин.

Даний посібник може бути корисним для студентів інших спеціальностей при вивченні курсів, у яких окремими розділами вивчаються питання, пов'язані з електроприводом та електрообладнанням окремих машин та установок.

Навчальний посібник складено відповідно до навчальних планів спеціальностей 7.090209 «Гідравлічні та пневматичні машини» і 7.090220 «Обладнання хімічних виробництв

та підприємств будівельної галузі» та робочих програм з курсу «Електропривод робочих машин галузі» для цих спеціальностей.

Розділи 1, 3–8 та додаток 1 написані канд. тех. наук, доцентом П.О. Василеого. Вступ, розділ 2 і додатки 2–7 написані к.т.н., доцентом Д.В. Муріковим.

Автори вдячні за цінні зауваження щодо змісту підручника рецензентам: Лупенко Анатолію Миколайовичу, кандидату технічних наук, доценту, завідувачу кафедри електротехніки Тернопільського державного технічного університету; Пижову Володимирі Михайловичу, кандидату технічних наук, доценту кафедри автоматизації електромеханічних систем і електропривода Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»; Черв'якову Володимирі Дмитровичу, кандидату технічних наук, доценту, завідувачу кафедри комп'ютерних систем управління Сумського державного університету.

Зауваження та побажання щодо поліпшення навчального посібника, а також замовлення просимо надсилати на адресу: кафедра електроенергетики, Сумський державний університет, вул. Р.-Корсакова, 2, м. Суми, 40007.

E-mail: etech@etech.sumdu.edu.ua

Основи електропривода

1.1. Основні терміни і визначення

Електропривод – електромеханічна система, яка складається з перетворювального, електродвигунового, передавального та керуючого пристроїв і призначена для приведення в рух виконавчого органу робочої машини і керування цим рухом.

На структурній схемі (рис. 1.1) показано складові частини електропривода та їх взаємозв'язок.

Живлення електричною енергією здійснюється від *джерела живлення (ДЖ)* (наприклад, генератора або мережі постійного чи змінного струму).

Перетворювальний пристрій (ПрП) може: підвищувати і/чи понижувати напругу (наприклад, трансформатор, автотрансформатор), перетворювати змінну напругу на постійну (наприклад, напівпровідниковий випрямляч) або постійну на змінну (наприклад, інвертор), змінювати частоту струму (тиристорний перетворювач частоти), змінювати показники якості електричної енергії (наприклад, стабілізатор).

Перетворювальний пристрій не є обов'язковою складовою частиною електропривода. Він може бути відсутнім, якщо електричні параметри джерела живлення та електродвигунового пристрою узгоджені і їх не потрібно змінювати в процесі роботи електропривода.

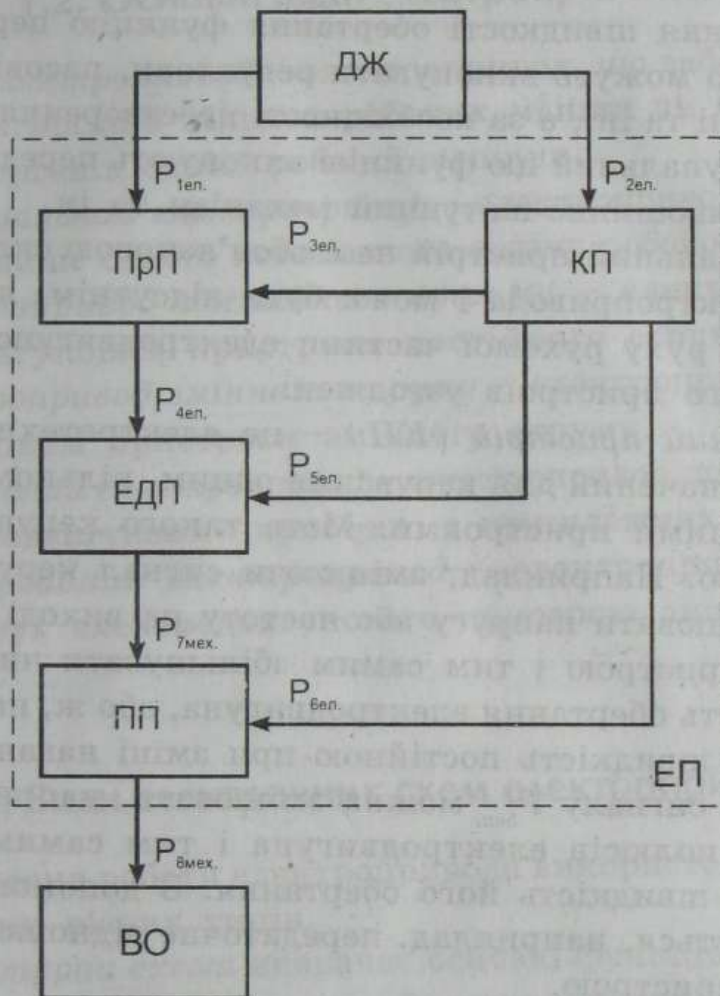


Рис. 1.1. Структурна схема електропривода

Електродвигуновий пристрій (ЕДП) призначений для перетворення електричної енергії в механічну або механічної в електричну. Його функцію можуть виконувати, наприклад, електромагніти та електродвигуни постійного та змінного струмів, яких може бути декілька в складі одного електропривода.

Електродвигуновий пристрій є обов'язковою складовою частиною електропривода.

Передавальний пристрій (ПП) призначений для передачі механічної енергії від електродвигунового пристрою до виконавчого органа (ВО) робочої машини, та узгодження виду та швидкостей їх руху. Наприклад, за необхідності зменшення

чи збільшення швидкості обертання функцію передавально-го пристрою можуть виконувати редуктори, пасові та ланцюгові передачі та ін., а за необхідності перетворення обертового руху в поступальний цю функцію виконують передача «гвинт-гайка», кривошипно-шатунний механізм та ін.

Передавальний пристрій не є обов'язковою складовою частиною електропривода і може бути відсутнім, якщо швидкість і вид руху рухомої частини електродвигунового та передавального пристроїв узгоджені.

Керуючий пристрій (КП) – це електротехнічний пристрій, призначений для керування одним, кількома або всіма вищезгаданими пристроями. Мета такого керування може бути різною. Наприклад, змінюючи сигнал керування $P_{зел.}$, можна змінювати напругу або частоту на виході перетворювального пристрою і тим самим збільшувати чи зменшувати швидкість обертання електродвигуна, або ж, навпаки, підтримувати швидкість постійною при зміні навантаження. З допомогою сигналу $P_{бел.}$ можна змінювати, наприклад, кількість пар полюсів електродвигуна і тим самим ступенево змінювати швидкість його обертання. З допомогою сигналу $P_{бел.}$ змінюється, наприклад, передаточне відношення передавального пристрою.

Керуючий пристрій є обов'язковою складовою частиною електропривода і може бути простим і виконувати лише функцію «ввімкнути-вимкнути» або дуже складним, виконуючи функцію автоматичного керування роботою електропривода у всіх режимах роботи, а також функції захисту, сигналізації та ін.

Механічна енергія від передавального пристрою передається виконавчому органу робочої машини.

Робоча машина – це машина, яка здійснює зміну форми, властивостей, стану чи положення предмета праці (наприклад, насоси, вентилятори, компресори, конвеєри, верстати та ін.).

Виконавчий орган (ВО) робочої машини – це елемент робочої машини, який переміщується і виконує робочу операцію (наприклад, поршень чи робоче колесо насоса, стрічка чи ланцюг конвеєра, супорт верстата та ін.).

1.2. Основні види електроприводів

Груповий електропривод – електропривод, що забезпечує рух виконавчих органів кількох робочих машин чи кількох виконавчих органів однієї робочої машини.

Індивідуальний електропривод – електропривод, що забезпечує рух лише одного виконавчого органу робочої машини.

Електропривод постійного струму – електропривод з електродвигуновим пристроєм постійного струму.

Електропривод змінного струму – електропривод з електродвигуновим пристроєм змінного струму.

Реверсивний електропривод – електропривод, що забезпечує рух електродвигунового пристрою в протилежних напрямках.

Нереверсивний електропривод – електропривод, що забезпечує рух електродвигунового пристрою лише в одному напрямку.

1.3. Види електричних схем електропривода

Для пояснення роботи електропривода використовують електричні схеми різних типів.

Структурна схема визначає основні функціональні складові частини електропривода, їх призначення і взаємозв'язок між ними (приклад такої схеми наведено на рис. 1.1). Такі схеми виконуються на першій стадії проектування і використовуються для загального ознайомлення та погодження складу основних частин електропривода.

Функціональна схема, крім інформації, яку дає структурна схема, пояснює процеси, що відбуваються в окремих складових частинах електропривода. Такі схеми використовуються для вивчення принципу дії електропривода.

Розглянемо функціональну схему, що представлена на рис. 1.2. Джерелом живлення такої схеми є мережа змінного синусоїдального струму напругою 380 В і частотою 50 Гц. Функцію перетворювального пристрою виконує тиристорний перетворювач частоти, який має діапазон зміни частоти напруги на виході від 45 до 55 Гц.

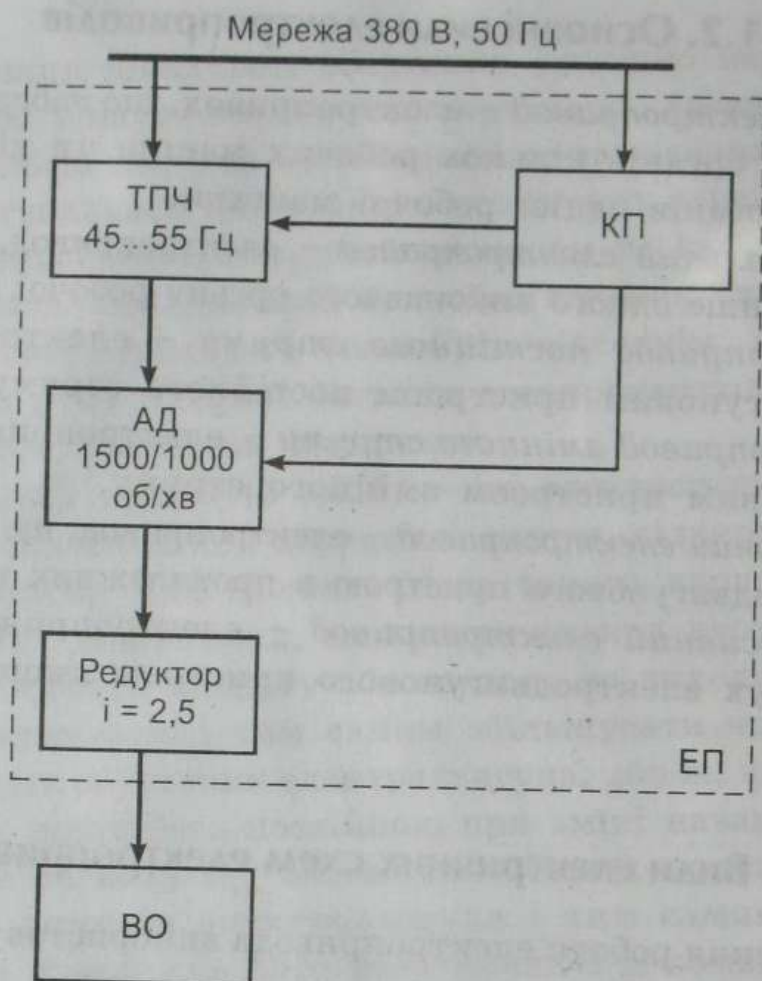


Рис. 1.2. Функціональна схема електропривода

Функцію електродвигунового пристрою виконує трифазний асинхронний двигун із двома ступенями синхронної швидкості: 1500 та 1000 об./хв. Функцію передавального пристрою виконує редуктор з передаточним відношенням $i = 2,5$. Керуючий пристрій керує роботою перетворювального та електродвигунового пристроїв.

Принципова (повна) схема визначає повний склад елементів і зв'язків між ними і дає повне й детальне уявлення про принцип роботи електропривода в усіх без винятку режимах роботи. Такі схеми є основою для розробки конструкторської документації на всю робочу машину.

При кресленні принципівих електричних схем використовують умовні графічні зображення елементів, основні з яких наведені в додатку А.

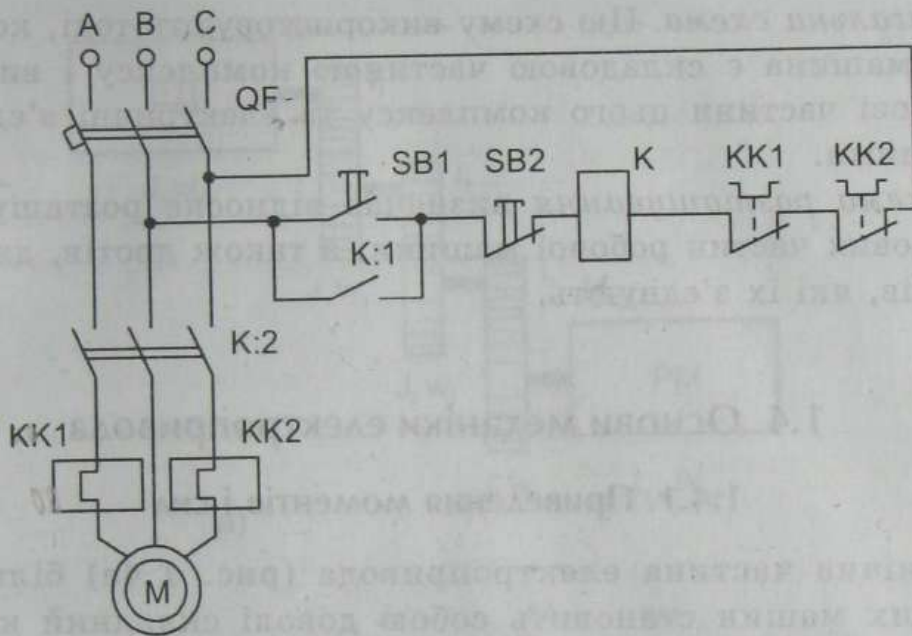


Рис. 1.3. Принципова схема нереверсивного електропривода

Як приклад розглянемо схему, зображену на рис. 1.3. Живлення схеми забезпечується джерелом трифазної напруги (А, В, С). Споживачем електричної енергії є асинхронний двигун із короткозамкненим ротором М, який виконує функцію електродвигунового пристрою електропривода.

До складу керуючого пристрою входять такі електричні апарати: автоматичний вимикач QF, контактор (на схемі показані його котушка К, допоміжний К:1 та силові К:2 контакти), кнопки «Пуск» (SB1) і «Стоп» (SB2) та реле електро-теплові КК1 та КК2 (на схемі показані їх сприймаючі елементи та контакти).

Схема електричних з'єднань (монтажна) показує зв'язки між елементами, із чого вони виконані (дріт, джгут, кабель та ін.), а також місця їх з'єднання та вводу. Ці схеми використовуються при розробці конструкторської документації і, у першу чергу, конструкторських креслень, що визначають розміщення та способи кріплення дротів, джгутів, кабелів та ін. За такими схемами виконують електромонтажні роботи в робочих машинах.

Схеми підключення показують зовнішнє електричне підключення робочої машини.

Загальна схема. Цю схему використовують тоді, коли робоча машина є складовою частиною комплексу і визначає складові частини цього комплексу та електричні з'єднання між ними.

Схема розташування визначає відносне розташування складових частин робочої машини, а також дротів, джгутів, кабелів, які їх з'єднують.

1.4. Основи механіки електропривода

1.4.1. Приведення моментів і сил

Механічна частина електропривода (рис. 1.4а) більшості робочих машин становить собою доволі складний кінематичний ланцюг з великою кількістю частин, які рухаються поступово чи обертово, мають різні швидкості, пружності, масу. У місцях з'єднання таких частин існують зазори. З урахуванням цих факторів розрахункова схема механічної частини електропривода може бути подана як багатомасова механічна система з пружними зв'язками та зазорами, динамічний розрахунок якої пов'язаний з певними труднощами.

На практиці в інженерних розрахунках буває доцільним реальну багатомасову механічну систему електропривода замінити двомасовою системою (рис. 1.4б). Та похибка, яку зумовлює таке спрощення, допустима в більшості випадків, і розбіжність у розрахунках є незначною.

Спрощення реальної механічної системи досягається шляхом приведення параметрів усіх елементів до одного з них. Найчастіше як такий елемент приймається вал електродвигуна. Тоді розрахункова схема механічної частини електропривода зводиться до однієї узагальненої жорсткої механічної ланки, яка має еквівалентну масу з моментом інерції J і на яку діють момент електродвигуна M і сумарний, приведений до вала електродвигуна статичний момент опору M_c усіх інших складових частин привода.

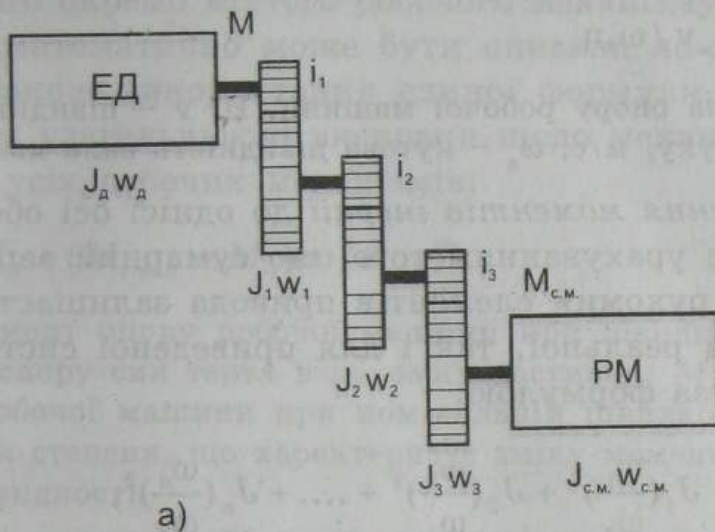


Рис. 1.4. Кінематична схема механічної частини електропривода: а) реальна, б) спрощена

Приведення моментів опору від однієї осі обертання до іншої виконується на основі збереження енергетичного балансу реальної і спрощеної систем. При цьому втрати потужності в проміжних передачах враховують шляхом введення до формули відповідних коефіцієнтів корисної дії η_n :

$$M_c = M_{c.m} \frac{1}{i_1 i_2 i_3 \dots i_n} \cdot \frac{1}{\eta_{n1} \eta_{n2} \eta_{n3} \dots \eta_{nn}}, \quad (1.1)$$

де $M_{c.m}$ – реальний момент опору робочої машини, Н · м; M_c – момент опору робочої машини, приведений до швидкості обертання вала двигуна, Н · м; i – передавальні відношення.

Приведення сил опору проводиться аналогічно до приведення моментів за формулою:

$$M_c = F_{c.m} v / \omega_d \eta_n, \quad (1.2)$$

де $F_{c.m}$ – сила опору робочої машини, Н; v – швидкість поступального руху, м/с; ω_d – кутова швидкість вала двигуна, рад/с.

Приведення моментів інерції до однієї осі обертання виконується з урахуванням того, що сумарний запас кінетичної енергії рухомих елементів привода залишається незмінним як для реальної, так і для приведеної систем. Він визначається за формулою:

$$J = J_d + J_1 \left(\frac{\omega_1}{\omega_d} \right)^2 + J_2 \left(\frac{\omega_2}{\omega_d} \right)^2 + \dots + J_n \left(\frac{\omega_n}{\omega_d} \right)^2, \quad (1.3)$$

де J_d – момент інерції ротора двигуна та інших елементів (муфти, шків, шестерні та ін.), що встановлені на ньому, кг · м²; J_1, J_2, \dots, J_n – моменти інерції інших елементів привода, що обертаються з кутовими швидкостями відповідно $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$.

Приведення мас, що рухаються поступально, до вала двигуна здійснюється також на основі незмінності кінетичної енергії. Момент інерції визначається за формулою:

$$J = m(v / \omega_d)^2. \quad (1.4)$$

Якщо ж робочий механізм має і обертові елементи, і ті, що рухаються поступально, то сумарний приведений до вала двигуна момент інерції визначатиметься за формулою:

$$J = J_d + J_1 \frac{1}{i_1^2} + J_2 \frac{1}{i_1^2 i_2^2} + \dots + J_n \frac{1}{i_1^2 i_2^2 \dots i_n^2} + m_1 \left(\frac{v_1}{\omega_d} \right)^2 + \dots \quad (1.5)$$

1.4.2. Механічні характеристики робочих механізмів

Для правильного проектування та економічної експлуатації електропривода важливе значення має узгодження механічних характеристик робочого механізму та електродвигуна.

Залежність між приведеними до вала двигуна параметрами швидкості і моменту опору робочого механізму $\omega = f(M_c)$ називають механічною характеристикою робочого механізму.

Для кожного окремо взятого робочого механізму залежність $\omega = f(M_c)$ математично може бути описана по-своєму. Але можливе також використання єдиної формули, яка дозволяє зробити узагальнюючі висновки щодо механічних характеристик усіх робочих механізмів:

$$M_c = M_0 + (M_{c,ном} - M_0)(\omega / \omega_{ном})^x, \quad (1.6)$$

де M_c – момент опору робочої машини при швидкості ω ; M_0 – момент опору сил тертя в рухомих частинах; $M_{c,ном}$ – момент опору робочої машини при номінальній швидкості $\omega_{ном}$; x – показник степеня, що характеризує зміну моменту опору при зміні швидкості.

Згідно з формулою (1.6) механічні характеристики робочих машин класифікують таким чином (рис. 1.5):

1. *Незалежна від швидкості* механічна характеристика (пряма 1). Для цієї характеристики $x = 0$, а момент опору M_c не залежить від швидкості. Такі механічні характеристики мають, наприклад: ланцюгові та стрічкові конвеєри, поршневі насоси за незмінної висоти подачі, значна частина металорізальних верстатів, підйимально-транспортні механізми (крани, тельфери, лебідки тощо).

2. *Лінійно-зростаюча* механічна характеристика (пряма 2). Для цієї характеристики $x = 1$, а момент опору M_c лінійно залежить від швидкості ω . Таку механічну характеристику має, наприклад, генератор постійного струму, який працює під постійним навантаженням.

3. *Нелінійно-зростаюча* механічна характеристика (крива 3). Для цієї характеристики $x = 2$, а момент опору M_c має квадратичну залежність від швидкості ω . Таку механічну характеристику мають відцентрові насоси, вентилятори, гребні гвинти та ін.

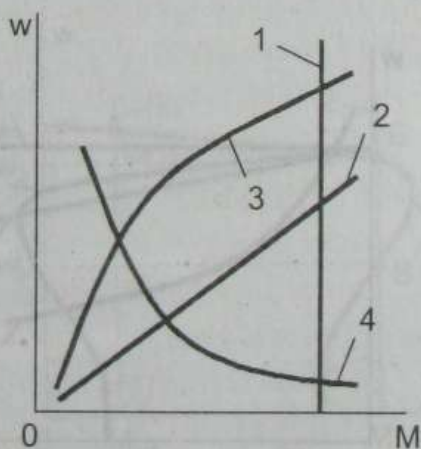


Рис. 1.5. Механічні характеристики робочих машин

4. *Нелінійно-спадна* механічна характеристика (крива 4). Для цієї характеристики $x = -1$, а момент опору M_c знаходиться в оберненопропорційній залежності від швидкості ω . Таку механічну характеристику мають деякі металорізальні верстати (токарні, фрезерні і т.д.), вовнопрядильне обладнання, моталки в металургійній промисловості та ін.

Наведені чотири види механічних характеристик робочих механізмів не вичерпують усієї гама можливих характеристик, але дають уявлення про найбільш поширені серед них.

1.4.3. Механічні характеристики електродвигунів

Механічною характеристикою електродвигуна називають залежність швидкості обертання вала двигуна від електромагнітного обертового моменту $\omega = f(M)$. Для більшості видів електродвигунів характерною ознакою є зменшення швидкості обертання вала двигуна зі збільшенням моменту. Тому одним із показників для механічних характеристик електродвигунів є *жорсткість механічної характеристики* – відношення різниці електромагнітних моментів, які розвиває електродвигун, до відповідної різниці швидкостей:

$$\beta = (M_2 - M_1) / (\omega_2 - \omega_1) = \Delta M / \Delta \omega. \quad (1.7)$$

Згідно з формулою (1.7) механічні характеристики електродвигунів класифікують таким чином (рис. 1.6):

1. *Абсолютно жорстка* механічна характеристика (пряма 1). Таку характеристику мають синхронні електродвигуни. У них швидкість обертання вала не залежить від величини моменту, якщо він не перевищує певного критичного значення.

2. *Жорстка* механічна характеристика. Таку характеристику мають двигуни постійного струму

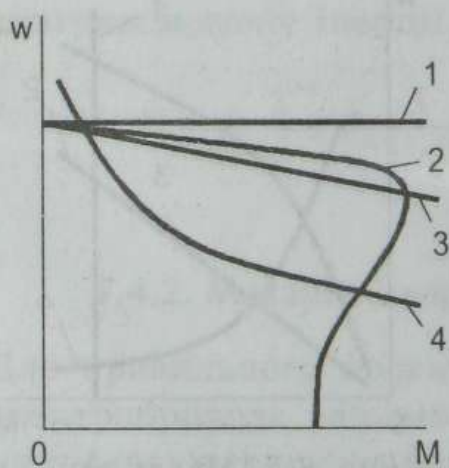


Рис. 1.6. Механічні характеристики електродвигунів

з незалежним і паралельним збудженням (пряма 3). Асинхронні двигуни в межах робочої частини мають також жорстку механічну характеристику (прямолінійна частина кривої 2). У таких електродвигунів швидкість обертання вала зменшується зі збільшенням моменту, але це зменшення не суттєве.

3. М'яка механічна характеристика. Таку характеристику мають двигуни постійного струму з послідовним збудженням (крива 4).

Двигуни постійного струму зі змішаним збудженням можуть мати механічну характеристику як жорстку, так і м'яку, залежно від того, яку частину від сумарного магнітного потоку створює послідовна, а яку – паралельна обмотки збудження.

1.4.4. Умови роботи електропривода в усталеному режимі

Головною ознакою роботи електропривода в усталеному режимі є сталість швидкості руху електродвигуна і виконавчого органа робочої машини. Це можливо лише за умови рівності приведенного до вала електродвигуна моменту опору робочої машини і обертового моменту електродвигуна: $M = M_c$.

У процесі роботи більшості робочих машин момент опору постійно змінюється. Електродвигуни мають унікальну здатність автоматично підтримувати рівновагу електромеханічної системи електропривода при зміні моменту опору. В електричних двигунах роль автоматичного регулятора виконує електрорушійна сила (ЕРС) двигуна.

Пояснимо це на прикладі роботи електропривода робочої машини, яка має незалежну від швидкості механічну характеристику; а функцію електродвигунового пристрою виконує асинхронний двигун (рис. 1.7).

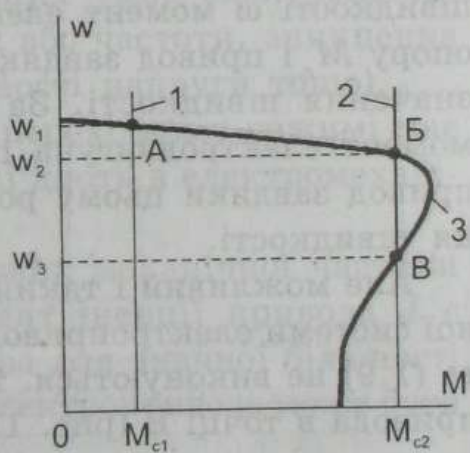


Рис. 1.7. До пояснення умов роботи привода в усталеному режимі

Характеристика 1 робочої машини відповідає моменту опору M_{c1} , скажімо, на холостому ході. Умові $M = M_{c1}$, тобто усталеному режиму роботи, відповідає спільна для механічної характеристики 3 електродвигуна і для механічної характеристики 1 робочої машини точка А та швидкість ω_1 .

При збільшенні навантаження (характеристика 2 робочої машини) швидкість електродвигуна зменшується, а електромагнітний обертовий момент двигуна зростає. Зростання моменту відбуватиметься доти, поки не настане рівновага моментів $M = M_{c2}$. Цьому новому усталеному режиму роботи електропривода відповідає точка Б і швидкість ω_2 . Завдяки цьому електропривод й надалі стійко працюватиме за інших значень швидкості й моменту.

Стан усталеного режиму роботи електропривода, коли при зміні навантаження автоматично змінюється момент електродвигуна і швидкість обертання, називають *статичною стійкістю*. Умовою статичної стійкості електропривода є:

$$\Delta M / \Delta \omega - \Delta M_c / \Delta \omega < 0, \quad (1.8)$$

або

$$\beta - \beta_c < 0. \quad (1.9)$$

Умови (1.8) та (1.9) означають, що електропривод зберігатиме статичну стійкість, лише якщо за додатного приросту швидкості ω момент електродвигуна буде меншим моменту опору M_c і привод завдяки цьому загальмує до попереднього значення швидкості. За від'ємного приросту швидкості ω момент електродвигуна перевищуватиме момент опору M_c і привод завдяки цьому розженеться до попереднього значення швидкості.

Але можливий і такий стан, коли робота електромеханічної системи електропривода буде *несталою*, якщо умови (1.8) та (1.9) не виконуються. Прикладом цього може бути робота привода в точці В (рис. 1.7), коли навіть незначне відхилення швидкості призводить до того, що привод не повертається в точку усталеного режиму.

Найчастіше при проектуванні електропривода механічна характеристика робочої машини є заданою. Для того щоб забезпечити усталений режим роботи електропривода в заданому діапазоні зміни моменту опору, потрібно правильно вибрати електродвигун (його механічні характеристики мають відповідати механічним характеристикам робочої машини). Цьому питанню буде присвячено окремий розділ посібника.

1.4.5. Рівняння руху електропривода

Крім розглянутих у попередньому параграфі умов усталеного режиму роботи електропривода, актуальними є також умови роботи електропривода в *перехідних режимах*.

Перехідним режимом роботи електропривода називають режим роботи при переході від одного усталеного режиму до іншого. Характерними прикладами роботи електропривода в перехідних режимах є пуск електропривода, гальмування, реверс (зміна напрямку руху), зміна навантаження і швидкості та інші, які відбуваються в нормальних режимах роботи і пов'язані з технологічним процесом робочої машини.

Перехідний режим роботи може мати місце також у результаті виникнення аварій, які призводять до негайних зупинок, або при порушенні нормальних умов електропостачання (наприклад, за зміни напруги або частоти, зникнення однієї з фаз живлення, несиметричності напруги тощо).

Рівняння руху електропривода в перехідному режимі має враховувати всі сили та моменти, які діють в електромеханічній частині електропривода.

При обертотому русі всіх складових механічної частини електропривода за умови, що момент інерції привода J є величиною постійною (це справедливо для значної більшості робочих механізмів), рівняння руху електропривода може бути записане так:

$$M - M_c = J(\partial\omega/\partial t). \quad (1.10)$$

Рівняння (1.10) показує, що електромагнітний обертовий момент M , створений двигуном, урівноважується моментом опору M_c на його валу і динамічним моментом $J(\partial\omega/\partial t)$.

Проаналізуємо (1.10):

- якщо $M > M_c$, то $\partial\omega/\partial t > 0$ і має місце прискорення привода;
- якщо $M < M_c$, то $\partial\omega/\partial t < 0$ і має місце уповільнення привода;
- якщо $M = M_c$, то $\partial\omega/\partial t = 0$ і привод працює в усталеному режимі.

Момент двигуна M вважається додатним і у формулі (1.10) записується зі знаком плюс, якщо він спрямований в сторону руху привода. Якщо ж він спрямований в сторону, зворотню руху привода, то вважається від'ємним і у формулі (1.10) записується зі знаком мінус.

Знак «мінус» перед значенням моменту опору M_c у формулі (1.10) означає його гальмівну дію і зворотний напрямок по відношенню до швидкості ω , а знак «плюс» означає, що він допомагає прискоренню привода.

Динамічний момент $J(\partial\omega/\partial t)$ має місце лише під час перехідного процесу, його величина і знак визначаються алгебраїчною сумою моментів двигуна M та опору робочої машини M_c .

З урахуванням усього зазначеного *рівняння руху електропривода* в загальному випадку може бути записане таким чином:

$$\pm M \mp M_c = J \left(\frac{\partial\omega}{\partial t} \right). \quad (1.10a)$$

Контрольні питання

1. З яких головних частин складається електропривод робочої машини та яке його призначення?
2. Що мають спільного і чим відрізняються структурна та функціональна електричні схеми?

3. Яку інформацію дають принципові електричні схеми?
4. Проаналізуйте електричні схеми з'єднань, підключень, загальну схему та схему розміщень.
5. Для чого виконується приведення реальних кінематичних схем до спрощених?
6. На основі чого виконується приведення моментів, сил і мас від однієї осі до іншої?
7. На основі якого рівняння і яким чином класифікуються механічні характеристики робочих механізмів?
8. За яким показником здійснюється класифікація механічних характеристик електродвигунів? Наведіть її.
9. За яких умов електропривод працює в усталеному режимі?
10. Проаналізуйте рівняння руху електропривода.

Основні положення про електричні апарати загального призначення в електроприводах робочих машин

2.1. Основні визначення і класифікація

Електричний апарат – пристрій, що належить до складу електропривода і призначений для виконання таких функцій:

- комутація електричних кіл;
- пуск, гальмування та реверс електричних двигунів;
- захист від недопустимого збільшення чи зменшення параметрів;
- контроль і сигналізація та ін.

Електричні апарати можуть бути як *однофункційними* (виконується одна із зазначених функцій), так і *багатофункційними*.

За призначенням електричні апарати можна класифікувати на пускорегулювальні, комутаційні, апарати контролю, сигналізації та захисту.

Пускорегулювальні електричні апарати призначені для керування роботою електродвигунів та інших пристроїв (наприклад, контактори, пускачі магнітні, реле проміжні, реле часу та ін.).

Комутаційні електричні апарати призначені для нечастого вмикання й вимикання у силових колах і в колах управління (наприклад, рубильники, пакетні вимикачі, перемикачі та ін.)

Електричні апарати *контролю, сигналізації та захисту* призначені для контролю за параметрами електричних

(наприклад, струм, напруга та ін.) та неелектричних (наприклад, температура, тиск та ін.) параметрів, сигналізації та вимикання в разі відхилення параметра від заданих значень (наприклад, запобіжники, реле струму та напруги, теплові реле, дзвінки тощо).

2.2. Головні складові частини електричних апаратів

У загальному випадку до головних складових частин електричних апаратів можна віднести: електричні контакти, привод і пристрій дугогасіння. Якщо дві перші складові частини є обов'язковими для всіх електричних апаратів, то в електричних апаратах, розрахованих на комутацію в колах з малими струмами, пристрій дугогасіння може бути відсутнім. Інші складові (наприклад, тяги, важелі, опори та ін.) можна віднести до допоміжних частин.

2.2.1. Електричні контакти

Електричними контактами називають складові частини електричного апарата, виготовлені з провідникового матеріалу, які можуть контактувати один з одним і забезпечувати проходження ними електричного струму в замкненому і розрив електричного кола в розімкненому положенні.

В електричних апаратах, що використовуються в електроприводах робочих машин, найчастіше використовуються такі види контактів (рис. 2.1): *а* – важільні, *б* – місткові, *в* – з плоскими пружинами.

Контактна група (рис. 2.1) складається з нерухомого 2 та рухомого 3 контактів. Рухомий контакт переміщується і дотикається до нерухомого контакту, що забезпечує проходження струму по замкнених контактах і провідниках 1.

Електричні контакти класифікують на замикаючі та розмикаючі.

Замикаючі контакти знаходяться в розімкненому стані при відключеному електричному апараті і замикаються при

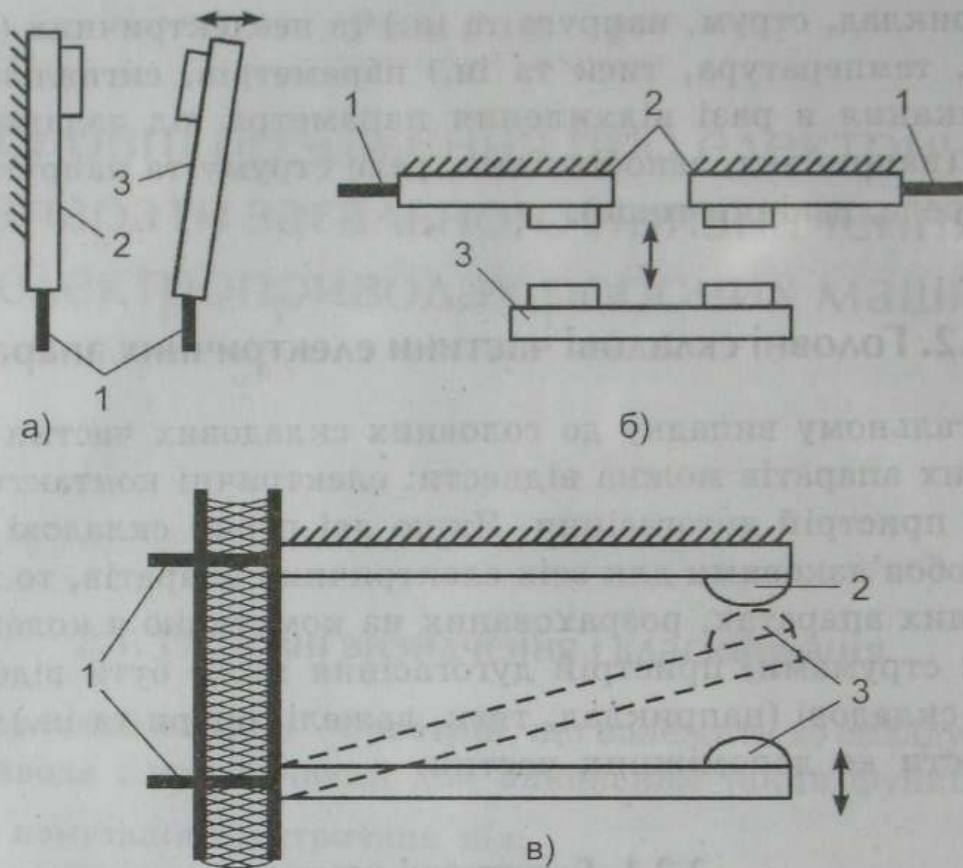


Рис. 2.1. Складові частини важільних (а), місткових (б) та з плоскими пружинами (в) контактів:
 1 – провідники, 2, 3 – нерухомі та рухомі контакти

спрацюванні електричного апарата. Умовне графічне позначення на електричних схемах замикальних контактів показано в п. 31 додатку А.

Розмикаючі контакти знаходяться в замкненому стані, коли апарат відключений, і розмикаються при спрацюванні електричного апарата. Їх умовне графічне позначення показано в п. 32 додатку А.

Для електричних контактів використовують такі поняття, як зазор і провал.

Зазор – відстань між контактами при їх розімкненому положенні. Величина зазору залежить від напруги, сили струму та середовища, у якому відбувається комутація електричних контактів.

Провал – відстань, на яку перемістився б рухомий контакт з моменту початку його контактування з нерухомим контактом до моменту повного їх притиснення, якби нерухомий контакт був відсутній. Провал забезпечується або наявністю контактних пружин, або пружними силами елементів рухомого контакту. Провал зменшує силу удару при зіткненні контактів та їх вібрацію, а також забезпечує надійне контактування та проходження струму в місці контактування.

2.2.2. Пристрій дугогасіння

При комутації електричними контактами електричних кіл під навантаженням між ними може виникати *електрична дуга* – електричний розряд у газах, який супроводжується великим виділенням тепла, що згубно впливає на поверхню електричних контактів (наприклад, поява ерозії, корозії, вигорання частини поверхні, зварювання контактів) і може призвести до виходу з ладу як контактів, так і всього електричного апарата.

Завдання пристрою дугогасіння – швидке й надійне гасіння електричної дуги.

В електричних апаратах найбільш поширеними є кілька способів дугогасіння.

Дугогасильні камери з поздовжніми або лабіринтними щілинами. Їх призначення – локалізувати область, яка зайнята розжареними газами дуги, та забезпечити інтенсивне виведення тепла із зони горіння.

Дугогасильні решітки (рис. 2.2). При цьому способі гасіння дуга затягується та роздрібнюється на окремі частини між металевими пластинами решітки і швидко згасає.

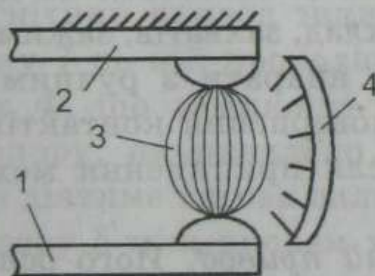


Рис. 2.2. Гасіння дуги з допомогою дугогасильної решітки:

1, 2 – рухомий та нерухомий контакти, 3 – дуга, 4 – решітка

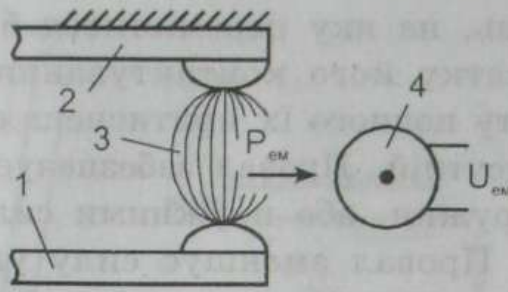


Рис. 2.3. Гасіння дуги з допомогою магнітного дуття:
1, 2 – рухомий та нерухомий контакти, 3 – дуга, 4 – електромагніт

Магнітне дуття (рис. 2.3). При цьому способі електромагніт 4 створює магнітне поле, яке взаємодіє з електричною дугою, як із провідником під струмом. Електромагнітна сила $P_{ем}$, що діє на дугу, розтягує її до повного розриву.

Повітряне дуття. При цьому способі в зону горіння дуги подається під високим тиском повітря (часто охолоджене), яке створює як механічні, так і термічні передумови гасіння дуги.

2.2.3. Привод електричних апаратів

Привод – це складова частина електричного апарата, яка призначена для приведення в дію рухомих контактів та утримання їх у замкненому чи розімкненому стані з нерухомими контактами.

В електричних апаратах найчастіше використовують *ручний* або *електромагнітний* привод. Значно рідше – *пнеumo-* або *гідропривод*.

При *ручному приводі* рухомі контакти приводяться в дію людиною. Надійна фіксація контактів у замкненому чи розімкненому положеннях досягається за допомогою спеціальних пристроїв (наприклад, захватів, зажимів, фіксаторів тощо).

Деякі електричні апарати з ручним приводом забезпечують автоматичне повернення контактів у попереднє положення відразу ж після припинення механічної дії (наприклад, кнопки).

Електромагнітний привод. Його основою є електромагніт постійного або змінного струму. Схема електромагнітного привода наведена на рис. 2.4.

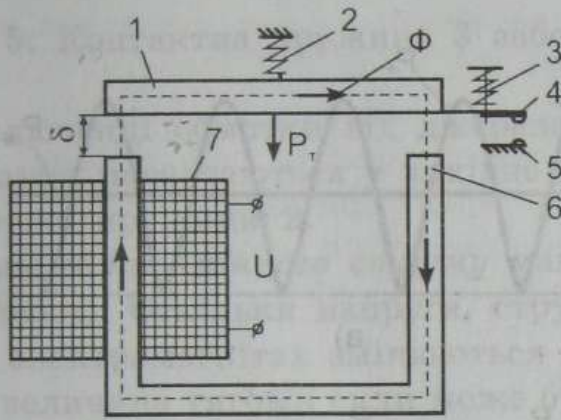


Рис. 2.4. Електромагнітний привод електричного апарата:

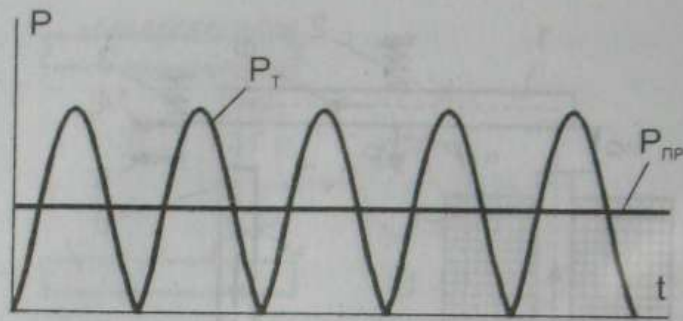
1 – якір; 2 – пружина зворотна; 3 – пружина контактна; 4 – контакт рухомий; 5 – контакт нерухомий; 6 – ярмо; 7 – котушка

Обмотка котушки 7 виконується з мідного ізольованого дроту і призначена для створення магнітного потоку Φ . На електричних схемах котушку зображають за допомогою умовного позначення, показано в пп. 46, 47 додатка А.

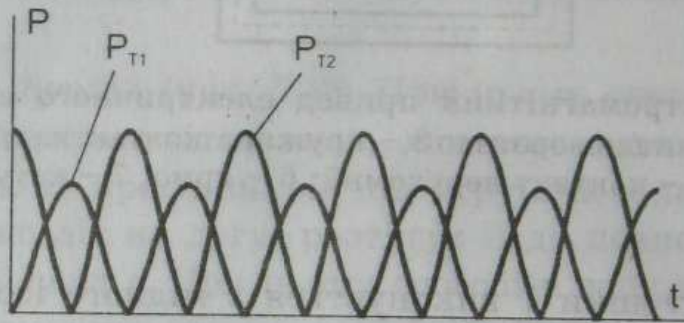
Якір 1 та ярмо 6 є складовими частинами магнітопровода (осердя), яким замикається головний магнітний потік Φ . Їх виготовляють з електротехнічної сталі – матеріалу з малим магнітним опором. Якір є рухомою, а ярмо – нерухомою частиною магнітопровода.

В електромагнітах постійного струму якір та ярмо виготовляються суцільними (наприклад, круглий прут, прямокутна пластинка та ін.), а в електромагнітах змінного струму – з окремих пластин (шихтованими), які електрично ізолювані одна від одної. Це робиться, щоб зменшити втрати в магнітопроводі від струмів Фуко.

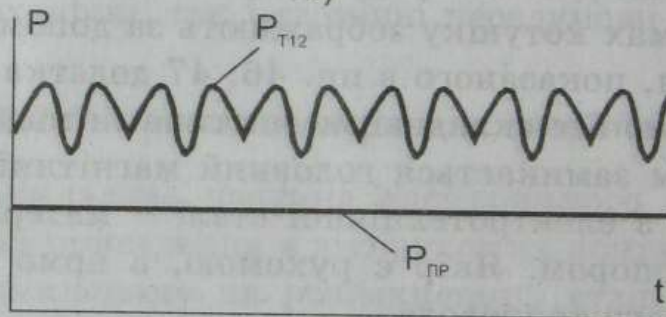
Працює електромагнітний привод таким чином. При подачі напруги на обмотку 7 по ній проходить струм і створюється магнітний потік Φ , що замикається по шляху найменшого магнітного опору, як показано на рис. 2.4. При цьому на рухомий якір діятиме тягова сила P_T , спрямована в сторону зменшення зазору δ між якорем та ярмом. Величину тягової сили можна розрахувати з допомогою формули Максвелла:



a)



б)



в)

Рис. 2.5. Графіки зміни тягового зусилля електромагніта змінного струму за відсутності (а) та наявності (б, в) короткозамкненого витка

$$P_T = \frac{\Phi^2}{\mu S}, \quad (2.1)$$

де Φ – магнітний потік у зазорі між якорем та ярмом; μ – магнітна проникність середовища в зазорі; S – площа одного полюсу ярма.

Під дією сили P_T якір 1 притягується до ярма 6, а рухомі контакти 4 приходять у дію і замикаються з нерухомими

контактами 5. Контактна пружина 3 забезпечує провал контактів.

При відключенні обмотки від джерела живлення якір і рухомі контакти повертаються у вихідне положення з допомогою зворотної пружини 2.

Електромагніти змінного струму мають у своїй роботі деякі особливості. Оскільки напруга, струм і магнітний потік у таких електромагнітах змінюються за синусоїдальним законом, то величина тягової сили може бути розрахована за формулою:

$$P_T = \frac{(\Phi_{\max} \sin \omega t)^2}{\mu S} \quad (2.2)$$

Згідно з формулою (2.2) тягова сила P_T матиме пульсуючий характер (рис. 2.5а) і кожного разу при досягненні умови $P_T \leq P_{np}$ (де P_{np} – сила протидії, зумовлена пружинами 2, 3), якір відходить від ярма, а контакти будуть розмикатися. Потім, при досягненні умови $P_T \geq P_{np}$, якір знову буде притягуватися до ярма, а контакти замикатимуться. Це спричинить вібрацію якоря та контактів, а електричний апарат буде непрацездатним.

Для усунення такого явища на полюсах 1 ярма (рис. 2.6) закріплюються короткозамкнені витки 2 з електропровідного матеріалу (мідь або алюміній). Наявність короткозамкненого витка зумовлює розподіл магнітного потоку Φ у повітряному

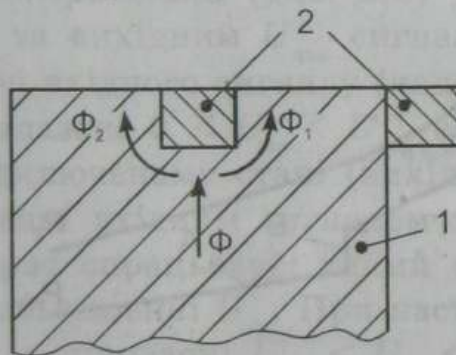


Рис. 2.6. До пояснення принципу дії короткозамкненого витка:
1 – полюс ярма, 2 – короткозамкнений виток

зазорі між якорем та ярмом на два магнітних потоки Φ_1 та Φ_2 . Причому вектори цих магнітних потоків і відповідно складові тягової сили P_{T1} та P_{T2} мають деякий кут зсуву (рис. 2.5б). Це зумовлює пульсуючий характер результуючої тягової сили P_{12} (рис 2.5в), але пульсації при цьому будуть значно меншими, і завжди виконуватиметься умова: $P_{T12} > P_{np}$. Таким чином можна уникнути вібрації, а електричний апарат буде придатний до роботи.

2.3. Основні характеристики і параметри електромагнітного привода

Тягова характеристика – це залежність тягової сили електромагніта від величини зазору: $P_T = f(\delta)$.

Графік цієї залежності подано на рис. 2.7. Найменше значення тягова сила P_T , згідно з (2.1) та (2.2) має в момент вмикання електромагніта, оскільки в цьому разі повітряний зазор між якорем і ярмом найбільший, магнітний опір також найбільший, а магнітний потік найменший. Після того як електромагніт спрацює, повітряний зазор між якорем та ярмом зникає, що призводить до зменшення магнітного опору, збільшення магнітного потоку і тягової сили P_T .

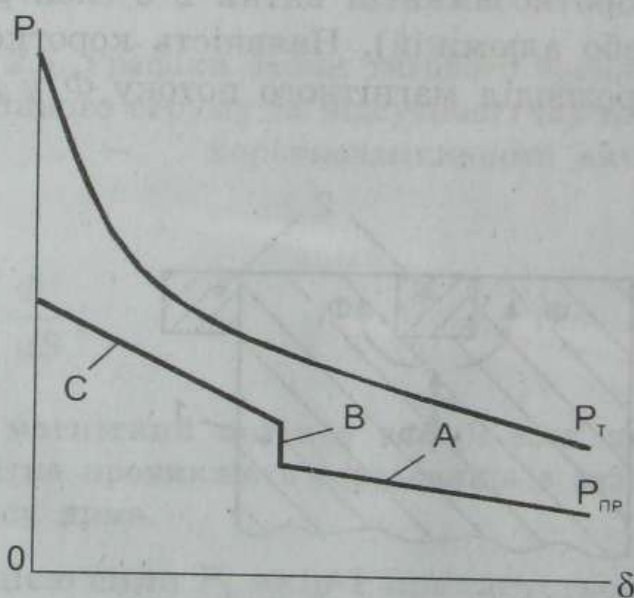


Рис. 2.7. Тягова і протидіюча характеристики

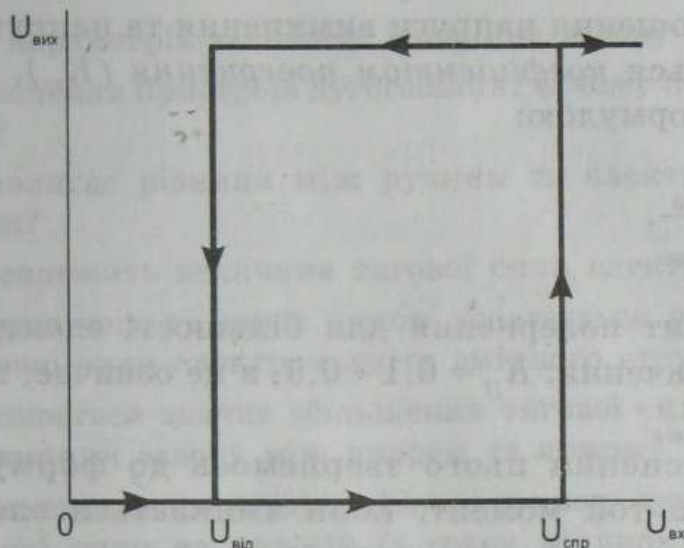


Рис. 2.8. Релейна характеристика електричного апарата

Протидіюча характеристика – це залежність сил протидії переміщенню якоря від величини зазору: $P_{пр} = f(\delta)$. Графік цієї залежності представлений на рис. 2.7. Ділянка А цієї характеристики зумовлена силами протидії зворотної пружини 2 (рис. 2.4), ділянка В – величиною початкового стиснення контактної пружини 3, ділянка С – сумарними діями пружин 2 і 3.

Обов'язковою умовою працездатності електромагнітного привода є більш високі параметри тягової характеристики порівняно з протидіючою (на графіку крива тягової характеристики знаходиться вище протидіючої).

Релейна характеристика (рис. 2.8) установлює зв'язок між вхідним $U_{вх}$ та вихідним $U_{вих}$ сигналами електричного апарата. При зміні вхідного сигналу (напруги, що подається на обмотку) в діапазоні $0 < U_{вх} < U_{спр}$ електричний апарат знаходиться у відключеному стані (вихідний сигнал відсутній). При досягненні вхідним сигналом значення $U_{вх} = U_{спр}$ електричний апарат спрацьовує; такий стан зберігається і при подальшому збільшенні $U_{вх}$. При наступному зменшенні вхідного сигналу в діапазоні $U_{від} < U_{вх} < U_{спр}$ електричний апарат залишається увімкненим, і лише при $U_{вх} = U_{від}$ відбувається його відключення.

Співвідношення напруги вимкнення та напруги увімкнення називається *коефіцієнтом повернення* (K_{II}), який знаходиться за формулою:

$$K_{II} = \frac{U_{від}}{U_{спр}}. \quad (2.3)$$

Коефіцієнт повернення для більшості електричних апаратів має значення: $K_{II} = 0,1 \div 0,5$, а це означає, що $U_{спр}$ значно більше $U_{від}$.

Для пояснення цього звернемось до формули (2.1) та рис. 2.7. На той момент, коли вмикається електромагніт, величина зазору δ між якорем та ярмом має найбільше значення. Магнітна проникність повітря значно менша, ніж магнітна проникність електротехнічної сталі, з якої виготовлені якір та ярмо, тому магнітний опір проходженню магнітного потоку Φ на момент увімкнення матиме також найбільше значення.

Оскільки між магнітним потоком і напругою на обмотці електромагніту існує пропорційна залежність, то для створення достатнього для спрацювання значення тягового зусилля необхідно забезпечити відповідне значення магнітного потоку, що можливе за відносно великих значень $U_{спр}$.

Після того як електромагніт спрацює, значення зазору можна вважати рівним нулю, магнітний опір значно зменшується, оскільки він зумовлюється лише магнітним опором якоря та ярма. Магнітний потік різко зростає, а разом з ним, згідно з формулою (2.1), зростає і тягова сила P_T . Тому навіть при малих значеннях напруги на обмотці котушки значення тягової сили є достатнім для утримання якоря в притягнутому до ярма положенні.

Контрольні питання

1. Як класифікують електричні апарати за призначенням?
2. У чому полягає різниця між замикаючими та розмикаючими контактами?

3. Від яких параметрів залежить величина зазору та провалу?
4. Яке призначення пристроїв дугогасіння? У чому полягає принцип їх дії?
5. У чому полягає різниця між ручним та електромагнітним приводами?
6. Від чого залежить величина тягової сили електромагніту?
7. З допомогою чого та яким чином досягається усунення вібрації тягової сили електромагніту змінного струму?
8. Чим пояснюється значне збільшення тягової сили при зменшенні величини зазору між якорем та ярмом?
9. Якими елементами електромагнітного привода зумовлені зміни протидіючої сили на кожній із трьох ділянок протидіючої характеристики?
10. Чому коефіцієнт повернення електромагнітного привода завжди менше одиниці?

Конструкція і принцип дії електричних апаратів загального призначення для електропривода робочих машин

3.1. Пускорегулювальні електричні апарати

Пускорегулювальні електричні апарати використовуються для вмикання/вимикання електродвигунового пристрою та керування процесом його роботи. До цієї групи електричних апаратів можна віднести контактори, реле проміжні та реле часу.

3.1.1. Контактори

Контактори – двопозиційні електричні апарати дистанційної дії, призначені для частого вмикання та вимикання силових електричних кіл під навантаженням. Сучасні конструкції контакторів витримують за термін служби більш ніж п'ять мільйонів вмикань та вимикань. Контактори бувають постійного та змінного струму.

Контактори постійного струму призначені в основному для комутації в силових електричних колах постійного струму з напругою до 220 В при частих та з напругою до 660 В при нечастих вмиканнях. Їх характерною конструктивною ознакою є використання електромагніту постійного струму. Контактори постійного струму виготовляють однополюсними (один силовий контакт) або двополюсними (два силових контакти).

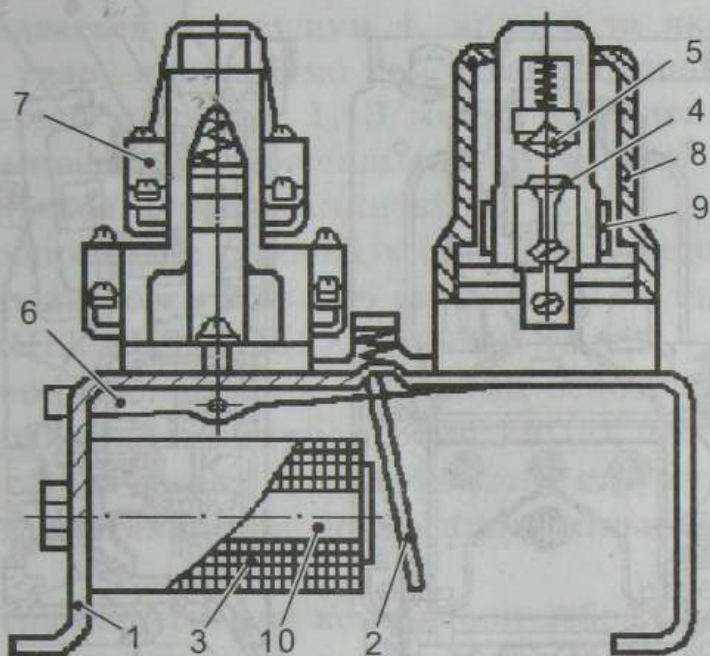


Рис. 3.1. Контактор постійного струму типу МК3-10:

- 1 – скоба; 2 – якорь; 3 – котушка; 4 – нерухомий головний контакт;
 5 – рухомий головний контакт; 6 – важіль; 7 – система допоміжних
 контактів; 8 – дугогасильна камера; 9 – пристрій магнітного дуття;
 10 – осердя електромагніта

Характерним прикладом однополюсного контактора постійного струму є контактор типу МК1-10 (рис. 3.1).

Перша головна складова частина цього контактора – *контакти* складається із *головних контактів* (нерухомий 4 та рухомий 5 замикаючий контакти) і *допоміжних контактів* 7 (два замикаючих і два розмикаючих) місткового типу.

Друга головна частина контактора – *пристрій дугогасіння* складається з дугогасильної камери 8 і двох котушок електромагнітного дуття 9.

Третя головна складова контактора – *електромагнітний привод* складається з котушки 3, якоря 2 та ярма, яке має деякі конструктивні особливості. Частина металевої скоби 1 (на рис. 3.1 заштрихована) разом з осердям 10 виконує функцію ярма. Як головні, так і допоміжні контакти приводяться в рух від якоря 2 з допомогою важеля 6.

Контактори змінного струму призначені для комутації електричних кіл змінного струму напругою до 660 В. У таких

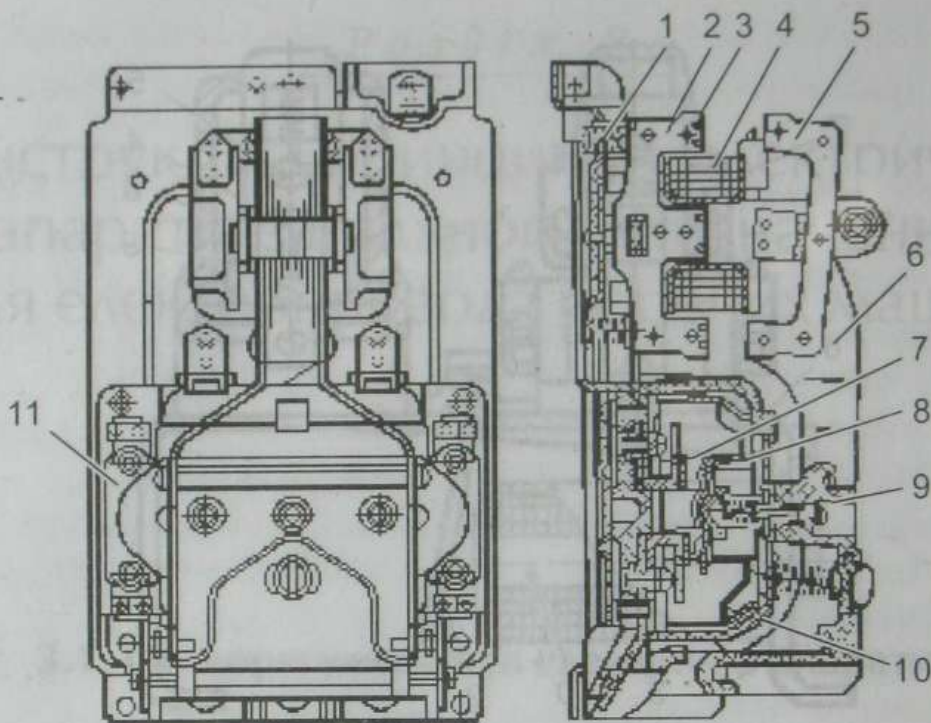


Рис. 3.2. Контактор змінного струму типу ПАЕ-411:

1 – пружина демпферна; 2 – ярмо; 3 – виток короткозамкнений; 4 – котушка, 5 –якір; 6 – важіль; 7, 8 – рухомий і нерухомий головны контакти; 9 – пружина контактна; 10 – пристрій дугогасіння; 11 – контакти допоміжні

контакторах найчастіше використовують *електромагніт змінного струму*. Сучасні зразки контакторів змінного струму розраховані на велику частоту спрацювань (до 1200 вмикань за годину).

На рис. 3.2 наведено контактор змінного струму типу ПАЕ-411.

Перша головна частина цього контактора – *контакти* складається з трьох *головних* рухомих 8 і нерухомих 7 та чотирьох *допоміжних* 11 (двох замикаючих і двох розмикаючих) *контактів* місткового типу. Надійне притискання головних контактів досягається з допомогою контактних пружин 9.

Друга головна частина контактора – *пристрій дугогасіння* працює за принципом магнітного дуття. Цю функцію в контакторі виконують скоби 10, які охоплюють зону горіння дуги і завдяки магнітному полю, яке вони створюють, сприяють швидкому згасанню дуги.

Третя головна частина контактора – *електромагнітний привод* складається з котушки 4, ярма 2 та якоря 5. Для амортизації удару якоря ярмо кріпиться на основі з допомогою демпферної пружини 1. З метою уникнення вібрації якоря у ввімкненому положенні електромагніта на полюсах ярма знаходяться короткозамкнені витки 3.

В електроприводах робочих машин використовують контактори постійного та змінного струмів таких типів (серій): МК1, КП1, КП2, КП7, КПД100, ПАЕ400 та ін.

Контактори вибираються за такими основними параметрами: за напругою та струмом обмотки; за числом, типом, кількістю, та значенням довготривалого струму основних і допоміжних контактів; за допустимою кількістю вмикань за годину.

На електричних схемах контактори зображують умовними графічними позначеннями їх головних складових частин, як показано в п. 31, 32, 38, 39, 41, 46, 47 додатку А.

3.1.2. Реле проміжні

Реле проміжні – це двопозиційні електричні апарати, що призначені для частих комутацій електричних кіл з малими струмами. Вони використовуються в схемах керуючого пристрою електроприводу для розмноження одного управляючого сигналу по декількох електричних колах. Ці реле також часто використовуються для забезпечення електричних блокувань. Іноді проміжні реле використовуються для вмикання/вимикання однофазних електродвигунів малої потужності. Оскільки такі електричні апарати призначені для комутації електричних кіл з малими струмами, то *пристрій дугогасіння* в них відсутній, і вони складаються лише з двох головних складових частин – *електромагнітного приводу* та *електричних контактів*. Розподіл контактів на головні та допоміжні в ньому також відсутній, оскільки всі вони розраховані на комутацію електричних кіл зі струмами одного порядку.

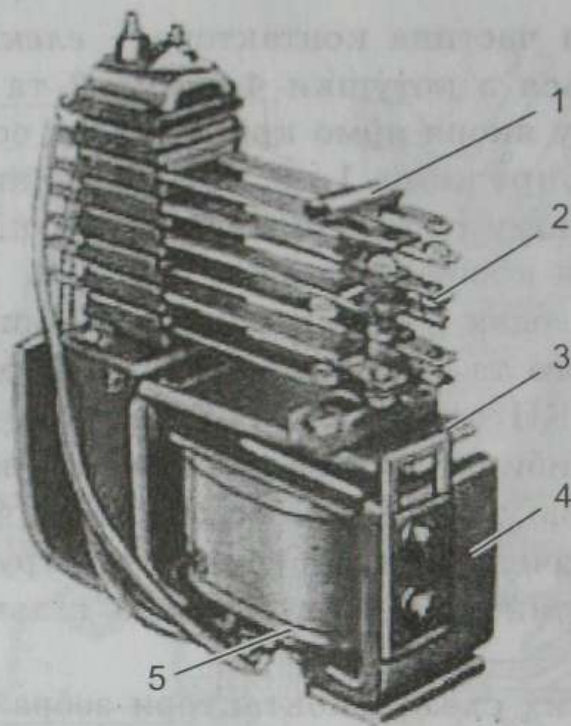


Рис. 3.3. Реле проміжне типу ПЭ-6:

1 – шток; 2 – контакти; 3 – якір; 4 – ярмо; 5 – котушка

У схемах електропривода робочих механізмів використовують реле проміжні як постійного, так і змінного струмів. Реле постійного струму більш надійні в експлуатації та більш економічні, ніж реле змінного струму. Основна перевага реле змінного струму полягає в тому, що вони не потребують окремого джерела постійного струму, оскільки переважна більшість робочих механізмів живиться від джерела змінного струму.

Прикладом такого електричного апарата є реле проміжне типу ПЭ-6 (рис. 3.3). У ньому використовується електромагніт постійного струму, до складу якого входять якір 3, ярмо 4 та котушка 5. Контактна група 1 вмикає як розмикаючі, так і замикаючі контакти з плоскими пружинами.

При подачі напруги на обмотку котушки 5 якір 3 притягується до ярма 4. Шток 1, скріплений з якорем 3, переміщує рухомі контакти контактної групи 2. При відключенні напруги від обмотки рухомі контакти під дією плоских пружин повертаються у вихідне положення.

Широке використання в електроприводах робочих машин набули реле проміжні таких типів: ЭП-1, РП-1, РП-2, РП-3, РП-20, МКУ-48, ПЭ-6, ПЭ-21, РПУ та ін.

Реле проміжні вибираються за родом та величиною номінальної напруги обмотки котушки; за типом, кількістю та комутаційними спроможностями контактів; за допустимою кількістю вмикань за годину.

На електричних схемах реле проміжні зображують графічними умовними позначеннями їхніх головних складових частин, як показано в п. 31, 32, 33, 41, 46 додатку А.

3.1.3. Реле часу

Реле часу – призначені для забезпечення необхідної затримки в часі від моменту появи сигналу на вмикання/вимикання до моменту замикання/розмикання контактів. Таке їх призначення зумовлене тим, що при роботі електропривода робочих механізмів часто необхідна затримка в часі між спрацюванням двох чи більше електричних апаратів, а також необхідністю проводити операції в технологічному процесі в певній часовій послідовності.

У схемах електропривода робочих механізмів використовують різні види реле часу: пневматичні, маятникові, моторні, електромеханічні, з годинниковим механізмом, електронні, з електромагнітним сповільненням та ін.

Схематично конструкцію *реле часу з електромагнітним сповільненням* показано на рис. 3.4. Такі реле часу мають певні конструктивні та функціональні особливості:

- використовуються лише електромагніти постійного струму;
- магнітна система перенасичена;
- досягнення працездатного стану реле потребує часу (кількох секунд) для «зарядження» – досягнення сталого значення магнітного потоку;
- до складу його електромагнітного привода обов'язково входить короткозамкнена обмотка у вигляді гільзи 8, що виготовляється з міді чи алюмінію.

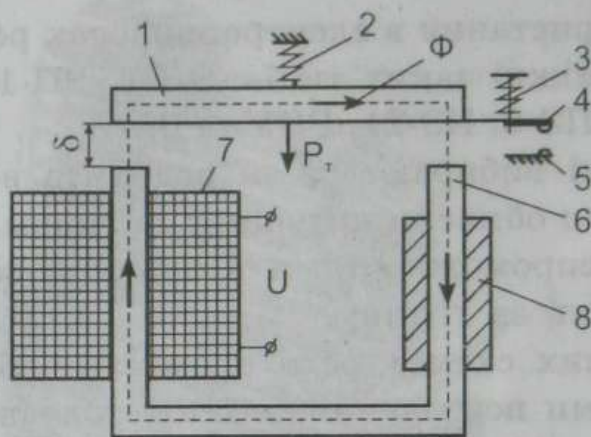


Рис. 3.4. Конструкція реле часу з електромагнітним сповільненням:

1 – ярмі; 2 – пружина зворотна; 3 – пружина контактна; 4 – контакт рухомий; 5 – контакт нерухомий; 6 – ярмо; 7 – котушка; 8 – гільза

За таких умов реле часу забезпечує сталі значення затримки часу при значних (до 50%) коливаннях напруги живлення.

При увімкненні робота такого реле часу нічим не відрізняється від роботи вже розглянутих електричних апаратів, і затримки в часі воно майже не забезпечує (час спрацювання складає 0,05–0,20 с).

В увімкненому стані, коли магнітний потік Φ , який створює котушка 7, залишається незмінним, гільза 8 ніякого впливу на роботу реле не чинить.

Затримку в часі реле часу забезпечує тільки за відключення від джерела живлення котушки 7. Для пояснення принципу дії реле часу при відключенні звернемося до рис. 3.5, де показано графіки спадання магнітного потоку для двох випадків: 1 – за відсутності та 2 – за наявності гільзи 8 у складі електромагнітного привода.

У випадку 1 час, за який магнітний потік Φ досягає значення $\Phi_{вим}$, коли ярмі відходить від ярма, відповідає значенню t_1 .

У випадку 2, завдяки наявності гільзи 8, магнітний потік спадає значно повільніше, тому що при відключенні напруги від котушки магнітний потік Φ , який вона створює, почи-

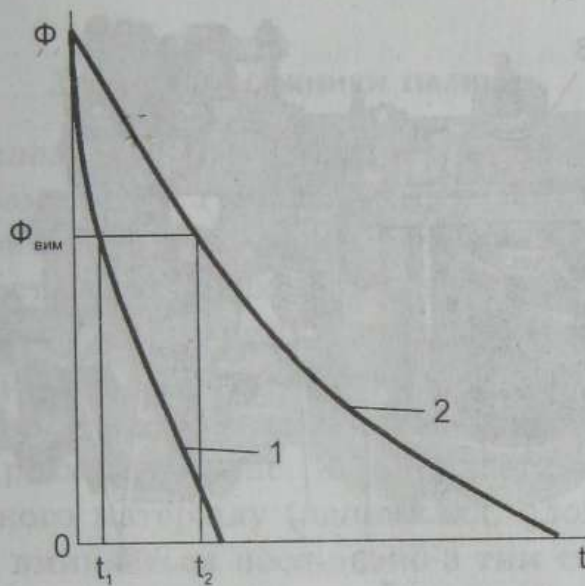


Рис. 3.5. До пояснення принципу дії електромагнітного реле часу

нає зменшуватися. Завдяки цій зміні магнітного потоку Φ у гільзі 8 виникає ЕРС гільзи, починає текти струм і створюється магнітний потік гільзи Φ_r , спрямований назустріч магнітному потоку Φ , а тому зменшується швидкість зміни магнітного потоку в магнітопроводі. Тому час, за який магнітний потік Φ досягає значення $\Phi_{\text{в.м.}}$, відповідає значенню t_2 . Як бачимо, завдяки наявності гільзи 8 час відключення t_2 значно перевищує час t_1 .

В електроприводах робочих машин широке використання набули реле часу типу РЭВ-813 (рис. 3.6). Такі реле дають затримку часу до 5 с. Це забезпечується як наявністю в їх конструкції короткозамкненої гільзи 3, так і масивної литої основи 4, виготовленої з алюмінію. Конструкція реле часу цього типу дає можливість регулювати затримку в часі кількома способами:

- 1) зміною початкового стиснення зворотної пружини 2;
- 2) зміною початкового стиснення пружини регулювальної 8;
- 3) зміною немагнітних прокладок, що розміщуються між якорем та ярмом;
- 4) зміною електричного опору гільзи 3 (матеріал, геометричні розміри).

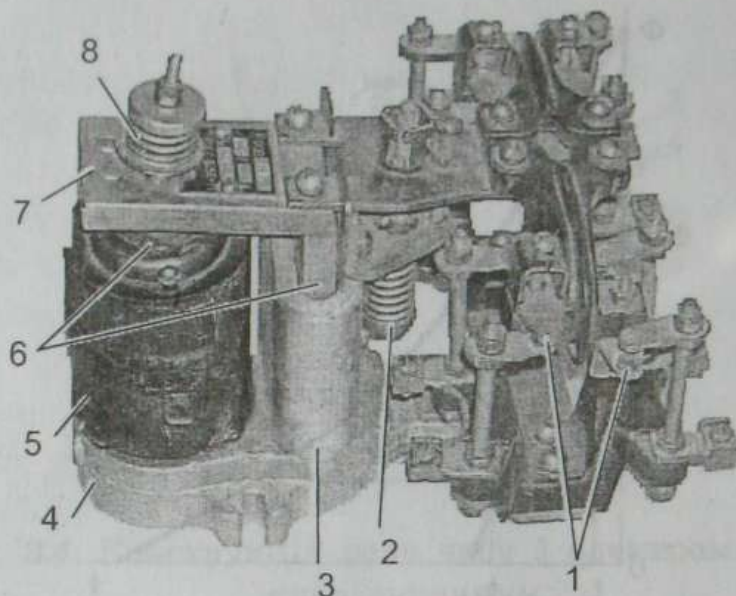


Рис. 3.6. Реле часу з електромагнітним сповільненням типу РЭВ-813:

1 – контакти; 2 – пружина зворотна; 3 – гільза; 4 – основа; 5 – котушка;
6 – ярмо; 7 – якір; 8 – пружина регульовальна

Реле часу вибираються за такими параметрами: номінальна напруга котушки, тривалість і діапазон регулювання часу затримки спрацювання, кількість, вид і комутаційна спроможність контактів.

Умовні графічні позначення на електричних схемах основних елементів реле часу показані в п. 34, 35, 46 додатку А.

3.2. Електричні апарати захисту

Ці електричні апарати виконують функцію захисту від недопустимих значень електричних і неелектричних параметрів у різних режимах роботи електропривода. До цієї групи електричних апаратів можна віднести: запобіжники плавкі, реле теплові, реле струму та напруги, мікроперемикачі, шляхові вимикачі та ін.

3.2.1. Запобіжники плавкі

Запобіжники плавкі – це електричні апарати захисту від струмів короткого замикання і тривалих перевантажень по струму. Їх назва пов'язана з основним елементом цих електричних апаратів – вставкою плавкою, яка виготовляється з провідникового матеріалу (міді, цинку, свинцю, алюмінію тощо) у вигляді дроту (рис. 3.7а) з каліброваним значенням його діаметра, однорідних пластинок з потоншеними ділянками з каліброваними розмірами (рис. 3.7б), пластинок із напайками з легкоплавкого матеріалу (наприклад, олова) (рис. 3.7в). Вставка плавка вмикається послідовно з тим споживачем, захист від недопустимо великих значень струмів якого вона має забезпечити. При роботі в номінальних режимах, коли значення струму не перевищує певних допустимих значень, вставка плавка нагрівається Джоулевым теплом, але завдяки теплообміну температура вставки плавкої не досягає того критичного значення, за якого вона може перегоріти, і тому в такому режимі запобіжник може працювати нескінченно довго.

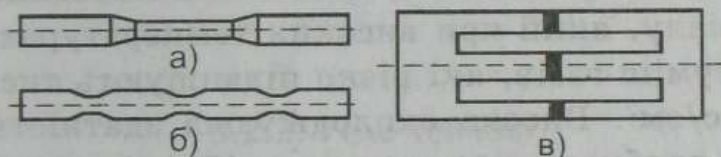


Рис. 3.7. Вставки плавкі

У разі значного миттєвого збільшення сили струму через вставку плавку (наприклад, у режимі к.з.), або ж тривалого значного перевантаження споживача, коли струм недопустимо збільшується, відбувається інтенсивне виділення тепла у вставці, і вона перегорає.

Як приклад такого електричного апарата розглянемо запобіжник плавкий типу ПР-2 (закритий, з розбірним патроном, без наповнювача). З допомогою ножів 1 запобіжник такого типу (рис. 3.8) закріплюється в тримачах, які забезпечують надійний електричний контакт завдяки наявності підпружинених губок. Ножі затискаються з допомогою ковпачків 5, які нагвинчуються на обойму 4.

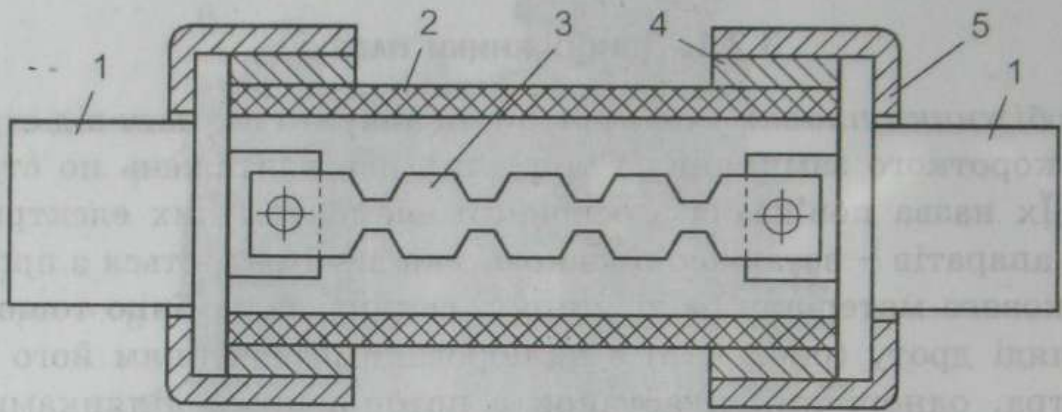


Рис. 3.8. Запобіжник плавкий типу ПР-2:

1 – контактний ніж; 2 – патрон; 3 – вставка плавка; 4 – обойма;
5 – ковпачок

Вставка плавка 3 з допомогою гвинтів закріплюється на ножах 1. Вона виготовляється із цинку у вигляді пластин, що мають від одного до чотирьох звужень з каліброваними розмірами. При перегоранні вставки плавкої може виникати електрична дуга. Патрон 2 призначений для того, щоб локалізувати електричну дугу. Він також виконує функцію пристрою дугогасіння, оскільки виготовляється з фібри – матеріалу, який при високих температурах інтенсивно виділяє суміш газів, які різко підвищують тиск у патроні до 30 кгс/см^2 . Висока охолоджуюча здатність і висока електрична пробивна електрична стійкість газів у сполученні з високим тиском сприяють швидкому згасанню дуги. Тривалість гасіння дуги в такого типу запобіжниках складає соті долі секунди, а тому вони надійно виконують функцію захисту.

В інших типах запобіжників патрон виготовляють із фарфору або скла. Для поліпшення умов гасіння дуги в таких типах запобіжників простір всередині патрона заповнюють кварцевим піском – наповнювачем.

В електроприводах робочих машин крім вищеназваного запобіжника типу ПР-2 найбільш широко використовуються такі типи запобіжників:

- ПН-2 – закритий, патрон розбірний з фарфору, з наповнювачем, вставка з міді з напайкою з олова;

- ПП-31 – розроблений для заміни запобіжників типу ПН-2, закритий, патрон розбірний, з наповнювачем, вставка з алюмінію;
- НПН-2 – закритий, патрон нерозбірний скляний, з наповнювачем, вставка з міді з напайкою з олова;
- ПП-41, ПП-57, ПП-71, ПП-59 – швидкодійні запобіжники, закриті, з наповнювачем, вставка зі срібної фольги.

Запобіжники плавкі виготовляються з такими номінальними параметрами:

- напруга змінного струму, В: 36, 220, 380, 660;
- напруга постійного струму, В: 24, 110, 220, 440;
- номінальний струм вставки плавкої, А: від 2 до 1000;
- номінальний струм запобіжника, А: 6, 10, 16, 25, 63, 100, 160, 250, 400, 630, 1000.

До переваг запобіжників плавких перед іншими електричними апаратами захисту можна віднести їх простоту конструкції та обслуговування, малі розміри, надійність, невелику вартість.

На електричних схемах запобіжники плавкі зображуються графічним умовним позначенням, як показано в п. 19 додатку А.

3.2.2. Реле теплові

Реле теплові призначені для захисту від тривалих перевантажень по струму. Головною складовою частиною таких реле є біметалева пластина 1 (рис. 3.9), яка складається з двох пластин, виготовлених зі струмопровідних матеріалів, що мають різні коефіцієнти температурного розширення α . Найчастіше для цього використовують інвар (менше значення α) та немагнітну або хромонікелеву сталь (більше значення α). У місці контактування пластини надійно скріплюються, наприклад, за допомогою електрозварювання. Якщо біметалеву пластину закріпити з одного кінця і нагріти, то вона вигинається в сторону пластини з меншим α (на рис. 3.9 показано штриховими лініями). Ця властивість біметалевої пластини і використовується в роботі теплового реле.

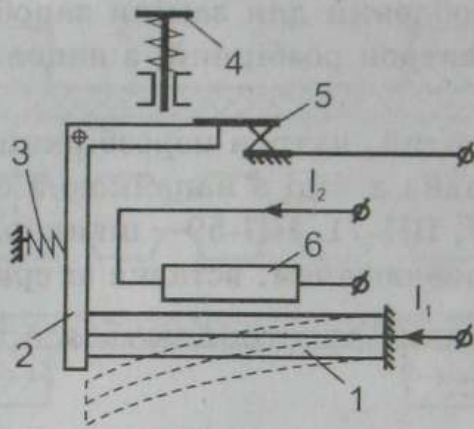


Рис. 3.9. Схема включення реле теплового

Нагрівання біметалевої пластини може відбуватися по-різному. Струм навантаження може проходити безпосередньо біметалевою пластинною (I_1 на рис. 3.9) і нагрівати її. Струм (I_2 на рис. 3.9) може проходити по спеціальному нагрівальному елементу 6, і від тепла, що ним виділяється, нагрівається і біметалева пластина. Але найкращі характеристики мають ті реле, у яких струм проходить як по біметалевій пластині, так і по нагрівальному елементу.

Важіль 2 з допомогою пружини 3 надійно притискається до біметалевої пластини 1. Важіль 2 може обертатися навколо осі закріплення. Таке надійне притискання необхідне тому, що біметалева пластина вигинається дуже повільно, і для забезпечення швидкого і надійного виходу з контактування біметалевої пластини 1 і важеля 2 у біметалевій пластині має виникнути відповідне механічне навантаження. Лише в цьому разі відбувається розмикання електричного кола зі струмом I_1 зі швидким згасанням електричної дуги.

Після того як біметалева пластина вийшла з контакту з важелем 2, останній під дією пружини 3 повертається навколо своєї осі і розмикає контакти 5, внаслідок чого розривається електричне коло, захист якого необхідно забезпечити.

Для того щоб повернути теплове реле у вихідний робочий стан, необхідно після охолодження біметалевої пластини натиснути на кнопку повернення 4.

На електричних схемах такі елементи теплових реле, як сприймаючий елемент (біметалева пластина) і контакти зображуються графічними умовними позначеннями, як показано в п. 40 та 48 додатку А.

Реле теплові дуже рідко використовуються в схемах електропривода робочих машин як окремі електричні апарати. Найчастіше вони є складовою частиною таких комбінованих електричних апаратів, як автоматичні вимикачі та магнітні пускачі, що будуть розглянуті пізніше.

3.2.3. Реле струму

Реле струму – це електричні апарати захисту від недопустимих значень струмів в електричних колах. Суттєвою відмінною їх від розглянутих вище електричних апаратів захисту є те, що вони спрацьовують майже миттєво при досягненні струмом деякого критичного значення – струму спрацювання реле.

Найчастіше такі реле виконують функцію *реле максимального струму*, але можуть виконувати і функцію *реле мінімального струму*. Ці реле бувають як постійного, так і змінного струму.

Реле струму (змінного) серії ЭТ (рис. 3.10) складається з ярма 1, яке виготовляється шихтованим з електротехнічної сталі. Обмотка 2 складається з двох котушок, які можуть бути з'єднані між собою як послідовно, так і паралельно, але до того споживача або ділянки кола, які вони мають захищати від недопустимих збільшень значень струму, обмотки підключаються послідовно. Якір 3 виготовляється Z-подібної форми з тонкого листа електротехнічної сталі і має можливість обертатися навколо осі в зазорі між полюсами ярма. Зі зміною сили струму, що проходить через обмотку 2, змінюється і величина обертового моменту, який діє на якір 3. Якір обертається навколо осі, а разом з ним обертаються і рухомі контакти 6. При досягненні струмом деякого критичного значення – *струму спрацювання реле*, рухомі контакти замикаються з нерухомими контактами 7, і на виході реле з'являється сигнал $U_{вих}$.

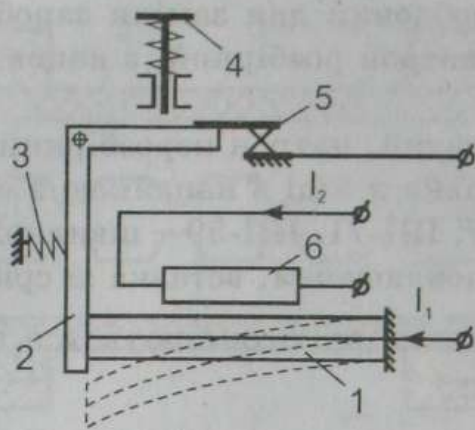


Рис. 3.9. Схема включення реле теплового

Нагрівання біметалевої пластини може відбуватися по-різному. Струм навантаження може проходити безпосередньо біметалевою пластинною (I_1 на рис. 3.9) і нагрівати її. Струм (I_2 на рис. 3.9) може проходити по спеціальному нагрівальному елементу 6, і від тепла, що ним виділяється, нагрівається і біметалева пластина. Але найкращі характеристики мають ті реле, у яких струм проходить як по біметалевій пластині, так і по нагрівальному елементу.

Важіль 2 з допомогою пружини 3 надійно притискається до біметалевої пластини 1. Важіль 2 може обертатися навколо осі закріплення. Таке надійне притискання необхідне тому, що біметалева пластина вигинається дуже повільно, і для забезпечення швидкого і надійного виходу з контактування біметалевої пластини 1 і важеля 2 у біметалевій пластині має виникнути відповідне механічне навантаження. Лише в цьому разі відбувається розмикання електричного кола зі струмом I_1 зі швидким згасанням електричної дуги.

Після того як біметалева пластина вийшла з контакту з важелем 2, останній під дією пружини 3 повертається навколо своєї осі і розмикає контакти 5, внаслідок чого розривається електричне коло, захист якого необхідно забезпечити.

Для того щоб повернути теплове реле у вихідний робочий стан, необхідно після охолодження біметалевої пластини натиснути на кнопку повернення 4.

На електричних схемах такі елементи теплових реле, як сприймаючий елемент (біметалева пластина) і контакти зображуються графічними умовними позначеннями, як показано в п. 40 та 48 додатку А.

Реле теплові дуже рідко використовуються в схемах електропривода робочих машин як окремі електричні апарати. Найчастіше вони є складовою частиною таких комбінованих електричних апаратів, як автоматичні вимикачі та магнітні пускачі, що будуть розглянуті пізніше.

3.2.3. Реле струму

Реле струму – це електричні апарати захисту від недопустимих значень струмів в електричних колах. Суттєвою відмінною їх від розглянутих вище електричних апаратів захисту є те, що вони спрацьовують майже миттєво при досягненні струмом деякого критичного значення – струму спрацювання реле.

Найчастіше такі реле виконують функцію *реле максимального струму*, але можуть виконувати і функцію *реле мінімального струму*. Ці реле бувають як постійного, так і змінного струму.

Реле струму (змінного) серії ЭТ (рис. 3.10) складається з ярма 1, яке виготовляється шихтованим з електротехнічної сталі. Обмотка 2 складається з двох котушок, які можуть бути з'єднані між собою як послідовно, так і паралельно, але до того споживача або ділянки кола, які вони мають захищати від недопустимих збільшень значень струму, обмотки підключаються послідовно. Якір 3 виготовляється Z-подібної форми з тонкого листа електротехнічної сталі і має можливість обертатися навколо осі в зазорі між полюсами ярма. Зі зміною сили струму, що проходить через обмотку 2, змінюється і величина обертового моменту, який діє на якір 3. Якір обертається навколо осі, а разом з ним обертаються і рухомі контакти 6. При досягненні струмом деякого критичного значення – *струму спрацювання реле*, рухомі контакти замикаються з нерухомими контактами 7, і на виході реле з'являється сигнал $U_{вих}$.

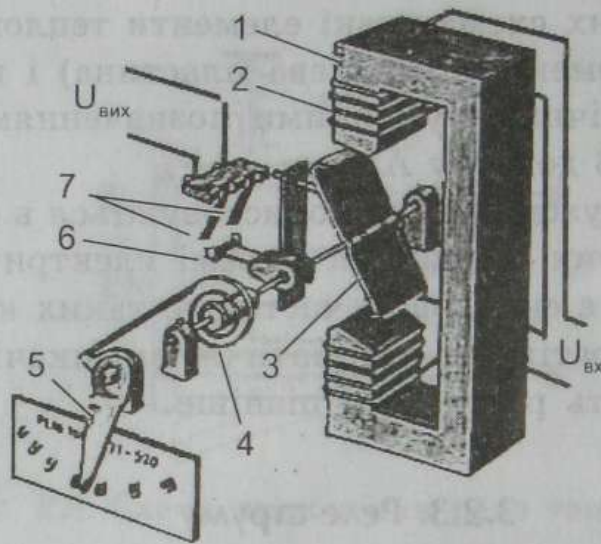


Рис. 3.10. Реле струму серії ЭТ:

1 – ярмо; 2 – обмотка; 3 – якір; 4 – пружина; 5 – важіль; 6, 7 – рухомі та нерухомі контакти

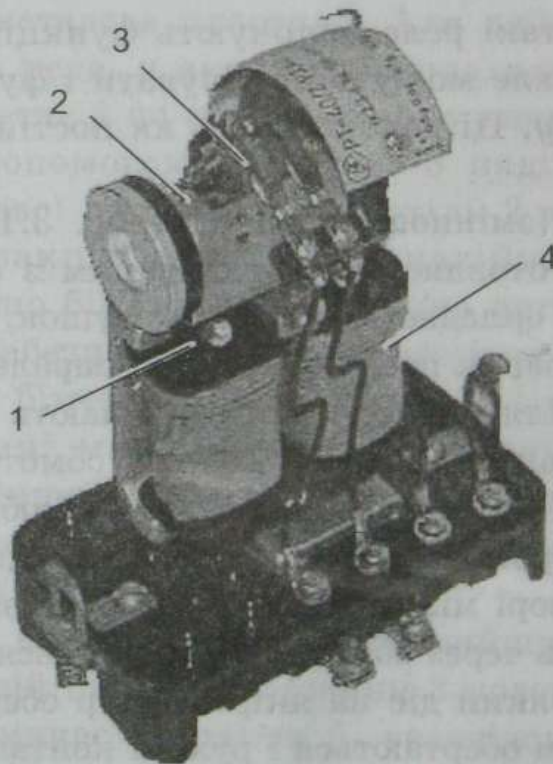


Рис. 3.11. Реле струму серії РТ-40:

1 – ярмо; 2 – якір; 3 – контакти; 4 – обмотка

Пружина 4 забезпечує рух якоря та рухомих контактів у зворотному напрямку при зменшенні або відсутності струму в обмотці.

Конструкція реле струму дозволяє регулювати значення струму спрацювання. Ступеневе регулювання досягається внаслідок послідовного або паралельного з'єднання обмоток 2. При паралельному з'єднанні струм удвічі більший, ніж при послідовному. Плавне регулювання досягається з допомогою важеля 5, завдяки обертанню якого змінюється величина початкового натягу пружини 4. Використовуючи ці два способи регулювання, можна плавно змінювати значення струму спрацювання в діапазоні 1-4.

В електричних схемах електропривода робочих машин знайшли також використання реле струму нової серії РТ-40 (рис. 3.11). Складові частини та принцип дії реле цієї серії аналогічні до реле серії ЕТ. Але завдяки Г-подібній формі якоря 2, використанню більш досконалих матеріалів та новітніх технологій вони мають кращі характеристики, менші габарити і масу.

Умовні графічні позначення на електричних схемах основних елементів реле струму показані в п. 31, 32, 46 додатку А.

3.2.4. Реле напруги

Реле напруги – це електричні апарати захисту від недопустимих значень напруг на окремих споживачах або на окремих ділянках електричних кіл. Реле напруги мають такі самі складові частини, що й реле струму. Суттєвою відмінністю є те, що обмотки котушок у них підключаються паралельно до джерела живлення, споживача або ділянки електричного кола, від недопустимої зміни напруги яких вони мають захищати. Тому обмотка їх виготовляється з ізольованого дроту зі значно меншим перерізом, ніж у реле струму, і має значний електричний опір.

Такі реле можуть виконувати функцію як *реле максимальної*, так і *реле мінімальної напруги*.

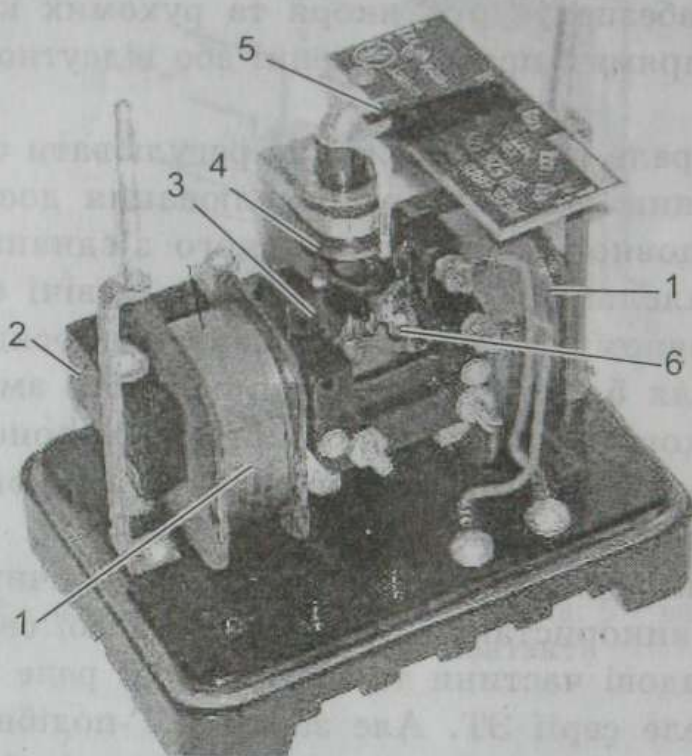


Рис. 3.12. Реле напруги серії ЭН:

1 – котушка; 2 – ярмо; 3 – якор; 4 – пружина; 5 – важіль; 6 – контакти

Як приклад розглянемо конструкцію реле напруги серії ЭН (рис. 3.12). Електромагнітний привод цього реле складається з двох котушок 1, обмотки яких можуть з'єднуватися як послідовно, так і паралельно; ярма 2, яке виготовляється шихтованим з електротехнічної сталі; та якоря 3 Z-подібної форми з тонкого листа електротехнічної сталі, який має можливість обертатися навколо осі в зазорі між полюсами ярма.

На одній осі з якорем закріплені рухомі контакти 6. При досягненні деякого критичного значення напруги – напруги спрацювання реле, рухомі контакти замикаються з нерухомими контактами.

Пружина 4 забезпечує рух якоря та рухомих контактів у зворотному напрямку при зменшенні або відсутності напруги на обмотках.

Важіль 5 забезпечує можливість регулювати значення напруги спрацювання в діапазоні $(0,8-1,4) U_{ном}$. При послідовному з'єднанні $U_{ном} = 200$ В, а при паралельному – $U_{ном} = 400$ В.

Умовні графічні позначення на електричних схемах основних елементів реле напруги показані в п. 31, 32, 46 додатку А.

3.2.5. Мікроперемикачі

Мікроперемикачі – це електричні апарати захисту, які не допускають роботи електропривода робочих машин з порушенням правил безпеки їх експлуатації, наприклад, при незачинених захисних кожухах, люках, кришках, дверях та ін. Їх контактна система розрахована на малі значення струмів (до 4 А), а тому вони призначені для роботи в допоміжних електричних колах змінного струму напругою до 220 В та постійного струму напругою до 110 В.

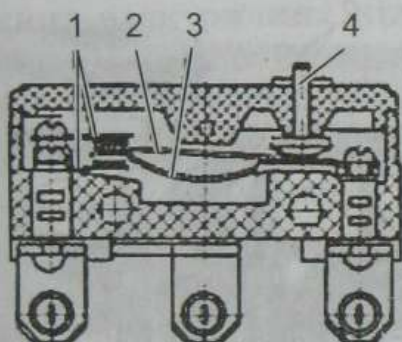


Рис. 3.13. Мікроперемикач типу МП-1:

1 – нерухомі контакти; 2 – рухомі контакти; 3 – пружина; 4 – шток

У мікроперемикачі типу МП-1 (рис. 3.13) рухомий контакт 2 з допомогою пружини 3 притискається до верхнього нерухомого контакту 1. Рухомі частини електропривода, натискаючи на шток 4, сприяють розмиканню рухомого контакту 2 з верхнім та замиканню його з нижніми нерухомими контактами 1.

Умовні графічні позначення мікроперемикачів на електричних схемах показані в п. 33 додатку А.

3.2.6. Кінцеві вимикачі

Кінцеві вимикачі – це електричні апарати захисту, які обмежують переміщення рухомих частин електропривода робочих машин, а при досягненні останніми граничних положень зумовлюють гальмування, блокування, вмикання звукової або світлової сигналізації та ін.

На рис. 3.14 показано кінцевий вимикач типу ВПК2. У початковому стані шток 1 і рухомі контакти 2 знаходяться в лівому крайньому положенні. Лівий рухомий контакт при цьому замкнений із нерухомими контактами 3, а правий залишається розімкненим. Під дією рухомої частини привода, при досягненні нею деякого граничного положення, шток разом із рухомими контактами переміщується вправо і тим самим здійснює розмикання лівої і замикання правої контактних груп.

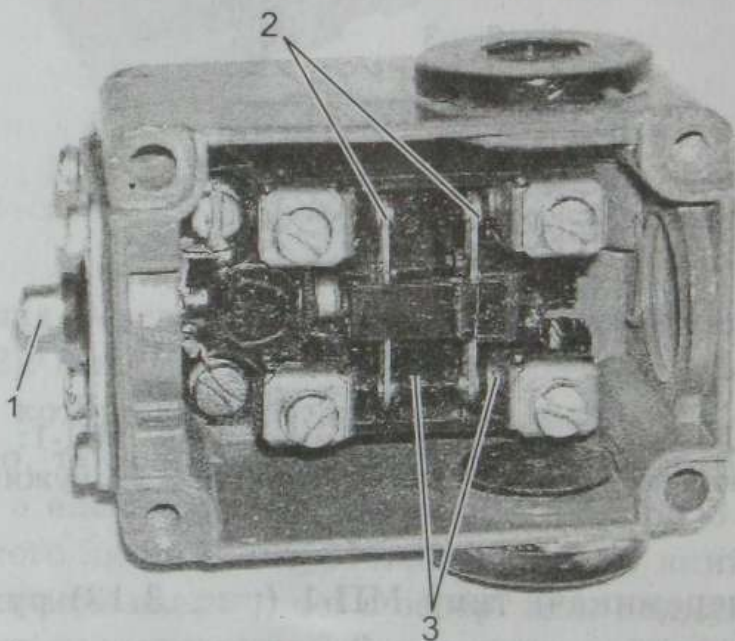


Рис. 3.14. Кінцевий вимикач типу ВПК2 (кришка знята):
1 – шток, 2 – рухомі контакти, 3 – нерухомі контакти

Кінцеві вимикачі призначені для роботи в електричних колах змінного струму з напругою до 500 В та в колах постійного струму з напругою до 440 В, а їх контакти розраховані на струми до 15 А.

Умовні графічні позначення кінцевих вимикачів на електричних схемах показані в п. 43 додатку А.

3.3. Комутаційні електричні апарати

Комутаційні електричні апарати призначені для комутації як силових, так і допоміжних електричних кіл керування роботою електропривода робочих машин. Переважна більшість із них має ручний привод, за допомогою якого рухомі електричні контакти переміщуються під дією сили, створеної рукою оператора.

До цієї групи електричних апаратів можна віднести: рубильники, пакетні перемикачі, кнопки та кнопкові пости.

3.3.1. Рубильники

Рубильники – комутаційні електричні апарати, що призначені для нечастих (до шести вмикань/вимикань за годину) силових і допоміжних електричних кіл змінного струму напругою до 660 В і частотою 50 Гц та кіл постійного струму напругою до 440 В.

Рубильники класифікують на такі групи:

- одно-, дво- і триполюсні;
- з центральною рукояткою, з боковою рукояткою та з боковим важільним приводом;
- відкриті та захищені;
- з переднім та заднім підключенням провідників.

Відкритий двополюсний рубильник із центральною рукояткою представлений на рис. 3.15. Рухомі контакти – ножі 2 жорстко скріплені з рукояткою 3, виготовленою з ізоляційного матеріалу, і шарнірно закріплюються на стійках, які, у свою чергу, закріплюються на ізоляційній основі 4. Нерухомі контакти 1

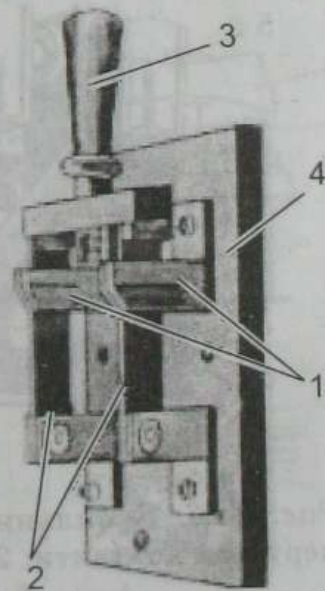


Рис. 3.15. Двополюсний рубильник із центральною рукояткою:
1 – нерухомі контакти; 2 – рухомі контакти; 3 – рукоятка; 4 – основа

виготовляються з двох стрічок провідникового матеріалу, які з допомогою кільцевих пружин забезпечують надійний електричний контакт з рухомими контактами. Оскільки в таких рубильниках відсутній пристрій дугогасіння, то вони використовуються для комутації електричних кіл без навантаження, або ж при незначних величинах сили струму. Надійність гасіння електричної дуги забезпечується шляхом швидкого розмикання контактів та створенням великого повітряного зазору між рухомими та нерухомими контактами в розімкненому стані.

У триполюсному рубильнику з боковою рукояткою (рис. 3.16) є пристрій дугогасіння у вигляді дугогасильних решіток 5, які охоплюють зони горіння дуги при розмиканні нерухомих 1 та рухомих 4 контактів. Тому такі рубильники дозволяють надійно виконувати комутацію електричних кіл під навантаженням.

Основними параметрами, що обумовлюють вибір рубильника, є: номінальна напруга, номінальний струм, кількість полюсів, конструктивне та кліматичне виконання.

В електроприводах робочих механізмів використовуються рубильники на номінальні струми до 630 А типів Р, РВ, РС. Але слід зазначити, що в сучасних зразках електроприводів

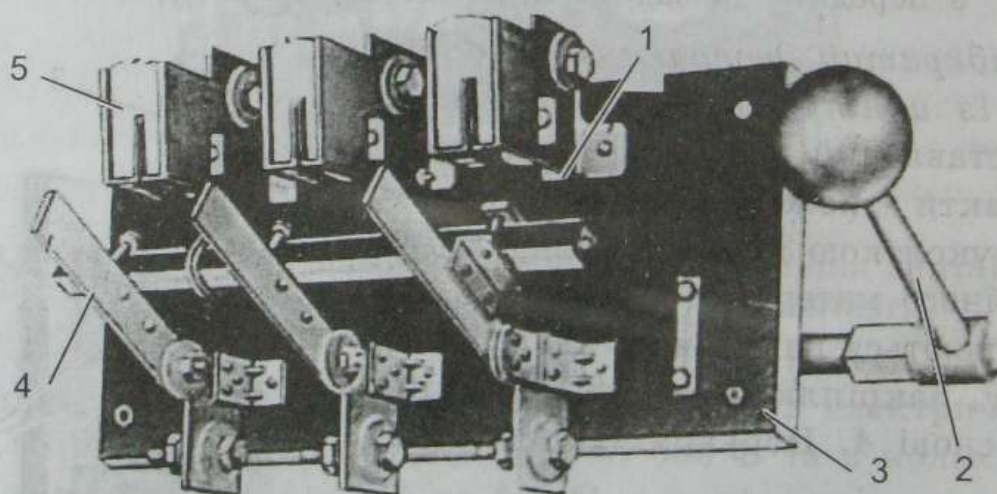


Рис. 3.16. Рубильник триполюсний з боковою рукояткою:
1 – нерухомі контакти; 2 – рукоятка; 3 – основа; 4 – рухомі контакти;
5 – дугогасильні решітки

робочих машин ці комутаційні апарати використовуються рідко. Їх функції все частіше виконуються автоматичними вимикачами, конструкцію яких буде розглянуто нижче.

Умовні графічні позначення на електричних схемах рубильників показані в п. 31, 37, 38, 39 додатку А.

3.3.2. Пакетні вимикачі

Пакетні вимикачі – це багатоступеневі електричні апарати з ручним приводом, які призначені для нечастих комутацій як у силових, так і в допоміжних електричних колах напругою до 380 В змінного струму 50 Гц та до 220 В постійного струму. Їх використовують як групові комутаційні апарати на щитах керування кількох взаємозв'язаних електроприводів, як перемикачі режиму роботи електропривода, для пуску електродвигунів, реверсу, перемикання зі схеми з'єднання обмоток двигуна «зірка» на «трикутник» та ін.

Назва цих вимикачів походить від того, що вони набираються з пакетів 3, кожний з яких складається із нерухомих контактів 6, рухомого контакту 5 і пластин 4 із фібри.

Рухомі контакти 5 закріплюються з допомогою пружин на валу квадратного перетину, зверху якого знаходиться рукоятка 1. Для переключення пакетного вимикача зусилля від руки оператора передається на рукоятку 1 і вал 2, зводиться пружина (на рис. 3.17 не показана), і лише при досягненні певного механічного зусилля швидко розмикаються одні групи рухомих і нерухомих контактів і замикаються інші.

Таке швидке розімкнення контактів і наявність у кожному пакеті

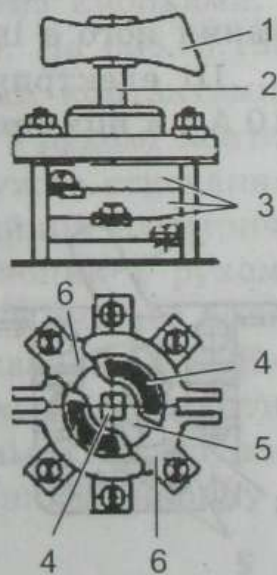


Рис. 3.17. Пакетний вимикач серії ВІМ: 1 – рукоятка; 2 – вал; 3 – пакети; 4 – пластини із фібри; 5 – рухомий контакт; 6 – нерухомі контакти

пластин 4 із фібри зумовлюють швидке та надійне гасіння електричної дуги.

До переваг пакетних вимикачів серії ВПМ можна віднести їх компактність і можливість змінювати кількість пакетів, до недоліків – низьку зносостійкість та ненадійність механізму ручного привода.

Пакетні вимикачі вибирають за такими параметрами: номінальна напруга і струм, кількість пакетів, кількість позицій.

На електричних схемах пакетні вимикачі зображають графічним умовним позначенням, як показано в п. 45 додатку А.

3.3.3. Тумблери

Тумблери – це дво- або трипозиційні електричні апарати з ручним приводом, призначені для переключень у допоміжних електричних колах змінного струму напругою до 380 В та постійного струму напругою до 220 В.

У цих електричних апаратах (рис. 3.18) використовують «стрибаючий» рухомий контакт 1. З рукояткою 4 він з'єднаний підпружиненою системою важелів 3. При натисканні на рукоятку 4 пружина спочатку стискається, а потім при досягненні певного кута повороту рукоятки відбувається «стрибок» рухомого контакту 1 з одного в інше фіксоване положення. При цьому відбувається розмикання рухомого контакту з однією системою нерухомих контактів 2 і замикання його з іншою.

Ці електричні апарати виготовляються для струмів до 10 А і в них пристрій дугогасіння відсутній, оскільки «стрибаюча» конструкція контактів та відносно велика відстань між нерухомими контактами забезпечують надійне гасіння електричної дуги.

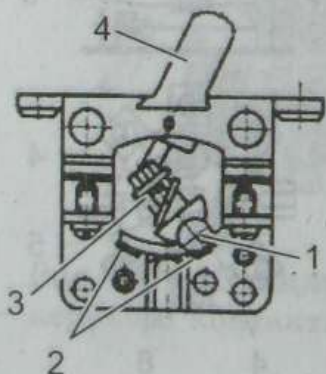


Рис. 3.18. Тумблер:
1, 2 – рухомий і нерухомі контакти; 3 – система важелів; 4 – рукоятка

Переваги тумблерів: компактність, простота і надійність закріплення на різного роду панелях управління.

Тумблери вибирають за такими параметрами: номінальна напруга, номінальний струм, кількість і вид контактів, кількість позицій.

На електричних схемах тумблери зображають графічними умовними позначенням, як показано в п. 33, 45 додатку А.

3.3.4. Кнопки керування і кнопкові станції

Кнопки керування – це двопозиційні електричні апарати з ручним приводом та із самоповерненням. Вони призначені для дистанційного управління роботою контакторів та магнітних пускачів, а також комутації та блокування в електричних колах керування.

Дві або більше кнопок керування, які змонтовані на одній панелі або ж в одному корпусі, називаються *кнопковими станціями*.

У системах електропривода широко застосовуються кнопки керування серії КЕ різних типів, які відрізняються за видом, формою, кліматичним виконанням, кольором кнопки, кількістю контактів та ін. Ці кнопки призначені для роботи в електричних колах змінного струму напругою до 500 В та в колах постійного струму напругою до 220 В зі струмами до 6 А.

На базі кнопок керування серії КЕ випускаються кнопкові станції (пости) серії ПКЕ з двома і трьома кнопками.

Привод цих електричних апаратів ручний. На рис. 3.19а показано кнопку керування із замикальними контактами. При натисканні на кнопку 1 переміщуються і рухомі контакти 4. Наявність пружини 3 забезпечує пружне стискання рухомих контактів 4 з нерухомими 5 і надійний електричний контакт між ними. При відпусканні кнопки 1 рухомі контакти 4 під дією пружини 3 повертаються у вихідне положення. Таким чином працюють кнопки керування «ПУСК».

Кнопки керування «СТОП» мають розмикаючі контакти, які в початковому положенні знаходяться під дією пружини 3 у замкненому становищі, а при натисканні на кнопку 1 – у розімкненому.

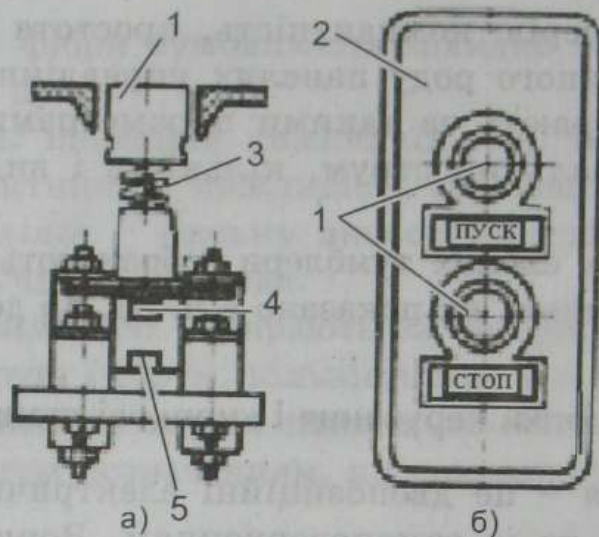


Рис. 3.19. Кнопка керування (а) та кнопкова станція (б):
 1 – кнопка; 2 – панель; 3 – пружина; 4 – рухомий контакт;
 5 – нерухомий контакт

У кнопкових станціях кнопка «ПУСК» звичайно має чорний колір, а кнопка «СТОП» – червоний.

На електричних схемах кнопки керування зображують графічними умовними позначенням, як показано в п. 44 додатку А.

3.4. Комбіновані електричні апарати

Комбіновані електричні апарати виконують кілька функцій, наприклад, комутації та захисту, пускорегулювання та захисту та ін.

До таких електричних апаратів можна віднести: автоматичні вимикачі, магнітні пускачі та ін.

3.4.1. Автоматичні вимикачі (автомати)

Автоматичні вимикачі – це комбіновані електричні апарати з ручним приводом, які можуть виконувати всі або кілька із зазначених функцій:

- нечасті (для більшості типів до 6 за годину, а для окремих – до 30 за годину) вмикання та вимикання силових і

допоміжних електричних кіл змінного струму з напругою до 660 В та постійного струму з напругою до 220 В;

- захист від тривалих перевантажень по струму;
- захист від струмів короткого замикання;
- захист від недопустимого зниження напруги в мережі живлення.

Взагалі автоматичні вимикачі складаються з чотирьох *головних складових частин*: контактів, пристрою дугогасіння, приводу та розчіплювача.

Перші три *головні* складові частини автоматичних вимикачів за призначенням та конструктивним виконанням нічим принципово не відрізняються від аналогічних частин раніше розглянутих електричних апаратів.

Розчіплювач – це складова частина автоматичного вимикача, яка виконує функцію захисту за одним чи кількома параметрами. У сучасних зразках автоматичних вимикачів використовуються розчіплювачі таких виконань: Т – тепловий, М – електромагнітний, П – напівпровідниковий, К – комбінований.

Рухомі контакти 2 автоматичного вимикача серії АП-50 (рис. 3.20) замикаються з нерухомими контактами 1 з допомогою кнопки 3 «Увімкнено». Система підпружинених важелів приводу забезпечує надійне притискання і тривале утримання контактів в замкненому положенні та проходження по них струму в нормальних режимах роботи, коли струм не перевищує деякого критичного значення – *струму спрацювання розчіплювачів*.

Для робочого вимкнення потрібно натиснути на кнопку «Вимкнено».

Електромагнітні розчіплювачі 5 складаються з обмоток 7 та підпружинених осердь 6. Зі збільшенням сили струму, який проходить по обмотці, збільшується і величина втягування осердя. При досягненні струмом значення спрацювання осердя натискає на важіль (на рис. 3.20 не показано) і відбувається миттєве відключення автоматичного вимикача. Так відбувається *захист від струмів короткого замикання*.

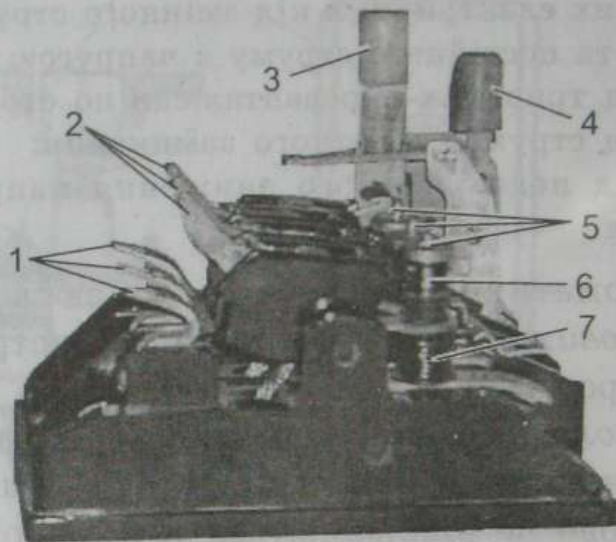


Рис. 3.20. Автоматичний вимикач серії АП-50 (кришка знята): 1, 2 – нерухомі та рухомі контакти; 3 – кнопка «Увімкнено»; 4 – кнопка «Вимкнено»; 5 – електромагнітні розчіплювачі; 6, 7 – осердя та обмотка розчіплювача

Деякі типи автоматичних вимикачів серії АП-50 мають також і теплові розчіплювачі (розташовані знизу, на рис. 3.20 не видно). Вони являють собою теплові реле, схема вмикання яких є аналогічною до наведеної на рис. 3.9. Ці розчіплювачі захищають від *тривалих перевантажень по струму*. При спрацюванні цього виду розчіплювача біметалева пластина натискає на важіль і автоматичний вимикач відключається. Для повторного вмикання автоматичного вимикача після спрацювання такого розчіплювача потрібно витримати час для охолодження біметалевої пластини, спочатку натиснути на кнопку «Вимкнути», а лише потім – на кнопку «Ввімкнути».

В електроприводах робочих механізмів широко використовують автомати серій АП50, АЗ100, АК63, АЕ-1000, АЕ-2000, АЗ700, ВА51 та інші на номінальні струми вимикачів від 50 до 630 А та номінальні струми розчіплювачів від 0,6 до 630 А. Конструкція більшості з цих автоматів передбачає регулювання струму спрацювання розчіплювачів.

Автоматичні вимикачі вибирають за такими параметрами: номінальна напруга, номінальний струм розчіплювачів, кількість полюсів.

На електричних схемах автоматичні вимикачі зображують графічними умовними позначенням, як показано в п. 42 додатку А.

3.4.2. Магнітні пускачі

Магнітні пускачі – це комбіновані електричні апарати, які взагалі можуть виконувати всі або кілька з таких функцій:

- дистанційне керування роботою асинхронних двигунів (вмикання, вимикання, реверс);
- автоматичне відключення при зниженні напруги мережі живлення нижче допустимого значення;
- захист від перевантажень.

У загальному випадку до складу магнітного пускача входять: контактори змінного струму (один для нереверсивного або два для реверсивного), теплові реле та кнопкова станція.

В електроприводах робочих машин використовують магнітні пускачі серій ПМЕ та ПАЕ, які виготовляються на номінальні напруги 127, 220, 380 та 500 В і струми від 3,2 до 150 А.

Поступово їх заміняють магнітні пускачі серії ПМЛ (рис. 3.21) на струми від 10 до 200 А.

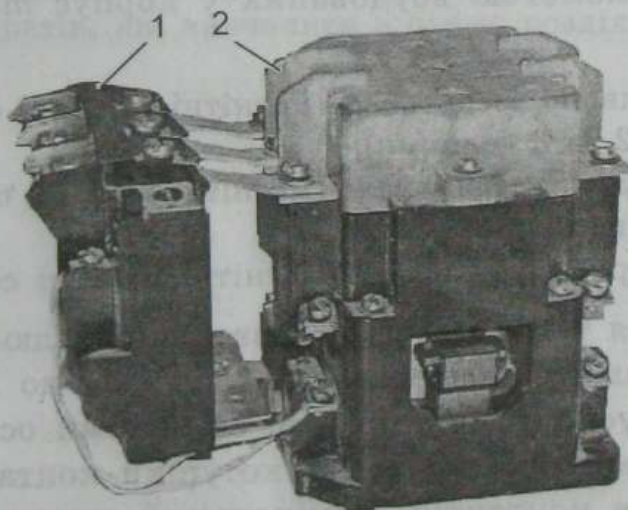


Рис. 3.21. Магнітний пускач серії ПМЛ-310:
1 – теплове реле; 2 – контактор змінного струму

Магнітні пускачі серії ПМЕ виготовляють: трьох величин (0, 1, 2); вони можуть мати відкрите, захищене або пилеводонепроникне виконання; мати контакти тільки замикаючі або замикаючі та розмикаючі; можуть мати або не мати вбудовані в корпус кнопки «Стоп» та «Пуск» або «Вперед», «Назад», «Стоп»; вбудовані в корпус теплові реле.

Магнітні пускачі серії ПАЕ виготовляють чотирьох величин (3, 4, 5, 6); відкриті, захищені, пилезахищені та пилебризконепроникні; тільки із замикаючими, із замикаючими та розмикаючими контактами; із вбудованими в корпус кнопками «Стоп» та «Пуск», або «Вперед», «Назад», «Стоп», або без них; із вбудованими в корпус тепловими реле або без них.

Магнітні пускачі серії ПМЛ виготовляють семи величин (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7); нереверсивні без реле, нереверсивні з реле, нереверсивні без реле з механічним та електричним блокуванням; нереверсивні з реле з механічним та електричним блокуванням, для переключення «зірка-трикутник»; відкриті, захищені, пилезахищені та пилебризконепроникні; тільки із замикаючими, із замикаючими та розмикаючими контактами; із вбудованими в корпус кнопками «Реле», «Стоп» та «Пуск», або «Вперед», «Назад», «Стоп», або без них; із вбудованими в корпус тепловими реле або без них.

Захист від перевантаження в магнітних пускачах здійснюється з допомогою вбудованих у корпус *теплових реле* таких типів:

- ТРН – двополюсне реле (магнітні пускачі серій ПМЕ та ПАЕ 1, 2 та 3 величин);
- ТРП – однополюсне реле (магнітні пускачі серії ПАЕ 4, 5 та 6 величин);
- ТРЛ – триполюсне реле (магнітні пускачі серії ПМЛ).

Конструкція теплових реле дозволяє регулювати величину струму вставки реле в діапазоні від 0,75 до 1,25 I_n .

Магнітні пускачі вибираються за такими основними параметрами: номінальна напруга котушки контактора, номінальна напруга контактів, номінальний струм для контактів, номінальний струм нагрівального елемента теплового реле, умови навколишнього середовища, схема керування.

На електричних схемах магнітні пускачі зображують графічними умовними позначеннями їх головних складових частин, як показано в п. 31, 32, 40, 46, 47, 48 додатку А.

Контрольні питання

1. Що спільного мають і чим відрізняються за конструкцією та принципом дії контактори постійного та змінного струмів?
2. Чим відрізняються реле проміжні від контакторів?
3. Який елемент та яким чином забезпечує затримку в часі в електромагнітному реле часу?
4. Які функції виконує та як працює запобіжник плавкий?
5. Яке призначення та принцип дії реле теплового?
6. У чому полягають конструктивні особливості та принцип дії реле струму?
7. У чому полягають конструктивні особливості та принцип дії реле напруги?
8. Чим відрізняються мікроперемикачі та кінцеві вимикачі?
9. Які особливості приводу комутаційних електричних апаратів? Наведіть приклади.
10. Чим відрізняються комбіновані та некомбіновані електричні апарати?
11. Накресліть умовні графічні позначення елементів електричних апаратів, які вивчалися в цьому розділі.

Вибір електродвигуна для електропривода робочих машин

Вибір електродвигуна значною мірою обумовлює не лише затрати на проектування, розробку, виготовлення, монтаж, налагодження та експлуатацію електропривода, але й такі параметри, як маса, габарити, продуктивність, надійність роботи в режимах пуску, гальмування, реверсу, сталої роботи та ін. Тому питанню вибору електродвигуна для робочої машини слід приділяти значну увагу.

Основними завданнями вибору електродвигуна робочої машини є:

- аналіз режиму роботи;
- вибір виду електродвигуна;
- вибір номінальної напруги;
- вибір номінальної/синхронної частоти обертання;
- вибір конструктивного виконання;
- розрахунок номінальної потужності;
- вибір електродвигуна за каталогом та перевірка правильності вибору.

4.1. Аналіз режиму роботи електродвигуна

Режим роботи електродвигуна визначається співвідношенням тривалості роботи і пауз, характером зміни навантаження, а також температурним режимом його основних складових частин. ГОСТ 17154-71 регламентує вісім основних режимів роботи, які мають умовне позначення S1-S8.

4.1.1. Тривалий режим роботи

Тривалим режимом (S1) називають режим роботи, за якого електродвигун працює з навантаженням P і за час роботи температура всіх його частин досягає сталого значення ($\Theta_{\max} = \text{const}$) (рис. 4.1).

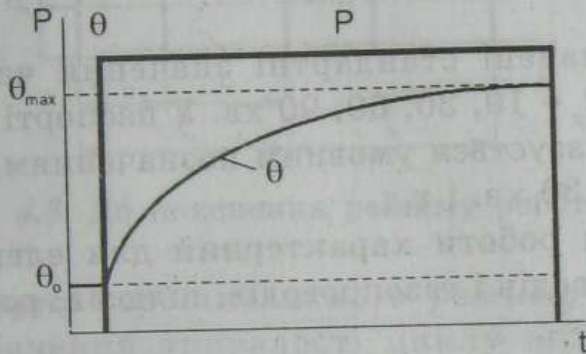


Рис. 4.1. До пояснення режиму роботи S1

Такий режим роботи характерний для електропривода вентиляторів, насосів, компресорів, транспортерів.

4.1.2. Короткочасний режим роботи

Короткочасним режимом (S2) називають режим роботи, за якого час роботи (t_p) під постійним навантаженням (P) чергується з часом пауз (t_n) (рис. 4.2). Причому за час роботи

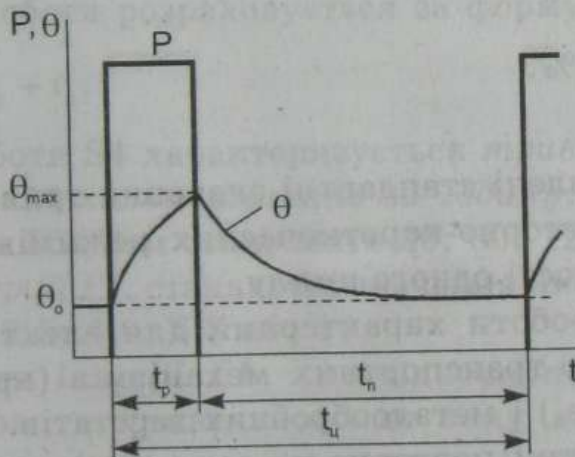


Рис. 4.2. До пояснення режиму роботи S2

температура (Θ_{\max}) частин електродвигуна не встигає досягти сталого значення, а за час паузи електродвигун охолоджується до температури навколишнього середовища (Θ_o). Цей режим роботи є циклічним, період циклу (t_u) визначається таким чином:

$$t_u = t_p + t_n. \quad (4.1)$$

ГОСТом визначені стандартні значення часу роботи в даному режимі: $t_p = 10, 30, 60, 90$ хв. У паспорті машини цей режим роботи вказується умовним позначенням, наприклад: S2 – 10 хв., S2 – 30 хв. і т.д.

Такий режим роботи характерний для електропривода засувок трубопроводів і газопроводів, шлюзів, розвідних мостів та ін.

4.1.3. Повторно-короткочасні режими роботи

Повторно-короткочасним називають режим роботи, за якого час роботи (t_p) під постійним навантаженням (P) чергується з часом пауз (t_n). Причому час роботи обов'язково менший, ніж час, потрібний для нагрівання двигуна до сталої температури, а час пауз менший від необхідного для охолодження до температури навколишнього середовища (Θ_o).

Однією з головних характеристик цього режиму роботи є *тривалість вмикання* (ТВ):

$$ТВ = \frac{t_p}{t_p + t_n} 100\%. \quad (4.2)$$

ГОСТом установлені стандартні значення тривалості вмикання для всіх повторно-короткочасних режимів: ТВ = 15, 25, 40, 60% тривалості одного циклу.

Такий режим роботи характерний для електроприводів деяких підйимально-транспортних механізмів (кранів, лебідок, тельферів та ін.) і металообробних верстатів.

ГОСТ визначає три повторно-короткочасні режими роботи (S3, S4, S5).

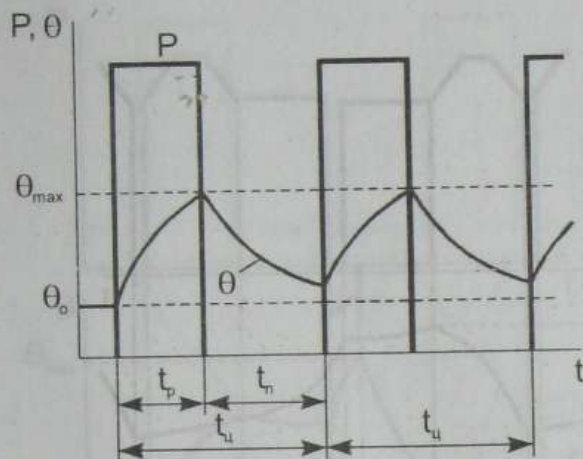


Рис. 4.3. До пояснення режиму роботи S3

Для *повторно-короткочасного режиму S3* (рис. 4.3) стандартне значення тривалості циклу визначене рівним $t_u = 10$ хв. Дійсне значення тривалості циклу розраховується за формулою (4.1). Для цього режиму характерні нечасті пуски, тривалість яких значно менша, ніж час роботи електродвигуна, а тому відсутній суттєвий вплив пускових струмів на тепловий режим машини.

У паспорті машини цей режим роботи вказується умовним позначенням: S3 – 15%, S3 – 25% і т.д.

Для *повторно-короткочасного режиму (S4)* характерні часті пуски. При цьому режимі роботи час пуску ($t_{пк}$) і час роботи (t_p) є величинами сумірними, а тому пускові струми істотно впливають на нагрівання машини (рис. 4.4). Тривалість циклу роботи розраховується за формулою:

$$t_u = t_{пк} + t_p + t_n. \quad (4.3)$$

Режим роботи S4 характеризується *тривалістю вмикань у відсотках, кількістю вмикань за годину*, стандартні значення яких за ГОСТом становлять 30, 60, 120 та 240, та *коефіцієнтом інерції FI*, стандартні значення якого можуть бути: 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 4,0; 6,3 або 10.

Коефіцієнт інерції FI – це відношення суми моменту інерції ротора та приведеного до валу двигуна моменту інерції інших рухомих частин привода і робочої машини до моменту інерції ротора.

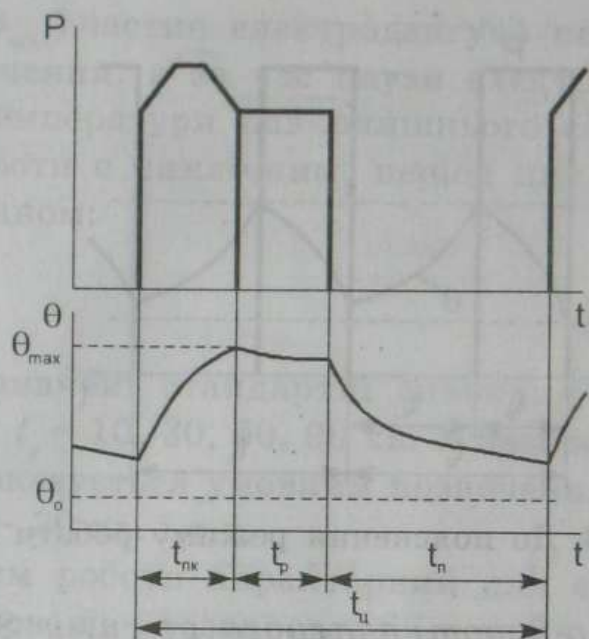


Рис. 4.4. До пояснення режиму роботи S4

В умовному позначенні такого режиму вказуються: *тривалість вмикання у відсотках, кількість вмикань за годину та коефіцієнт інерції*, наприклад: S4 – 25%, 120 вмикань за годину, FI = 2,0. Це означає, що при FI = 2,0 двигун можна вмикати не частіше, ніж 120 разів за годину. Тривалість кожного циклу становитиме 0,5 хв, із яких час пуску ($t_{нк}$) і час роботи (t_p) складають 25% (7,5 с), а час паузи (t_n) – 22,5 с.

Дійсне значення тривалості вмикання (ТВ) у цьому випадку визначається за формулою:

$$ТВ = \frac{t_{нк} + t_p}{t_{нк} + t_p + t_n} 100\%. \quad (4.4)$$

Для *повторно-короткочасного режиму S5* характерними є часті пуски та електричне гальмування, яке відбувається протягом часу t_z (рис. 4.5). Тривалість циклу роботи розраховується таким чином:

$$t_{ц} = t_{нк} + t_p + t_z + t_n. \quad (4.5)$$

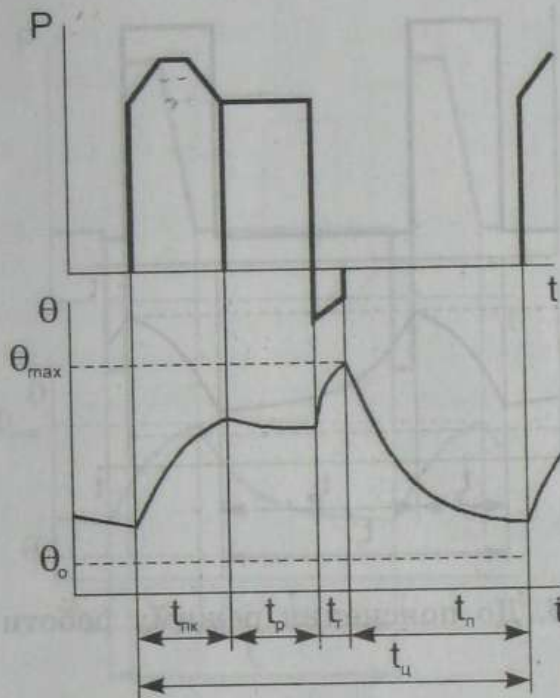


Рис. 4.5. До пояснення режиму роботи S5

Стандартними значеннями коефіцієнта інерції FI для цього режиму є такі: 1,2; 1,6; 2,0; 2,5 та 4,0.

Тривалість вмикання визначається за формулою:

$$TB = \frac{t_{нк} + t_p + t_z}{t_{нк} + t_p + t_z + t_n} 100\%. \quad (4.6)$$

Стандартна кількість вмикань за годину та сама, що й при режимі S4 (30, 60, 120 та 240).

В умовному позначенні режиму роботи S5 указують: *тривалість вмикання* у відсотках, *кількість вмикань за годину* та *коефіцієнт інерції*, наприклад: S5 – 25%, 240 вмикань за годину, FI = 2,5.

4.1.4. Переміжні режими роботи

Переміжними називають режими роботи, за яких час роботи при відповідних навантаженнях і частоті обертання чергується з відрізками часу роботи на холостому ході, або

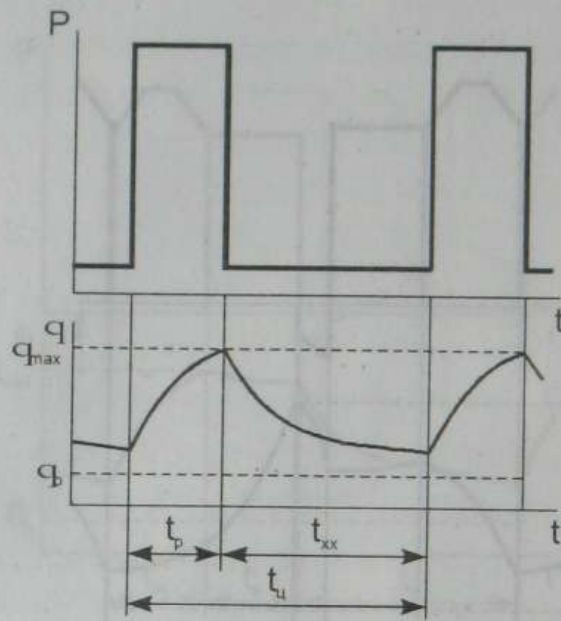


Рис. 4.6. До пояснення режиму роботи S6

реверсом з електричним гальмуванням, або роботою з іншою частотою обертання.

Однією з головних характеристик такого режиму є *тривалість роботи з незмінним навантаженням* (ТН), яка визначається у відсотках до тривалості одного циклу роботи (t_u). ГОСТом передбачені такі стандартні значення ТН усіх трьох видів переміжних режимів (S6, S7, S8): 15, 25, 40, 60%.

Для *переміжного режиму S6* (рис. 4.6) характерним є те, що час роботи (t_p) під відповідним навантаженням (P) чергується з часом роботи на холостому ході (t_{xx}), а вплив пускових струмів на процес нагрівання частин двигуна не враховується.

Тривалість циклу роботи розраховується за формулою:

$$t_u = t_p + t_{xx}. \quad (4.7)$$

ГОСТом установлене стандартне значення тривалості одного циклу $t_u = 10$ хв.

Тривалість навантаження (ТН) визначається за такою формулою:

$$ТН = \frac{t_p}{t_p + t_{xx}} 100\%. \quad (4.8)$$

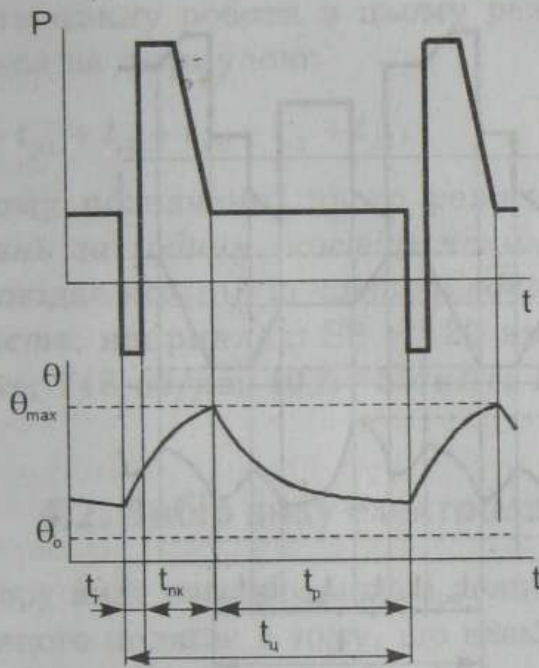


Рис. 4.7. До пояснення режиму роботи S7

В умовному позначенні режиму роботи вказується значення TH , наприклад: S6 – 25%.

Для *переміжного режиму S7* (рис. 4.7) характерна наявність у циклі роботи частих реверсів з електричним гальмуванням. Цей режим роботи враховує вплив на нагрівання двигуна пускових струмів і струмів на час реверсу.

Тривалість циклу роботи (t_u) визначається кількістю вмикань за годину, стандартними значеннями яких є: 30, 60, 120 та 240 при відповідному коефіцієнті інерції FI, стандартними значеннями якого є: 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 4,0.

Тривалість циклу роботи розраховується таким чином:

$$t_u = t_z + t_{нк} + t_p. \quad (4.9)$$

В умовному позначенні такого режиму вказуються *кількість вмикань за годину та коефіцієнт інерції*, наприклад: S7 – 60 вмикань за годину, FI – 1,6.

Для *переміжного режиму S8* (рис. 4.8) характерна наявність у циклі роботи двох і більше частот обертання електродвигуна (n_1, n_2, \dots, n_i). Цей режим має визначену послідовність зміни часу роботи (t_{p1}) з незмінним навантаженням

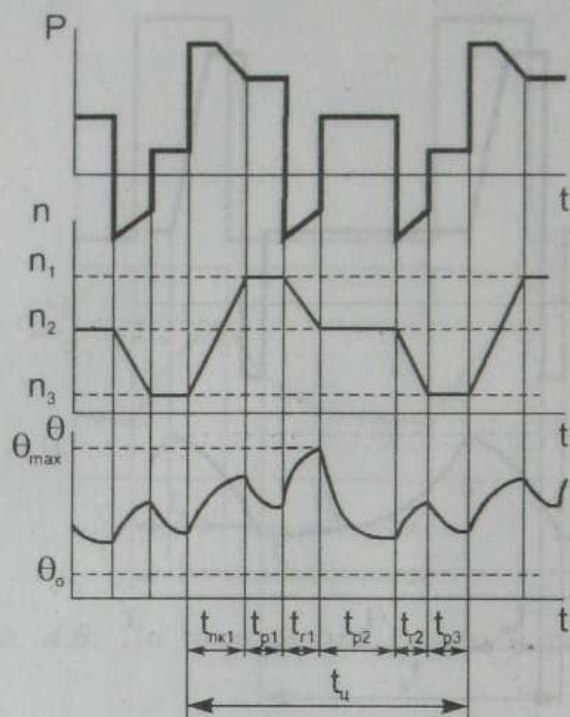


Рис. 4.8. До пояснення режиму роботи S8

на одній частоті обертання (n_1) на час роботи (t_{p2}) на іншій частоті обертання (n_2) з тим же або іншим навантаженням.

Режим роботи визначається кількістю циклів за годину (стандартні значення: 30, 60, 120, 240), коефіцієнтом інерції FI (стандартні значення: 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 4,0) і відносною тривалістю навантаження на кожній із частот обертання ($TH_1, TH_2, TH_{3...}$), які розраховуються за формулами:

$$TH_1 = \frac{t_{пуск1} + t_{p1}}{t_{пуск1} + t_{p1} + t_{z1} + t_{p2} + t_{z2} + t_{p3}} 100\%; \quad (4.10)$$

$$TH_2 = \frac{t_{z1} + t_{p2}}{t_{пуск1} + t_{p1} + t_{z1} + t_{p2} + t_{z2} + t_{p3}} 100\%; \quad (4.11)$$

$$TH_3 = \frac{t_{z2} + t_{p3}}{t_{пуск1} + t_{p1} + t_{z1} + t_{p2} + t_{z2} + t_{p3}} 100\%. \quad (4.12)$$

Тривалість циклу роботи в цьому режимі (див. рис. 4.8) розраховується за формулою:

$$t_u = t_{нк1} + t_{p1} + t_{e1} + t_{p2} + t_{e2} + t_{p3}. \quad (4.13)$$

В умовному позначенні цього режиму вказуються *кількість вмикань за годину, коефіцієнт інерції, навантаження, яке відповідає кожній із частот обертання, і його відносна тривалість*, наприклад: S8 – 120 вмикань за годину, F1 – 1,6; 22 кВт; 748 об/хв; 40%; 55 кВт; 1485 об/хв; 60%.

4.2. Вибір виду електродвигуна

В основі вибору виду електродвигуна лежить *принцип економичності*, суть якого полягає в тому, що електродвигун по можливості має бути простим за конструкцією, легким в експлуатації, надійним у роботі, дешевим, мати відносно малі вагу та габаритні розміри. Отже, дотримуючись цього принципу, електродвигуни, які використовуються в електроприводах робочих машин, можна розмістити в такій послідовності: асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, асинхронні двигуни з фазним ротором, синхронні двигуни та двигуни постійного струму.

4.2.1. Асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором

Асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором (рис. 4.9) набули найбільшого поширення в електроприводах робочих машин. Доцільним є їх використання в складі такого електропривода, де:

- не потрібне регулювання швидкості в процесі роботи;
- допустиме незначне (як правило, не більше 10%) зниження швидкості при зміні навантаження від нуля до номінального значення;
- пуски здійснюються не часто;
- момент опору на час запуску електропривода значно менший від його значення при номінальному навантаженні;
- номінальна потужність не перевищує 400 кВт для низьковольтних двигунів або 8000 кВт для високовольтних двигунів.

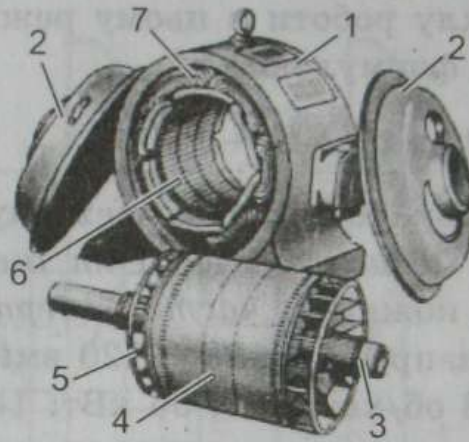


Рис. 4.9. Асинхронний двигун із короткозамкненим ротором:
 1 – станина; 2 – підшипникові щити; 3 – вал; 4 – осердя ротора;
 5 – обмотка ротора; 6 – осердя статора; 7 – обмотка статора

До переваг асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором можна віднести такі якості:

1. Простота конструкції та експлуатації. Як правило, обслуговування таких електродвигунів полягає лише в періодичній заміні мастила в підшипникових щитах.
2. Надійність у роботі та відносна простота ремонту. Ці електродвигуни не мають ковзного електричного контакту – основного елемента, що знижує надійність інших видів електродвигунів. Заміна обмотки статора, найменш надійного елемента цього електродвигуна, є відносно нескладною операцією.
3. Відносно малі вага, габаритні розміри та вартість.
4. Можливість прямого пуску. Цей вид пуску є найпростішим, оскільки відбувається при номінальній напрузі та потребує мінімуму пускорегулюючої апаратури.

До недоліків асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором можна віднести такі характеристики:

1. Великі пускові струми (I_n). При прямому пуску і номінальному навантаженні вони можуть досягати $(5 \div 7) I_{ном}$.
2. Малі значення пускових (M_n) та мінімальних ($M_{мін}$) по відношенню до номінальних моментів ($M_{ном}$). Для значної частини електродвигунів $M_n/M_{ном} = 1 \div 1,2$, що усклад-

нює чи навіть унеможливилює запуск електродвигуна при номінальному навантаженні.

3. *Складність регулювання швидкості.* Незважаючи на те що швидкість асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором теоретично можна регулювати з допомогою трьох параметрів (частота напруги живлення, кількість пар полюсів і ковзання), на практиці її регулювання потребує або дорогого обладнання (наприклад, тиристорного перетворювача частоти для зміни частоти), або спеціального конструктивного виконання асинхронного двигуна (наприклад, багатошвидкісні двигуни, у яких можна змінювати кількість пар полюсів), або взагалі є неефективним (наприклад, зміною величини напруги живлення змінювати величину ковзання).

В електроприводах робочих машин найбільше часто застосовуються асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором серій 4А, 4АМ та АИ, що мають такі *граничні номінальні параметри*:

- номінальна потужність:
 - при напругах 220, 380, 660 В від 0,025 до 400 кВт;
 - при напругах 6,10 кВ від 500 до 8000 кВт.
- синхронні частоти обертання: 500, 600, 750, 1000, 1500, 3000 об/хв.

Технічні дані деяких асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором серії 4А наведені в додатках Б, В, Г, а більш повна інформація – у [1, 21].

4.2.2. Асинхронні двигуни з фазним ротором

Асинхронні двигуни з фазним ротором (рис. 4.10) найбільш доцільно використовувати в складі такого електропривода, де:

- потрібно в широкому діапазоні регулювати швидкість робочого органа (як правило, від нуля до номінального значення);
- характерні важкі пуски та електричні гальмування;
- є обмеження на допустимі значення пускових струмів.

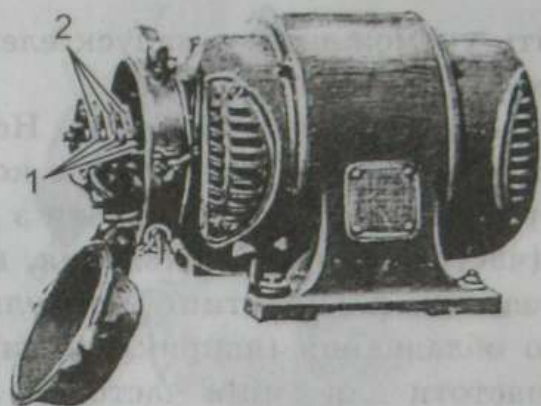


Рис. 4.10. Асинхронний двигун із фазним ротором (кришка захисного кожуха знята):
1 – кільця; 2 – щітки

До переваг асинхронних двигунів із фазним ротором порівняно з асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором можна віднести:

1. Можливість *частих пусків* при номінальному навантаженні.
2. Значно менші *пускові струми* (як правило, $(2\text{--}2,5) I_{ном}$).
3. Можливість *регулювати пусковий момент* в широкому діапазоні (як правило, від 0 до M_{max}).
4. Можливість *регулювати частоту обертання* в широкому діапазоні (як правило, від 0 до $n_{ном}$).

До *недоліків* асинхронних двигунів із фазним ротором, порівняно з асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором можна віднести:

1. Збільшення *втрат*, які мають місце в пускових реостатах, включених в коло обмотки ротора.
2. Збільшення *габаритів, маси та вартості*.
3. Зниження *надійності у роботі*, у першу чергу через наявність ковзного електричного контакту «контактні кільця – щітки».
4. Більш *складне обслуговування* в процесі експлуатації.

В електроприводах робочих машин найчастіше використовуються асинхронні двигуни серії 4А з фазним ротором (4АК та 4АНК), що мають такі *граничні номінальні параметри*:

- номінальна потужність: від 5,5 до 400 кВт при напругах 220, 380, 660 В;
- синхронні частоти обертання: 500, 600, 750, 1000, 1500 об./хв.

Технічні дані деяких асинхронних двигунів серії 4А з фазним ротором наведені в додатку Д, а більш повна інформація – у [1, 21, 22].

4.2.3. Синхронні двигуни

Синхронні двигуни (рис. 4.11) найбільш доцільно використовувати в складі такого електропривода, де:

- потрібна стабільна частота обертання при зміні навантаження від 0 до $M_{ном}$;
- пуски здійснюються дуже рідко;
- потужність електродвигунового пристрою велика (як правило, не менш ніж 250 кВт, але технічно і економічно обґрунтованою нижньою межею номінальної потужності є 500÷600 кВт).

До переваг синхронних двигунів можна віднести такі властивості:

- 1) стабільна частота обертання у всьому діапазоні допустимих навантажень;
- 2) високий коефіцієнт потужності;
- 3) високий коефіцієнт корисної дії.

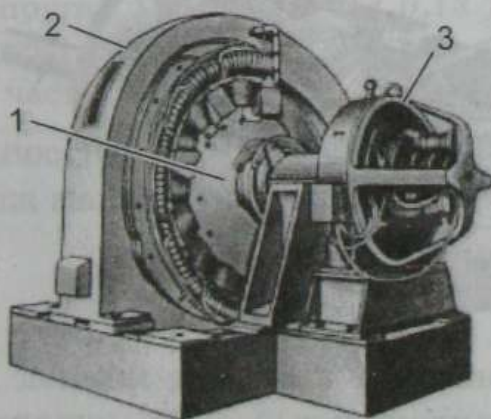


Рис. 4.11. Синхронний двигун:
1 – ротор; 2 – статор; 3 – збудник

Недоліками синхронних двигунів є:

- 1) необхідність двох джерел живлення (постійного та змінного струмів);
- 2) збільшення габаритів, маси і вартості;
- 3) складність процесу запуску та обслуговування в процесі експлуатації.

В електроприводах робочих машин найбільш часто застосовуються синхронні двигуни серій СДН, СДНЗ, СДК, СДКП, СДКМ та ін., що мають такі *граничні номінальні параметри*:

- номінальна потужність:
 - при напругах 220, 380, 660 В від 5,5 до 400 кВт;
 - при напругах 6, 10 кВ від 315 до 31 500 кВт
- синхронні частоти обертання: 250, 300, 375, 500, 600, 750, 1000, 1500, 3000 об/хв.

Технічні дані деяких синхронних двигунів наведені в додатку Е, а більш повна інформація – у [21; 22].

4.2.4. Двигуни постійного струму

Двигуни постійного струму (рис. 4.12) використовуються переважно в електроприводах тих робочих машин, де потрібне глибоке регулювання частоти обертання.

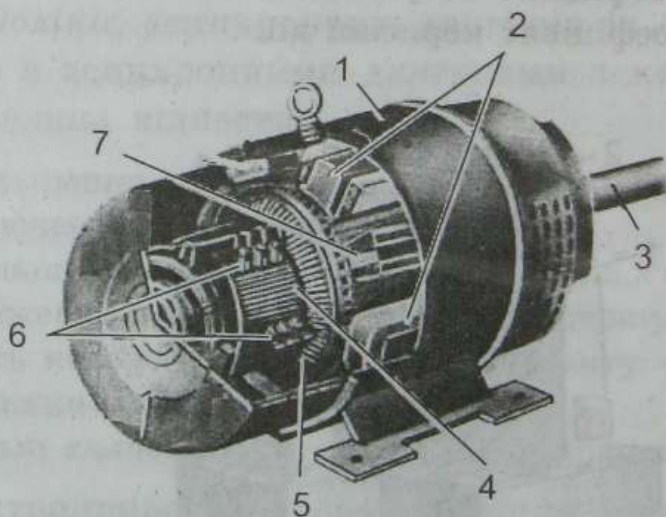


Рис. 4.12. Двигун постійного струму:

- 1 – станина; 2 – головні полюси; 3 – вал; 4 – колектор;
5 – обмотка якоря; 6 – щітки; 7 – допоміжні полюси

До переваг двигунів постійного струму можна віднести наявність:

- 1) широкого діапазону регулювання частоти обертання (від 0 до $n_{ном}$ і вище до n_{max});
- 2) трьох порівняно простих і надійних способів регулювання частоти обертання: зміною напруги на обмотці якоря, струму збудження та додаткового опору в колі обмотки якоря;
- 3) великих значень пускових моментів;
- 4) можливості забезпечення плавного пуску та електричного гальмування;
- 5) більшої, ніж для машин змінного струму, переважувальної здатності.

До недоліків двигунів постійного струму можна віднести такі властивості:

- 1) значно більші, ніж у машинах змінного струму, габарити, маса та вартість;
- 2) жорсткі вимоги стосовно правил запуску;
- 3) великі експлуатаційні витрати;
- 4) відносно низька надійність у роботі;
- 5) низький ККД.

В електроприводах робочих машин здебільшого використовуються двигуни постійного струму серій 2П та 4П, що мають такі граничні номінальні параметри:

- номінальна потужність:
 - при напругах 110, 220 В від 0,13 до 220 кВт;
 - при напругах 440, 600 В від 110 до 800 кВт.
- номінальні частоти обертання: від 224 до 3150 об/хв.

Для двигунів постійного струму до нормованих параметрів відносять також максимальну частоту обертання, яка звичайно складає:

$$n_{max} = (2 \div 2,5) n_{ном}$$

Технічні дані деяких двигунів постійного струму серії 2П наведені в додатку Ж, а більш повна інформація – у [21; 22].

4.3. Вибір номінальної напруги

Від напруги живлення залежить величина струму, що споживається електродвигуном. Зі збільшенням напруги, як правило, пропорційно зменшується сила струму при незмінній потужності, а це дозволяє зменшити витрати міді на виготовлення обмоток двигуна та зменшити переріз провідників, по яких здійснюється його живлення.

В електродвигунах змінного струму величини номінального та максимального моментів знаходяться у квадратичній залежності від напруги. Тому збільшення номінальної напруги живлення дає суттєве зростання моменту і, як наслідок, підвищення швидкодії та перевантажувальної спроможності електродвигуна.

З урахуванням цих факторів, а також завдяки використанню нових ізоляційних матеріалів сучасні зразки *електродвигунів малої та середньої потужностей*, які використовуються в електроприводах робочих машин, розраховані переважно на більші номінальні значення напруги. Так, в електроприводах постійного струму частіше використовуються двигуни з номінальною напругою 440, 600 та 750 В, а не 110, 220 В, як раніше. В електроприводах змінного струму все частіше використовуються двигуни з номінальною напругою 380/660 В, а не 220/380 В.

Таке підвищення напруги живлення дещо збільшує небезпеку для обслуговуючого персоналу, але використання якісних ізоляційних матеріалів та надійних систем захисту робить цю проблему несуттєвою для електродвигунів з напругою живлення до 1000 В.

Для електропроводів, у яких використовуються *електродвигуни великої потужності*, при вирішенні проблеми вибору напруги живлення постає питання вибору низьковольтного (до 1000 В) чи високовольтного (вище 1000 В) електродвигуна. Промисловість випускає електродвигуни змінного струму на напруги 6 та 10 кВ. Використання високовольтних двигунів, з одного боку, дає істотні переваги, обумовлені зменшенням струму та збільшенням моменту, але з іншого

– зростає небезпека для обслуговуючого персоналу, який повинен мати спеціальну підготовку та відповідну групу допуску, а також потребує спеціальних високовольтних апаратів управління та захисту, які коштують значно більше, ніж низьковольтні.

4.4. Вибір номінальної швидкості

При виборі номінальної швидкості необхідно враховувати два суперечливі фактори:

1. Електродвигуни з більшою номінальною швидкістю мають менші габарити, масу та вартість. Як видно із табл. 4.1, асинхронні електродвигуни серії 4А з однаковою потужністю $P = 45$ кВт, але різними значеннями синхронних швидкостей мають суттєву різницю масогабаритних параметрів. Інші види електродвигунів мають співвідношення того ж порядку між номінальною швидкістю та масогабаритними параметрами.

2. Більшість робочих машин мають малі значення номінальних швидкостей виконуючих органів. Тому при виборі компактних високошвидкісних двигунів необхідно використовувати в складі електропривода передавальні пристрої, що значно зменшує переваги використання таких двигунів.

Таблиця 4.1. Співвідношення масогабаритних параметрів асинхронних електродвигунів серії 4А

Типорозмір	Синхронна швидкість, об/хв	Довжина, мм	Висота, мм	Діаметр станини, мм	Маса, кг
4A200L2Y3	3000	800	535	450	280
4A200L4Y3	1500	830	535	450	310
4A250S6Y3	1000	915	640	554	490
4A250M8Y3	750	955	640	554	535
4A280M10Y3	600	1210	722	660	835
4A315S12Y3	500	1255	765	690	875

Часто оптимальним рішенням при виборі електродвигуна є той випадок, коли номінальні швидкості виконуючого органа робочої машини і електродвигуна однакові. Якщо ж ця умова не виконується, то вихід знаходять у раціональному співвідношенні маси, габаритів, вартості та надійності роботи двох складових частин електропривода електродвигуна та передавального пристрою. Для цього здійснюють техніко-економічну оцінку декількох можливих варіантів і вибирають кращий.

4.5. Вибір за конструктивним виконанням

При виборі електродвигуна за *конструктивним виконанням* ураховують такі основні фактори: вплив кліматичних факторів навколишнього середовища, у якому експлуатується двигун; ступінь захисту; виконання двигуна за способом монтажу.

4.5.1. Вплив кліматичних факторів навколишнього середовища

Для електродвигунів, залежно від їх *кліматичного виконання*, використовують такі позначення: У – для макрокліматичних районів з помірним кліматом, УХЛ – з холодним кліматом, Т – з тропічним кліматом, О – для всіх макрокліматичних районів на суходолі, М – з помірним холодним морським кліматом, ОМ – для необмеженого району плавання.

Крім кліматичних умов також враховується *категорія розміщення* електродвигуна, яка позначається цифрою від 1 до 5. Умовні позначення категорії розміщення електричних машин для експлуатації такі: 1 – на відкритому повітрі; 2 – на відкритому повітрі або в приміщенні, де коливання температури і вологості повітря несуттєво відрізняються від коливання на відкритому повітрі (відсутня пряма дія сонячної радіації та атмосферних опадів), 3 – у закритому приміщенні з природною вентиляцією без штучного регу-

лювання кліматичних умов, 4 – у приміщеннях із штучним регулюванням кліматичних умов (закриті приміщення з опаленням та ін.), 5 – приміщення з підвищеною вологістю (приміщення без опалення і вентиляції).

У літерно-цифровому позначенні типорозміру електродвигуна (наприклад, 4А315М4У3) на передостанньому місці пропонується літера, що означає кліматичне виконання («У»), а на останньому – цифра, що означає категорію розміщення («3»).

4.5.2. Ступінь захисту

Під поняттям *ступінь захисту електродвигуна* розуміють захист обслуговуючого персоналу від дотикання до частин, які знаходяться під напругою, або до частин, які обертаються, а також захист від попадання всередину двигуна твердих частинок і води.

Згідно з ГОСТом, літерно-цифрове позначення ступеня захисту складається з латинських літер *IP* та двох цифр. *Перша цифра* характеризує ступінь захисту обслуговуючого персоналу від дотикання до частин, які знаходяться під напругою, або до частин, які обертаються, а також ступінь захисту від попадання всередину машини твердих сторонніх тіл, а *друга цифра* – ступінь захисту від проникнення води всередину машини. Встановлено стандартні значення ступенів захисту (табл. 4.2, 4.3 та 4.4).

Наведемо кілька рекомендацій щодо вибору електродвигунів за ступенем захисту. Електродвигуни, які встановлюються в приміщенні з нормальним середовищем, повинні мати виконання IP00 або IP20. Якщо двигун експлуатується на відкритому повітрі, то він повинен мати ступінь захисту не нижче IP44. При роботі двигуна в приміщенні з хімічно активними парами чи газами, що порушують природне охолодження, ступінь захисту не може бути нижчим IP44. Електродвигуни, які працюють в сирих або особливо сирих приміщеннях, повинні мати ступінь захисту не менше IP43.

Таблиця 4.2. Ступені захисту обслуговуючого персоналу від зіткнення зі струмоведучими частинами і частинами електротехнічних виробів, що обертаються, та від проникнення твердих тіл усередину корпуса

Перша цифра умовного позначення	Ступінь захисту
0	Спеціальний захист відсутній
1	Захист від проникнення всередину оболонки великої ділянки поверхні людського тіла, наприклад руки, і від проникнення твердих тіл розміром понад 50 мм
2	Захист від проникнення всередину оболонки пальців або предметів довжиною не більше 80 мм і від проникнення твердих тіл розміром понад 12 мм
3	Захист від проникнення всередину оболонки інструментів, дроту чи інших предметів діаметром або товщиною більше 2,5 мм і від проникнення твердих тіл розміром більше 1,0 мм
4	Захист від проникнення всередину оболонки дроту і від проникнення твердих тіл розміром більше 1,0 мм
5	Проникнення всередину оболонки пилу не відвернено повністю. Однак пил не може проникати в кількості, достатній для порушення роботи виробу
6	Проникнення пилу відвернене повністю

Таблиця 4.3. Ступені захисту електродвигунів від проникнення води

Друга цифра умовного позначення	Ступінь захисту
1	2
1	Захист від крапель води: краплі води, що вертикально падають на оболонку, не повинні чинити шкідливий вплив на виріб
2	Захист від крапель води при нахилі оболонки до 15°: краплі води, що вертикально падають на оболонку, не повинні чинити шкідливий вплив на вироби при нахилі його оболонки на будь-який кут до 15° щодо нормального положення
3	Захист від дощу: дощ, що падає на оболонку під кутом 60° від вертикалі, не повинен чинити шкідливий вплив на виріб
4	Захист від бризок: вода, що розприскується на оболонку в будь-якому напрямку, не повинна чинити шкідливий вплив на виріб

Продовження таблиці 4.3

1	2
5	Захист від водяних струменів: струмінь води, що викидається в будь-якому напрямку на оболонку, не повинен спричиняти шкідливий вплив на виріб
6	Захист від хвиль води: вода при хвилюванні не повинна попадати всередину оболонки в кількості, достатній для ушкодження виробу
7	Захист при зануренні у воду: вода не повинна проникати в оболонку, занурену у воду, за певних умов тиску і часу в кількості, достатній для ушкодження виробу
8	Захист при тривалому зануренні у воду: вироби придатні для тривалого занурення у воду за умов, визначених виробником

Таблиця 4.4. Ступені захисту електричних машин

Ступінь захисту персоналу від дотикання і попадання сторонніх тіл	Ступінь захисту від проникнення води									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
0	IP00	IP01	-	-	-	-	-	-	-	-
1	IP10	IP11	IP12	IP13	-	-	-	-	-	-
2	IP20	IP21	IP22	IP23	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	IP43	IP44	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	IP54	IP55	IP56	IP57	IP58	

4.5.3. Спосіб монтажу

При виборі електродвигуна за способом монтажу необхідно враховувати:

- *робоче положення*: горизонтальне, вертикальне, похиле;
- *спосіб кріплення*: на лапах, фланцем, вмонтований, до фундаменту чи до робочого механізму та ін.;
- *виконання вихідного кінця валу*: без кінця валу, із циліндричним, конічним чи фланцевим кінцем валу; з одним чи двома кінцями валу та ін.

4.6. Вибір електродвигуна за потужністю

Завдання вибору електродвигуна за потужністю є дуже важливим, оскільки від правильності вибору за цим параметром значною мірою залежать надійність роботи всього електроприводу і його енергетичні показники в процесі експлуатації.

Вибір електродвигуна *із завищеною потужністю* спричинює неповне використання технічних можливостей двигуна. У такому разі ККД двигуна знижується. У машинах змінного струму знижується також коефіцієнт потужності. Враховуючи те, що двигуни більшої потужності мають більші масогабаритні параметри і коштують дорожче, використання електродвигунів із завищеною потужністю є економічно недоцільним.

Вибір двигуна *із заниженою потужністю* призводить до його перевантаження, яке проявляється в недопустимих збільшеннях струму в його обмотках, втраті потужності; наслідком цього є зростання температури складових частин двигуна (у першу чергу, ізоляції обмоток) вище допустимих значень. Останнє спричинює зниження електричної міцності ізоляції та електричні пробої. Тому одним із *головних критеріїв* вибору електродвигуна за потужністю є *температура його обмоток*.

Завдання вибору електродвигуна ускладнюється ще й тим, що як величина, так і характер його навантаження в процесі роботи в складі електроприводу, як правило, не є постійними. Дуже часто в процесі експлуатації двигун може працювати в різних режимах роботи, тому тут завдання полягає в тому, щоб вибрати найбільш характерний і найважчий із цих режимів.

Одним із найважливіших питань при вирішенні цього завдання є *розрахунок потрібної потужності електродвигуна*.

Для електропривода зі змінним навантаженням для цього будують *діаграми навантаження* – графічне зображення зміни одного з трьох параметрів: струму, моменту або потужності в часі протягом циклу роботи електропривода. На основі діаграм навантаження визначаються характер і величина втрат і, головне, температурний режим обмотки електродвигуна.

За отриманими значеннями потрібної потужності, з урахуванням усіх розглянутих факторів, вибирається такий електродвигун, температура ізоляції обмоток якого не перевищує допустимих значень. Ця умова є головною і обов'язковою для забезпечення надійної роботи електродвигуна і всього електропривода.

4.6.1. Методи розрахунку необхідної потужності електродвигуна

При розрахунку необхідної потужності електродвигуна для електропривода, що працює зі змінними навантаженнями, найбільш поширеними є два методи: метод середніх втрат і метод еквівалентних величин.

При використанні *методу середніх втрат* з урахуванням діаграм навантаження розраховують величину середніх втрат для попередньо вибраного електродвигуна:

$$\Delta P_{cp} = \frac{\Delta P_1 t_1 + \Delta P_2 t_2 + \dots + \Delta P_n t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}, \quad (4.14)$$

де $\Delta P_1, \Delta P_2, \dots, \Delta P_n$ – потужності втрат попередньо вибраного електродвигуна на кожному з інтервалів навантаження; t_1, t_2, \dots, t_n – тривалість роботи на кожному з інтервалів навантаження.

Умова правильного вибору електродвигуна:

$$\Delta P_{cp} \leq \Delta P_{ном}, \quad (4.15)$$

де $\Delta P_{ном}$ – номінальні втрати попередньо вибраного електродвигуна.

Цей метод не набув широкого застосування при розрахунку потужності електродвигуна для електропривода робочих машин з таких причин:

- по суті, це метод перевірки, а не метод вибору потужності електродвигуна;
- часто він є трудомістким, оскільки для остаточного вибору електродвигуна потребує, як правило, розгляду кількох варіантів попередньо вибраних електродвигунів.

Значно частіше застосовується метод еквівалентних величин.

Під еквівалентними величинами до умов нагрівання розуміють такі умовно постійні значення потужності P , моменту M або струму I , які відповідають втратам при постійному навантаженні, що дорівнюють втратам при роботі двигуна при реальному змінному навантаженні. Іншими словами, реальне змінне навантаження двигуна умовно замінюють на постійне за умови, що втрати в першому і в другому випадку є однаковими.

У загальному вигляді зв'язок між еквівалентними та реальними величинами при ступеневому графіку визначається рівняннями:

$$P_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 t_i}{t_u}}; \quad (4.16)$$

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{\sum M_i^2 t_i}{t_u}}; \quad (4.17)$$

$$I_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{\sum I_i^2 t_i}{t_u}}; \quad (4.18)$$

де $P_{\text{екв}}$, $M_{\text{екв}}$, $I_{\text{екв}}$ – еквівалентні значення відповідно потужності, моменту та струму P_i ; M_i , I_i – значення відповідно потужності, моменту та струму на i -му ступені навантаження; t_i – тривалість i -го ступеня навантаження.

Вибір однієї з трьох еквівалентних величин, а відповідно і формули для її розрахунку, залежить від того, яка з діаграм навантаження електропривода відома: $P(t)$, $M(t)$ чи $I(t)$.

Умовами правильного вибору щодо електродвигуна є такі:

$$P_{\text{екв}} \leq P_{\text{ном}}; I_{\text{екв}} \leq I_{\text{ном}}; M_{\text{екв}} \leq M_{\text{ном}}, \quad (4.19)$$

де $P_{\text{ном}}$, $I_{\text{ном}}$, $M_{\text{ном}}$ – номінальні значення відповідно потужності, моменту та струму головного кола електродвигуна при його роботі в номінальному режимі.

4.6.2. Вибір електродвигуна і перевірка правильності вибору при роботі в режимі S1

Вважають, що електродвигун у складі електропривода працює в режимі S1, якщо тривалість роботи його під навантаженням перевищує $(3-4) T_n$, де T_n – постійна часу нагрівання електродвигуна. При цьому навантаження може бути або постійним, або ж циклічно змінюватися за умови $t_u > 10$ хв.

При *постійному навантаженні* протягом усього часу роботи електродвигун вибирають за умови:

$$M_c \leq M_{ном}, P_c \leq P_{ном}, \quad (4.20)$$

де M_c, P_c – момент і потужність постійного навантаження, $M_{ном}, P_{ном}$ – номінальні значення моменту і потужності електродвигуна в режимі S1.

Після вибору електродвигуна за каталогом виконується *перевірка в умовах пуску*:

$$M_n > M_{с.п} \quad \text{або} \quad P_n > P_{с.п}, \quad (4.21)$$

де M_n, P_n – пускові момент і потужність електродвигуна; $M_{с.п}, P_{с.п}$ – пускові момент і потужність навантаження від робочої машини.

Оскільки в довідниковій літературі, як правило, не наводяться значення пускових моментів двигунів, а даються значення допустимих коефіцієнтів пуску k_n , то при виконанні перевірки в умовах пуску доцільно нерівність (4.21) подати в такому вигляді:

$$k_n \geq k'_n, \quad (4.22)$$

де $k_n = M_n/M_{ном} \approx P_n/P_{ном}$ – допустимий коефіцієнт пуску електродвигуна; $k'_n = M_{с.п}/M_{ном} \approx P_{с.п}/P_{ном}$ – дійсний коефіцієнт пуску електродвигуна.

При *змінному навантаженні* (рис. 4.13) визначальною ознакою належності до режиму S1, крім $t_u > 10$ хв, є те, що температура електродвигуна за час циклу роботи досягає сталого значення.

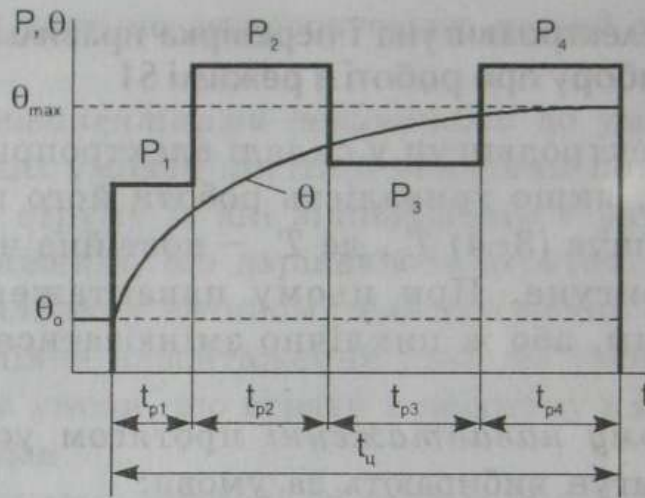


Рис. 4.13. До пояснення роботи електродвигуна в режимі S1 при змінному навантаженні

Еквівалентна потужність розраховується за формулою:

$$P_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_{p1} + P_2^2 t_{p2} + \dots + P_n^2 t_{pn}}{t_{p1} + t_{p2} + \dots + t_{pn}}}, \quad (4.23)$$

де P_1, P_2, \dots, P_n – потужності на кожному з інтервалів навантаження; $t_{p1}, t_{p2}, \dots, t_{pn}$ – тривалість роботи на кожному з інтервалів навантаження.

Вибір електродвигуна виконується за каталогом для двигунів, призначених для роботи в режимі S1 (додаток Б), за умови:

$$P_{\text{екв}} \leq P_{\text{ном}}. \quad (4.24)$$

Після цього виконуються дві перевірки правильності вибору:

- 1) перевірка в умовах пуску. При цьому використовують формулу (4.21) або (4.22);
- 2) перевірка перевантажувальної здатності. При цьому використовують формулу:

$$M_{\text{max}} > M_{\text{с,мах}} \text{ або } P_{\text{max}} > P_{\text{с,мах}}, \quad (4.25)$$

де $M_{\text{max}}, P_{\text{max}}$ – максимальні (критичні) значення відповідно моменту і потужності двигуна; $M_{\text{с,мах}}, P_{\text{с,мах}}$ – найбільші значення відповідно моменту і потужності навантаження, що визначаються за діаграмою навантаження.

Оскільки в довідниковій літературі, як правило, не наводяться значення максимальних моментів і потужностей двигунів, а даються значення допустимих коефіцієнтів максимуму k_{max} , то при виконанні перевірки перевантажувальної здатності доцільно вираз (4.25) представити в такому вигляді:

$$k_{max} \geq k'_{max}, \quad (4.26)$$

де $k_{max} = M_{max}/M_{ном} = P_{max}/P_{ном}$ - допустимий коефіцієнт максимуму двигуна; $k'_{max} = M_{с.мах}/M_{ном} = P_{с.мах}/P_{ном}$ - дійсний коефіцієнт максимуму двигуна.

4.6.3. Вибір електродвигуна і перевірка правильності вибору при роботі в режимі S2

При виборі двигуна для роботи в режимі S2 також можливі два випадки: робота з постійним і змінним навантаженням за час циклу.

При *постійному навантаженні* двигун вибирають за умовою (4.20). За діаграмою навантаження визначають дійсний час роботи (t_p) двигуна за один цикл і за каталогом вибирають двигун із рівним або найближчим більшим стандартним значенням часу роботи ($t_{p.ст.}$ дорівнює 10, 30, 60 чи 90 хв), тобто за умовою:

$$t_p \leq (t_{p.ст.}). \quad (4.27)$$

При *змінному навантаженні* двигуна розраховуються еквівалентні величини, які приводяться до одного зі стандартних значень тривалості часу. При цьому використовують формули:

$$P_{екв.ст} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 t_i}{t_{p.ст}}} \leq P_{ном.ст}; \quad (4.28)$$

$$M_{екв.ст} = \sqrt{\frac{\sum M_i^2 t_i}{t_{p.ст}}} \leq M_{ном.ст}, \quad (4.29)$$

де $M_{екв.ст.}$, $P_{екв.ст.}$ – еквівалентні значення моменту і потужності навантаження, приведені до стандартного значення часу роботи $t_{р.ст.}$; $M_{ном.ст.}$, $P_{ном.ст.}$ – номінальні значення моменту і потужності двигуна, що відповідають стандартному значенню часу роботи $t_{р.ст.}$.

Двигун вибирають за каталогом для режиму S2 і потім виконують перевірку в умовах пуску, враховуючи вимогу (4.21) або (4.22), і за перевантажувальною здатністю, враховуючи вимогу (4.25) або (4.26).

4.6.4. Вибір електродвигуна і перевірка правильності вибору при роботі в режимі S3

При виборі електродвигуна в режимі S3 рекомендується дотримуватись такої послідовності:

- за діаграмою навантаження визначається дійсне значення тривалості циклу $t_u \leq 10$ хв;
- розраховується дійсна тривалість вмикання (ТВ) за формулою (4.2);
- розраховується еквівалентна величина моменту або потужності, приведена до найближчого рівного або більшого стандартного значення $TB_{ст.}$ (15, 25, 40, 60%):

$$P_{екв.ТВст.} = \sqrt{\frac{TB \sum P_i^2 t_{pi}}{TB_{ст.} \sum t_{pi}}}; \quad (4.30)$$

$$M_{екв.ТВст.} = \sqrt{\frac{TB \sum M_i^2 t_{pi}}{TB_{ст.} \sum t_{pi}}}; \quad (4.31)$$

- за каталогом для двигунів, призначених для роботи в режимі роботи S3 (додаток В), вибирається електродвигун за умови:

$$P_{екв.ТВст.} \leq P_{ном.ТВст.}, \quad (4.32)$$

де $P_{ном.ТВст.}$ – номінальне значення потужності двигуна, з відповідним стандартним значенням ТВ. Якщо дійсне значення ТВ перевищує 60%, то вибирається двигун, призначений для роботи в режимі S1;

- вибраний двигун перевіряється в умовах пуску – за формулою (4.21) або (4.22), і за перевантажувальною здатністю за виразами (4.25) або (4.26).

4.6.5. Вибір електродвигуна і перевірка правильності вибору при роботі в режимах S4 – S8

При виборі електродвигуна для режимів роботи S4 – S8 слід брати до уваги, що значну частину сумарних втрат складають втрати під час перехідних процесів, точно врахувати які можна лише для конкретного двигуна. Тому рекомендується вибір електродвигуна проводити в такій послідовності:

- 1) за діаграмою статичних навантажень визначаються еквівалентні величини – момент або потужність, як для режиму S3;
- 2) отримані значення моменту перемножують на коефіцієнт запасу, який враховує додаткові втрати в перехідних режимах, і за каталогом для двигунів із режимом S3 (додаток В) вибирають електродвигун;
- 3) для вибраного електродвигуна будується уточнена діаграма навантаження, за якою виконуються уточнені розрахунки;
- 4) за уточненим значенням еквівалентних величин згідно з нерівністю (4.32) за каталогом для електродвигунів, що призначені для роботи в режимі S3 (додаток В), вибирається необхідний двигун;
- 5) вибраний двигун перевіряється в умовах пуску за формулами (4.21) або (4.22), і за перевантажувальною здатністю за нерівностями (4.25) або (4.26).

Задача. Для електропривода робочої машини, графік навантаження якої наведено на рис. 4.14, а вихідні параметри (для двох варіантів) – у табл. 4.5, виконати такі завдання:

1. Обґрунтувати вибір виду електродвигуна.
2. Обґрунтувати вибір номінальної/синхронної швидкості електродвигуна.
3. Провести розрахунок необхідної потужності електродвигуна.
4. Вибрати необхідний електродвигун.
5. Зробити перевірки правильності вибору електродвигуна.

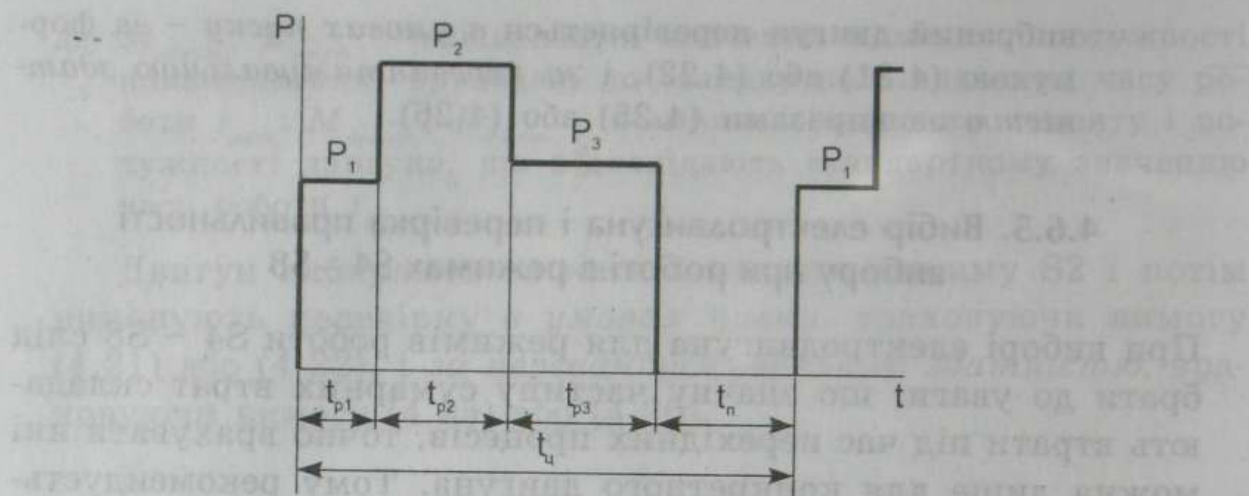


Рис. 4.14. Графік навантаження

Таблиця 4.5. Вихідні параметри для розрахунку

Варіант	Потужність, кВт			Час, хв				Режим роботи	Регулювання частоти обертання	
	P_1	P_2	P_3	t_1	t_2	t_3	t_4		діапазон, об/хв	характер
1	12	340	15	5	10	35	68	S1	1475	не потрібно
2	24	25	10	2	4	4	20	S3, ПВ20%	810	не потрібно

Рішення

Варіант 1

1. Обґрунтування вибору виду електродвигуна.

За умовою задачі регулювати швидкість немає потреби, тому вибираємо асинхронний двигун із короткозамкненим ротором основного виконання – як найбільш простий, надійний і дешевий з усіх видів електродвигунів.

2. Обґрунтування вибору номінальної (синхронної) швидкості електродвигуна.

З метою можливого вилучення зі складу електропривода передавального пристрою вибираємо електродвигун із синхронною частотою обертання 1500 об/хв – найближчою до заданого значення частоти обертання 1475 об/хв.

3. Розрахунок необхідної потужності електродвигуна.

Розрахунок необхідної потужності електродвигуна виконуємо методом еквівалентних величин за формулою (4.23).

Еквівалентне значення потужності:

$$P_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_{p1} + P_2^2 t_{p2} + P_3^2 t_{p3}}{t_{p1} + t_{p2} + t_{p3}}} =$$
$$= \sqrt{\frac{12^2 \cdot 5 + 340^2 \cdot 10 + 15^2 \cdot 35}{5 + 10 + 35}} \approx 153 \text{ кВт.}$$

4. Вибір необхідного електродвигуна.

4.1. Згідно з додатком Б і за умови $P_{\text{екв}} \leq P_{\text{ном}}$ попередньо вибираємо електродвигун, основні параметри якого наведені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6. Номінальні параметри електродвигуна

Типорозмір двигуна	$P_{\text{ном}}$, кВт	$n_{2\text{ном}}$, об/хв	ККД, %	k_{max}	k_n
4A315S4У3	160	1470	93,5	1,9	1

5. Перевірка правильності вибору електродвигуна.

5.1. Перевірка правильності вибору електродвигуна в умовах пуску.

5.1.1. Дійсний коефіцієнт пуску електродвигуна:

$$k'_n = P_1 / P_{\text{ном}} = 12 / 160 = 0,08.$$

5.1.2. Аналіз правильності вибору електродвигуна в умовах пуску.

Умова $k_n > k'_n$ ($1 > 0,08$) виконується.

5.2. Перевірка правильності вибору електродвигуна за перевантажувальною здатністю.

5.2.1. Дійсний коефіцієнт максимуму двигуна:

$$k'_{\text{max}} = P_2 / P_{\text{ном}} = 340 / 160 = 2,1.$$

5.2.2. Аналіз правильності вибору електродвигуна за перевантажувальною здатністю.

Умова $k_{\text{max}} > k'_{\text{max}}$ ($1,9 < 2,1$) не виконується.

За додатком Б вибираємо електродвигун більшої потужності, основні параметри якого наведені в табл. 4.7.

Таблиця 4.7. Номінальні параметри електродвигуна

Типорозмір двигуна	$P_{ном}$, кВт	$n_{2ном}$, об/хв	ККД, %	k_{max}	k_n
4A315S4Y3	200	1475	94	1,9	1

Дійсний коефіцієнт перевантаження електродвигуна:

$$k'_{max} = P_2 / P_{ном} = 340 / 200 = 1,7.$$

Умова $k_{max} > k'_{max}$ ($1,9 > 1,7$) виконується.

Остаточо вибираємо асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, параметри якого наведені в табл. 4.7.

Варіант 2

1. Обґрунтування вибору виду електродвигуна.

Вибираємо асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, що призначений для роботи в режимі S3 зі стандартним значення $TB = 25\%$, найближчим більшим від заданого умовою задачі ($TB = 20\%$).

2. Обґрунтування вибору номінальної (синхронної) швидкості електродвигуна.

Оскільки номінальна частота обертання виконавчого органа робочої машини за умовою задачі становить 800 об/хв, вибираємо електродвигун із синхронною частотою обертання 1000 об/хв. Для забезпечення необхідної частоти обертання до складу привода має входити передавальний пристрій, наприклад редуктор.

3. Розрахунок необхідної потужності електродвигуна.

Розрахунок необхідної потужності електродвигуна виконуємо за методом еквівалентних величин, користуючись формулою (4.30).

Еквівалентне значення потужності:

$$P_{екв.TBcm} = \sqrt{\frac{TB \cdot (P_1^2 t_{p1} + P_2^2 t_{p2} + P_3^2 t_{p3})}{TB_{cm} (t_{p1} + t_{p2} + t_{p3})}} =$$

$$= \sqrt{\frac{20(24^2 \cdot 2 + 25^2 \cdot 4 + 10^2 \cdot 10)}{25(2 + 4 + 4)}} = 18 \text{ кВт.}$$

4. Вибір необхідного електродвигуна.

Згідно з доповненням до додатку В за умови $P_{еквТВст} \leq P_{ном}$ попередньо вибираємо електродвигун з $n_1 = 1000$ об/хв, $ТВ = 25\%$, $P_2 = 19$ кВт. Основні параметри двигуна наведені в табл. 4.8, інші визначаємо з додатку Б.

Таблиця 4.8. Номінальні параметри електродвигуна

Типорозмір двигуна	$P_{ном}$, кВт	$n_{2ном}$, об/хв	ТВ, %	ККД, %	k_{max}	k_n
4АС160М6У3	19	940	25	84	1,9	2,1

5. Перевірка правильності вибору електродвигуна.

5.1. Перевірка правильності вибору електродвигуна в умовах пуску.

5.1.1. Дійсний коефіцієнт пуску електродвигуна:

$$k'_n = P_1/P_{ном} = 24/19 = 1,26.$$

5.1.2. Аналіз правильності вибору електродвигуна в умовах пуску.

Умова $k_n > k'_n$ ($2,1 > 1,26$) виконується.

5.2. Перевірка правильності вибору електродвигуна за перевантажувальною здатністю.

5.2.1. Дійсний коефіцієнт максимуму двигуна:

$$k'_{max} = P_2/P_{ном} = 25/19 = 1,3.$$

5.2.2. Аналіз правильності вибору електродвигуна за перевантажувальною здатністю.

Умова $k_{max} > k'_{max}$ ($1,3 < 1,9$) виконується.

Остаточо вибираємо асинхронний двигун із короткозамкненим ротором, параметри якого наведені в табл. 4.8.

4.6.6. Спрощений спосіб вибору електродвигуна

Для електроприводів деяких робочих механізмів (компресорів, вентиляторів, насосів, транспортерів, металорізальних верстатів та ін.), які працюють у режимі роботи S1, особливо на перших стадіях проектування, доцільно величину необхідної потужності електродвигуна знаходити за формулами:

- для компресорів:

$$P = K_s \frac{Q \cdot A}{\eta_k \cdot \eta_n} \cdot 10^{-3}, \quad (4.33)$$

де K_s – коефіцієнт запасу потужності ($K_s = 1,1 \div 1,2$); Q – продуктивність компресора, м³/с; A – робота, яка витрачається на стискання 1 м³ газу від $1,01 \cdot 10^5$ Па до потрібного робочого тиску, Дж/м³; η_k, η_n – коефіцієнти корисної дії відповідно компресора і передавального пристрою;

- для вентиляторів:

$$P = K_s \frac{Q \cdot H}{\eta_e \cdot \eta_n} \cdot 10^{-3}, \quad (4.34)$$

де K_s – коефіцієнт запасу потужності ($K_s = 1,1 \div 1,6$); Q – продуктивність вентилятора, м³/с; H – тиск, Па; η_e, η_n – коефіцієнти корисної дії, відповідно, вентилятора і передавального пристрою;

- для насосів:

$$P = K_s \frac{Q \cdot H \cdot \gamma}{\eta_n \cdot \eta_n} \cdot 10^{-3}, \quad (4.35)$$

де K_s – коефіцієнт запасу потужності ($K_s = 1,1 \div 1,4$); Q – продуктивність насосу, м³/с; H – напір насосу, м; γ – густина рідини, яка перекачується, Н/м³; η_e, η_n – коефіцієнти корисної дії відповідно насосу і передавального пристрою;

- для транспортерів:

$$P = K_s \frac{Q}{\eta_n} \cdot (cL + H) \cdot 10^{-3}, \quad (4.36)$$

де K_s – коефіцієнт запасу потужності ($K_s = 1,1 \div 1,25$); Q – продуктивність транспортера, Н/с; L – відстань між осями кінцевих барабанів, м; H – висота підйому вантажу, м; $c = 1,5 \div 2$ – для скребкових транспортерів, $c = 0,14 \div 3,2$ – для пластинчастих транспортерів; η_n – коефіцієнти корисної дії передавального пристрою;

для металорізальних верстатів:

$$P = \frac{F_c \cdot q_c \cdot v_p}{1000\eta_c}, \quad (4.38)$$

де q_c – переріз стружки, m^2 ; v_p – швидкість різання, m/c ; F_c – питомий опір різанню, N/m ; η_c – коефіцієнти корисної дії станка.

Згідно з розрахованими значеннями потрібної потужності за каталогом для електродвигунів, що працюють у режимі S1, (додаток Б) вибирають електродвигун за умови (4.20). Після цього виконують перевірку за умовами пуску згідно з виразом (4.21).

Контрольні питання

1. Які завдання вирішують при виборі електродвигуна для робочої машини?
2. Чим відрізняється тривалий режим роботи від короткочасного?
3. Для яких режимів роботи використовують характеристику «тривалість вмикання»?
4. У яких випадках доцільно використовувати асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором?
5. Які переваги та недоліки мають асинхронні двигуни з фазним ротором?
6. Які переваги та недоліки мають синхронні двигуни?
7. У яких випадках доцільно використовувати двигуни постійного струму?
8. Чим керуються при виборі номінальної напруги двигуна?
9. Як впливає номінальна швидкість електродвигуна на його габаритні параметри?
10. Що означає поняття «ступінь захисту електродвигуна»?
11. Які методи розрахунку необхідної потужності електродвигуна ви знаєте?
12. Чим відрізняється вибір електродвигуна при роботі в режимах S1 та S2?

13. Яка послідовність вибору електродвигуна при роботі в режимі S3?

14. Яка послідовність вибору електродвигуна при роботі в режимах S4 – S8?

15. У яких випадках доцільно використовувати спрощений спосіб вибору електродвигуна?

Робота електроприводів робочих машин у перехідних і сталому режимах

5.1. Особливості пуску електропривода

До основних проблем пуску електропривода можна віднести: малі значення пускового моменту для більшості двигунів, обмеження за пусковим струмом, жорсткі вимоги щодо часу розгону електропривода до номінальної швидкості.

5.1.1. Вимоги до пускового моменту електродвигуна

Моменти опору значної частини робочих машин на час пуску ($M_{c.n}$) дорівнюють або близькі до їх номінальних значень. У деякої частини робочих машин пускові моменти опору значно перевищують номінальний момент. Але запуск електропривода можливий лише за умови, що пусковий момент двигуна (M_n) більший за пусковий момент опору робочої машини ($M_{c.n}$) і розгін електропривода до сталої швидкості обертання зумовлюється різницею цих моментів:

$$\Delta M = M_n - M_{c.n}. \quad (5.1)$$

При від'ємних і навіть нульових значення ΔM запуск електроприводу неможливий.

Пускові властивості електродвигуна аналізують за значенням коефіцієнта пуску:

$$k_n = M_n / M_{ном}. \quad (5.2)$$

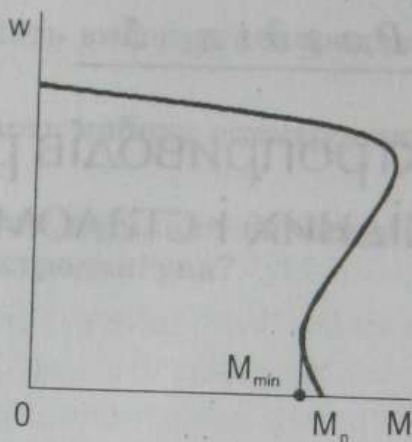


Рис. 5.1. До пояснення значення мінімального моменту

Але частина електродвигунів має порівняно незначні величини коефіцієнта пуску, що може обумовити неможливість або важкі умови пуску.

Особливо актуальна ця проблема для синхронних двигунів та асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором, для більшості яких $k_n = 1,0 \div 1,2$. Крім того, для значної частини цих двигунів пускові властивості зумовлюються не пусковим, а мінімальним моментом (M_{min}) (рис. 5.1), який має значення: $M_{min} = (0,9 \div 1,0) M_{ном}$.

5.1.2. Вимоги до пускових струмів

З усіх видів електродвигунів лише конструкція асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором дозволяє значне збільшення пускового струму по відношенню до номінального ($I_n \approx (5 \div 7) I_{ном}$). Але й для електропривода на основі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором проблема пускових струмів є актуальною, оскільки від їх величини залежать: потужність джерела живлення, переріз провідників, які забезпечують живлення двигунів; габарити електричних апаратів керуючого пристрою та ін. Зменшення пускових струмів є одним із головних завдань при проектуванні таких електроприводів.

Для електроприводів на основі електродвигунів постійного струму, асинхронних двигунів із фазним ротором і для значної частини синхронних двигунів проблема пускових

струмів є особливо актуальною, оскільки для них обмеження $I_n \leq (1,5 \div 2,5) I_{ном}$ є обов'язковим. Невиконання цієї умови може призвести до перегорання обмотки якоря чи ротора.

5.1.3. Вимоги до часу пуску

При вирішенні цього питання слід брати до уваги кілька суперечливих факторів.

По-перше, зменшення часу пуску (t_n) дозволяє збільшити швидкість та продуктивність електропривода.

По-друге, зменшення часу пуску можливе лише за умови збільшення різниці між обертовим моментом двигуна і моментом опору робочого механізму.

Але і це збільшення різниці моментів, згідно з формулою (1.10), зумовлює збільшення динамічної складової моментів, яка діє на окремі складові частини робочої машини, двигунового та передавального пристроїв електропривода. Це, у свою чергу, спричинює необхідність збільшення механічної міцності всіх елементів, на які діють пускові моменти, що приводить до збільшення масогабаритних показників і вартості.

Тому при проектуванні електропривода робочих машин необхідно враховувати всі зазначені фактори і знаходити компромісне рішення, яке б найбільшою мірою задовольняло вимоги до електропривода.

5.1.4. Шляхи вирішення проблем пуску

У кожному конкретному випадку, внаслідок особливостей механічних характеристик робочого механізму і електродвигуна, існує кілька шляхів вирішення цієї проблеми. Враховуючи велику різноманітність робочих механізмів і видів електродвигунів, які використовуються в їхніх електроприводах, це питання буде розглянуто лише на прикладі асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором.

Першим шляхом вирішення цієї проблеми в електроприводах робочих машин з великими статичними та інерційними

навантаженнями на час пуску є збільшення пускового моменту асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. Для цього використовують асинхронні електродвигуни серії 4А з підвищеним пусковим моментом. У позначенні цих електродвигунів після серії (4А) додається літера Р, наприклад, 4АР160S4У3. Ці двигуни випускаються на синхронні частоти 1500, 1000 та 750 об/хв, відповідають основному виконанню та уніфіковані з відповідними типорозмірами основного виконання за всіма елементами і головними розмірами висоти вала та кріплення. Збільшення пускового моменту та зменшення пускових струмів у цих двигунах досягається завдяки особливій конструкції ротора, який має залиту алюмінієм *подвійну обмотку*. Таке конструктивне рішення зумовлює певне подорожчання двигуна, але дає можливість отримати більші значення коефіцієнта пуску ($k_n = 1,8 \div 2,0$) та мінімального моменту ($M_{min} = (1,5 \div 1,6) M_{ном}$).

Другим шляхом вирішення цієї проблеми є правильний вибір способу пуску. Для електропривода робочих машин на основі асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором найчастіше використовують такі види пуску: прямий, переключенням схеми з'єднання обмотки статора із «зірки» на «трикутник», за допомогою автотрансформатора.

Прямий пуск, або пуск безпосереднім вмиканням двигуна на номінальну напругу мережі живлення є найбільш поширеним способом пуску асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором малої та середньої потужності.

При такому способі пуску (рис. 5.2) на обмотку статора за допомогою комутаційного апарата S відразу подається номінальна напруга, за якої і відбувається запуск двигуна.

Перевагою такого способу пуску є простота його виконання та мінімум електричних апаратів, необхідних для його реалізації.

До недоліків відносять те, що пусковий струм може в 5÷7 разів перевищувати номінальне значення струму, а пусковий момент може бути недостатнім.

Для зменшення величини пускових струмів використовують різні способи пуску при зниженій напрузі.

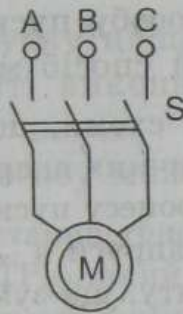


Рис. 5.2. Схема прямого пуску асинхронного двигуна

Пуск переключенням схеми з'єднання обмотки статора із «зірки» на «трикутник» (рис. 5.3) може бути використаний тоді, коли основною схемою з'єднання обмотки статора є «трикутник».

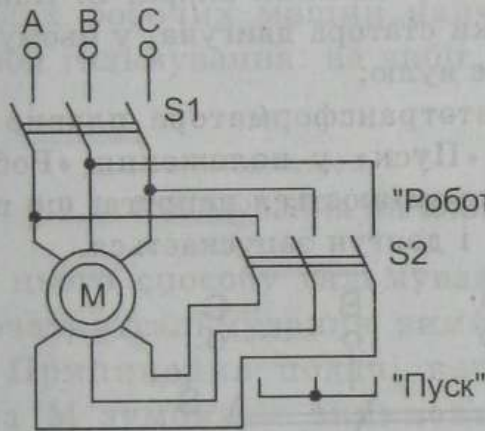


Рис. 5.3. Схема пуску асинхронного двигуна переключенням із «зірки» на «трикутник»

Пуск електродвигуна відбувається в положенні «Пуск» перемикача S2, у якому обмотки статора з'єднані в схему «зірка». За такої схеми з'єднання фазні напруга і струм будуть у $\sqrt{3}$ рази менші за їх номінальне значення, а лінійний струм у 3 рази менший, ніж при схемі з'єднання «трикутник». При досягненні двигуном швидкості обертання ротора, близької до номінального значення, перемикач S2 переводять у положення «Робота», при якому обмотки статора з'єднані в схему «трикутник». При цьому забезпечується робота двигуна за номінальної напруги.

Перевагою такого способу пуску є суттєве зниження пускових струмів. Але цей спосіб має і *недоліки*:

- зростає складність схеми, що потребує допоміжних комутаційних електричних апаратів і виконання певних монтажних робіт, і процесу пуску;
- зниження фазної напруги в $\sqrt{3}$ рази спричинює трикратне зниження моменту, що зумовлює можливість використання такого способу пуску без навантаження або при навантаженні, значно меншому від номінального.

Пуск із допомогою автотрансформатора (рис. 5.4) відбувається в такій послідовності:

- повзунок трифазного автотрансформатора Т переміщують в положення «Пуск»;
- замикають комутаційний апарат S. Напруга, що подається на обмотки статора двигуна, у цьому положенні повзунка дорівнює нулю;
- повзунок автотрансформатора плавно переміщується з положення «Пуск» у положення «Робота». При цьому також плавно змінюється напруга, що подається на обмотки статора, і двигун запускається.

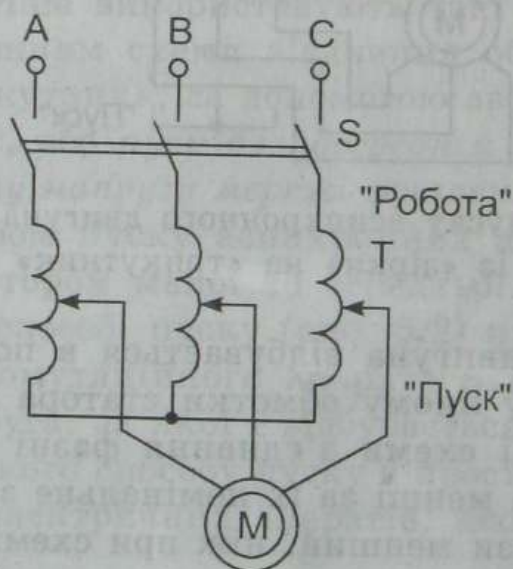


Рис. 5.4. Схема пуску асинхронного двигуна з допомогою автотрансформатора

Перевагами такого способу пуску є можливість змінювати величину як пускового струму, так і пускового моменту.

Але при цьому способі пуску ці параметри значною мірою залежать від правильності виконання процесу пуску оператором.

До *недоліків* цього способу можна віднести:

- він потребує використання трифазного регульованого автотрансформатора (ЛАТРа), який за своїми масогабаритними та цінovими параметрами сумірний з електродвигуном;
- недостатній досвід оператора або неполадки автотрансформатора можуть спричинити появу пускових струмів, сумірних із пусковими струмами при прямому пуску.

5.2. Особливості гальмування електропривода

В електроприводах робочих машин найчастіше застосовуються такі способи гальмування: на вибіг, динамічне та противмиканням.

5.2.1. Гальмування на вибіг

Для пояснення цього способу гальмування звернемося до рис. 5.2. На початку гальмування вимикають комутаційний апарат S . Припинення подачі напруги на обмотки статора двигуна M зумовлює зникнення електромагнітного обертового моменту. Гальмування електропривода відбувається під дією моменту опору, спричиненого всіма рухомими частинами електропривода та виконавчого органа робочої машини.

Перевага способу: гальмування на вибіг є найпростішим за виконанням і потребує мінімуму необхідних електричних апаратів для реалізації. Він широко використовується в тих електроприводах, де немає обмежень на час гальмування.

Недолік способу: час гальмування залежить як від початкової швидкості, за якої починається гальмування, так і від величини моменту опору, отже керувати процесом гальмування при даному способі неможливо.

5.2.2. Динамічне гальмування

Розглянемо цей режим гальмування на прикладі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором (рис. 5.5).

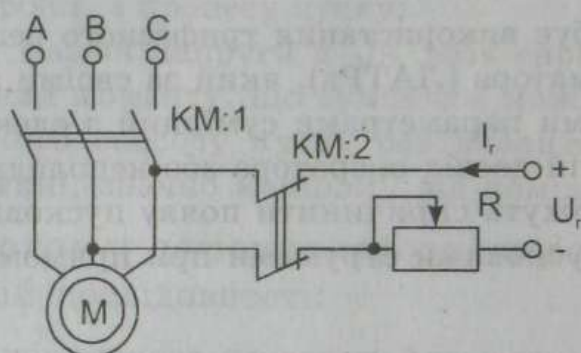


Рис. 5.5. Схема динамічного гальмування асинхронного двигуна

Після розімкнення силових контактів КМ:1 магнітного пускача припиняється подача трифазної напруги на обмотки статора. Одночасно з цим замикаються контакти КМ:2 магнітного пускача, і дві фазні обмотки статора підключаються до джерела постійного струму U_r . Ротор двигуна під дією інерційних сил продовжує обертатись у постійному магнітному полі. Електрична машина переходить у режим генератора, і на її ротор починає діяти електромагнітний момент, який у даному разі виконує роль гальмівного моменту. Величина гальмівного моменту пропорційно залежить від величини струму I_r , який, у свою чергу, залежить від величини опору змінного резистора R .

Таким чином, розглянута схема дозволяє, змінюючи величину опору R , змінювати величину гальмівного моменту і тим самим змінювати час гальмування.

Перевагою цього способу гальмування є можливість плавно змінювати час гальмування незалежно від початкової швидкості і величини навантаження двигуна.

До *недоліків* можна віднести:

- необхідність мати два джерела живлення;
- більшу складність, обумовлену необхідністю застосування допоміжних комутаційних електричних апаратів, налагодження схеми та певного регулювання її параметрів.

5.2.3. Гальмування противмиканням

При цьому способі гальмування (рис. 5.6) на час гальмування змінюється чергування двох фаз напруги, що подається на обмотки статора.

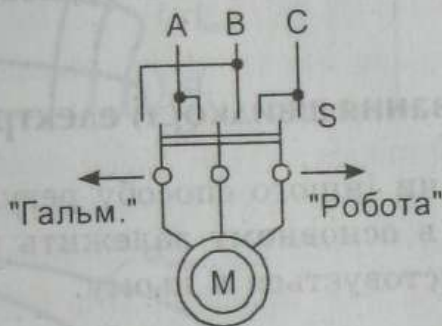


Рис. 5.6. Схема гальмування противключенням

Під час роботи електропривода перемикач S знаходиться в положенні «Робота», що забезпечує чергування фаз напруги «АВС», яка подається на обмотки статора. Обертовий момент при цьому має один напрямок, скажімо, за ходом годинникової стрілки. У цьому напрямку обертається і ротор.

На час гальмування перемикач S знаходиться в положенні «Гальмування». При цьому змінюється чергування фаз напруги «ВАС», і обертовий момент змінює свій напрямок на протилежний – проти годинникової стрілки. Але оскільки ротор продовжує обертатися в тому ж напрямку, то в даному випадку обертовий момент двигуна виконує функцію гальмівного моменту, під дією якого і відбувається гальмування.

Цей спосіб гальмування значно простіший від попереднього, оскільки потребує менше допоміжних комутаційних електричних апаратів і забезпечує швидке гальмування.

Але він має і ряд суттєвих *недоліків*:

- великі значення струму та моменту;
- можливий зворотний хід двигуна, якщо своєчасно не переставити перемикач в нейтральне положення;
- неможливість регулювати час гальмування.

Крім описаних способів *електричного гальмування* в електроприводах деяких робочих механізмів використовують

також механічне гальмування. Суть його полягає в тому, що на валу електродвигуна встановлюється барабан, який після відключення електродвигуна від джерела живлення затискається колодками, чим і досягається гальмування вала двигуна та утримання його в нерухомому стані до повторного вмикання.

5.3. Регулювання швидкості електропривода

Використання того чи іншого способу регулювання швидкості електропривода в основному залежить від виду електродвигуна, що використовується в ньому.

5.3.1. Регулювання швидкості електропривода з асинхронним двигуном із короткозамкненим ротором

Частота обертання ротора n (об/хв) асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором визначається за формулою:

$$n = \frac{60f_1}{p} (1 - S), \quad (5.3)$$

де f_1 – частота напруги живлення, Гц; p – кількість пар полюсів електродвигуна; S – ковзання.

Згідно з виразом (5.3) швидкість асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором можна регулювати за допомогою трьох параметрів. Відповідно існують три способи регулювання:

1. *Регулювання частоти напруги живлення (f_1)*. Як відомо, у нашій країні мережі змінного струму мають стандартну частоту $f_{ном} = 50$ Гц. Найчастіше для зміни частоти напруги живлення в електроприводах робочих машин використовують тиристорні перетворювачі частоти (ТПЧ). Вони дозволяють плавно змінювати частоту як у більшу, так і в меншу сторону від номінального значення, що зумовлює пропорційну зміну частоти обертання вала електродвигуна (рис. 5.7а). Тому можливість плавного регулювання швидкості зміною частоти теоретично від нуля до номінальної швидкості і вище є перевагою цього способу регулювання.

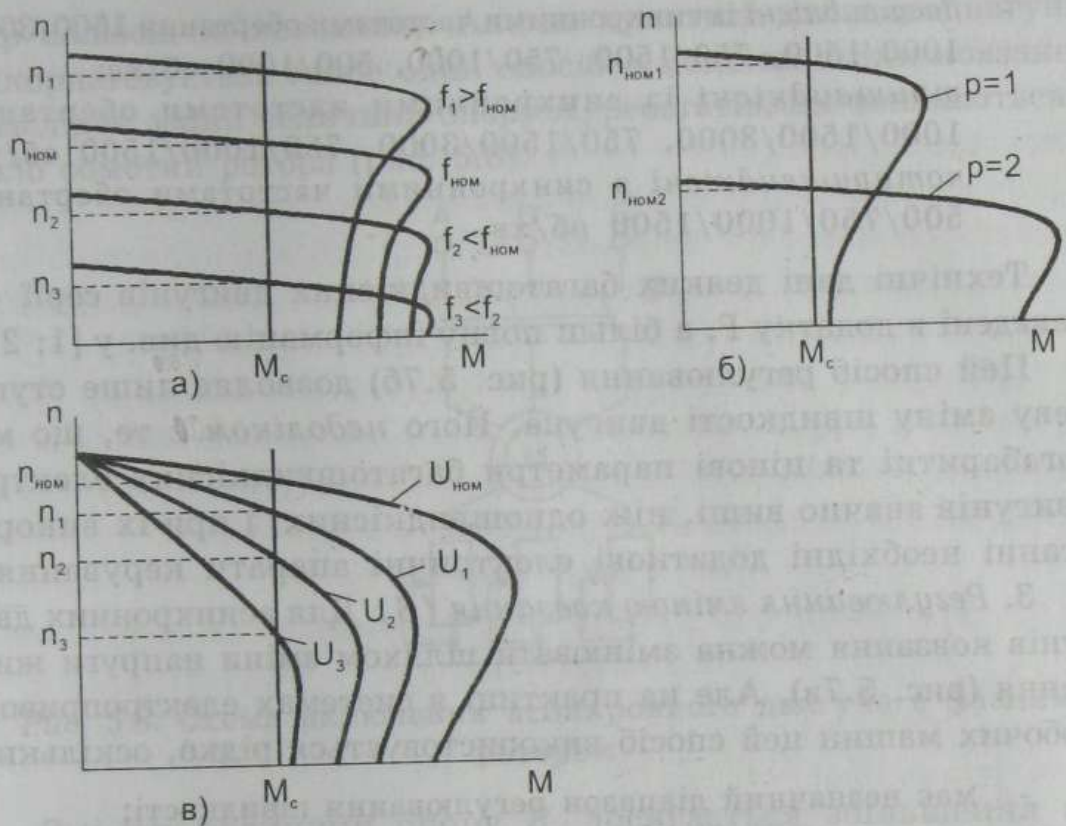


Рис 5.7. До пояснення способів регулювання швидкості асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором зміною:
 а) частоти; б) кількості пар полюсів; в) напруги

Але цей спосіб має також ряд істотних *недоліків*:

- ТПЧ є досить складними пристроями, які за своїми масо-габаритними та ціновими параметрами перевищують аналогічні параметри двигуна;
- асинхронний двигун із короткозамкненим ротором у комплексі «АД-ТПЧ» втрачає ряд своїх переваг, які були описані в п. 4.2.1.

Тому перед прийняттям рішення про використання такого способу регулювання швидкості доцільно виконати техніко-економічний аналіз.

2. *Регулювання за допомогою зміни кількості пар полюсів (p) електродвигуна.*

Промисловість випускає такі асинхронні електродвигуни серії 4А:

- двошвидкісні із синхронними частотами обертання 1500/3000, 1000/1500, 750/1500, 750/1000, 500/1000 об/хв;
- тришвидкісні із синхронними частотами обертання 1000/1500/3000, 750/1500/3000, 750/1000/1500 об/хв;
- чотиришвидкісні з синхронними частотами обертання 500/750/1000/1500 об/хв.

Технічні дані деяких багатошвидкісних двигунів серії 4А наведені в додатку Г, а більш повну інформацію див. у [1; 21].

Цей спосіб регулювання (рис. 5.7б) дозволяє лише ступеневу зміну швидкості двигуна. Його *недоліком* є те, що масогабаритні та цінові параметри багатошвидкісних електродвигунів значно вищі, ніж одношвидкісних, і при їх використанні необхідні додаткові електричні апарати керування.

3. *Регулювання зміною ковзання (S)*. Для асинхронних двигунів ковзання можна змінювати шляхом зміни напруги живлення (рис. 5.7в). Але на практиці в системах електропривода робочих машин цей спосіб використовується рідко, оскільки:

- має незначний діапазон регулювання швидкості;
- суттєве збільшення напруги вище номінального значення недопустиме, а зменшення напруги призводить до суттєвого зниження як перевантажувальної здатності електродвигуна, так і його пускового моменту.

Аналізуючи сказане, можна дійти висновку, що регулювання швидкості асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором на практиці можливе, але часто воно є складним, дорогим або неефективним. Тому виконання техніко-економічних розрахунків і порівнянь з іншими можливими способами в цьому випадку обов'язкове.

5.3.2. Регулювання швидкості електропривода з асинхронним двигуном із фазним ротором

Частота обертання ротора асинхронного двигуна з фазним ротором визначається також за формулою (5.3). Для цього виду двигунів регулювати швидкість можна тими ж способами, що були описані в п. 5.3.1 для асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором (зміною частоти напруги живлення, кількості

пар полюсів та ковзання). Але на практиці для цих двигунів використовується лише один спосіб – шляхом зміни ковзання внаслідок зміни величини опору R_r реостатів, що вмикаються в коло обмотки ротора (рис. 5.8).

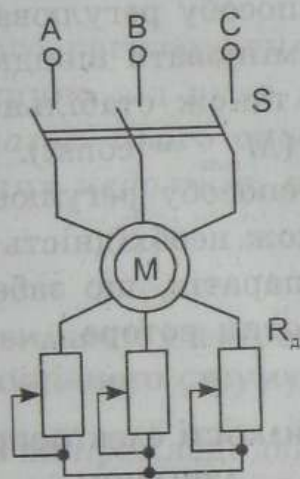


Рис. 5.8. Схема включення асинхронного двигуна з фазним ротором

Зміною величини опору R_r досягається збільшення нахилу механічної характеристики двигуна, що забезпечує регулювання його швидкості від нуля до номінального значення (рис. 5.9). На практиці в електроприводах робочих машин регулювання швидкості таким способом частіше

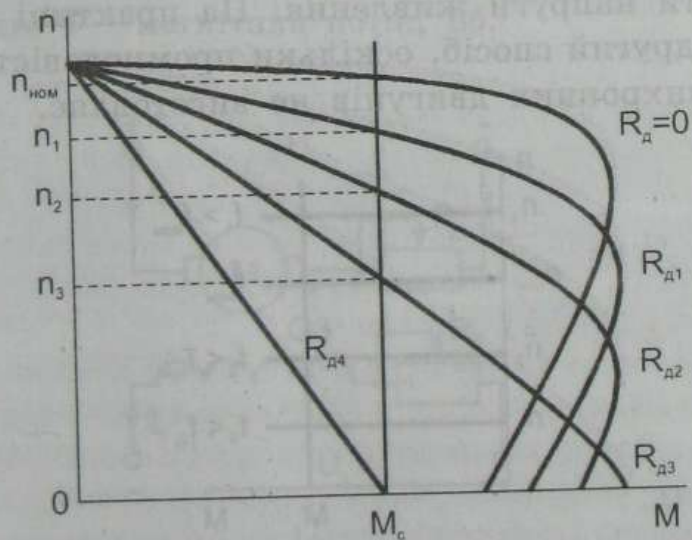


Рис. 5.9. До пояснення регулювання швидкості асинхронного двигуна з фазним ротором

здійснюється ступенями, оскільки по обмотках ротора і по R_{σ} проходять значні струми, тож використовувати пристрої, які б забезпечували плавну зміну величини опору R_{σ} , часто буває недоцільно.

До переваг цього способу регулювання швидкості можна віднести можливість змінювати швидкість від нуля до номінального значення, а також стабільність перевантажувальної здатності двигуна ($M_{max} = \text{const}$).

Недоліками цього способу регулювання швидкості є великі втрати в R_{σ} , а також необхідність використання допоміжних комутаційних апаратів, що забезпечують зміну величини опору в колі обмотки ротора.

5.3.3. Регулювання швидкості електропривода із синхронним двигуном

Частота обертання ротора синхронного двигуна визначається за формулою:

$$n = \frac{60f_1}{p} \quad (5.4)$$

Отже, регулювати швидкість синхронного двигуна можна двома способами: зміною кількості пар полюсів та зміною частоти напруги живлення. На практиці використовують лише другий спосіб, оскільки промисловість багатощвидкісних синхронних двигунів не виготовляє.

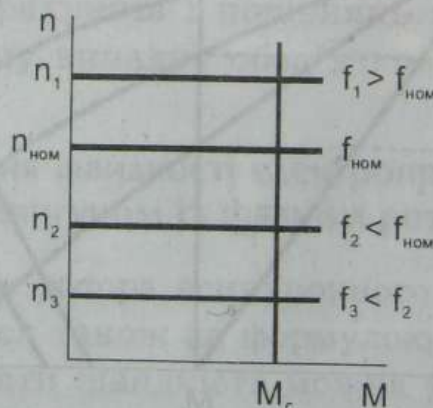


Рис. 5.10. До пояснення регулювання швидкості синхронного двигуна

Найчастіше для зміни частоти напруги живлення в електроприводах робочих машин із синхронним двигуном використовують ТПЧ. Зміною частоти досягається пропорційна зміна частоти обертання синхронного двигуна (рис. 5.10).

Можливість плавного регулювання швидкості в широкому діапазоні (теоретично від нуля до номінального значення і вище) є перевагою цього способу. Але цей спосіб має також і ряд істотних недоліків, які вже розглядалися в п. 5.3.1.

5.3.4. Регулювання швидкості електропривода з двигуном постійного струму

Це питання розглянемо на прикладі двигуна постійного струму з незалежним збудженням (рис. 5.11), частота обертання якоря n (об/хв) якого визначається за формулою:

$$n = \frac{U_{\text{я}} - I_{\text{я}}(R_{\text{я}} + R_{\text{д}})}{c_e \Phi}, \quad (5.5)$$

де $U_{\text{я}}$ – напруга джерела живлення, до якого підключене коло обмотки якоря, В; $I_{\text{я}}$ – струм, що протікає в колі обмотки якоря, А; $R_{\text{я}}$ – опір обмотки якоря, Ом; $R_{\text{д}}$ – додатний опір, що вводитьься в коло обмотки якоря, Ом; C_e – конструктивна стала машини; Φ – магнітний потік, Вб.

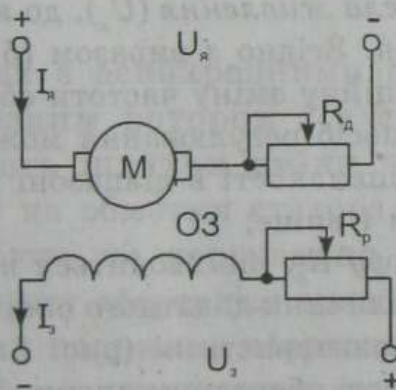


Рис. 5.11. Схема включення двигуна постійного струму з незалежним збудженням

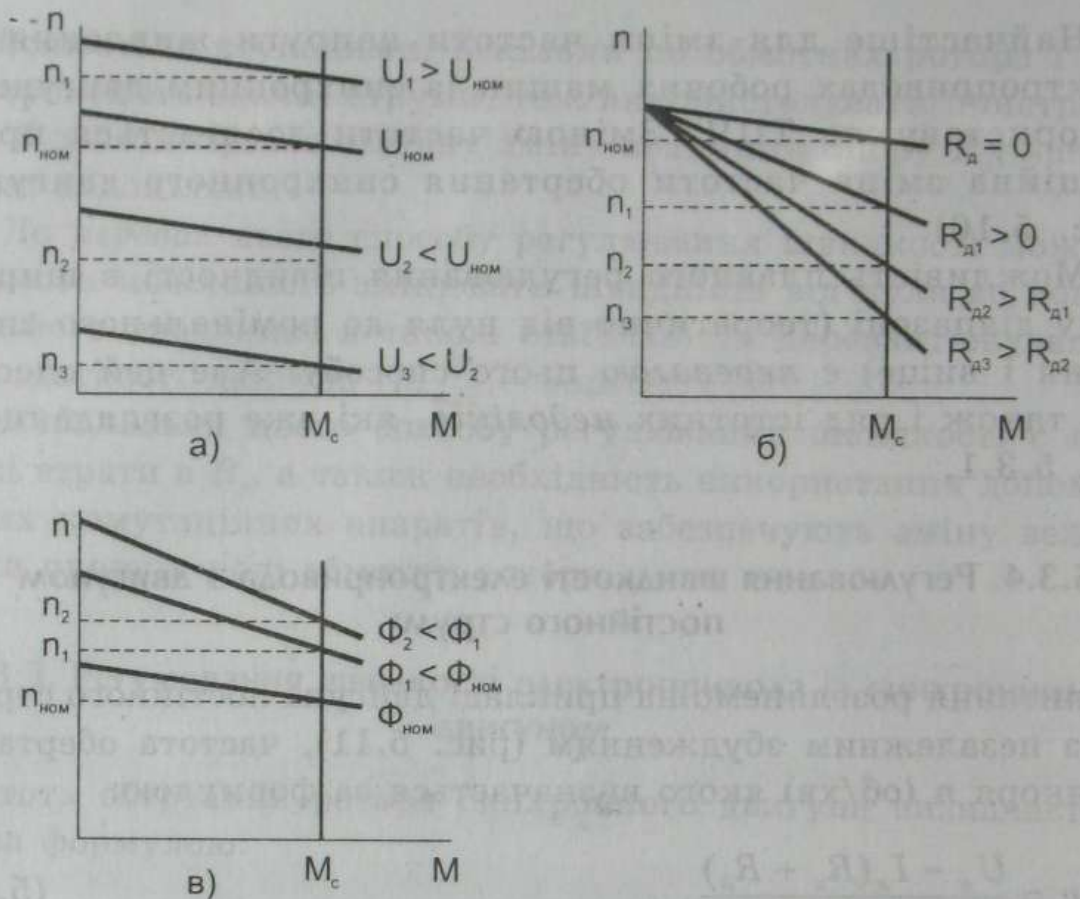


Рис. 5.12. Регулювання швидкості двигуна постійного струму зміною:

а) напруги; б) опору; в) магнітного потоку

Згідно з виразом (5.5), швидкість двигуна постійного струму можна регулювати за допомогою трьох параметрів:

- 1) напруги джерела живлення (U_x), до якого підключене коло обмотки якоря. Згідно з виразом (5.5) зміна U_x зумовлює прямо пропорційну зміну частоти обертання якоря n (рис. 5.12а). Цей спосіб регулювання може забезпечити плавне регулювання швидкості в діапазоні від нуля до номінального значення і вище;
- 2) додатного опору R_d , що вводиться в коло обмотки якоря. Збільшення величини додатного опору зменшує жорсткість механічної характеристики (рис. 5.12б) і зумовлює зниження швидкості обертання якоря. Цей параметр, за умови плавної зміни, дозволяє також плавно регулювати швидкість від нуля до номінального значення;

3) *магнітного потоку* Φ . На практиці магнітний потік найчастіше змінюють, регулюючи величину струму обмотки збудження I_z за допомогою додатного опору R_p в колі обмотки збудження. Оскільки при номінальному значенні магнітного потоку магнітна система машини знаходиться в насиченому стані, збільшувати магнітний потік вище номінального значення неефективно. Тому на практиці використовують регулювання швидкості з допомогою магнітного потоку лише в сторону його зменшення і цим, згідно з виразом (5.5), досягають збільшення швидкості від номінального значення і вище. Штучні механічні характеристики двигуна, отримані при $\Phi < \Phi_{ном}$ показані на рис. 5.12в.

Аналізуючи сказане, можна дійти висновку, що електродвигуни постійного струму є найкращим видом електродвигунів щодо можливості регулювання швидкості. Вони забезпечують три простих у реалізації, ефективних і дешевих способи плавного регулювання швидкості в діапазоні від нуля до номінального значення і вище.

5.4. Реверс електропривода

Під реверсом розуміють зміну напрямку руху. В електроприводах робочих машин використовують як *механічні*, так і *електричні способи реверсу* виконавчого органа. У цьому розділі розглянемо лише питання, пов'язані з електричним реверсом.

В електроприводах з асинхронними двигунами з короткозамкненим та фазним ротором і з синхронним двигуном реверса досягають шляхом зміни чергування фаз напруги, що подається на обмотки статора, наприклад, чергування «АВС» змінюють на чергування «ВАС». Це приводить до зміни напрямку обертання магнітного поля статора і, відповідно, до зміни напрямку обертання ротора. Електрична схема реверсивного електропривода з асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором буде розглянута в розділі 7 (рис. 7.5).

В електроприводах з двигуном постійного струму реверса можна досягти двома способами – або зміною полярності напруги джерела живлення (U_r), до якого підключене коло обмотки якоря, або зміною полярності напруги (U_j) на обмотці збудження (рис. 5.11).

5.5. Робота електропривода з постійною швидкістю

Необхідність підтримання постійної швидкості виконавчого органа робочої машини при зміні навантаження є вимогою багатьох технологічних процесів, для яких якість продукції чи продуктивність значною мірою залежать від стабільності швидкості. Прикладами таких робочих машин можуть бути автоматизовані лінії з нанесення різного роду покриття на вироби, фарбування, сушіння, намотування стрічкових виробів у рулони, механічної обробки виробів із великою площею та ін.

Як приклад розглянемо роботу схеми асинхронного електропривода для автоматичної стабілізації швидкості зміною напруги живлення двигуна (рис. 5.13).

Живлення схеми відбувається від трифазної мережі змінного струму.

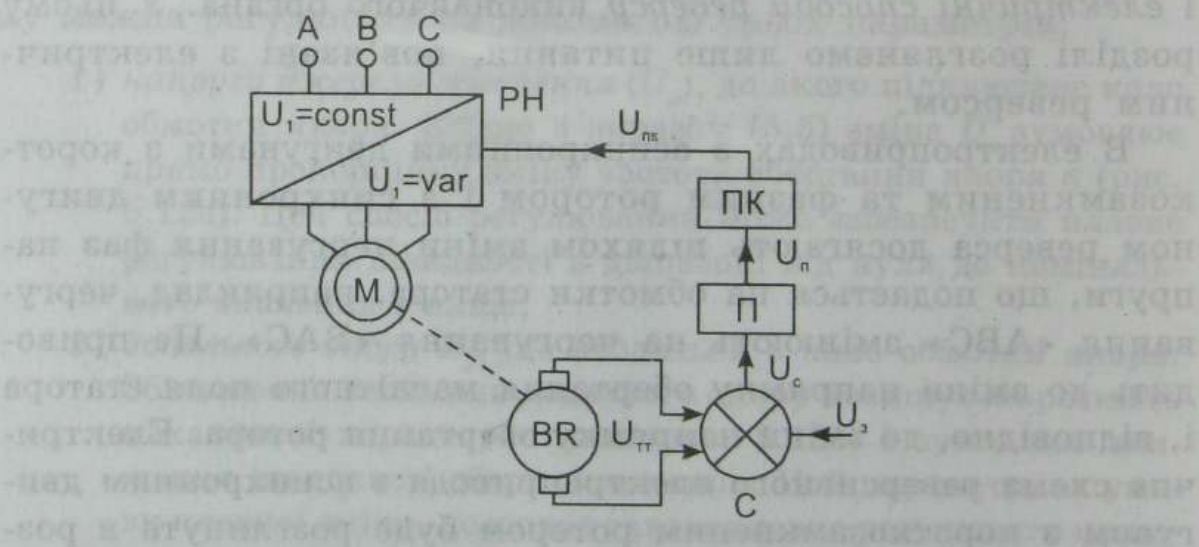


Рис. 5.13. Схема стабілізації швидкості електропривода

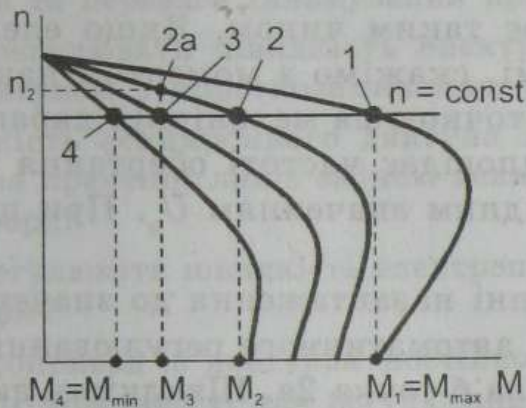


Рис. 5.14. До пояснення роботи схеми стабілізації швидкості електропривода

Функцію електродвигунового пристрою в цьому електроприводі виконує трифазний асинхронний двигун із короткозамкненим ротором М.

Електрична схема має такі основні складові частини:

- РН – регулятор напруги. Його завдання – автоматично змінювати напругу, що подається на двигун М, відповідно до зміни навантаження двигуна. На вхід РН подається незмінна трифазна напруга ($U_1 = \text{const}$), а на виході має місце змінна трифазна напруга ($U_1 = \text{var}$), величина якої зумовлена величиною сигналу $U_{нк}$;
- ВР – тахогенератор, який виробляє електричний сигнал U_{mz} , пропорційний до швидкості обертання ротора двигуна;
- С – суматор, який виконує такі функції: на один із його входів подається електричний сигнал завдання U_s , величина якого зумовлює ту швидкість ($n = \text{const}$) двигуна, яку необхідно підтримувати постійною при зміні навантаження. На другий вхід подається сигнал U_{mz} , що відповідає дійсній швидкості двигуна. У суматорі відбувається порівняння цих сигналів, і на виході його маємо сигнал: $U_c = U_s - U_{mz}$;
- П – підсилювач, що підсилює сигнал U_c до певної величини U_n , достатньої для керування роботою наступної складової частини – ПК;
- ПК – пристрій керування, виробляє сигнал $U_{нк}$, який своєю дією на РН зумовлює необхідну зміну сигналу $U_1 = \text{var}$.

Схема працює таким чином. Якщо електропривод діє в сталому режимі, скажімо з моментом навантаження M_2 , то його робочою точкою на механічній характеристиці буде точка 2, яка відповідає частоті обертання $n = \text{const}$, обумовленій відповідним значенням U_s . При цьому $U_c = U_s - U_{mg} = 0$.

При зменшенні навантаження до значення M_3 і за відсутності системи автоматичного регулювання швидкості робочою точкою була б точка 2а. Швидкість двигуна в такому разі зросла б до значення n_2 . Але завдяки системі автоматичного регулювання цього не відбувається. Із початком зростання швидкості обертання двигуна збільшується і сигнал U_{mg} . При цьому на виході суматора з'являється сигнал U_c , який посилюється підсилювачем, а пристрій керування виробляє такий сигнал U_{nk} , під дією якого регулятор напруги так змінює сигнал $U_1 = \text{var}$, що робочою точкою буде точка 3, а це, у свою чергу, забезпечує підтримання стабільної швидкості електропривода $n = \text{const}$.

Ця схема автоматично забезпечує стабільність швидкості електропривода при зміні моменту навантаження в діапазоні від M_{\min} до M_{\max} .

Контрольні питання

1. За яких умов можливий запуск електропривода?
2. Чим зумовлені вимоги до пускових струмів електродвигунів?
3. На що впливає час пуску електропривода?
4. Які шляхи подолання проблеми пуску електропривода ви знаєте?
5. Які переваги та недоліки має прямий пуск?
6. Дайте порівняльний аналіз способів пуску переключенням із «зірки» на «трикутник» та з допомогою автотрансформатора.
7. Які переваги та недоліки має гальмування на вибіг?
8. Як здійснюється динамічне гальмування?

9. Які недоліки та переваги гальмування противключенням?
10. Як можна регулювати швидкість електропривода з асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором?
11. Чому швидкість асинхронного двигуна з фазним ротором регулюють на практиці лише зміною величини опору в колі обмотки ротора?
12. Як можна регулювати швидкість електропривода із синхронним двигуном?
13. Чому електропривод із двигуном постійного струму забезпечує найкращі можливості для регулювання швидкості?
14. Що таке реверс електропривода? Яким чином він здійснюється?

Електропривод робочих машин для переміщення рідин і газів

До цієї групи робочих машин належать насоси, вентилятори, компресори, димососи, кондиціонери, холодильні установки та ін. Кожний вид робочих машин цієї групи має свої особливості, але вони мають також багато спільного, що дозволяє розглядати роботу їхніх електроприводів комплексно.

6.1. Особливості роботи робочих машин для переміщення рідин і газів

Робочим механізмам даної групи притаманний тривалий режим роботи (S1) з нечастими пусками. Реверс тут не застосовується. Залежно від механізмів призначення, потужності та характеру технологічного процесу, у якому використовують рідину чи газ, до електропривода цієї групи робочих машин іноді висуваються вимоги щодо необхідності регулювання швидкості. Як правило, діапазон регулювання швидкості незначний і зумовлений підтриманням стабільного тиску газу, напору рідини, продуктивності та ін.

Для електропривода робочих машин даної групи *відцентрового типу* характерною особливістю є полегшені умови пуску, обумовлені такими факторами:

- пусковий момент опору $M_{c,n}$ робочої машини відносно малий і складає $M_{c,n} = (0,2 \div 0,3) M_{ном}$ (рис. 6.1);

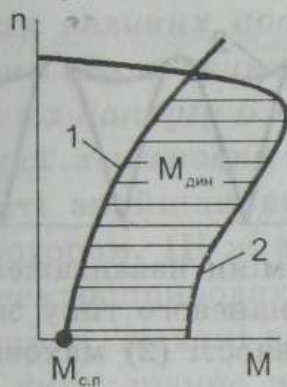


Рис. 6.1. До пояснення питання узгодження механічних характеристик:

1 – робочої машини; 2 – двигуна

вони мають нелінійно-зростаючу (вентиляторну) механічну характеристику, що на час пуску добре узгоджується з механічною характеристикою асинхронних та синхронних (при асинхронному пуску) двигунів. Тому, згідно з формулою (1.10) та рис. 6.1, запуск такого електропривода відбувається майже при постійному динамічному моменті ($M_{дин}$).

Номінальна швидкість таких робочих машин добре узгоджується з номінальною швидкістю двигуна, а тому електропривод здебільшого не має передавального пристрою, що значно спрощує і здешевлює його.

Тому в таких електроприводах *малої та середньої потужності* (до 100 кВт) використовують прості, надійні та дешеві *асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором на напругу 220/380 або 380/660 В*.

В електроприводах *великих потужностей* більш доцільним є використання *синхронних двигунів або асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором на напругу 6 або 10 кВ*. В електроприводах, де потрібно регулювати швидкість у широкому діапазоні (наприклад, вентилятори і димососи котельних), використовують асинхронні двигуни з фазним ротором.

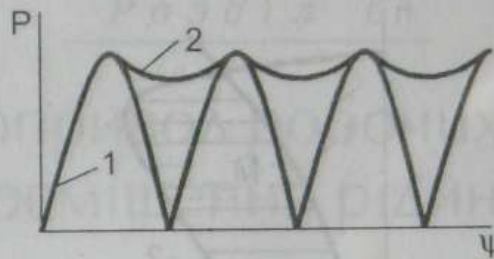


Рис. 6.2. Графіки зміни навантаження двоходових робочих машин поршневого типу за відсутності (1) та наявності (2) маховика

Для електропривода робочих машин даної групи *поршневого типу* характерною особливістю є те, що миттєва потужність залежить від кута повороту вала ψ і має пульсуючий характер (рис. 6.2). З метою зменшення пульсацій до складу електропривода вводять маховик, який завдяки своїм інерційним властивостям суттєво згладжує пульсації. За таких умов механічну характеристику робочої машини з деяким наближенням можна вважати незалежною від швидкості.

Умови пуску таких електроприводів значно гірші, ніж у розглянутих вище електроприводах, оскільки механічна характеристика 1 робочої машини погано узгоджується з механічними характеристиками 2 електродвигуна будь-якого виду і динамічна складова моментів ($M_{дин}$) за час пуску істотно змінюється (рис. 6.3).

Найчастіше в таких електроприводах малої та середньої потужності використовують *асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором із підвищеним пусковим моментом на напругу 220/380 або 380/660 В.*

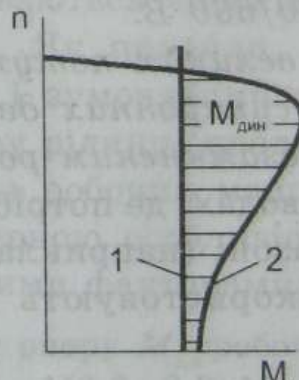


Рис. 6.3. До пояснення умов пуску робочих машин поршневого типу

В електроприводах великих потужностей використовують синхронні двигуни або ж асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором на напругу 6 або 10 кВ.

В електроприводах з відносно великим діапазоном регулювання швидкості знайшли використання асинхронні двигуни з фазним ротором. Ці ж види двигунів використовуються також в електроприводах деяких робочих машин (димососи, гребні гвинти, шахтні вентилятори і т.д.), сумарний момент інерції яких значно перевищує момент інерції двигуна, а час запуску є досить тривалим. Використання асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором або синхронних двигунів у таких випадках неможливе або недоцільне, оскільки супроводжується значними втратами в обмотках статора і потребує вибору електродвигуна більшої потужності, ніж це необхідно при довготривалій роботі в сталому режимі.

Оскільки ця група робочих машин *поршневого типу* має малі номінальні значення швидкостей, то звичайно до складу електропривода входить передавальний пристрій у вигляді редуктора або клинопасової передачі. Промисловість випускає тихохідні синхронні двигуни на номінальні швидкості 250, 214 та 187 об/хв [14], які дозволяють виключити зі складу електропривода передавальний пристрій.

Промислові підприємства випускають цілу гаму спеціальних електродвигунів, призначених для роботи в складі електроприводів робочих машин для переміщення рідин і газів [1; 21]. Зокрема, випускаються електродвигуни таких серій:

АВШ – асинхронні двигуни, призначені для роботи в складі електропривода шахтних, підвісних, прохідницьких насосів;

СДН і СДНЗ – синхронні двигуни, призначені для роботи в складі електропривода насосів, вентиляторів і димососів;

СДК, СДКП, СДКМ – синхронні двигуни, призначені для роботи в складі електропривода компресорів;

ВДС – синхронні двигуни, призначені для роботи в складі електропривода насосних агрегатів потужних зрошувальних систем і магістральних каналів.

6.2. Спеціальні електричні апарати

6.2.1. Спеціальні електричні апарати для автоматичного керування роботою компресорів

Крім електричних апаратів загального призначення, що були розглянуті в розділі 2, в електричних схемах автоматичного керування роботою компресорів також використовуються спеціальні апарати. Забезпечення нормальної роботи компресорів потребує контролю багатьох параметрів, але найважливішими серед них є *тиск* і *температура газу*.

Підтримання постійних значень *тиску* газу в системі є однією з головних вимог, що висуваються до систем автоматичного контролю роботи компресорів. Але споживання стиснутого газу на промислових підприємствах змінюється, і графік його зміни прогнозувати дуже важко. Він залежить як від величини споживання стиснутого газу, так і від продуктивності компресора. Коли споживання стиснутого газу дорівнює продуктивності компресора, тоді тиск у системі залишається незмінним. Але на практиці такий стан роботи буває дуже рідко.

Як правило, тиск газу в системі змінюється постійно: коли споживання газу збільшується, тиск знижується, і навпаки. Тому в системі автоматичного контролю тиску використовують апарати, які відстежують цей параметр і забезпечують його автоматичне підтримання в певному діапазоні.

Регулювання продуктивності компресорів може здійснюватися різними способами: автоматичним відкриванням чи закриванням клапанів усмоктування газу, періодичним вмиканням чи вимиканням допоміжних компресорів, зміною швидкості електродвигуна і т.д.

Для цього використовують спеціальні апарати: поршневі та сильфонні реле тиску, електроконтактні манометри, струминні реле та ін.

Електроконтактний манометр (рис. 6.4) складається з трубчатої одновиткової пружини 1, яка з одного кінця закрита, а іншим з'єднана із системою, тиск газу в якій потрібно контролювати.

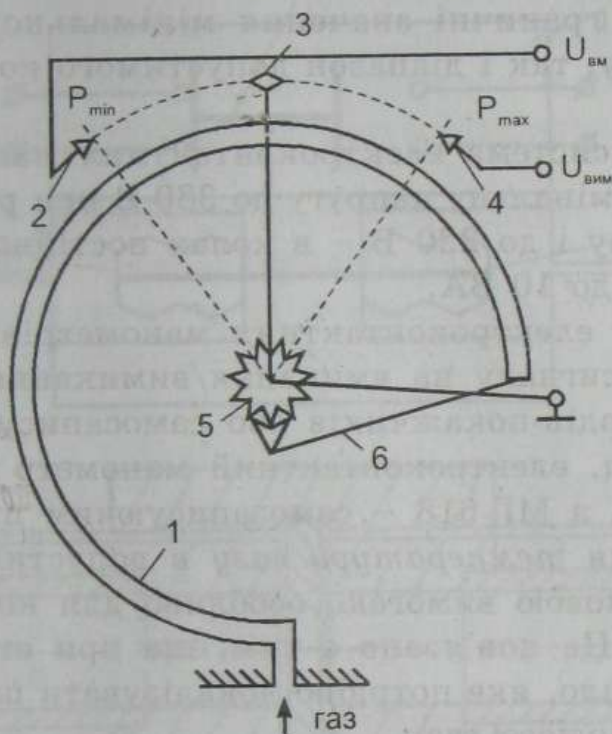


Рис. 6.4. До пояснення роботи електроконтактного манометра

Тиск газу всередині пружини та її пружна деформація знаходяться в лінійній залежності: зі збільшенням тиску закритий кінець пружини переміщується в сторону збільшення діаметра. Це переміщення з допомогою тяги 6 та зубчатого механізму 5 передається на рухомий контакт 3. Якщо тиск у системі знизиться до деякого мінімального значення P_{min} , відбувається замикання рухомого контакту 3 з нерухомим 2. При цьому замикається електричне коло, і з'являється електричний сигнал $U_{вм}$, який може забезпечити автоматичне вмикання допоміжного компресора, відкривання клапанів усмоктування газу, збільшення швидкості електродвигуна чи іншу операцію, яка дозволить збільшити тиск у мережі.

При збільшенні тиску до деякого граничного значення P_{max} відбувається замикання рухомого контакту 3 з нерухомим 4 та замикання електричного кола для створення сигналу $U_{вим}$, який забезпечить операцію для припинення зростання тиску в мережі.

Конструкція контактних манометрів дозволяє змінювати фіксоване положення нерухомих контактів 2 і 4 і тим самим

змінювати як граничні значення мінімального та максимального тиску, так і діапазон допустимого коливання тиску в системі.

Контактна система електроконтактних манометрів розрахована на номінальну напругу до 380 В при роботі в колах змінного струму і до 220 В – в колах постійного струму та на потужність до 10 ВА.

Деякі типи електроконтактних манометрів, крім функції створення сигналу на вмикання/вимикання, виконують функцію приладів-показчиків або самосаписуючих приладів. Наприклад, електроконтактний манометр типу МГ-278 є показчиком, а МГ-618 – самозаписуючим приладом.

Підтримання *температури газу* в допустимих межах є також обов'язковою вимогою, особливо для компресорів на високі тиски. Це пов'язано з тим, що при стисканні газу виділяється тепло, яке потрібно локалізувати ще до подання в мережу стиснутого газу.

Найчастіше використовують примусове охолодження газу водою, яка пропускається через охолоджувальні сорочки робочих циліндрів компресора та проміжні холодильники, де нагрітий газ проходить через складну систему охолоджувальних трубок, по яких циркулює вода. Навіть короткочасне припинення охолодження газу недопустиме, а тому до апаратів контролю ставляться високі вимоги стосовно безперебійності та надійності роботи.

Широкого застосування в системах автоматичного контролю та захисту температури газу в компресорах набули *реле струминні* різних конструкцій. Як приклад розглянемо роботу реле струминного типу МС-51 (рис. 6.5).

При надходженні в трубопровід води 5 з достатнім тиском, завдяки наявності діафрагми 4, перепад тиску в камерах циліндричних мембранних сильфонів 7 і 2 буде достатнім, щоб рухомі контакти 8 контактної групи 1 перемістилися вправо і замкнули електричне коло для створення сигналу $U_{\text{с.м}}$, який дозволяє вмикання і подальшу роботу компресора.

У разі припинення подачі води в трубопровід 5 системи охолодження або при зменшенні її тиску знижується і перепад тиску в камерах сильфонів 7 і 2. При цьому рухомі

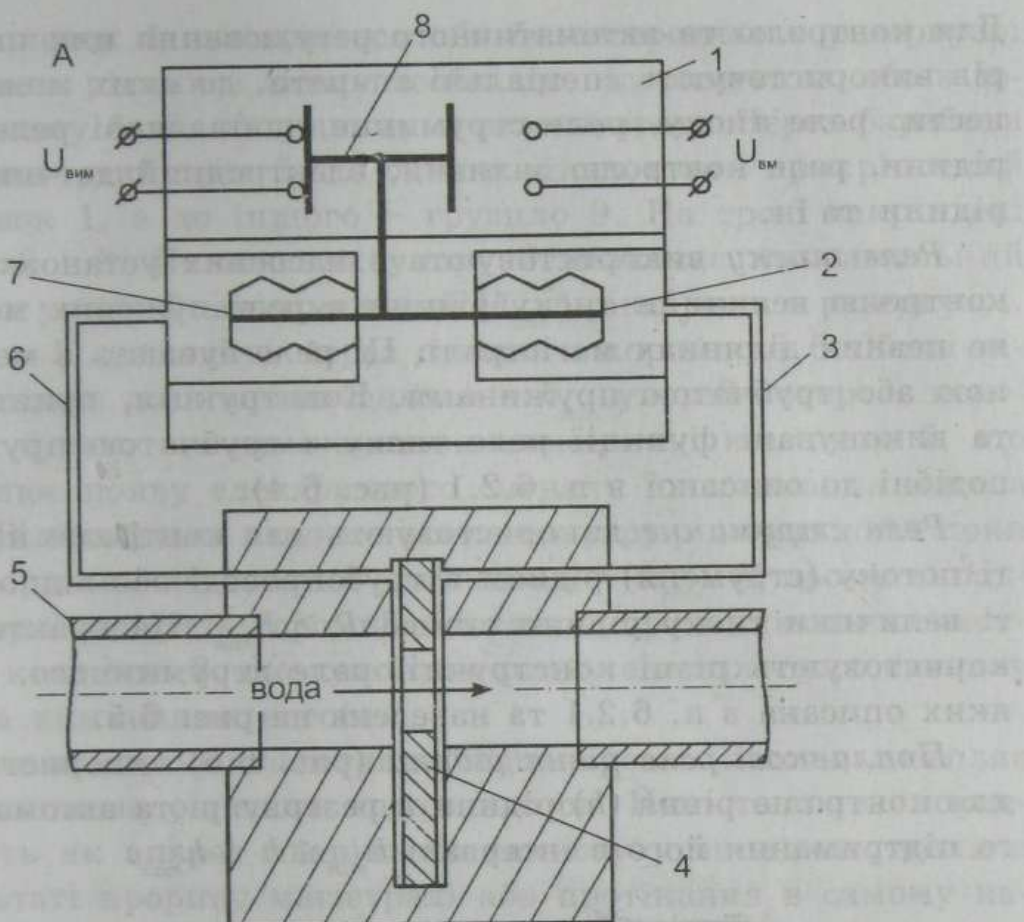


Рис. 6.5. До пояснення роботи струминного реле:

- 1 – контактна група; 2, 7 – циліндричні мембранні сифони;
 3, 6 – з'єднувальні трубки; 4 – діафрагма; 5 – трубопровід;
 8 – рухомі електричні контакти

контакти 8 під дією пружних сил сифонів переміщуються вліво. Відбувається розмикання електричного кола, яке подає сигнал $U_{в.м.}$, та замикання електричного кола, яке створює сигнал $U_{в.н.м.}$, який унеможливує подальшу роботу компресора до появи води в системі охолодження.

6.2.2. Спеціальні електричні апарати для автоматичного керування роботою насосів

До найважливіших параметрів, які підлягають контролю та регулюванню в системах транспортування рідин, належать рівень рідини в резервуарі, наявність потоку (струменя) рідини в трубопроводі, тиск рідини на різних ділянках магістралі.

Для контролю та автоматичного регулювання цих параметрів використовують спеціальні апарати, до яких можна віднести: реле тиску, реле струминне, поплавкові реле рівня рідини, реле контролю заливки, електродний датчик рівня рідини та ін.

Реле тиску використовують в насосних установках для контролю величини тиску рідини в розгалужених мережах на певних ділянках магістралі. Ці реле бувають з мембранною або трубчатою пружинами. Конструкція, принцип дії та виконувані функції реле тиску з трубчатою пружиною подібні до описаної в п. 6.2.1 (рис. 6.4).

Реле струминне використовують для контролю наявності потоку (струменя) рідини в трубопроводі або відповідності величини тиску рідини вимозі $P \geq P_{min}$. На практиці використовують різні конструкції реле струминного, одна з яких описана в п. 6.2.1 та наведена на рис. 6.5.

Поплавкові реле рівня рідини (рис. 6.6) використовують для контролю рівня (h) рідини в резервуарі та автоматичного підтримання його в інтервалі $h_{min} \leq h \leq h_{max}$.

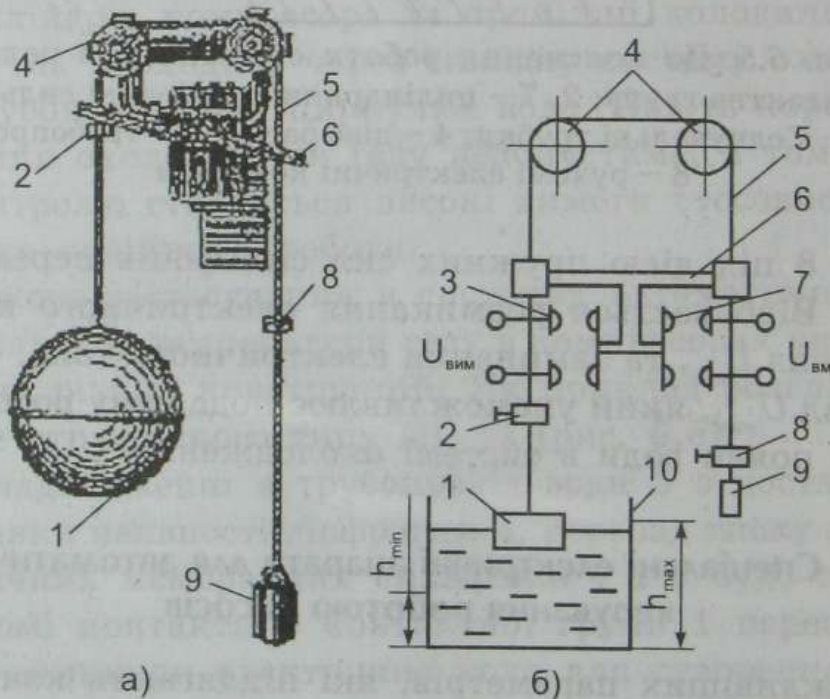


Рис. 6.6. Поплавкове реле рівня рідини:
а) зовнішній вигляд; б) функціональна схема

Поплавок 1 знаходиться або безпосередньо в резервуарі 10, рівень рідини в якому необхідно підтримувати, або в допоміжному баці, з'єднаному з резервуаром. Через барабани 4 перекинутий трос 5, до одного кінця якого прикріплений поплавок 1, а до іншого – грузило 9. На тросі закріплені упори 2 і 8. Положення упору 2 визначає максимальний (h_{max}), а упору 8 – мінімальний (h_{min}) рівні води в резервуарі.

Трос 5 проходить через отвори в коромислі 6. Коли рівень рідини досягає значення $h = h_{min}$ упор 8 повертає коромисло 6 так, що замикаються електричні контакти 7, що зумовлює появу електричного сигналу на вмикання насоса ($U_{вм}$). Відбувається наповнення резервуару рідиною доти, поки рівень рідини не досягне значення $h = h_{max}$. У цьому випадку упор 2 повертає коромисло 6 так, що розмикаються електричні контакти 3, що зумовлює появу електричного сигналу $U_{вим}$ на вимикання насоса.

Реле контролю заливання відцентрових насосів дозволяє пуск лише заповненого водою насоса. Його також використовують як апарат аварійного захисту у випадках, коли в результаті прориву магістралі або протікання в самому насосі відбувається затоплення насосного приміщення.

У насосних установках використовують різні конструкції реле контролю заливання. Як приклад розглянемо конструкцію реле контролю заливання клапанного типу (рис. 6.7).

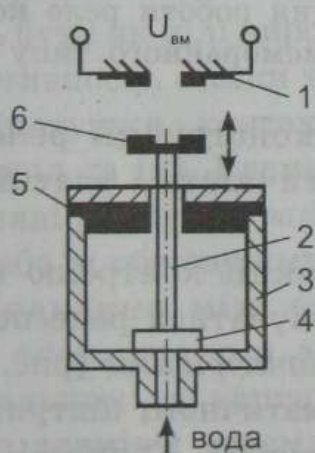


Рис. 6.7. До пояснення роботи реле контролю заливання клапанного типу

Вода, що надходить у корпус 3, піднімає вгору клапан 4, а разом із ним шток 2 і рухомі контакти 6. Досягнувши певного рівня, клапан 4 притискається до ущільнюючої прокладки 5, а рухомі контакти 6 замикаються з нерухомими 1. Лише в цьому випадку з'являється сигнал $U_{в.м}$, який дозволяє вмикання насоса.

У системах контролю роботи відцентрових насосів також використовуються реле контролю заливання мембранного типу (рис. 6.8), які встановлюються на виході насоса. При заливанні насоса рідина заповнює корпус 4, мембрана 5 прогинається, переміщує шток 3 разом із рухомими електричними контактами 2, які при достатньому рівні заливання притискаються до нерухомих контактів 1, що забезпечує замикання електричного кола для створення сигналу $U_{в.м}$ на дозвіл вмикання насоса.

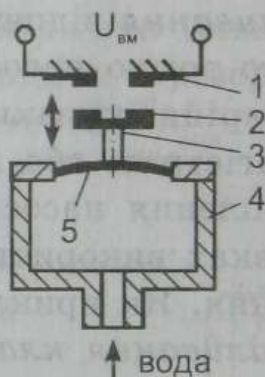


Рис. 6.8. До пояснення роботи реле контролю заливання мембранного типу

Перевагами такої конструкції реле є його висока чутливість, краща герметичність і здатність витримувати високі тиски.

Для виконання функції контролю заливання насоса можуть також використовуватися реле поплавкового типу.

Електродне реле рівня рідини (рис. 6.9) використовують для контролю та автоматичного підтримання рівня електропровідних рідин у резервуарі. Корпус 1 реле з'єднують трубопроводами з резервуаром, у якому знаходиться рідина. Електродні контакти 2 і 3 закріплюються на ізоляційній основі 4.

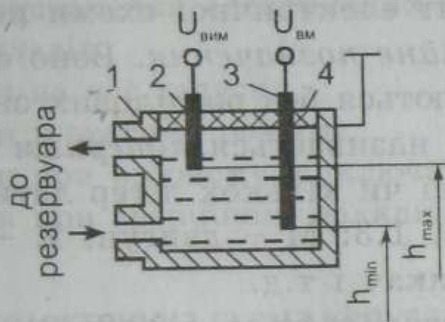


Рис. 6.9. До пояснення роботи електродного датчика рівня рідини

При досягненні рідиною максимального рівня h_{max} електропровідна рідина контактує з електродним контактом 2 і з'являється електричний сигнал $U_{вим}$ на вимикання насоса, а при досягненні мінімального рівня h_{min} електродний контакт 3 знаходиться вище рівня рідини в резервуарі. При цьому з'являється електричний сигнал $U_{вм}$ на вмикання насоса.

6.3. Електричні схеми керування роботою робочих машин для переміщення рідин і газів

6.3.1. Основні правила креслення та опису роботи принципів електричних схем

Принципові електричні схеми складаються з окремих елементів, якими можуть бути як цілі вироби (резистори, конденсатори, котушки індуктивності, лампи та ін.), так і окремі складові частини виробів (котушки і контакти реле, обмотки трансформатора, магнітопровід та ін.). Елементи електричних схем зображаються у вигляді умовних графічних позначень, як показано в додатку А, або ж оберненими на кут 90° , 180° чи 270° .

Електричні з'єднання між елементами схеми зображаються лініями електричного зв'язку, розташованими у вигляді горизонтальних та вертикальних відрізків з найменшою кількістю зламів і взаємних перетинів.

Умовні графічні позначення елементів і лінії їх електричного зв'язку виконуються на схемах лінією однакової товщини (0,2 ... 1 мм).

Кожний елемент електричної схеми повинен мати літерно-цифрове позиційне позначення. Воно складається з двох частин, які записуються без розділових знаків і пропусків.

Перша частина називається літерним кодом елемента і складається з однієї чи кількох літер латинського алфавіту, наприклад, на рис. 1.3: М – двигун, К – контактор, QF – автоматичний вимикач і т.д.

Друга частина називається порядковим номером елементів і позначається однією або кількома арабськими цифрами. Порядковий номер елементам одного й того ж виду присвоюється починаючи з одиниці, а далі – згідно з розташуванням елементів на схемі в послідовності зліва направо і зверху вниз.

Якщо на схемі умовними позначеннями зображені кілька елементів одного виробу, то їм присвоюється одне і те саме літерно-цифрове позначення. Наприклад, на схемі на рис. 1.3 використовуються два реле електротеплові. Для умовного позначення як сприймаючого елемента, так і контактів кожного із реле використано ті самі літерно-цифрові позначення: для першого – КК1, для другого – КК2.

Якщо на схемі умовними позначеннями зображені кілька однотипних елементів одного виробу, то після їхнього літерно-цифрового позначення через знак «:» пишеться порядковий номер однотипного елемента, який складається з однієї або кількох арабських цифр. Порядковий номер однотипного елемента присвоюється починаючи з одиниці, далі – згідно з розташуванням елементів на схемі в послідовності зліва направо і зверху вниз. Наприклад, на схемі (див. рис. 1.3) використовуються допоміжні К:1 та силові К:2 контакти контактора К.

Літерно-цифрові позначення пишуться зверху або праворуч від умовних графічних позначень елементів. Для них застосовують креслярський шрифт одного й того ж розміру.

Описувати роботу принципової електричної схеми в навчальних цілях рекомендується в такій послідовності:

1. Характеристика джерела живлення.
2. Характеристика силових споживачів електричної енергії.

3. Перелік і призначення електричних апаратів та вимірювальних приладів.
4. Робота схеми на час запуску.
5. Робота схеми в сталому режимі.
6. Робота схеми при робочому відключенні.
7. Робота схеми при аварійному відключенні.

6.3.2. Принципова електрична схема керування роботою насоса з використанням поплавкового реле

Джерелом живлення принципової електричної схеми, зображеної на рис. 6.10, є трифазна чотирилінійна мережа змінного синусоїдального струму.

Силовим споживачем електричної енергії є трифазний асинхронний двигун М з короткозамкненим ротором, який приводить у рух насос.

Перелік і призначення електричних апаратів наведено в табл. 6.1.

Робота схеми на час запуску. Підключення як силової частини схеми, так і схеми керування до джерела живлення відбувається з допомогою автоматичного вимикача QF.

З допомогою перемикача S можливий вибір ручного або автоматичного керування роботою насоса.

Таблиця 6.1. Перелік і призначення електричних апаратів, що забезпечують керування насосом з використанням поплавкового реле

Позначення	Найменування	Призначення
FU1, FU1	запобіжники	захист кіл керування від струмів к.з.
K	контактор	комутація силових кіл і кіл керування
KL	реле проміжне	комутація кіл керування
QF	автоматичний вимикач	вмикання/вимикання схеми в нормальному режимі і захист від струмів к.з. та тривалих перевантажень
S	перемикач	вибір способу керування
SB1, SB2	кнопки керування	функції "Пуск", "Стоп" у нормальному режимі
SL	реле поплавкове	контроль рівня рідини в резервуарі

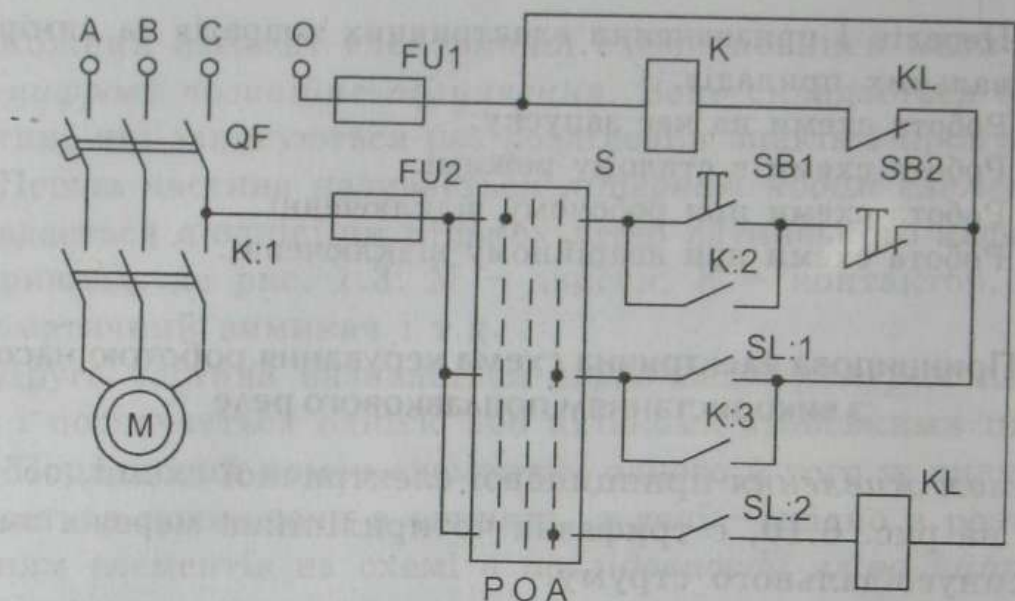


Рис. 6.10. Принципова електрична схема керування роботою насоса з використанням поплавкового реле

При *ручному керуванні* (перемикач S в положенні «Р») запуск відбувається натисканням кнопки керування $SB1$, а при *автоматичному керуванні* (перемикач S у положенні «А») – при замиканні контакту поплавкового реле $SL:1$ (на рис. 6.6 контакт 7), що відбувається, коли рівень води в резервуарі досягне значення $h = h_{min}$.

В обох випадках спрацьовує контактор K . Замикання силових контактів $K:1$ забезпечує прямий пуск двигуна M , а допоміжних контактів $K:2$ та $K:3$ – відповідно блокування $SB1$ та $SL:1$.

Робота схеми в сталому режимі. Робота двигуна M в сталому режимі забезпечує поповнення рідини в резервуарі з допомогою насоса. Електродвигун M обертається зі швидкістю, величина якої залежить від величини навантаження, спричиненого насосом.

Робота схеми при робочому відключенні. При *ручному керуванні* відключення відбувається натисканням кнопки керування $SB2$, а при *автоматичному керуванні* – при замиканні контакту поплавкового реле $SL:2$ (на рис. 6.6 контакт 3), що відбувається, коли рівень води в резервуарі досягне значення $h = h_{max}$. Після цього спрацьовує реле проміжне

KL, розмикається його контакт KL у колі живлення котушки контактора К.

В обох випадках відключається контактор К. Розмикання його силових контактів К:1 забезпечує гальмування на вибіг двигуна М, а розмикання допоміжних контактів К:2 та К:3 – відповідно розблокування SB1 та SL:1.

Робота схеми при аварійному відключенні. У разі виникнення короткого замикання в електричних колах керування відбувається перегорання вставки плавкої запобіжників FU та відключення контактора К і двигуна М від мережі живлення.

У разі виникнення короткого замикання або тривалого перевантаження в силових колах спрацьовує електромагнітний або тепловий розщеплювач автоматичного вимикача QF. Він вимикається, і вся схема відключається від джерела живлення.

6.3.3. Принципова електрична схема керування роботою насоса з використанням електродного реле рівня рідини

Джерелом живлення для силової частини схеми є мережа постійного струму напругою 110 В, а для схеми керування – однофазна мережа змінного синусоїдального струму напругою 220 В (рис. 6.11).

Силовим споживачем електричної енергії в цій схемі є двигун постійного струму з паралельним збудженням М, який приводить у рух насос (табл. 6.2).

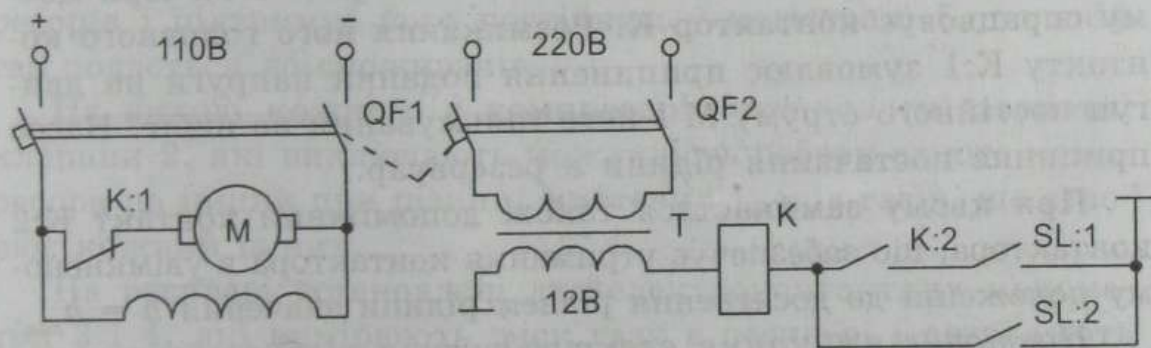


Рис. 6.11. Принципова електрична схема керування роботою насоса з використанням електродного реле рівня рідини

Таблиця 6.2. Перелік і призначення електричних апаратів, що забезпечують керування роботою насоса

Позначення	Найменування	Призначення
К	контактор	комутація силових кіл і кіл керування
QF1, QF2	автоматичні вимикачі	вмикання/вимикання схеми в нормальному режимі та захист від струмів к.з. і тривалих перевантажень
SL	електродний датчик рівня рідини	контроль рівня рідини в резервуарі
Т	трансформатор	пониження напруги з 220 В до 12 В

Робота схеми на час запуску. Схема забезпечує лише автоматичне керування роботою насоса.

Спочатку з допомогою автоматичного вимикача QF2 підключають схему керування до однофазної мережі змінного струму напругою 220 В. Потім з допомогою автоматичного вимикача QF1 підключають силову частину схеми до мережі постійного струму з напругою 110 В.

Якщо рівень рідини в резервуарі має значення $h_{min} < h < h_{max}$, то контактор К знаходиться у відключеному положенні, а його головний контакт К:1 замкнений. Відбувається прямий пуск двигуна М.

Робота в сталому режимі. Робота двигуна М у сталому режимі забезпечує поповнення рідини в резервуарі з допомогою насоса.

Робота при робочому відключенні. Коли рівень рідини досягає значення $h = h_{max}$, замикається контакт SL:2 електродного реле рівня рідини (позиція 2 на рис. 6.9). При цьому спрацьовує контактор К. Розмикання його головного контакту К:1 зумовлює припинення подання напруги на двигун постійного струму М і його гальмування на вибіг. Насос припиняє постачання рідини в резервуар.

При цьому замикається також допоміжний контакт К:2 контактора, що забезпечує утримання контактора в увімкненому положенні до досягнення рівнем рідини значення $h = h_{min}$.

Повторне вмикання електродвигуна відбувається автоматично. В міру зменшення рідини в резервуарі в момент, коли рівень рідини досягне значення $h = h_{min}$, розмикається

контакт SL:1 електродного реле рівня рідини (позиція 3 на рис. 6.9). При цьому контактор К вимикається, замикається його головний контакт К:1, що зумовлює подачу напруги на двигун постійного струму М і його роботу. Насос знову наповнює рідиною резервуар.

Робота схеми при аварійному відключенні. У разі виникнення короткого замикання або довготривалого перевантаження в електричних колах керування спрацьовує електромагнітний чи тепловий розщеплювач автоматичного вимикача QF2, і він вимикається. Аналогічно відбувається захист силових кіл при виникненні короткого замикання чи перевантаження, але з допомогою автоматичного вимикача QF1.

Автоматичні вимикачі QF1 та QF2 мають механічне блокування: при вимиканні одного вимикається також другий.

6.3.4. Принципова електрична схема керування роботою компресорної установки з використанням електроконтактних манометрів

У компресорних установках малої продуктивності зі змінним графіком споживання стисненого газу дуже часто використовують два компресори, що включені на паралельну роботу. Технологічна схема роботи таких компресорів (рис. 6.12) забезпечує більш ефективно та економічно їх використання. Два компресора К1 та К2 приводяться в рух окремо від електродвигунів М1 та М2.

Стиснений газ по трубопроводу 1 передається спочатку до ресивера Р, який згладжує пульсації тиску газу від компресорів і підтримує його постійним у магістралі 5, по якій газ подається до споживачів.

На виході кожного з компресорів установлені зворотні клапани 2, які виключають можливість роботи одного компресора на інший при різниці миттєвих тисків газів, що створює кожний із них.

На ресивері встановлені два електроконтактних манометри 3 і 4, які вимірюють тиск газу в ресивері і дозволяють автоматизувати роботу компресорної установки з підтримання тиску газу в магістралі в певному діапазоні.

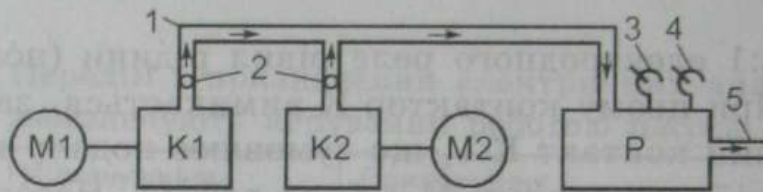


Рис. 6.12. Технологічна схема роботи двох компресорів

Як правило, обидва манометри мають однакову верхню межу тиску ($P_{max1} = P_{max2}$), при якому замикаються електричні контакти для створення електричного сигналу $U_{вим}$ для вимкнення обох компресорів.

Нижні межі тиску, при яких замикаються електричні контакти для створення електричного сигналу $U_{вм}$ для вмикання компресорів, різні (звичайно $P_{min1} > P_{min2}$). Тому при пониженні тиску в мережі до P_{min1} спочатку вмикається перший компресор, а якщо тиск і далі падає, то до роботи залучається й другий.

Принципова електрична схема (рис. 6.13) забезпечує автоматичне керування роботою двох компресорів.

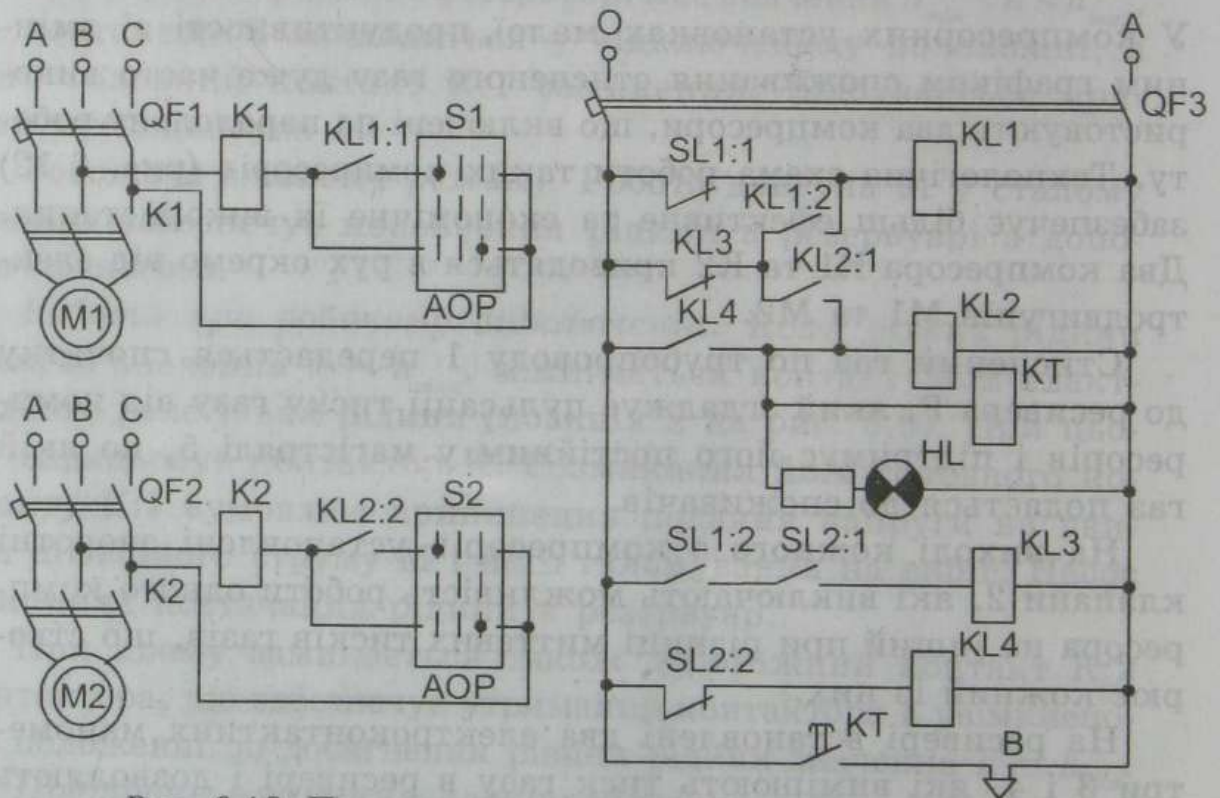


Рис. 6.13. Принципова електрична схема керування компресорною установкою

Джерелом живлення для схеми є трифазна мережа змінного струму.

Силовими споживачами електричної енергії в цій схемі є два асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором: М1 та М2, які приводять у рух компресори.

Перелік електричних апаратів та їх призначення подано в табл. 6.3.

Робота схеми на час запуску. Підключення силових електричних кіл двигунів М1 та М2 до джерела живлення відбувається з допомогою автоматичних вимикачів QF1 та QF2. Електричні кола керування підключаються до джерела живлення з допомогою автоматичного вимикача QF3.

Схема забезпечує як ручне, так і автоматичне керування роботою компресорів.

При ручному керуванні перемикачі S1 та S2 встановлюються в положення «Р». При цьому спрацьовують контактори К1 та К2, відбувається прямий пуск двигунів М1 та М2, і вмикаються обидва компресори. Потрібно пікреслити, що таке керування відбувається, як правило, лише на стадії випробування компресорної установки.

Таблиця 6.3. Перелік і призначення електричних апаратів схеми керування компресорною установкою

Позначення	Найменування	Призначення
B	сирена	звукова сигналізація
HL	лампа сигнальна	світлова сигналізація
K1, K2	контактори	комутація силових кіл
KL1...4	реле проміжні	комутація кіл керування
KT	реле часу	забезпечення затримки в часі
QF1, QF2	автоматичні вимикачі	вмикання/вимикання силових кіл у нормальному режимі та захист від струмів к.з. і тривалих перевантажень
QF3	автоматичний вимикач	вмикання/вимикання кіл керування в нормальному режимі та захист від струмів к.з. і тривалих перевантажень
S1, S2	перемикачі	вибір режиму керування
SL1, SL2	електроконтактні манометри	контроль тиску газу та комутація кіл керування

При автоматичному керуванні перемикачі S1 та S2 встановлюються в положення «А». Якщо тиск газу в ресивері менше першої нижньої межі тиску P_{min1} , то замикається контакт електроконтактного манометра SL1:1. Спрацьовує проміжне реле KL1. Його контакт KL1:1 забезпечує вмикання контактора K1 і, відповідно, двигуна M1, а контакт KL1:2 разом із контактом KL3 забезпечують замкнення електричного кола живлення котушки реле проміжного KL1, навіть коли тиск у ресивері буде більшим P_{min1} .

Якщо ж тиск газу в ресивері продовжуватиме знижуватися, то при досягненні другої нижньої межі тиску P_{min2} замикається контакт електроконтактного манометра SL2:2. Спрацьовує проміжне реле KL4, контакт KL4 якого забезпечує вмикання реле проміжного KL2. Контакт KL2:2 замикає електричне коло живлення котушки контактора K2, і він вмикається. Замикаються контакти K2, і відбувається прямий пуск двигуна M2. Контакт KL2:1 разом із контактом KL3 забезпечують замкнене електричне коло живлення котушки реле проміжного KL2, навіть коли тиск у ресивері перевищує значення P_{min2} .

Робота в сталому режимі. У цьому режимі працює один двигун M1 або також двигун M2, нагнітаючи газ у ресивер та магістраль доти, поки тиск газу не досягне значення верхньої межі тиску P_{max} .

Робота схеми при робочому відключенні. У ручному режимі роботи відключення двигунів M1 та M2 відбувається переключенням перемикачів S1 та S2 в положення «0». Контактори K1 та K2 вимикаються, і відбувається гальмування на вибіг двигунів M1 та M2.

В автоматичному режимі роботи відключення відбувається при досягненні верхньої межі тиску P_{max} . При цьому замикаються контакти електроконтактних манометрів SL1:2 та SL2:1 (за умови, що обидва манометри мають однакову верхню межу тиску $P_{max1} = P_{max2}$). Спрацьовує проміжне реле KL3, розмикаючий контакт KL3 якого забезпечує вимикання реле проміжних KL1 та KL2. Відбувається відключення контакторів K1 та K2 і гальмування на вибіг двигунів M1 та M2.

У вимкненому положенні обидва компресори знаходяться доти, поки тиск газу не досягне нижньої межі P_{min1} .

Робота схеми при аварійному відключенні. Захист силових кіл від короткого замикання або тривалого перевантаження виконується автоматичними вимикачами QF1 та QF2, а електричних кіл керування – автоматичним вимикачем QF3.

Після того як тиск газу досягне другої нижньої межі P_{min2} і замкнеться контакт проміжного реле KL4, загоряється сигнальна червона лампа HL і напруга подається на котушку реле часу КТ. Якщо тиск газу при роботі двох компресорів падатиме чи навіть не підвищуватиметься, то весь цей час буде замкненим контакт SL2:2 електроконтактного манометра, реле проміжне KL4 буде ввімкнене, і з витримкою часу замкнеться контакт КТ реле часу. Вмикається звукова сирена В.

Оператор повинен вжити заходів для ручного вимикання компресорної установки та усунення причин, що зумовили таке значне пониження тиску газу.

6.3.5. Принципова електрична схема керування роботою холодильної установки

Технологічна схема холодильної установки, що працює на хладоні, зображена на рис. 6.14. У цій установці електродвигун M1 приводить в дію компресор К, який забезпечує переміщення хладону по замкненому трубопроводу, а двигун M2 – вентилятор В, який забезпечує примусове охолодження хладону, що знаходиться в конденсаторі Р.

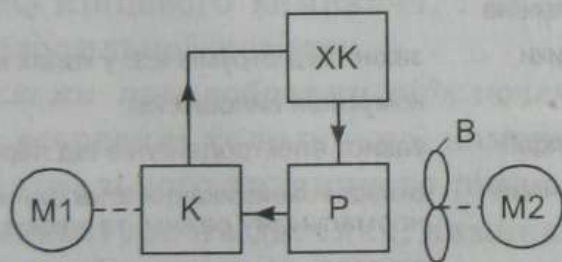


Рис. 6.14. Технологічна схема роботи холодильної установки: M1, M2 – електродвигуни; К – компресор; Р – конденсатор; XK – холодильна камера; В – вентилятор

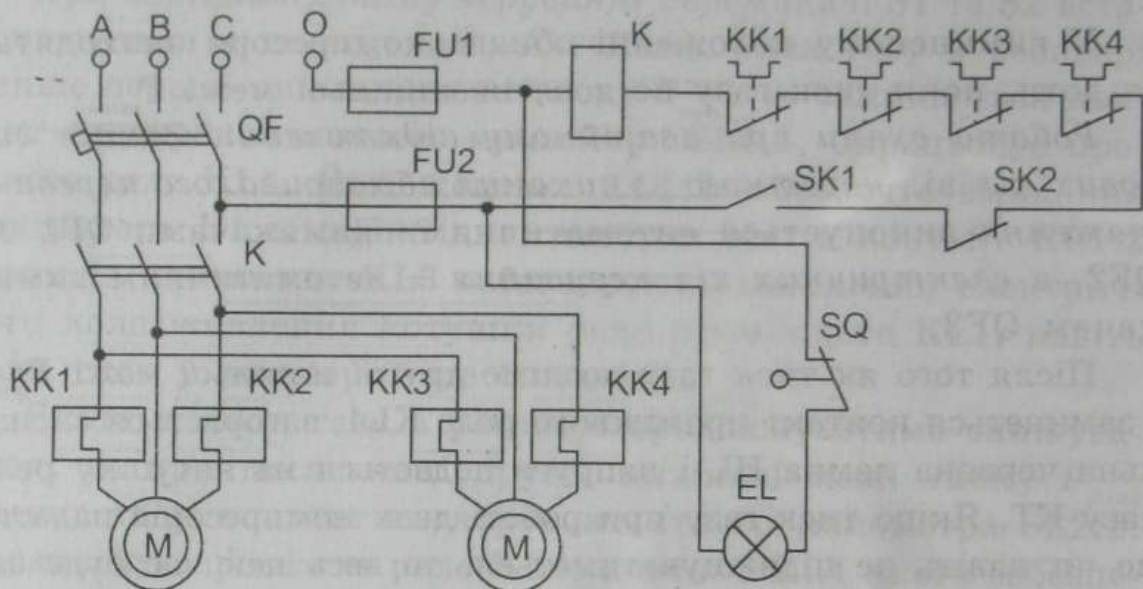


Рис. 6.15. Принципова електрична схема керування холодильною установкою

Принципова електрична схема (рис. 6.15) забезпечує автоматичне керування роботою як компресора, так і вентилятора; повний перелік і призначення апаратів схеми подано в табл. 6.4.

Джерелом живлення для схеми є трифазна чотирипровідна мережа змінного синусоїдального струму.

Таблиця 6.4. Перелік та призначення електричних апаратів схеми роботи холодильної установки

Позначення	Найменування	Призначення
EL	лампа освітлювальна	освітлення всередині холодильної камери
FU1, FU2	запобіжники	захист від струмів к.з. у колах керування
K	контактор	комутація силових кіл
KK1...4	реле теплові	захист електродвигунів від перевантаження
QF	автоматичний вимикач	вмикання/вимикання електричних кіл у нормальному режимі та захист від струмів к.з.
SK1, SK2	датчики температури	контроль температури холодильної камери та радіатора
SQ	кінцевий вимикач	вмикання освітлення всередині холодильної камери при відкриванні дверей

Силовими споживачами електричної енергії в цій схемі є два асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором: М1 та М2.

Робота схеми на час запуску. Підключення силових електричних кіл двигунів М1 і М2 та кіл керування до джерела живлення відбувається з допомогою автоматичного вимикача QF.

Схема забезпечує лише автоматичне керування роботою компресора та вентилятора.

Якщо температура всередині холодильної камери перевищує встановлене максимальне граничне значення, то контакт SK1 температурного датчика, встановленого всередині холодильної камери, буде замкненим. Це є першою умовою для вмикання компресора і вентилятора.

Другою умовою для вмикання є наявність замкненого положення контакту SK2 температурного датчика, встановленого на радіаторі. Ця умова виконується, якщо температура хладону не перевищує 90 °С. При виконанні цих двох умов спрацьовує контактор К, і відбувається прямий пуск двигунів М1 та М2.

Робота в усталеному режимі. У цьому режимі працюють обидва двигуни М1 та М2, приводячи в дію відповідно компресор та вентилятор. Компресор забезпечує зниження температури в холодильній камері, а вентилятор – примусове охолодження хладону в радіаторі. Цей режим триватиме доти, поки температура в холодильній камері не досягне значення встановленого мінімального граничного рівня.

При відкриванні дверей холодильної камери замикається контакт SQ кінцевого вимикача, і вмикається освітлення всередині холодильної камери.

Робота схеми при робочому відключенні. При зниженні температури всередині холодильної камери до значення встановленого мінімального граничного рівня розмикається контакт SK1 температурного датчика, вимикається контактор К, і відбувається гальмування на вибіг двигунів М1 та М2.

Робота схеми при аварійному відключенні. Захист силових кіл від короткого замикання виконується автоматичним

вимикачем QF, а електричних кіл керування – запобіжниками FU1 та FU2.

Якщо температура хладону в конденсаторі перевищує 90 °С, то розмикається контакт SK2 температурного датчика, контактор К вимикається, і відбувається відключення двигунів M1 та M2.

Контрольні питання

1. У чому полягають особливості роботи електроприводів робочих машин відцентрового типу?
2. У чому полягають особливості роботи електроприводів робочих машин поршневого типу?
3. За яких умов з'являється електричний сигнал $U_{ам}$ на виході реле струминного (див. рис. 6.5)?
4. Що треба зробити, щоб збільшити допустимий верхній рівень (h_{max}) рідини в резервуарі при його контролі з допомогою реле поплавкового (див. рис. 6.6)?
5. Чим відрізняється робота реле контролю заливання клапанного і мембранного типів?
6. Чи можливий контроль рівня трансформаторного масла в резервуарі за допомогою електродного датчика рівня (див. рис. 6.9)?
7. Які правила літерно-цифрового позиційного позначення елементів на електричних схемах?
8. Яка послідовність опису роботи принципової електричної схеми?
9. Яку функцію виконує в електричній схемі (див. рис. 6.10) електричний апарат з позначенням SL?
10. Які види захисту передбачені в електричній схемі на рис. 6.11?
11. З якою метою в електричній схемі (див. рис. 6.13) використовують два електроконтактні манометри?
12. Як спрацьовує електрична схема (див. рис. 6.15) при довготривалому перевантаженні двигунів M1 та M2?

Електропривод робочих машин із великими інерційними моментами

До робочих машин із великими інерційними моментами належать: центрифуги, мішалки, обертові печі, сепаратори, вакуум-фільтри, гранулятори, екстрактори хімічної промисловості та ін.

7.1. Особливості пуску

7.1.1. Проблеми пуску

Пуск робочих машин із великими інерційними моментами супроводжується подоланням великого початкового моменту опору, у якому, крім статичної складової, значну роль відіграє динамічна складова, пов'язана з великими інерційними силами. Процес пуску таких робочих машин може тривати кілька хвилин і весь час супроводжується протіканням великих пускових струмів, які негативно впливають як на роботу привідного двигуна, так і на роботу електричної мережі та джерела живлення.

Вимоги щодо умов роботи в усталеному режимі більшості таких машин повністю може задовольнити нерегульований нереверсивний електропривод з асинхронним двигуном із короткозамкненим ротором, проте важкі умови запуску часто унеможливають використання цього простого, дешевого та надійного електродвигуна. Відбувається це з таких причин:

- більшість асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором мають відносно номінального $M_{ном}$ малі значення пускового M_n моменту, який часто значно менший пускового моменту опору $M_{с.л.}$:

$$M_{с.л.} \gg M_n < M_{ном};$$

- тривалість пуску настільки велика (у деяких машинах досягає кількох хвилин), що протікання пускових струмів може зумовити спрацювання системи теплового захисту або ж перегрівання обмоток електродвигуна;
- тривала робота асинхронного двигуна на ділянці нестійкої роботи механічної характеристики (від точки максимального до точки пускового моменту) супроводжується великими значеннями струмів та істотним збільшенням споживання реактивної енергії, що зумовлює зниження коефіцієнта потужності та збільшення витрат на установку та експлуатацію компенсуючих пристроїв.

7.1.2. Способи вирішення проблеми пуску

На практиці проблему пуску робочих машин із великими інерційними моментами вирішують різними способами з урахуванням особливостей механічних характеристик робочих машин та приводного електродвигуна. Можна назвати ряд найбільш ефективних способів пуску таких робочих машин:

1. Використання асинхронного двигуна з фазним ротором. Наявність асинхронного двигуна з фазним ротором у складі електропривода робочої машини з великим інерційним моментом дозволяє виконувати надійний запуск таких машин як у ручному, так і в автоматичному режимах роботи. Прикладом такого електропривода може бути електропривод цементного млина, функціональну електричну схему якого розглянуто в п. 8.5.2.

Аналіз роботи схеми показує, що перевагою електропривода з асинхронним двигуном із фазним ротором є забезпечення надійного пуску робочої машини незалежно від величини її навантаження і тривалості самого процесу розгону до сталої швидкості. Але такий спосіб вирішення проблеми пуску має також ряд *недоліків*, основними з яких є:

- збільшення вартості електропривода порівняно з електроприводом з асинхронним двигуном із короткозамкненим ротором;
- суттєві втрати в допоміжних реостатах, що вводяться в коло обмотки ротора;
- наявність ковзного іскробезпечного контакту «щітки – кільця» на роторі, що ускладнює або унеможливає використання електропривода в пожежо- та вибухонебезпечних зонах.

2. Використання обмежувальних розгінних гідродинамічних муфт. Застосування такого способу вирішення проблеми пуску не лише суттєво зменшує проблему пуску, а й дозволяє в складі електроприводів використовувати прості, надійні та дешеві асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором.

7.1.3. Електропривод з обмежувальною розгінною гідродинамічною муфтою

Структурну схему електропривода робочої машини з обмежувальною розгінною гідродинамічною муфтою (далі – гідромуфта) наведено на рис. 7.1. Асинхронний двигун із короткозамкненим ротором M з'єднується з виконавчим органом BO робочої машини через гідромуфту $ГМ$.

Гідромуфта належить до класу машин, у яких передача енергії здійснюється в результаті дій сил інерції та сил в'язкості. На цей час розроблені та використовуються на практиці різні типи гідромуфт, які мають певні конструктивні особливості й технічні характеристики [31]. Але, не

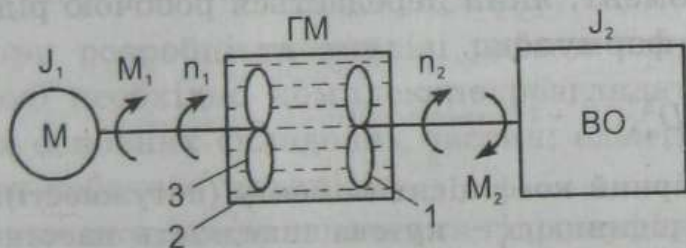


Рис. 7.1. Структурна схема електропривода з обмежувальною розгінною гідродинамічною муфтою

зважаючи на різноманітність конструктивних рішень, можна виділити три головні частини гідромуфт (рис. 7.1):

- насосне колесо 3, з'єднане з валом двигуна М;
- турбінне колесо 1, з'єднане з виконавчим органом робочої машини або безпосередньо, або через передавальний пристрій;
- кожух 2, у якому знаходяться насосне і турбінне колеса.

Простір усередині кожуха між лопатками турбінного та насосного колес, який називається *робочою порожниною*, заповнюється *робочою рідиною*. Робочою рідиною може бути мінеральне масло або вода.

Сукупність деталей, механічно пов'язаних з насосним колесом, називають *вхідною ланкою*, вона характеризується моментом інерції J_1 , обертовим моментом M_1 та частотою обертання n_1 . А сукупність деталей, які механічно пов'язані з турбінним колесом, називаються *вихідною ланкою*, яка характеризується моментом інерції J_2 , моментом опору M_2 та частотою обертання n_2 .

Найширше застосування мають гідромуфти з плоскими лопатками в обох колесах, які розміщуються в радіальних площинах, що проходять через вісь обертання. Обертаючись, насосне колесо зумовлює переміщення робочої рідини в робочій порожнині. Енергія, яка надається насосному колесу, витрачається в основному на надання робочій рідині прискорення, тобто кінетичної енергії. При попаданні на турбінне колесо, робоча рідина сповільнює свій рух, віддає акумульовану енергію турбінному колесу, приводить його в рух, створюючи на вихідній ланці обертовий момент.

При визначенні передаточного відношення гідромуфти враховують момент, який передається робочою рідиною і визначається за формулою:

$$M_p = \lambda \rho \omega_1^2 D_a^5, \quad (7.1)$$

де λ – безрозмірний коефіцієнт моменту (потужності); ρ – густина робочої рідини; ω_1 – кутова швидкість насосного колеса; D_a – активний діаметр гідромуфти (найбільший діаметр робочої порожнини).

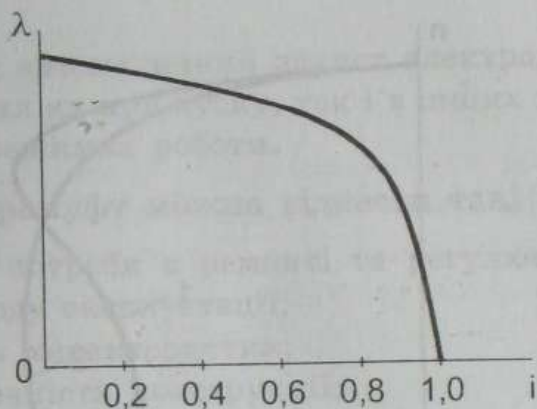


Рис. 7.2. Безрозмірна характеристика гідромуфти

Використовуючи формулу (7.1), будують безрозмірну характеристику [31], яка становить собою залежність безрозмірного коефіцієнта моменту λ від передаточного відношення «i» (рис. 7.2). Безрозмірна характеристика є вихідною при аналізі роботи електропривода з гідромуфтою. За цією характеристикою зручно проводити порівняння різних конструктивних рішень гідромуфт і вибір найбільш ефективного варіанта з урахуванням механічних характеристик електродвигуна та робочої машини.

Для того щоб гідромуфта найбільш ефективно працювала в складі конкретного електропривода з урахуванням умов навантаження, необхідно правильно вибрати її активний діаметр. Без цього гідромуфта може або перевантажувати електродвигун, або ж сама перевантажуватись.

Характерні особливості гідромуфт:

- їх робота пов'язана з втратами енергії;
- гідравлічний ККД гідромуфти залежно від її розмірів та величини навантаження може наближатися до одиниці.

Тому при розробці та аналізі роботи електропривода з гідромуфтою необхідно комплексно розглядати характеристики трьох основних складових частин: електродвигуна, гідромуфти та робочого механізму.

Враховуючи те, що призначення гідромуфти в складі електропривода полягає в компенсації недоліків приводного електродвигуна, гідромуфту вибирають залежно від того, яку

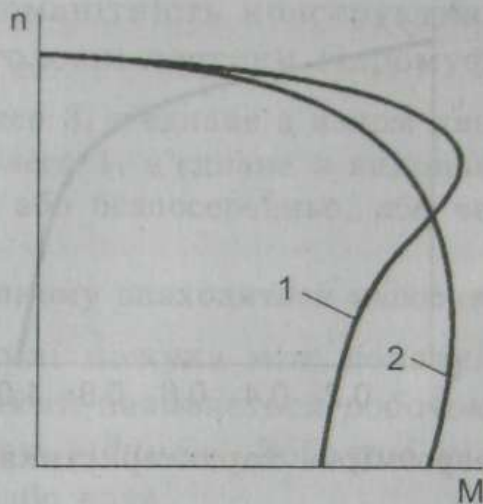


Рис. 7.3. Механічні характеристики:
1 – асинхронного двигуна; 2 – результуюча

характеристику має електродвигун і яку результуючу характеристику електродвигуна з гідромuftою бажано отримати. Детально питання побудови результуючої характеристики з урахуванням механічної характеристики конкретного асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором, величини активного діаметра гідромuftи та її безрозмірної механічної характеристики і властивостей робочої рідини розглянуті в [31]. Аналізуючи *результуючу механічну характеристику електродвигуна і гідромuftи* (рис. 7.3), можна дійти висновків:

- має місце значне зростання пускового моменту, що забезпечує швидкий запуск двигуна;
- значно краще використовується максимальний момент двигуна для подолання початкового статичного моменту опору та моменту інерції робочої машини на час пуску;
- механічна характеристика більш м'яка порівняно з механічною характеристикою двигуна.

Введення до складу електропривода робочих машин із великими інерційними моментами обмежуючих розгінних гідродинамічних муфт дозволяє:

- 1) забезпечити швидкий запуск двигуна при значно меншому навантаженні на його валу;
- 2) досягти плавного прискорення вихідної ланки електропривода;

3) здійснювати автоматичний захист електродвигуна від перевантаження як при пуску, так і в інших нормальних, чи аварійних режимах роботи.

До переваг гідромуфт можна віднести такі їх властивості:

- відсутність потреби в ремонті та регулюванні впродовж усього періоду експлуатації;
- стабільність характеристик;
- вибухобезпечність конструкції;
- перевантаження робочої машини не призводить до перевантаження гідромуфти і не викликає пошкодження її складових частин.

Але слід зазначити і *недоліки*:

- втрати енергії в гідромуфтах. На практиці компенсується завдяки тому, що електропривод з гідромуфтою має двигун значно меншої потужності, ніж без гідромуфти. Можливість використання блокування гідромуфти в сталому режимі роботи дозволяє усунути цей недолік;
- гідромуфти можуть лише краще використовувати момент електродвигуна, але не перетворювати його, а тому гідромуфта не може замінити таких передавальних пристроїв, як редуктор, пасова передача, коробка передач і т.д.

7.2. Особливості гальмування

За нормальних режимів роботи для більшості робочих машин з великими інерційними моментами найчастіше використовується гальмування на вибіг, оскільки наявність великих моментів опору забезпечує порівняно швидке гальмування, а тривалість часу гальмування не впливає суттєво на продуктивність робочої машини.

У тих випадках, коли потрібно скоротити час гальмування, а особливо коли необхідно забезпечити фіксоване положення рухомих частин робочої машини при відключеному стані електропривода, використовується механічне гальмування з допомогою електромагнітного гальма, наприклад барабанного типу. Котушка К електромагнітного гальма ЕГ

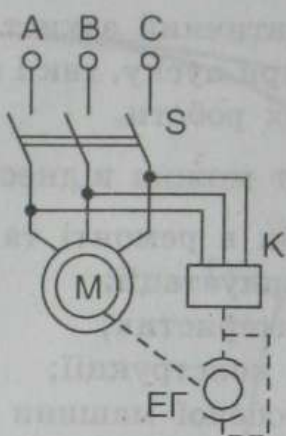


Рис. 7.4. Схема електропривода з електромагнітним гальмом

підключається паралельно до обмоток статора (рис. 7.4), і при роботі двигуна М гальмівні колодки розблоковують барабан, що знаходиться на валу двигуна. При відключенні електродвигуна від мережі з допомогою вимикача S відбувається також відключення електромагніта. Привод гальмується внаслідок дії сил тертя між барабаном і гальмівними колодками та утримує у фіксованому положенні рухомі частини робочої машини.

Такий спосіб гальмування є порівняно простим і надійним. Але виділення великої кількості тепла в місці контактування барабана з колодками обмежує використання такого способу в пожежо- та вибухонебезпечних зонах.

У деяких робочих машинах з великими інерційними моментами термінове гальмування використовують в аварійних ситуаціях, коли від часу гальмування залежить цілісність обладнання та безпека обслуговуючого персоналу. У таких випадках найчастіше використовують гальмування противмиканням. Особливості такого способу гальмування, його переваги та недоліки були розглянуті в п. 5.2.3.

7.3. Особливості реверсу

Необхідність зміни напрямку обертання робочих машин із великими інерційними моментами для технологічних цілей виникає дуже рідко, і найчастіше це пов'язано з необхідністю вивантаження матеріалу після закінчення циклу його обробки.

Іноді необхідність у тимчасовому реверсі пояснюється тим, що після завантаження сировини може виникнути заклинення, застигання, ущільнення і т.д. Запуск електропривода в таких випадках може бути ускладненим, неможливим або ж призвести до пошкодження робочої машини. Одним із способів усунення такого стану є «розкачування», коли електропривод послідовно запускають то в одну, то в іншу сторону («розкачують»), порушуючи при цьому заклинення, застигання, ущільнення або іншу перешкоду, і, нарешті, запускають електропривод у потрібному напрямку обертання.

На рис. 7.5 подано схему реверсивного електропривода з асинхронним двигуном із короткозамкненим ротором.

Джерелом живлення для цієї схеми є трифазна чотирилінійна мережа змінного синусоїдального струму.

Силовим споживачем електричної енергії є асинхронний двигун з короткозамкненим ротором М.

Схему керування складають такі *електричні апарати*: автоматичний вимикач QF, магнітні пускачі K1 та K2, дві кнопки «Пуск» (SB1, SB4) і дві кнопки «Стоп» (SB2, SB3) та реле теплові КК1, КК2.

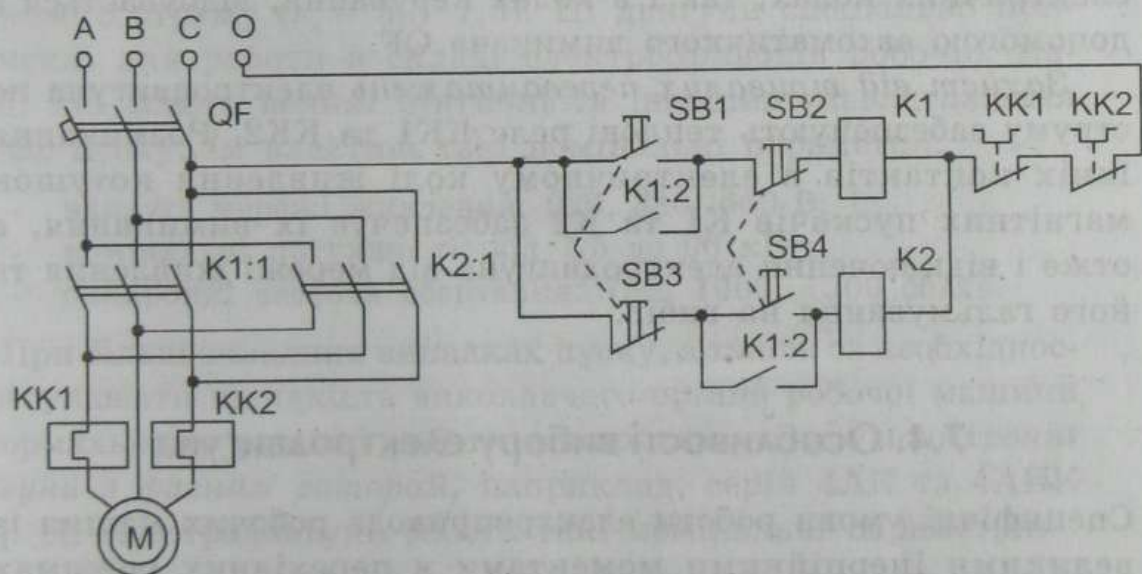


Рис. 7.5. Принципова електрична схема реверсивного електропривода

Пуск електродвигуна здійснюється натисканням на кнопку SB1 («Вперед») або на кнопку SB4 («Назад»). Наявність механічного блокування кнопок SB1 і SB3 та SB4 і SB2 унеможливорює одночасне виконання команд «Вперед» і «Назад».

При пуску в напрямку «Вперед» на обмотки статора двигуна подається напруга з послідовністю фаз «АВС», а при запуску в напрямку «Назад» – з послідовністю фаз «ВАС». Зміною чередування фаз досягається реверс.

При «розкачуванні» робочої машини оператор послідовно натискає на кнопки «Вперед» і «Назад», і при досягненні певної амплітуди «розкачування» залишає двигун увімкненим із напрямком обертання «вперед».

У сталому режимі роботи магнітний пускач К1 (або К2) увімкнений, його силові контакти К1:1 (або К2:1) забезпечують живлення обмоток статора від мережі живлення, а допоміжні контакти К1:2 (або К2:2) – блокування кнопки SB1 (або SB4).

При робочому відключенні необхідно натиснути на кнопку SB2 (або SB3). Магнітний пускач К1 (або К2) вимикається, його силові контакти К1:1 (або К2:1) розривають електричне коло живлення обмоток статора електродвигуна, і відбувається його гальмування на вибіг.

Захист від струмів короткого замикання, як у силових електричних колах, так і в колах керування, відбувається з допомогою автоматичного вимикача QF.

Захист від тривалих перевантажень електродвигуна по струму забезпечують теплові реле КК1 та КК2. Розмикання їхніх контактів в електричному колі живлення котушок магнітних пускачів К1 та К2 забезпечує їх вимикання, а отже і відключення електродвигуна від мережі живлення та його гальмування на вибіг.

7.4. Особливості вибору електродвигуна

Специфічні умови роботи електропривода робочих машин із великими інерційними моментами в перехідних режимах (особливо під час пуску) зумовлюють особливі підходи до вирішення завдання вибору електродвигуна.

Мати в складі електропривода простий, надійний і дешевий *асинхронний двигун із короткозамкненим ротором* можна за таких умов:

- зменшення статичних і динамічних навантажень на час пуску робочої машини. Це можливо, наприклад, за умови пуску робочої машини на холостому ході з наступним завантаження;
- використання допоміжних пристроїв, які забезпечують швидкий і полегшений пуск двигуна та плавний розгін робочої машини до номінальної швидкості. Прикладом такого пристрою може бути обмежувальна розгінна гідродинамічна муфта, роботу якої в складі електропривода було розглянуто в п. 7.1.3.

Для таких електроприводів використовуються асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором загального призначення серій 4А, АИ, АОЗ, АИР та інші, технічні характеристики яких наведені в додатку Б та [1; 21].

Вирішити проблему пуску можна також шляхом використання *асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором з підвищеним пусковим моментом*, наприклад, серії 4АР [21]. Наявність у роторі таких двигунів залитої алюмінієм подвійної короткозамкненої обмотки дозволяє суттєво збільшити пусковий момент ($k_n = 1,8-2,0$) і дещо зменшити величину пускового струму ($k_i = 5,5-7,5$). Ці двигуни спеціально призначені для роботи в складі електроприводів робочих машин, які мають великі статичні та інерційні навантаження на час пуску. Їм властиві такі номінальні параметри:

- напруга мережі живлення: 220, 380, 660 В;
- номінальні потужності: від 7,5 до 90 кВт;
- синхронні частоти обертання: 750, 1000, 1500 об/хв.

При більш складних випадках пуску, а також за необхідності регулювати швидкість виконавчого органа робочої машини в нормальному режимі роботи використовуються *асинхронні двигуни з фазним ротором*, наприклад, серій 4АК та 4АНК [21]. Ці електродвигуни мають такі номінальні параметри:

- напруга мережі живлення: 220, 380, 660 В;
- номінальні потужності: від 5,5 до 400 кВт;
- синхронні частоти обертання: 500, 600, 750, 1000, 1500 об/хв.

Широко використовуються також спеціальні *синхронні електродвигуни*, наприклад серії СДМЗ, які призначені для роботи в складі електропривода шарових і стрижневих млинів у режимі S1. Конструкція двигуна дозволяє виконувати два підряд пуски двигуна з холодного стану або один пуск із нагрітого стану за умови, що середній статичний момент опору на валу робочої машини за час пуску не перевищує $0,8 M_{ном}$. Наступний цикл допускається не раніше ніж через 2 години. Для забезпечення надійної і тривалої роботи електродвигуна загальна кількість пусків має бути мінімальною і не повинна перевищувати 500 пусків за рік.

Електродвигуни мають такі номінальні параметри:

- напруга мережі живлення: 6 кВ;
- номінальна потужність: від 1600 до 4000 кВт;
- частота обертання: 75 та 100 об/хв.

Контрольні питання

1. У чому полягають особливості пуску робочих машин із великими інерційними моментами?
2. Які існують способи вирішення проблем пуску робочих машин з великими інерційними моментами?
3. Чому введення до складу електропривода обмежувальних розгінних гідروмуфт дозволяє полегшити умови пуску робочих машин з великими інерційними моментами?
4. Назвіть і прокоментуйте переваги та недоліки електропривода з гідромуфтою.
5. Дайте аналіз результуючої механічної характеристики асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором та гідромуфтою.
6. У чому полягають особливості гальмування робочих машин із великими інерційними моментами?
7. Як на практиці виконують «розкачування» робочої машини із великими інерційними моментами?
8. У чому полягають особливості вибору електродвигуна для електропривода робочих машин з великими інерційними моментами?

Електроприводи робочих машин для хімічних, газо- і нафтопереробних підприємств

Характерною ознакою сучасних хімічних, газо- та нафтопереробних підприємств є високий рівень споживання електричної енергії. Значна частина споживання електроенергії припадає на енергоємні технологічні процеси, але досить вагомими є також витрати на електроприводи основного і допоміжного обладнання. Враховуючи специфічні умови роботи обладнання на цих підприємствах, пов'язані з наявністю хімічно-агресивних, вологих, вибухо- та пожежонебезпечних приміщень і навколишніх середовищ, до електропривода робочих машин висуваються специфічні вимоги, особливо в питаннях надійності і безпеки.

8.1. Вимоги до системи електропостачання

Великі потужності електроприводів та електротехнологічних апаратів на хімічних, газо- та нафтопереробних підприємствах зумовлюють велику концентрацію енергії як в окремих цехах, так і на відносно невеликій території підприємства. Потужність трансформаторних підстанцій деяких хімічних комбінатів досягає 500 МВ · А.

Переважна більшість таких підприємств потребує підвищеної надійності енергопостачання, оскільки вони належать до першої категорії споживачів електричної енергії. Це означає,

що-перерва в електропостачанні підприємства може спричинити загибель людей, аварійний вихід із ладу обладнання, розлад складного технологічного процесу, масовий брак продукції або сировини. Тож з метою забезпечення потрібної надійності електропостачання таких підприємств здійснюється від трьох незалежних джерел живлення.

До робочих машин хімічних, газо- і нафтопереробних підприємств *першої категорії* споживачів електроенергії можна віднести: етилозміщувальні установки, компресори для подання повітря для пневмотранспорту та циркуляції газових сумішей, сировинні насоси, санітарно-технічну вентиляцію, насоси головного водозабору, оборотного водопостачання та каналізації та ін.

Значна частина споживачів електричної енергії на хімічних, газо- та нафтопереробних підприємствах належать до *другої категорії*. Це споживачі, перерва в електропостачанні яких зумовлює недовиробіток продукції, простої робітників, обладнання і транспортних засобів, але не призводить до катастроф чи аварій. До таких підприємств можна віднести: целюлозні підприємства, підприємства з виготовлення продуктів лісохімії, аміачної селітри, розбавленої азотної кислоти та ін.

Багато хімічних підприємств, і в першу чергу тих, де використовуються електрохімічні та плазмохімічні установки, висувають підвищені вимоги щодо параметрів, які характеризують *якість електроенергії*:

- відхилення від номінального значення та коливання частоти струму не більше $\pm 0,1$ Гц;
- відхилення від номінального значення та коливання напруги на затискачах силових електроспоживачів – від -5 до + 10%, для освітлювальних електроспоживачів – від -2,5 до + 5,0%;
- синусоїдальність кривої напруги;
- зсув нейтралі при з'єднанні джерела та споживача за схемою «зірка»;
- несиметрія напруги по фазах трифазної мережі.

8.2. Вимоги до навколишнього середовища

При виборі електроприводів робочих машин для хімічних, газо- та нафтопереробних підприємств значну увагу приділяють умовам навколишнього середовища, у яких він буде працювати. Найчастіше це приміщення вибухо- та пожежо-небезпечні, вологі та особливо вологі, запилені та загазовані.

Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) [18] визначають ступінь вибухо- та пожежобезпеки зон (приміщень) залежно від їх класу.

До *вибухонебезпечних зон* відносять ті, у яких технологічні процеси можуть супроводжуватись виникненням вибухонебезпечних сумішей: горючих газів чи парів повітря з киснем чи іншими газами-окиснювачами; горючого пилу чи волокон з повітрям при переході їх до завислого стану.

Згідно з ПУЕ *вибухонебезпечні зони* класифікують на такі класи.

Зони класу В-I – зони, у яких виникнення вибухонебезпечних сумішей горючих газів чи парів з повітрям можливе за нормальних умов роботи (навантаження чи розвантаження технологічних апаратів, зберігання чи переливання легкозаймистих рідин та ін.).

Зони класу В-Ia – зони, у яких виникнення вибухонебезпечних сумішей горючих газів чи парів з повітрям можливе лише в результаті аварії або неполадок.

Зони класу В-Iб – зони, які відрізняються від зон В-Ia однією з особливостей:

1. Горючі гази в цих зонах мають високу нижню концентраційну межу займання (15% і більше) та різкий запах при допустимих концентраціях (наприклад, приміщення, де використовується аміак).

2. Приміщення підприємств, де використовується газоподібний водень, який може створити з повітрям вибухонебезпечну суміш в об'ємі, що перевищує 5% від вільного об'єму приміщення.

Зони класу В-Iг – простори у зовнішніх установках, наземних чи підземних резервуарах з легко займистими

рідинами, або простори в проміжках за зовнішніми огороженнями приміщень із зонами класів В-I, В-Ia, В-II.

Зони класу В-II – зони, які розміщені в приміщеннях, де можуть виникнути вибухонебезпечні суміші горючого пилу або волокон із повітрям, або з іншими окиснювачами за нормальних нетривалих режимів роботи.

Зони класу В-IIa – зони, які розміщені в приміщеннях, де небезпечний стан, характерний для зони В-II, можливий лише в результаті аварії або неполадок.

До *пожежонебезпечних зон* відносять ті, у яких постійно чи періодично використовуються або зберігаються горючі речовини і в яких вони можуть знаходитися при нормальному технологічному процесі або при його порушенні.

Згідно з ПУЕ *пожежонебезпечні зони* класифікують на такі класи:

- *зони класу III* – зони, що знаходяться в приміщенні, у якому обертаються горючі рідини з температурою займання вище 61 °С;
- *зони класу IIII* – зони, які знаходяться в приміщенні, у якому виділяється горючий пил або волокна з нижньою концентраційною межею займання більше 65 г/м³ до об'єму повітря;
- *зони класу IIIa* – зони, які знаходяться в приміщенні, у якому обертаються тверді горючі речовини;
- *зони класу IIII* – зони, які знаходяться зовні приміщення, у якому обертаються горючі рідини з температурою займання вище 61 °С або тверді горючі речовини.

8.3. Вимоги до електрообладнання

Залежно від умов захисту від дії навколишнього середовища електрообладнання може мати, згідно з [5], такі види виконання:

- *відкрите* – не захищене оболонкою від дотикання до його частин, які знаходяться під напругою, небезпечних частин, які рухаються і (або) від попадання всередину сторонніх предметів, рідин і пилу;

- захищене – має оболонку для захисту від дотику до його частин, які знаходяться під напругою, небезпечних частин, які рухаються і (або) від попадання всередину сторонніх предметів, рідин і пилу;

- краплезахищене – виконане так, що виключається попадання всередину його оболонки крапель у кількості, яка порушує його роботу;

- бризказахищене – виконане так, що виключається попадання всередину його оболонки бризок, які падають під будь-яким кутом до вертикалі в кількості, яка викликає порушення в роботі;

- водозахищене – виконане так, що при обливанні його водою виключена можливість її попадання всередину його оболонки в кількості, яка порушує його роботу;

- пилезахищене – виконане так, що виключається попадання всередину його оболонки пилу в кількості, яка порушує його роботу;

- пилонепроникне – виконане так, що попадання пилу всередину його оболонки виключається повністю;

- закрите – виконане з такою оболонкою, що можливість сполучення між його внутрішнім простором і навколишнім середовищем може мати місце лише через нещільність з'єднань між частинами електротехнічного виробу;

- герметичне – виконане з такою оболонкою, що практично виключена можливість сполучення між його внутрішнім простором і навколишнім середовищем;

- вибухозахищене – виконане таким чином, що усувається можливість займання навколишнього вибухонебезпечного середовища внаслідок експлуатації цього обладнання;

- підвищеної надійності проти вибуху – вибухозахист забезпечується тільки у визнаному нормальним режимі;

- вибухобезпечне – вибухозахист забезпечується як при нормальному режимі роботи, так і при визнаних імовірними пошкодженнях, які визначаються умовами експлуатації, крім пошкоджень засобів вибухозахисту;

- особливо вибухобезпечне – у якому по відношенню до вибухонебезпечного електротехнічного виробу вжиті додаткові заходи вибухозахисту, які передбачені стандартом на види вибухозахисту.

Електрообладнання (електродвигуни, електричні апарати, прилади для вимірювання та контролю, освітлювальні прилади, електропроводка і т.д.), яке працює у *вибухонебезпечних зонах*, має бути виготовлене згідно з «Правилами виготовлення вибухозахищеного електрообладнання».

Вмикати вибухозахищене електрообладнання необхідно в порядку, який викладений в інструкції заводу-виробника.

Згідно з ГОСТом 12.2.020-80 [4], вибухозахищене електрообладнання може бути призначене для *двох видів розміщення – внутрішнього та зовнішнього*.

Згідно з [4], залежно від сфери застосування вибухозахищене електрообладнання поділяється на дві групи:

- *група I* – рудникове вибухозахищене електрообладнання, призначене для підземних робіт у шахтах і рудниках, небезпечних за газом чи пилом;
- *група II* – вибухозахищене електрообладнання для внутрішнього і зовнішнього розміщення, крім рудникового вибухозахищеного.

Вибухозахищене електрообладнання групи II, яке має вибухозахищену оболонку і (чи) іскробезпечне електричне коло, поділяється на *підгрупи* ІА, ІВ і ІС.

Для вибухозахищеного електрообладнання групи II залежно від граничної температури визначаються температурні класи (табл. 8.1).

Вибухозахищене електрообладнання групи II для внутрішнього і зовнішнього розміщення згідно з [4] може мати такі *види вибухозахисту*:

- *вибухонепроникна оболонка* (знак виду вибухозахисту – *d*) – захисна оболонка витримує тиск вибуху всередині її

Таблиця 8.1. Температурні класи для вибухозахищеного електрообладнання групи II

Температурний клас	Гранична температура, °С	Температурний клас	Гранична температура, °С
T1	450	T4	135
T2	300	T5	100
T3	200	T6	80

і запобігає поширенню вибуху з оболонки в навколишнє середовище;

- *іскробезпечний електричний ланцюг* (знак виду вибухозахисту – *i*) – іскробезпечні ланцюги виконуються так, що електрична іскра не може запалити вибухонебезпечне середовище;
- *захист виду «e»* (знак виду вибухозахисту – *e*) – в електрообладнанні чи його частині, де може з'явитися іскра, вживаються допоміжні заходи для запобігання появи небезпечних нагрівань, електричних іскор і дуг;
- *масляне заповнення оболонки* (знак виду вибухозахисту – *o*) – електричні частини електрообладнання, вмонтовані в оболонку, знаходяться під захисним шаром мінерального масла або рідкого діелектрика;
- *заповнення чи продувка оболонки під надлишковим тиском* (знак виду вибухозахисту – *p*) – струмоведучі й ті, що знаходяться під напругою, частини електрообладнання, які вмонтовані в оболонку, продуваються чистим повітрям або інертним газом під надлишковим тиском;
- *кварцеве заповнення оболонки* (знак виду вибухозахисту – *q*) – вмонтовані в оболонку струмопровідні частини електрообладнання знаходяться під захисним шаром кварцевого піску;
- *спеціальний вид вибухозахисту* (знак виду – *s*).

Маркування вибухозахисту електрообладнання групи II виконується у вигляді цільного, не розділеного на частини знака, наприклад:

- 0ExidIIAT5 – особливо вибухонебезпечне обладнання, іскробезпечний електричний ланцюг та вибухонебезпечна оболонка, підгрупа ІА, температурний клас Е5;
- 1ExiIICT4 – вибухонебезпечне електрообладнання, іскробезпечний електричний ланцюг, підгрупа ІС, температурний клас Т4;
- 2ExeIIТ6 – електрообладнання підвищеної надійності проти вибуху, захист виду «e», група ІІ, температурний клас Т6.

Згідно з вимогами ПУЕ, все електрообладнання, а також електропроводка, які знаходяться у вибухонебезпечних зонах, повинні підлягати зовнішньому огляду не рідше одного разу в 3 місяці. Огляд має проводитись відповідальним за електрогосподарство або призначеною ним особою. Результати огляду заносять до оперативного або спеціального журналу.

8.4. Особливості вибору складових частин електропривода

Для забезпечення надійної та безпечної роботи електрообладнання електропривода, яке використовується у вибухонебезпечних приміщеннях, воно має суворо відповідати умовам навколишнього середовища. Правила вибору електрообладнання залежно від класу вибухонебезпечних приміщень чи зовнішніх установок, категорії та групи вибухонебезпечних речовин і т.д. детально викладені в ПУЕ [18]. У цьому розділі будуть розглянуті лише основні положення цих правил.

У вибухонебезпечних приміщеннях необхідно розміщувати лише мінімум дорогого вибухозахищеного чи пожежобезпечного електрообладнання. Все інше обладнання має розміщуватися в безпечних приміщеннях, які надійно ізольовані від небезпечних приміщень.

8.4.1. Особливості вибору електродвигунів

Найчастіше на хімічних, газо- та нафтопереробних підприємствах у складі електроприводів використовують асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором. Рідше використовують асинхронні двигуни з фазним ротором та синхронні, а двигуни постійного струму – значно рідше, оскільки використання їх у вибухонебезпечних приміщеннях є ускладненим, у першу чергу, через наявність електричного контакту «колектор – щітки», який зумовлює появу іскріння.

У приміщеннях з хімічно активним середовищем використовують асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором серій:

- АИРС (рис. 8.1а) – з підвищеним ковзанням; призначені для роботи в складі електропривода робочих машин зі ступеневим регулюванням частоти обертання; живлення від мережі 220/380 В; із вмонтованим температурним захистом; види кліматичного виконання: У2, У3, У5, УХЛ2, УХЛ4, Т2; режим роботи: S1;
- АИРЖ (рис. 8.2б) – призначені для роботи в складі електропривода моноблочних відцентрових насосів; живлення від мережі 220/380 В, 380/660 В з частотою 50 Гц та 60 Гц; види кліматичного виконання: У2, У3, У5, УХЛ2, УХЛ4, Т2; режими роботи: S1 – S8.

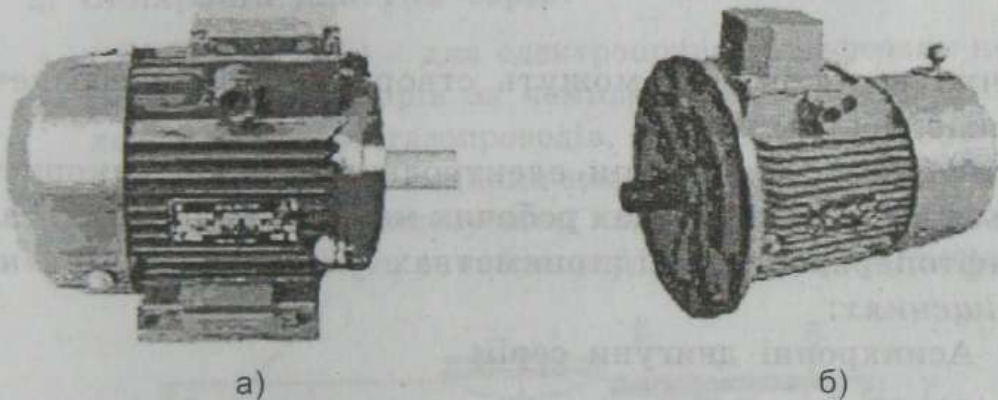


Рис. 8.1. Асинхронні двигуни серій:
а – АИРС; б – АИРЖ

В електроприводах робочих машин, які працюють у вибухонебезпечних зонах, використовують вибухозахищені, з підвищеною надійністю проти вибуху, вибухобезпечні та особливо вибухобезпечні електродвигуни, які відрізняються від електричних машин загального використання конструкцією та матеріалами оболонки (кожуха) та ущільнень, які забезпечують необхідну вибухобезпеку. Ступінь захисту електродвигуна визначається класом вибухонебезпеки тієї зони, де він повинен працювати, наявності в навколишньому середовищі тих чи інших газів, парів, пилу чи

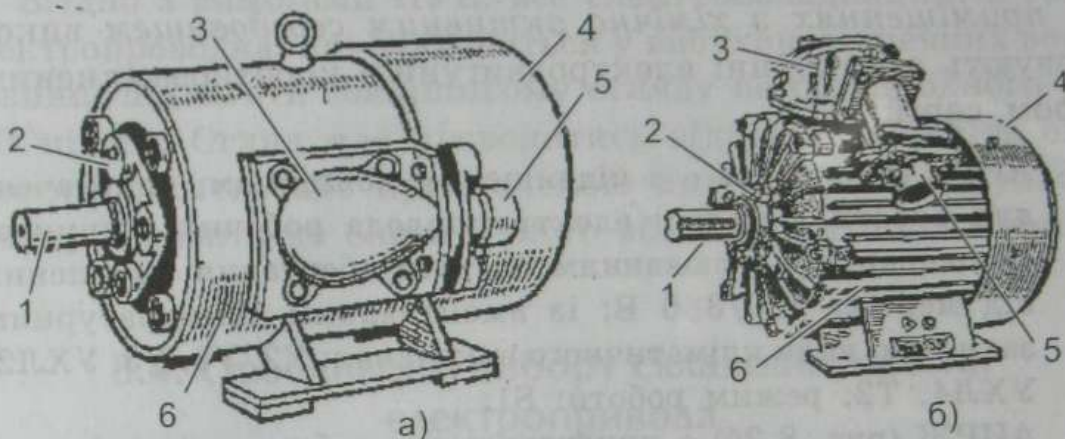


Рис. 8.2. Асинхронні двигуни серій:

а) – МА36; б) – ВА0: 1 – вал; 2 – підшипниковий щит; 3 – клемна коробка; 4 – вентиляційний кожух; 5 – патрубок для вводу кабеля, 6 – станина

горючих волокон, які можуть створити вибухонебезпечні суміші з повітрям.

Розглянемо деякі типи електродвигунів, що використовуються в електроприводах робочих машин на хімічних, газо- та нафтопереробних підприємствах у вибухонебезпечних приміщеннях:

1. Асинхронні двигуни серії:

- МА36 (рис. 8.2а) – із короткозамкненим або фазним ротором;
- АИМ, АИММ – із короткозамкненим ротором; для електроприводів стаціонарних робочих машин;
- АИМС, 2АИМС – із короткозамкненим ротором та габаритними розмірами за стандартом CENELEC; для електроприводів стаціонарних робочих машин;
- АИУМ – із короткозамкненим ротором; для електроприводів скребкових та стрічкових конвеєрів; допускають до 22 вмикань за годину;
- КОмн, КОФмн – із короткозамкненим ротором для електроприводів нафтових моноблочних насосів.

Технічні дані зазначених двигунів наведені в табл. 8.2.

Таблиця 8.2. Технічні дані вибухозахищених асинхронних двигунів

Серія	U, В	f, Гц	P, кВт	Режим роботи	Кліматичне виконання	Ступінь захисту
BAO, BAO2	220...660 та 6, 10 кВ	50, 60	0,27...2000	S1	У1-5, Т2	IP54
АИМ, АИММ	220...660	50, 60	1,5...550	S1 та S2, S3, S4 з ТВ	У5, У5, Т2, Т5	IP53, IP55
АИМС, 2АИМС	220...660	50, 60	1,5...550	S1 та S2, S3, S4 з ТВ	У5, У5, Т2, Т5	IP55
АИУМ	220...660	50, 60	22...75	S1 та S4 з ТВ	У5, Т5	IP54
МА36, МА37	220...660	50	40...400	S1	У2, У5, Т2, Т5, УХЛ, О	-
КОМН, КОФМН	220...660	50	8, 75	S1	У1...У5	-

2. Синхронні двигуни серій:

- *СТДП* (рис. 8.3) – для електроприводів нафтових насосів, газових компресорів на компресорних станціях магістральних нафто- та газопроводів, газових компресорів хімічних підприємств, водяних насосів, що підтримують пластовий тиск при видобуванні нафти, а також вентиляторів, що встановлюють у вибухонебезпечних приміщеннях;

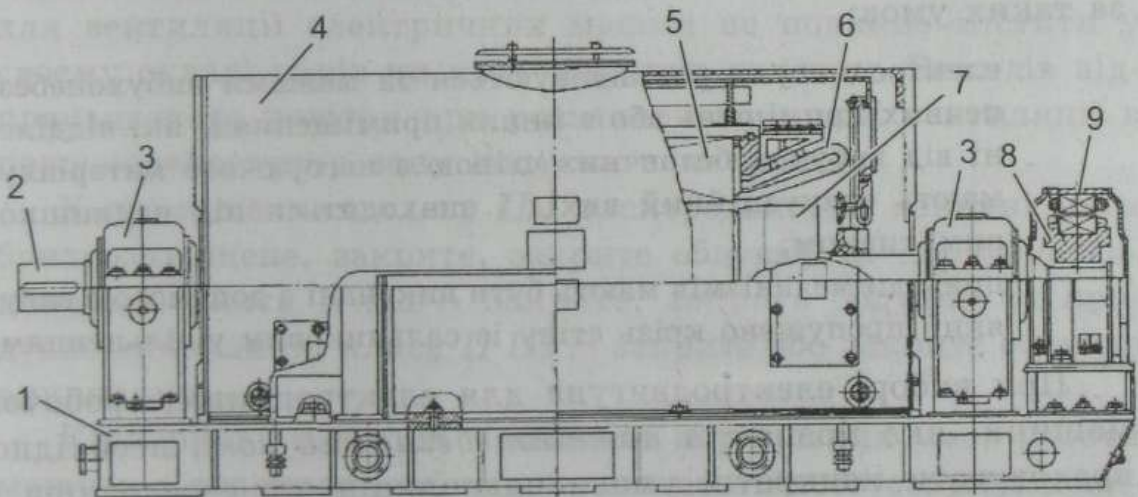


Рис. 8.3. Синхронний двигун серії СТДП:

- 1 – фундамента плита; 2 – вал; 3 – стоякові підшипники; 4 – станина статора двигуна; 5 – осердя статора двигуна; 6 – обмотка статора двигуна; 7 – ротор двигуна; 8 – якір збудника; 9 – статор збудника

- СДКП2 – для електроприводів компресорів, які встановлені у вибухонебезпечних приміщеннях;
- СДКМ – для приводів аміачних поршневих компресорів;
- СДМП2 – для електроприводів шарових і стрижневих млинів.

Технічні дані зазначених двигунів наведені в табл. 8.3.

Більш повна інформація про вибухозахищені електродвигуни подається в [1; 21; 22].

Таблиця 8.3. Технічні дані вибухозахищених синхронних двигунів

Серія	U, КВ	f, Гц	P, КВт	Режим роботи	Кліматичне виконання	Ступінь захисту
СТДП	6,10	50	1250...5000	S1	–	–
СДКП2	6,10	50	315...800	S1	УХЛ4	–
СДКМ	6	50	385...940	S1	–	–
СТДМП2	6	50	400...800	S1	УХЛ4	IP43

В електроприводах робочих машин, які працюють у вибухонебезпечних приміщеннях, також можна використовувати електродвигуни в *нормальному закритому виконанні*, але за таких умов:

- електродвигуни розташовуються за межами вибухонебезпечних приміщень або в інших приміщеннях, які відділені від вибухонебезпечних стіною з негорючого матеріалу, мають евакуаційний вихід і знаходяться під надлишковим тиском;
- приводи механізмів мають бути виконані з допомогою валу, який пропущено крізь стіну із сальниковим ущільненням.

При виборі електродвигуна для електропривода робочої машини, яка працює в *пожежонебезпечній зоні*, необхідно враховувати конкретні умови навколишнього середовища і вибирати місце його розташування по можливості якнайдалі від місця знаходження горючих речовин.

Особливості вибору електродвигунів для таких приміщень (зон) обумовлені ПУЕ, згідно з якими в таких приміщеннях

Таблиця 8.4. Мінімальні допустимі ступені захисту оболонок електричних машин залежно від класу пожежонебезпечної зони

Вид установки і умови роботи	Ступінь захисту оболонки для пожежної зони класу			
	П-I	П-II	П-IIa	П-III
Стационарно розміщені машини, які іскрять або мають частини, що іскрять, за умовами роботи	IP44	IP54	IP44	IP44
Стационарно розміщені машини, які не іскрять і не мають частин, що іскрять, за умовами роботи	IP44	IP44	IP44	IP44
Машини з частинами, які іскрять або не іскрять за умовами роботи та розміщені на пересувних механізмах і установках (крани, тельфери, електровізки та ін.)	IP44	IP54	IP44	IP44

можуть працювати електродвигуни з напругою до 10 кВ, за умови, що їх оболонка матиме ступінь захисту не нижче, ніж вказано в табл. 8.4.

У пожежобезпечних зонах можуть використовуватись електродвигуни, які продуваються чистим повітрям з вентиляцією по замкненому або незамкненому циклу. Повітря для вентиляції електричних машин не повинне містити у своєму складі парів чи пилу горючих речовин. Викидів відпрацьованого повітря при розімкненому циклі вентиляції в пожежонебезпечну зону допускати не можна.

У приміщеннях класу П-I електродвигуни повинні мати бризкозахищене, закрите, закрите обдувне чи продувне виконання, класу П-IIa – закрите, закрите обдувне чи продувне виконання, класу П-III – закрите або закрите обдувне виконання.

Електричні машини, у яких за нормальних умов роботи можуть з'являтися іскри (двигуни постійного струму, асинхронні двигуни з контактними кільцями, синхронні двигуни і т.д.) повинні розміщуватись на відстані не менше 1 м від місця розташування горючих речовин, або ж мають відділятися від них екраном з негорючого матеріалу.

Згідно з ПУЕ, у пожежонебезпечних зонах можливе використання електродвигунів з меншим ступенем захисту оболонки, ніж указано в табл. 8.4, але за таких умов:

- електродвигуни повинні розміщуватися за межами пожежонебезпечних зон;
- приводи механізмів мають виконуватися за допомогою валу, який пропущено крізь стіну із сальниковим ущільненням.

8.4.2. Особливості вибору електричних апаратів і приладів

Вимоги до виконання електричних апаратів і приладів, які працюють у складі електроприводів робочих машин на хімічних, газо- та нафтопереробних підприємствах, залежать від навколишнього середовища, обумовлені вимогами ПУЕ і аналогічні до розглянутих у попередньому параграфі. Безпосередньо в пожежо- та вибухонебезпечних зонах потрібно розміщувати лише обмежену кількість електричних апаратів та приладів у спеціальному виконанні, а всі інші по можливості повинні мати нормальне виконання і розміщуватися в безпечних приміщеннях.

Електричні апарати та прилади, призначені для роботи у вибухонебезпечних приміщеннях класу *B-I*, повинні мати виконання вибухозахисту виду *d*, *p* або *i*; у приміщеннях класу *B-II* – *d*, *p*, *i*, *e* або *o*; у приміщеннях класу *B-Ia* електричні апарати з частинами, що нормально іскрять і нагріваються вище 80 °С, повинні мати будь-яке вибухозахищене виконання для відповідних категорій і груп вибухобезпечних сумішей; апарати, які не мають частин, що нормально іскрять і нагріваються вище 80 °С, повинні мати пилонепроникне виконання; у приміщеннях класу *B-Ib* допускається закрите виконання, за винятком пускорегулювальних електричних апаратів для двигунів аварійної вентиляції, які відповідають категорії та групі вибухобезпечних сумішей.

Електричні апарати і прилади для роботи у вибухонебезпечних приміщеннях виконуються в маслонаповнюваній оболонці.

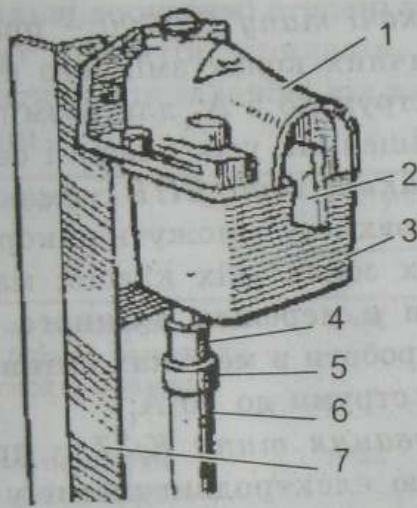


Рис. 8.4. Ключ керування типу КУ-700:

1 - кришка; 2 - рукоятка; 3 - корпус; 4 - герметичний увід; 5 - з'єднувальна муфта; 6 - металева труба; 7 - стійка для кріплення

Наведемо кілька прикладів електричних апаратів, які розраховані для роботи у вибухонебезпечних приміщеннях у складі електроприводів робочих машин на хімічних, газо- та нафтопереробних підприємствах:

- *ключ керування типу КУ-700* (рис. 8.4), який буває на два і три положення, призначений для комутації в електричних колах змінного струму з напругою до 500 В та на струм до 5 А, для розміщення у вибухонебезпечних приміщеннях усіх класів і середовищ;
- *пости керування та сигналізації серії ПВ* - для управління електроприводами робочих машин у пересувних і стаціонарних установках, а також для сигналізації про стан окремих складових привода; мають вибухобезпечний рівень вибухозахисту; призначені для роботи у вибухонебезпечних зонах В-І, В-Іа, В-Іг, В-Іа; *пости керування* мають маркування ПВ-К і виготовляються двох модифікацій: а) для роботи в мережах з напругою до 380 В змінного та 220 В постійного струму; б) для роботи в мережах з напругою до 660 В змінного та 440 В постійного струму і на струми до 10 А; *пости сигналізації* випускаються в п'яти виконаннях: ПВ-А (з амперметром), ПВ-В (з вольтметром), ПВ-С1 (з трьома комутаторними лампами), ПВ-С2 (з трьома люмінесцентними лампами), ПВ-С3 (з шістьма люмінесцентними лампами);

- *кінцеві вимикачі типу ВК-700* – призначені для комутації в електричних колах змінного струму з напругою до 500 В та на струм до 5 А, для розміщення у вибухонебезпечних приміщеннях усіх класів і середовищ;
- *шляхові вимикачі серії ВПВ* – мають вибухобезпечний рівень вибухозахисту і можуть використовуватись у вибухонебезпечних зонах усіх класів; мають два виконання: а) для роботи в мережах змінного струму напругою до 380 В; б) для роботи в мережах змінного струму напругою до 220 В і на струми до 10 А;
- *колонка керування типу К-37* – призначені для керування роботою електродвигунами у вибухонебезпечних приміщеннях при температурі навколишнього середовища від -40 до $+35$ °С, має вибухонепроникну оболонку з прохідними затискачами і ввідним пристроєм з резино-вим ущільненням та кожух-підставку, на який кріпиться оболонка;
- *магнітні пускачі серії ПМ-701, ПМ-702* – призначені для керування роботою асинхронними електродвигунами у вибухонебезпечних приміщеннях класу В-Ia та вибухонебезпечних установках для зовнішнього розміщення класу В-Ig при температурі навколишнього середовища від -30 до $+35$ °С, контактна система розміщена в трансформаторному маслі;
- *безконтактна кнопкова станція серії БКС-2* – складається з двох дроселів із замикаючими/розмикаючими магнітопроводами та проміжного реле.

Електричні апарати, прилади, шафи та коробки з'єднань затискачів, призначені для роботи в *пожежонебезпечних зонах*, згідно з вимогами ПУЕ повинні мати оболонку, ступінь захисту якої не нижчий, ніж вказано в табл. 8.5.

У *пожежонебезпечних зонах* будь-якого класу можуть використовуватись електричні апарати, прилади, шафи та коробки з'єднань затискачів, які продуваються чистим повітрям з вентиляцією по замкненому або розімкненому циклу.

Електричні апарати та прилади, *які іскрять в умовах роботи*, вибирають за виконанням, керуючись такими правилами: для приміщень класу II-I – маслонаповнені або

Таблиця 8.5. Мінімальні допустимі ступені захисту оболонок електричних апаратів, приладів, шаф і коробок з'єднань затискачів залежно від класу пожежонебезпечної зони

Вид установки і умови роботи	Ступінь захисту оболонки для пожежної зони класу			
	П-I	П-II	П-IIa	П-III
Стационарно розміщені чи пересувні механізми та установки (крани, тельфери, електровізки та ін), які іскрять в умовах роботи	IP44	IP54	IP44	IP44
Стационарно розміщені чи пересувні механізми та установки, які не іскрять в умовах роботи	IP44	IP44	IP44	IP44
Шафи для розміщення апаратів і приладів	IP44	IP54, IP44	IP44	IP44
Коробки з'єднань затискачів силових і вторинних кіл	IP44	IP44	IP44	IP44

* При встановленні в них апаратів та приладів, які не іскрять в умовах роботи.

пилонепроникні; для класу П-II – пилонепроникні; для класу П-IIa – закриті або маслонаповнені; для класу П-III – закриті.

Електричні апарати та прилади, які не іскрять в умовах роботи, для всіх класів пожежонебезпечних зон повинні мати закрите виконання.

Особливі вимоги ставляться до електронагрівальних приладів. Для приміщень будь-якого класу пожежонебезпеки, де ці прилади необхідні за умовами технологічного процесу, робочі частини приладів, що нагріваються, повинні бути захищеними від попадання на них горючих речовин, а самі прилади мають бути встановлені на поверхні з негорючого матеріалу.

У пожежонебезпечних приміщеннях будь-якого класу, де немає необхідності використання нагрівальних приладів за умовами технологічного процесу (склади, архіви, музеї, бібліотеки та ін.), їх використання заборонене.

8.4.3. Особливості вибору електроосвітлювального обладнання

Для більшості вибухонебезпечних приміщень хімічних, газота нафтопереробних підприємств характерним є те, що обслуговуючий персонал лише здійснює нагляд за технологічним процесом, показаннями контрольно-вимірювальних приладів, станом апаратів сигналізації та ін. Тому в місцевому електроосвітленні часто немає потреби, використовуються електроосвітлювальні прилади загального освітлення приміщень і установок зовнішнього розміщення та локалізоване освітлення технологічних щитів, панелей, збірок і т.д.

За необхідності виконання певних робіт у вибухонебезпечних зонах використовується переносне електроосвітлювальне обладнання, як правило, на напругу 12 або 24 В.

Згідно з вимогами ПУЕ, у вибухонебезпечних зонах можуть використовуватись електроосвітлювальні прилади за умови, що рівень їх вибухозахисту або ступінь захисту буде не нижчий, ніж указаний в табл. 8.6.

Таблиця 8.6. Допустимий рівень вибухозахисту або ступінь захисту електричних освітлювальних приладів залежно від класу вибухонебезпечної зони

Клас вибухонебезпечної зони	Рівень вибухозахисту або ступінь захисту
<i>Стационарні електроосвітлювальні прилади</i>	
B-I	Вибухобезпечне
B-Ia, B-Ir	Підвищеної надійності проти вибуху
B-Iб	Без засобів вибухозахисту. Ступінь захисту IP53
B-II	Підвищеної надійності проти вибуху з доповненнями згідно з п. 7.3.63 ПУЕ
B-IIa	Без засобів вибухозахисту з доповненнями згідно з п. 7.3.63 ПУЕ. Ступінь захисту IP53
<i>Переносні електроосвітлювальні прилади</i>	
B-I, B-Ia	Вибухобезпечне
B-Iб, B-Ir	Підвищеної надійності проти вибуху
B-II	Вибухобезпечне з доповненнями згідно з п. 7.3.63 ПУЕ
B-IIa	Підвищеної надійності проти вибуху з доповненнями згідно з п. 7.3.63 ПУЕ

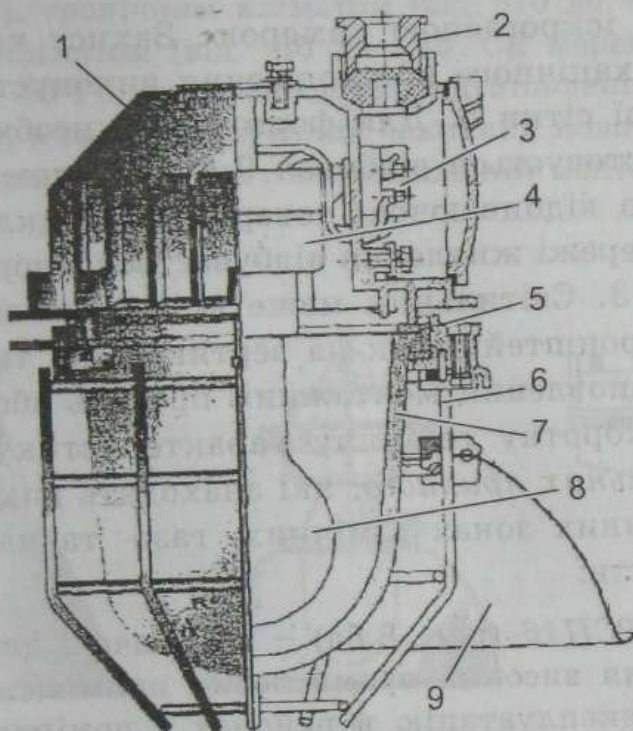


Рис. 8.5. Світильник серії НПС23:

1 - корпус; 2 - ввід; 3 - клемна колодка; 4 - патрон; 5 - ущільнення; 6 - захисна сітка; 7 - захисний ковпак; 8 - лампа; 9 - відбивач

Вітчизняні виробники [19] випускають у досить широкому асортименті освітлювальні прилади у вибухозахищеному виконанні, призначені для роботи в зонах групи II.

Як приклад розглянемо конструкцію світильника серії НСП23 (рис. 8.5) виробництва ВАТ «ВАТРА», призначеного для загального освітлення промислових приміщень вибухонебезпечних зон усіх класів і розрахованого на експлуатацію в районах з помірним кліматом (від -45 до $+40$ °С), тропічним кліматом (від -10 до $+50$ °С) та холодним кліматом (від -60 до $+40$ °С).

Корпус 1 світильника виконаний з алюмінієвого сплаву. У верхній частині корпуса знаходиться герметичний ввід 2 для кабеля. Між світлопропускним захисним ковпаком 7 і корпусом 1 знаходиться ущільнення 5. Лампа розжарення 8 типу Г-215-225-200 розміщується всередині захисного ковпака 7, який виготовляють із термостійкого скла, і кріпиться

в патроні 4 з іскрогасною камерою. Захист ковпака 7 від можливого механічного пошкодження виконується за допомогою захисної сітки 6. Для формування необхідної кривої світла використовується відбивач 9 з дифузною або спрямовано-дифузною відбиваючою поверхнею. Підключення світильника до мережі живлення відбувається з допомогою клемної колодки 3. Світильник може кріпитися за допомогою спеціальних кронштейнів як на вертикально, так і на горизонтально встановлений монтажний профіль або трубу.

Наведемо коротку технічну характеристику деяких *серій освітлювальних приладів*, які знаходять використання у вибухонебезпечних зонах хімічних, газо- та нафтопереробних підприємств:

- *РСП12, РСП16* (рис. 8.6а) – призначені для загального освітлення високих промислових приміщень і розраховані на експлуатацію в районах з помірним кліматом (від -45 до $+40$ °С), тропічним кліматом (від -10 до $+50$ °С) та холодним кліматом (від -60 до $+40$ °С); мережа живлення – 220 В, 50 Гц; корпусні деталі виготовлені з алюмінієвого сплаву, а відбивач сталевий, емальований; монтаж здійснюється на трубу або монтажний профіль;
- *ЖСП06В* (рис. 8.6б) – призначені для загального освітлення промислових приміщень, а також сільськогосподарських приміщень з агресивним середовищем і розраховані на експлуатацію в районах із помірним кліматом (від -45 до $+40$ °С), тропічним кліматом (від -10 до $+50$ °С) та холодним кліматом (від -60 до $+40$ °С); мережа живлення – 220 В, 50 Гц; комплектується ПРА з компенсацією; корпусні деталі виготовлені з алюмінієвого сплаву і сталю прокату, а світлопропускний захисний ковпак – із силікатного скла; монтаж – на тросі або гачку, а також на горизонтальний або вертикальний монтажний профіль; має два сальникових вводи, що дозволяє транзитну прокладку через корпус трьох фаз групової електричної мережі з номінальною напругою 380/220 В;
- *РПП, ГПП, ЖПП* (рис. 8.6в) – призначені для загального освітлення промислових приміщень і розраховані на експлуатацію в районах з помірним кліматом (від -45 до

+40 °C), тропічним кліматом (від -10 до +50 °C) та холодним кліматом (від -60 до +40 °C); мережа живлення - 220 В, 50 Гц; корпусні деталі виготовлені з алюмінієвого сплаву, а світлопропускний захисний ковпак - із полікарбонату; монтаж - на горизонтальний монтажний профіль;

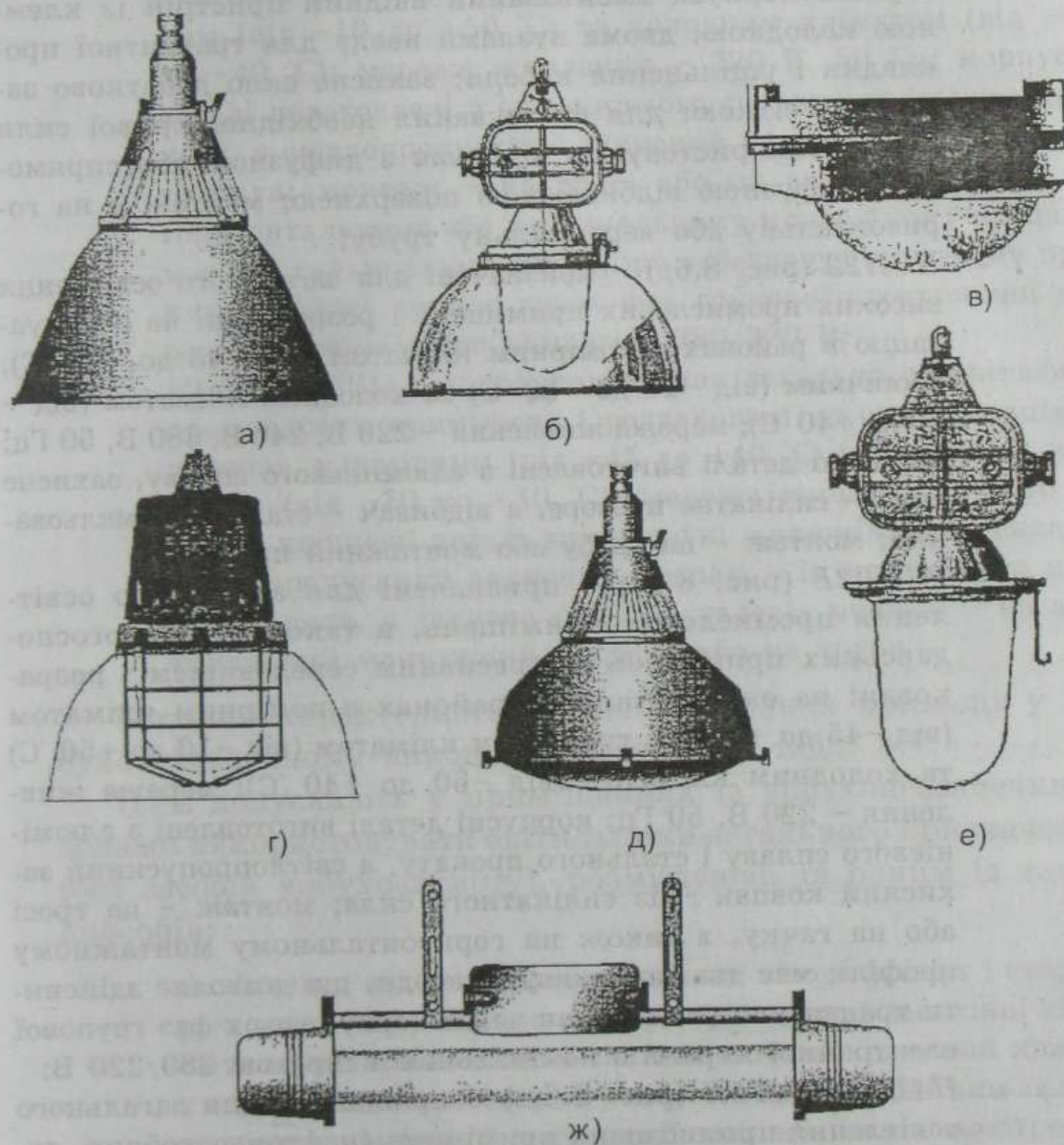


Рис. 8.6. Освітлювальні прилади серій:

а) РСП12, РСП16; б) ЖСП06В; в) РПП, ГПП, ЖПП; г) РСП11В^{Ex}, ГСП11В^{Ex}, ЖСП11В^{Ex}; д) НСП22; е) РСП02В; ж) Н4Т4Л, Н4Тн5Л

- *РПС11В^{Ex}, ГПС11В^{Ex}, ЖПС11В^{Ex}* (рис. 8.6г) – призначені для загального освітлення промислових приміщень (нафтопереробних, нафтохімічних, хімічних та ін.) та в зовнішніх установках; мережа живлення – 220 В, 50 та 60 Гц; корпус і механічно міцний захисний ковпак з'єднані герметичним кільцем із тризахідною різьбою; у бокову поверхню корпусу вмонтований ввідний пристрій із клемною колодкою, двома вузлами вводу для транзитної прокладки і ущільнення кабеля; захисне скло додатково захищене сіткою; для формування необхідної кривої сили світла використовують відбивач з дифузною або спрямовано-дифузною відбиваючою поверхнею; монтаж – на горизонтальну або вертикальну трубу;
- *НСП22* (рис. 8.6д) – призначені для загального освітлення високих промислових приміщень і розраховані на експлуатацію в районах з помірним кліматом (від -45 до $+40$ °С), тропічним (від -10 до $+50$ °С) та холодним кліматом (від -60 до $+40$ °С); мережа живлення – 220 В, 240 В, 380 В, 50 Гц; корпусні деталі виготовлені з алюмінієвого сплаву, захисне скло – силікатне прозоре, а відбивач – сталевий, емальований; монтаж – на трубу або монтажний профіль;
- *РСП02В* (рис. 8.6е) – призначені для загального освітлення промислових приміщень, а також сільськогосподарських приміщень з агресивним середовищем і розраховані на експлуатацію в районах з помірним кліматом (від -45 до $+40$ °С), тропічним кліматом (від -10 до $+50$ °С) та холодним кліматом (від -60 до $+40$ °С); мережа живлення – 220 В, 50 Гц; корпусні деталі виготовлені з алюмінієвого сплаву і сталю прокату, а світлопропускний захисний ковпак – із силікатного скла; монтаж – на тросі або на гачку, а також на горизонтальному монтажному профілі; має два сальникових вводи, що дозволяє здійснити транзитне прокладання через корпус трьох фаз групової електричної мережі з номінальною напругою 380/220 В;
- *Н4Т4Л, Н4Т5Л* (рис. 8.6ж) – призначені для загального освітлення промислових приміщень (нафтопереробних, деревопереробних, хімічних та ін.) і розраховані на експлуатацію в районах з помірним, тропічним і холодним кліматом при температурах від $+5$ до $+40$ °С; мережа живлення – 220 В, 50 та 60 Гц; корпусні деталі виготовлені з

алюмінієвого сплаву, пластмас, сталі, світлопропускний елемент – з органічного скла; монтаж – на гачок або монтажний профіль;

- *РПС06* – призначені для загального освітлення промислових приміщень, а також сільськогосподарських приміщень з агресивним середовищем і розраховані на експлуатацію в районах з помірним (від -45 до $+40$ °С), тропічним (від -10 до $+50$ °С) та холодним кліматом (від -60 до $+40$ °С); мережа живлення – 220 В, 50 Гц; корпусні деталі виготовлені з алюмінієвого сплаву і сталюго прокату, а світлопропускний захисний ковпак – із силікатного скла; монтаж – на тросі або на гачку, а також на горизонтальному або вертикальному монтажному профілі; має два сальникових вводи, що забезпечує транзитну прокладку через корпус трьох фаз групової електричної мережі з номінальною напругою 380/220 В;

- *НСП11, РСП11* – призначені для загального освітлення промислових приміщень і розраховані на експлуатацію в районах з помірним (від -45 до $+40$ °С) і тропічним кліматом (від -10 до $+50$ °С); мережа живлення – 220 В, 50 Гц; корпусні деталі виготовлені з алюмінієвого сплаву, світлопропускний захисний ковпак – із силікатного прозорого скла, а захисна сітка – сталева; монтаж – на вертикальний монтажний профіль або на трубу.

Технічні характеристики освітлювальних приладів у вибухонебезпечному виконанні наведені в табл. 8.7.

ПУЕ допускають у приміщеннях із вибухонебезпечними зонами використовувати світильники загального призначення (без засобів вибухозахисту), розміщуючи їх одним із таких способів:

- за вікнами, які не відкриваються, не мають фрамуг і квартирок, зовні споруди, причому при одинарному засклінні вікна світильник повинен мати захисне скло або скляний кожух;
- у спеціально влаштованих у стіні нішах із подвійним склом, за умови природної вентиляції ніш зовнішнім повітрям;
- у ліхтарях спеціальних типів зі світильником, який установлений у стелі за подвійним склом, із природною вентиляцією ліхтарів зовнішнім повітрям;

Таблиця 8.7. Технічні характеристики освітлювальних приладів

Серія	Типи ламп	Ступінь захисту	Клас вибухо-небезпечної зони	Клас пожежо-небезпечної зони
РСР12, РСР16	ДРЛ400, ДРЛ700	IP52	В-Іб, В-ІІа	П-І, П-ІІ
ЖСП06В	ДНаТ70, ДНаТ100	IP54	В-ІІ, В-ІІа	П-І, П-ІІ
РПП, ГПП, ЖПП	ДРЛ50, ДРЛ80, ДРЛ125, ДНаТ70, ДНаТ100	IP54	В-Іб, В-ІІа	П-І, П-ІІ
РСР11В ^{Ex} , ГСП11В ^{Ex} , ЖСП11В ^{Ex}	ДРЛ125, ДРЛ250, ДРИ125, ДРИ175, ДНаТ70, ДНаТ100, ДНаТ150	IP65	В-Іа, В-ІІ, В-Іб, В-ІІа, В-ІІг	П-І, П-ІІ
НСР22	Г-225-500	IP52	В-Іб, В-ІІа	П-І, П-ІІ
РСР02В	ДРЛ80, ДРЛ125	IP54	В-ІІ, В-ІІа	П-І, П-ІІ
Н4Т4Л, Н4Т5Л	ЛБ80, ЛБ65	IP54	В-ІІ, В-ІІа В-Іа, В-Іб	П-І, П-ІІ
РСР06В	ДРЛ80, ДРЛ125	IP54	В-ІІ, В-ІІа	П-І, П-ІІ
НСР11, РСР11	Г-225-230-500, ДРЛ-400	IP52	В-ІІ, В-ІІа	П-І, П-ІІ

- у коробах, які продуваються під надлишковим тиском чистим повітрям. У місцях, де можливе пошкодження скла, для скління корпусу використовують спеціальне скло, яке не б'ється;
- із допомогою освітлювальних пристроїв із щілинними світловодами.

8.5. Електричні схеми керування роботою електропривода

Частина робочих машин, які використовуються на хімічних, газо- та нафтопереробних підприємствах, не потребує керування швидкістю, оскільки або зовсім не потребує корегування своїх параметрів, або ж їх корегування досягається неелектричними способами. До таких робочих машин можна віднести деякі насоси, компресори, вентилятори, стрічкові та ланцюгові конвеєри і т.д. Для таких робочих машин доцільно використовувати некерований за швидкістю електропривод змінного струму на основі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором або синхронного двигуна.

Для робочих машин потужністю до 400 кВт більш доцільним є використання некерованого електропривода з асинхронним двигуном із короткозамкненим ротором на стандартні значення напруги від 220 до 660 В, оскільки він має ряд суттєвих переваг, головними з яких є простота, мала вартість, надійна тривала робота, яка не потребує постійного нагляду обслуговуючого персоналу, наявність відпрацьованих систем захисту при виникненні аварійних ситуацій та автоматичного повторного вмикання при аварійному зникненні напруги живлення.

За більших потужностей однозначно стверджувати про доцільність використання некерованого асинхронного чи синхронного електропривода важко. Промисловість випускає асинхронні двигуни потужністю до 8000 кВт на напругу 6 та 10 кВ, а синхронні – до 31 500 кВт. Переваги і недоліки цих двох видів електродвигунів були розглянуті в четвертому розділі цієї книги. З урахуванням специфічних умов роботи електроприводів на хімічних, газо- та нафтопереробних підприємствах загальні рекомендації полягають у тому, що використання синхронних електроприводів більш доцільне в поєднанні з робочими механізмами великої потужності в умовах неагресивного навколишнього середовища. Але остаточну відповідь на це питання може дати лише техніко-економічний аналіз.

Важливим чинником є також те, що синхронні двигуни, крім виконання своєї основної функції – приведення в рух робочої машини, виконують і другу, також дуже важливу функцію – компенсацію реактивної потужності. Тому при виборі електроприводів робочих машин на хімічних, газо- та нафтопереробних підприємствах бажане досягнення оптимального балансу активної та реактивної потужностей, що можливо за правильного співвідношення потужностей асинхронних і синхронних двигунів.

Принципової різниці в електричних схемах некерованих електроприводів робочих машин, що працюють на хімічних, газо- та нафтопереробних підприємствах, і тих, що були розглянуті в попередніх розділах, немає. Але значна частина

таких робочих машин потребує керування швидкістю, причому часто в широкому діапазоні. Тому для більшості таких робочих машин використовують *керований за швидкістю електропривод* із двигунами як постійного, так і змінного струмів.

8.5.1. Електрична схема керування роботою електропривода центрифуги

Розглянемо функціональну електричну схему центрифуги (рис. 8.7), яка була розроблена ВНДЕлектропривод та СКБ Сумського машинобудівного заводу ім. Фрунзе [10].

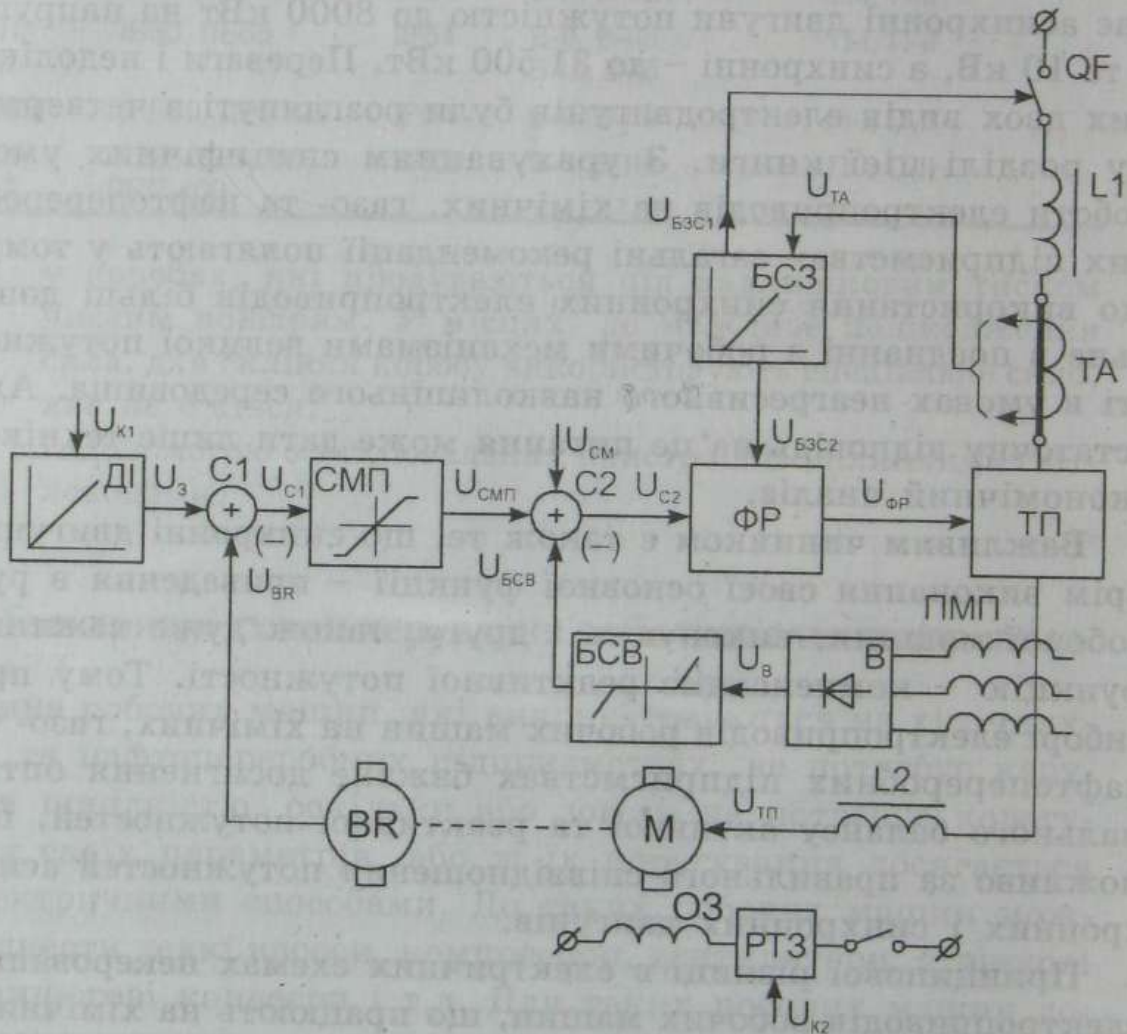


Рис. 8.7. Функціональна електрична схема електропривода центрифуги

Джерелом живлення цієї схеми є трифазна мережа змінного синусоїдального струму, до якої схема підключається за допомогою автоматичного вимикача QF.

Силовим споживачем є двигун постійного струму М потужністю 160 кВт.

Сигнал керування U_{K1} частотою обертання двигуна М від системи програмного керування поступає на вхід датчика інтенсивності ДІ, який забезпечує плавність зміни сигналу завдання U_3 на його виході навіть при стрибковому характері зміни сигналу U_{K1} .

У суматорі С1 сигнал завдання U_3 і сигнал U_{BR} від тахогенератора BR, який пропорційно співвідносяться з реальною швидкістю обертання двигуна М, порівнюються, і його вихідний сигнал $U_{C1} = U_3 - U_{BR}$ подається на вхід сумуючого магнітного підсилювача СМП.

Оскільки за час пуску двигуна М момент опору робочої машини не залишається постійним навіть при лінійному законі зміни сигналу U_3 на виході ДІ, пусковий струм електродвигуна теж не є постійним. Для підтримання постійного значення струму на весь час пуску (а також і на час гальмування) доцільно, щоб пуск (гальмування) відбувалися за постійної дії струмової відсічки. У зв'язку з цим сигнал U_3 повинен змінюватися дещо швидше, ніж сигнал U_{BR} реальної швидкості електродвигуна. Для підвищення швидкодії на суматор С2, крім сигналу $U_{СМП}$, подається сигнал $U_{БСВ}$ з виходу блока струмової відсічки БСВ та сигнал $U_{СМ}$ від системи програмного керування.

З виходу суматора С2 сигнал U_{C2} подається на обмотку керування фазорегулятора ФР, який керує роботою тиристорного перетворювача ТП, нереверсивного, виконаного за трифазною мостовою повністю керованою схемою. У ТП відбувається перетворення трифазної змінної напруги на постійну, якою і живиться двигун М.

Для вимірювання сили випрямленого струму служить прохідний магнітний підсилювач ПМП, із виходу якого сигнал через вимрямляч В подається на вхід БСВ.

Для забезпечення точності підтримання швидкості двигуна, особливо при малих частотах обертання при завантаженні або вивантаженні продукту, у схемі передбачений зворотний зв'язок за швидкістю з допомогою тахогенератора ВР.

Гальмування двигуна відбувається противключенням шляхом зміни полярності напруги живлення обмотки збудження ОЗ двигуна М. Для цього в схемі передбачений реверсивний тиристорний збудник РТЗ. Він керується спеціальним реле, яке своїми контактами замикає через резистори керуючий електрод з анодом тиристорів тієї чи іншої групи збудників. Керування збудником відбувається від системи програмного керування центрифугою. При досягненні зупинки двигуна подача напруги на обмотку його якоря припиняється.

З допомогою РТЗ можна здійснити і *реверс* обертання електродвигуна. Для цього також змінюється полярність на обмотках збудження ОЗ двигуна, якір якого розпочинає обертатися в іншому напрямку.

Захист від перевантаження по струму та від струмів короткого замикання забезпечує блок струмового захисту БСЗ. На його вхід подається сигнал $U_{ТА}$ від вимірювальних трансформаторів струму ТА, по первинних обмотках яких протікають струми, що споживаються від джерела живлення. У разі коли значення струму перевищують допустимі, з'являються сигнал $U_{БЗС1}$, який зумовлює вимикання автоматичного вимикача QF, та сигнал $U_{БЗС2}$, що подається на ФР і вимикає ТП.

Досвід експлуатації центрифуг із такою системою електропривода показав можливість зниження тривалості циклу роботи та питомого споживання електроенергії майже на 40%.

8.5.2. Електрична схема керування роботою електропривода цементного млина

Незважаючи на те що електропривод із двигуном постійного струму має кращі можливості в керуванні швидкістю практично від нуля до номінальної швидкості і вище (див. розд. 5) у робочих машинах, які використовуються на хімічних, газо-

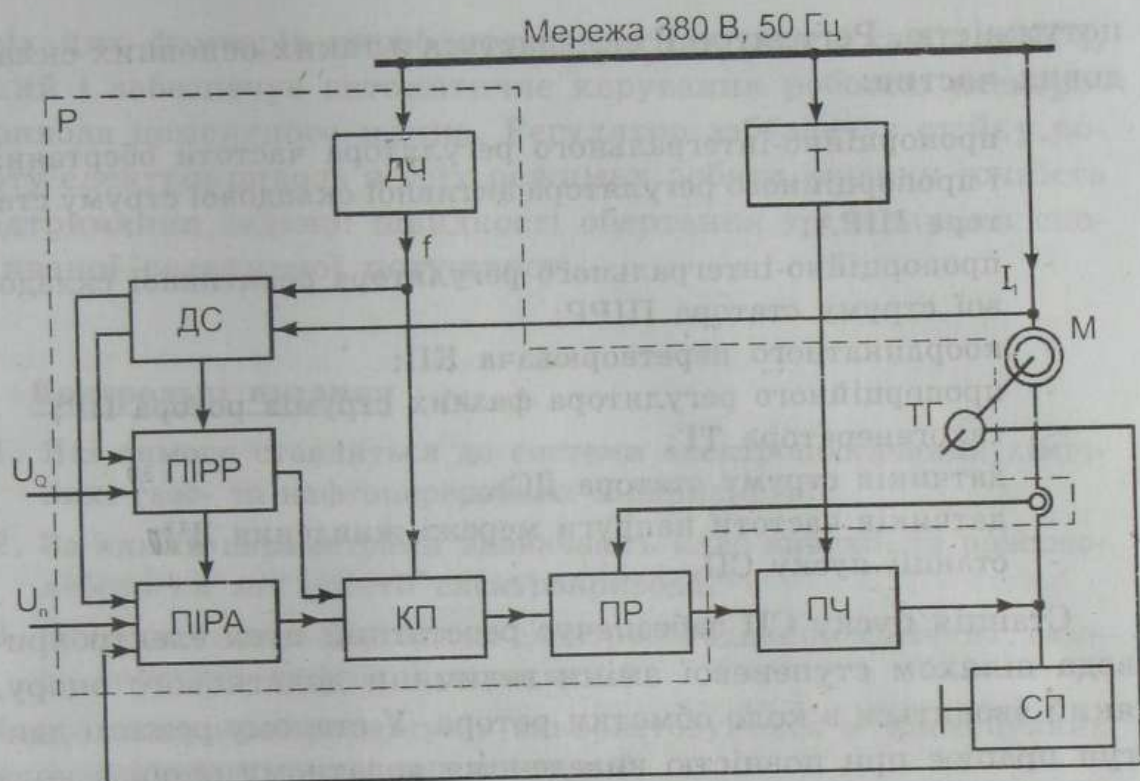


Рис. 8.8. Структура асинхронного електропривода цементного млина

та нафтопереробних підприємствах, більше поширеними є електроприводи змінного струму. Як приклад розглянемо структурну електричну схему синхронізованого асинхронного електропривода цементного млина [16] (рис. 8.8).

Джерелом живлення цієї схеми є трифазна мережа змінного синусоїдального струму напругою 380 В і частотою 50 Гц.

Силовим споживачем є асинхронний двигун із фазним ротором М потужністю 1000 кВт, виконаний на базі серійної машини типу АКС 74-59-6 із шістьма контактними кільцями на роторі, через які обмотки ротора підключаються до перетворювача частоти ПЧ. Перетворювач частоти зібраний за мостовою схемою і живиться від силового трансформатора Т типу ТМ-1800-6/0,23.

Автоматичне керування роботою відбувається за допомогою регулятора Р, зібраного за схемою двокаскадного незалежного керування швидкістю робочої машини і реактивною

потужністю. Регулятор Р складається з таких основних складових частин:

- пропорційно-інтегрального регулятора частоти обертання і пропорційного регулятора активної складової струму статора ПРА;
- пропорційно-інтегрального регулятора реактивної складової струму статора ППР;
- координатного перетворювача КП;
- пропорційного регулятора фазних струмів ротора ПР;
- тахогенератора ТГ;
- датчиків струму статора ДС;
- датчиків частоти напруги мережі живлення ДЧ;
- станції пуску СП.

Станція пуску СП забезпечує реостатний пуск електропривода шляхом ступеневої зміни величини додаткового опору, який вводиться в коло обмотки ротора. У сталому режимі двигун працює при повністю виведеному додатному опорі з кола обмотки ротора. У випадку несправності в системі автоматичного керування або за необхідності перевірити роботу електропривода в некерованому режимі СП дозволяє перейти з керованого в некерований режим. СП дозволяє також дистанційно з пульта керування регулювати частоту обертання та величину реактивної потужності двигуна, виконувати сполучення із системою технологічної автоматики, а також забезпечує керування частотою обертання у функції часу роботи млина.

На вхід ПРА надходить як сигнал завдання по швидкості U_n , так і сигнал від ДС, який враховує дійсне значення струму обмотки статора та частоти напруги мережі живлення; а також сигнал від тахогенератора ТГ, який враховує дійсне значення швидкості обертання ротора.

На вхід ППР надходять два сигнали: сигнал завдання по продуктивності U_q та сигнал від датчика ДС, який враховує дійсне значення струму обмотки статора і частоти напруги мережі живлення.

У КП відбувається порівняння сигналів від ПРА та ППР, а в ПР до них додається ще й сигнал, пропорційний до величини струмів в обмотках ротора двигуна. З урахуванням

усіх цих факторів виробляється сигнал керування для ПЧ, який і забезпечує автоматичне керування роботою електропривода цементного млина. Регулятор забезпечує стійку роботу електропривода в усіх режимах роботи, високу точність підтримання заданої швидкості обертання та величини споживаної реактивної потужності.

Контрольні питання

1. Які вимоги ставляться до системи електропостачання хімічних, газо- та нафтопереробних підприємств?
2. За якими параметрами визначають клас вибухо- та пожежо-небезпеки зон роботи електропривода?
3. Які вимоги висуваються до електрообладнання хімічних, газо- та нафтопереробних підприємств?
4. Які види електродвигунів використовуються в приміщеннях з хімічноактивним середовищем?
5. Які види електродвигунів використовуються у вибухонебезпечних приміщеннях?
6. У чому полягають особливості вибору електричних апаратів і приладів для хімічних, газо- та нафтопереробних підприємств?
7. Назвіть основні складові частини світильника у вибухозахищеному виконанні.
8. Які параметри враховуються при роботі електричної схеми електропривода центрифуги (див. рис. 8.7)?
9. Як відбуваються гальмування та захист від аварійних режимів електропривода центрифуги (див. рис. 8.7)?
10. Назвіть основні складові частини регулятора асинхронного електропривода цементного млина (див. рис. 8.8). Які функції вони виконують?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, А.Е. Соболевская. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 504 с.
2. Ванін В.В., Блюк А.В., Гнітецька Г.О. Оформлення конструкторської документації: Навч. посібник. – К.: Каравела, 2003. – 160 с.
3. Введение в специальность. Электрические машины, электропривод и автоматизация промышленных установок / А.В. Новиков, Н.Г. Попович, И.М. Постников, П.А. Радченко. – К.: Вища школа, Головное издательство, 1981. – 192 с.
4. ГОСТ 12.2.020-76. Электрооборудование взрывозащищенное. Термины и определения. Классификация. Маркировка.
5. ГОСТ 18311-80. Изделия электротехнические. Термины и определения основных понятий
6. ДСТУ 2313-93. Электроприводы. Терміни та визначення.
7. Дьяконов В.И. Типовые расчеты по электрооборудованию: Практическое пособие. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1991. – 160 с.
8. Зимин Е.Н., Преображенский В.И., Чувашов И.И. Электрооборудование промышленных предприятий и установок: Учебник для техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1981. – 552 с.
9. Зимин Е.Н., Яковлев В.И. Автоматическое управление электроприводами: Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Высшая школа, 1979. – 318 с.
10. Иванов Г.М., Онищенко Г.Б. Автоматизированный электропривод в химической промышленности. – М.: Машиностроение, 1975. – 312 с.
11. Каганов И.Л. Курсовое и дипломное проектирование. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с.

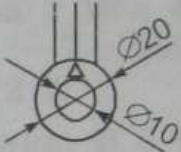


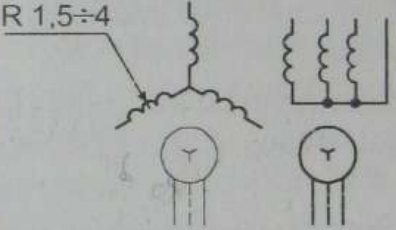
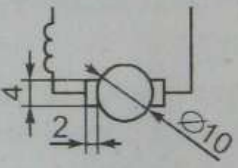
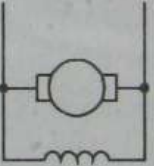
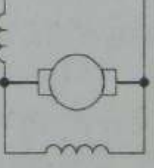
12. Каменев В.Н. Чтение схем и чертежей электроустановок. – М.: Высшая школа, 1986. – 144 с.
13. Капунцов Ю.Д., Алексеев В.А., Ильяшенко Л.А. Электрооборудование и электропривод промышленных установок: Учебник для вузов / Под ред. проф. М.М. Соколова. – М.: Высшая школа, 1979. – 359 с.
14. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с.
15. Коцюбинский В.С. Выбор мощности электродвигателя общепромышленных механизмов. – Алчевск, 2002. – 150 с.
16. Краевская Н.П., Гринберг Б.В. Электрооборудование химических производств: Учеб. пособие для вузов. – Минск: Вышэйшая школа, 1990. – 144 с.
17. Общая электротехника с основами электроники / В.А. Гаврилюк, Б.С. Гершунский, А.В. Ковальчук и др. – К.: Вища школа, 1980. – 480 с.
18. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
19. Промышленная светотехника. Информационное издание акционерного общества «ВАТРА». – Тернополь, 2003. – 22 с.
20. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Алексеева, А.В. Шинявского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.
21. Справочник по электрическим машинам: В 2 т. / Под общ. ред. И.П. Копылова и Б.К. Клокова. – Т. 1. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.
22. Справочник по электрическим машинам: В 2 т. / Под общ. ред. И.П. Копылова и Б.К. Клокова. – Т. 2. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 688 с.
23. Таев И.С. Электрические аппараты. Общая теория. – М.: Энергия, 1977. – 272 с.
24. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1984. – 247 с.
25. Уткин С.М., Леечкис И.Д., Каплун С.М. Электрооборудование холодильно-компрессорных машин и установок: Учеб. пособие для техникумов. – М.: Высшая школа, 1979. – 95 с.
26. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода: Учебник для вузов. – 6-е изд., доп. и перераб. – М.: Энергоиздат, 1981. – 376 с.

27. Чунихин А.А. Электрические аппараты. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1975. - 648 с.
28. Шаповалов Б.Т. Электрооборудование насосных станций. - М.: Высшая школа, 1974. - 320 с.
29. Электротехнический справочник: В 3 т. Т. 2: Электротехнические изделия и устройства / Под общ. ред. профессоров МЭИ (гл. ред. И.Н. Орлов). - 7-е изд., испр. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 712 с.
30. Электротехнический справочник: В 3 т. Т. 3, кн. 2: Использование электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ: (гл. ред. И.Н. Орлов). - 7-е изд., испр. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 616 с.
31. Яременко О.В. Ограничивающие гидродинамические муфты. - М.: Машиностроение, 1970. - 224 с.

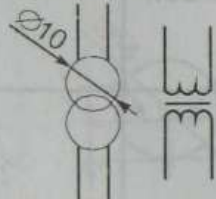
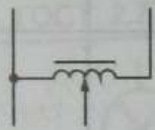
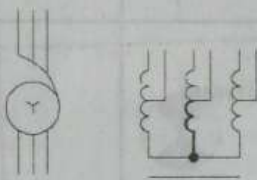
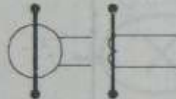
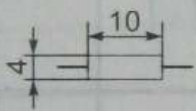
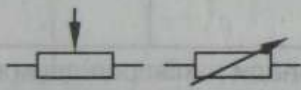
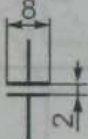
№ п/п	Назва елемента	Умовне графічне позначення
1	Світлодіод	
8	Світлодіодний датчик	
9	Світлодіодний датчик з підсилювачем	
10	Світлодіодний датчик з підсилювачем та реле	
11	Світлодіодний датчик з підсилювачем та реле та світлодіодом	
12	Світлодіодний датчик з підсилювачем та реле та світлодіодом та світлодіодним датчиком	
13	Світлодіодний датчик з підсилювачем та реле та світлодіодом та світлодіодним датчиком та світлодіодним датчиком	
14	Світлодіодний датчик з підсилювачем та реле та світлодіодом та світлодіодним датчиком та світлодіодним датчиком та світлодіодним датчиком	

ДОДАТКИ


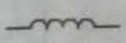
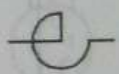
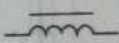
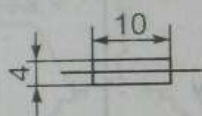
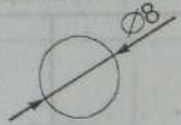
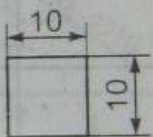
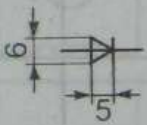

Додаток А. Умовні графічні позначення

№ п/п	Найменування	Умовне графічне позначення	Позначення згідно з ГОСТ 2.710-81
1	2	3	4
Машины електричні. ГОСТ 2.722-68			
1	Асинхронний двигун з короткозамкненим ротором		М
2	Синхронний двигун		М
3	Асинхронний двигун з фазним ротором (спрощене позначення)		М
4	Асинхронний двигун з фазним ротором (розгорнуте позначення)		М
5	Машина постійного струму з послідовним збудженням		М, G
6	Машина постійного струму з паралельним збудженням		М, G
7	Машина постійного струму зі змішаним збудженням		М, G


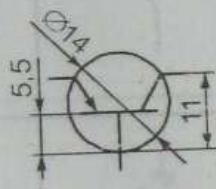
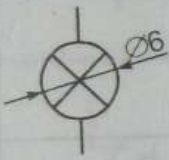

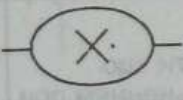


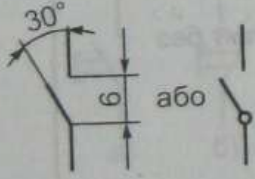
Продовження додатку А

1	2	3	4
Котушки індуктивності, дроселі, трансформатори, автотрансформатори і магнітні підсилювачі. ГОСТ 2.723-68			
8	Однофазний двохобмотковий трансформатор		T
9	Однофазний автотрансформатор		T
10	Трифазний автотрансформатор		T
11	Вимірювальний трансформатор струму		TA
Резистори, конденсатори. ГОСТ 2.728-74			
12	Постійний резистор		R
13	Змінний резистор		R
14	Конденсатор		C

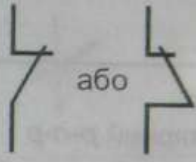
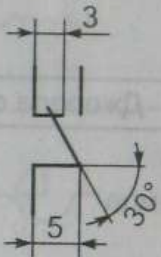
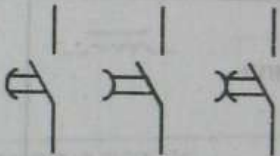
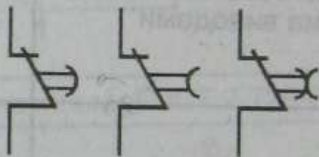
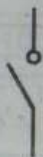
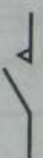
Продовження додатку А

1	2	3	4
15	Конденсатор змінної ємності		C
16	Котушка індуктивності		L
17	Реактор		LR
18	Дросель з феромагнітним осердям		L
Запобіжники. ГОСТ 2.727-68			
19	Плавкий запобіжник		FU
Прилади електровимірювальні. ГОСТ 2.729-68			
20	Електровимірювальний прилад-показчик		P
21	Реєструючий електровимірювальний прилад		P
Прилади напівпровідникові. ГОСТ 2.730-73			
22	Діод		VD
23	Стабілітрон		VD


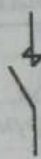
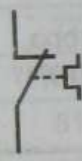
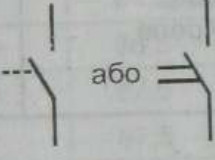
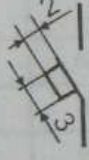
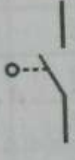
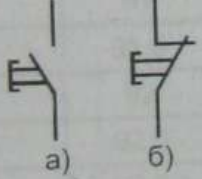
Продовження додатку А

1	2	3	4
24	Тиристор		VS
25	Транзистор (біполярний р-п-р типу)		VT
Джерела світла. ГОСТ. 2.732-68			
26	Освітлювальна лампа розжарювання		EL
27	Сигнальна лампа		HL
28	Газорозрядна освітлювальна лампа з двома виводами		EL
29	Електричний дзвоник		B
30	Сирена		B
Пристрої комутаційні і контактні з'єднання. ГОСТ 2.755-87			
31	Замикаючий контакт		SA

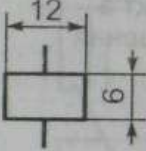
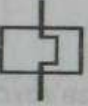
Продовження додатку А

1	2	3	4
32	Розмикаючий контакт		SA
33	Перемикаючий контакт		SA
34	Замикаючі контакти, що працюють з уповільненням при спрацюванні, поверненні та при спрацюванні і поверненні		S
35	Розмикаючі контакти, що працюють з уповільненням при поверненні, спрацюванні та при спрацюванні і поверненні		S
36	Замикаючий контакт із самоповерненням		SA
37	Замикаючий контакт без самоповернення		SA

Продовження додатку А

1	2	3	4
38	Замикаючий контакт силового ланцюга		SA
39	Замикаючий контакт з пристроєм дугогашення		SA
40	Контакт електротеплового реле		SK
41	Контакт з механічним зв'язком		SP
42	Контакт вимикача з автоматичним поверненням при перевантаженні		SF
43	Контакт шляхового вимикача		SQ
44	Контакт кнопковий: а – замикаючий, б – розмикаючий		SB

Продовження додатку А

1	2	3	4
45	Багатопозиційний перемикач		S
Сприймаюча частина комутаційних пристроїв. ГОСТ 2.756-76			
46	Котушка реле, контактора, пускача однофазного струму		K
47	Котушка реле, контактора, пускача трифазного струму		K
48	Сприймаюча частина електротеплового реле		KK

Додаток Б. Технічні дані асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором серії 4А, виконання за ступенем захисту IP44 [1; 21]

Типорозмір двигуна	P, кВт	n ₂ , об/хв	ККД, %	K _{max}	K _n
1	2	3	4	5	6
Синхронна частота обертання 3000 об/хв					
4AA50A2Y3	0,09	2742	60	2,2	2
4AA50B2Y3	0,12	2709	63	2,2	2
4AA56A2Y3	0,18	2760	66	2,2	2
4AA56B2Y3	0,25	2760	68	2,2	2
4A63A2Y3	0,37	2751	70	2,2	2
4A63B2Y3	0,55	2745	73	2,2	2
4A71A2Y3	0,75	2841	77	2,2	2
4A71B2Y3	1,1	2811	77,5	2,2	2
4A80A2Y3	1,5	2850	81	2,2	2
4A80B2Y3	2,2	2850	83	2,2	2
4A90L2Y3	3	2838	84,5	2,2	2
4A100S2E3	4	2880	86,5	2,2	2
4A100L2E3	5,5	2880	87,5	2,2	2
4A112M2Y3	7,5	2922	87,5	2,2	2
4A132M2Y3	11	2907	88	2,2	1,6
4A160S2Y3	15	2931	88	2,2	1,4
4A160M2Y3	18,5	2931	88,5	2,2	1,4
4A180S2Y3	22	2940	88,5	2,2	1,4
4A180M2Y3	30	2943	90,5	2,2	1,4
4A200M2Y3	37	2943	90	2,2	1,4
4A200L2Y3	45	2946	91	2,2	1,4
4A225M2Y3	55	2937	91	2,2	1,2
4A250S2Y3	75	2958	91	2,2	1,2
4A250M2Y3	90	2958	92	2,2	1,2
4A280S2Y3	110	2940	91	2,2	1,2
4A280M2Y3	132	2940	91,5	2,2	1,2
4A315S2Y3	160	2943	92	1,9	1
4A315M2Y3	200	2943	92,5	1,9	1
4A355S2Y3	250	2943	92,5	1,9	1
4A355M2Y3	315	2940	93	1,9	1

Продовження додатку Б

-1	2	3	4	5	6
Синхронна частота обертання 1500 об/хв					
4AA50A4Y3	0,06	1379	50	2,2	2
4AA50B4Y3	0,09	1371	55	2,2	2
4AA56A4Y3	0,12	1380	63	2,2	2
4AA56B4Y3	0,18	1370	64	2,2	2
4AA63A4Y3	0,25	1380	68	2,2	2
4AA63B4Y3	0,37	1365	68	2,2	2
4A71A4Y3	0,55	1370	70,5	2,2	2
4A71B4Y3	0,75	1370	72	2,2	2
4A80A4Y3	1,1	1400	75	2,2	2
4A80B4Y3	1,5	1400	77	2,2	2
4A90L4Y3	2,2	1419	80	2,2	2
4A100S4Y3	3	1421	82	2,2	2
4A100L4Y3	4	1421	84	2,2	2
4A112M4Y3	5,5	1425	85,5	2,2	2
4A132S4Y3	7,5	1455	87,5	2,2	2
4A132M4Y3	11	1458	87,5	2,2	2
4A160S4Y3	15	1460	89	2,2	1,4
4A160M4Y3	18,5	1460	90	2,2	1,4
4A180S4Y3	22	1470	90	2,2	1,4
4A180M4Y3	30	1470	91	2,2	1,4
4A200M4Y3	37	1475	91	2,2	1,4
4A200L4Y3	45	1473	92	2,2	1,4
4A225M4Y3	55	1470	92,5	2,2	1,2
4A250S4Y3	75	1479	93	2,2	1,2
4A250M4Y3	90	1481	93	2,2	1,2
4A280S4Y3	110	1466	92,5	2	1,2
4A280M4Y3	132	1466	93	2	1,2
4A315S4Y3	160	1470	93,5	1,9	1
4A315M4Y3	200	1475	94	1,9	1
4A355S4Y3	250	1475	94,5	1,9	1
4A355M4Y3	315	1475	94,5	1,9	1

Продовження додатку Б

1	2	3	4	5	6
Синхронна частота обертання 1000 об/хв					
4AA63A6Y3	0,18	885	56	2,2	2
4AA63B6Y3	0,25	892	59	2,2	2
4A71A6Y3	0,37	920	64,5	2,2	2
4A71B6Y3	0,55	920	67,5	2,2	2
4A80A6Y3	0,75	920	69	2,2	2
4A80B6Y3	1,1	920	74	2,2	2
4A90L6Y3	1,5	936	75	2,2	2
4A100L6Y3	2,2	949	81	2,2	2
4A112MA6Y3	3	945	81	2,2	2
4A112MB6Y3	4	949	82	2,2	2
4A132S6Y3	5,5	959	85	2,2	2
4A132M6Y3	7,5	968	85,5	2,2	2
4A160S6Y3	11	970	86	2	1,2
4A160M6Y3	15	970	87,5	2	1,2
4A180M6Y3	18,5	973	88	2	1,2
4A200M6Y3	22	975	90	2	1,2
4A200L6Y3	30	977	90,5	2	1,2
4A225M6Y3	37	980	91	2	1,2
4A250S6Y3	45	985	91,5	2	1,2
4A250M6Y3	55	985	92	2	1,2
4A280S6Y3	75	980	92	1,9	1,2
4A280M6Y3	90	980	92,5	1,9	1,2
4A315S6Y3	110	980	93	1,9	1
4A315M6Y3	132	980	93,5	1,9	1
4A355S6Y3	160	982	93,5	1,9	1
4A355M6Y3	200	982	94	1,9	1
Синхронна частота обертання 750 об/хв					
4A71B8Y3	0,25	680	56	1,7	1,6
4A80A8Y3	0,37	675	61,5	1,7	1,6
4A80B8Y3	0,55	675	64	1,7	1,6
4A90LA8Y3	0,75	705	68	1,7	1,6
4A90LB8Y3	1,1	698	70	1,7	1,6

Продовження додатку Б

1	2	3	4	5	6
4A100L8Y3	1,5	698	74	1,7	1,6
4A112MA8Y3	2,2	705	76,5	2,2	1,8
4A112MB8Y3	3	701	79	2,2	1,8
4A132S8Y3	4	719	83	2,2	1,8
4A132M8Y3	5,5	716	83	2,2	1,8
4A160S8Y3	7,5	730	86	2,2	1,4
4A160M8Y3	11	730	87	2,2	1,4
4A180M8Y3	15	731	87	2	1,2
4A200M8Y3	18,5	731	88,5	2,2	1,2
4A200L8Y3	22	730	88,5	2	1,2
4A225M8Y3	30	735	90	2	1,2
4A250S8Y3	37	738	90	2	1,2
4A250M8Y3	45	740	91,5	2	1,2
4A280S8Y3	55	734	92	1,9	1,2
4A280M8Y3	75	734	92,5	1,9	1,2
4A315S8Y3	90	735	93	1,9	1
4A315M8Y3	110	735	93	1,9	1
4A355S8Y3	132	737	93,5	1,9	1
4A355M8Y3	160	737	93,5	1,9	1
Синхронна частота обертання 600 об/хв					
4A250S10Y3	30	589	88	1,9	1,2
4A250M10Y3	37	589	89	1,9	1,2
4A280S10Y3	37	588	91	1,8	1
4A280M10Y3	45	588	91,5	1,8	1
4A315S10Y3	55	588	92	1,8	1
4A315M10Y3	75	588	92	1,8	1
4A355S10Y3	90	588	92,5	1,8	1
4A355M10Y3	110	588	93	1,8	1
Синхронна частота обертання 500 об/хв					
4A315S12Y3	45	488	90,5	1,8	1
4A315M12Y3	55	488	91	1,8	1
4A355S12Y3	75	490	91,5	1,8	1
4A355M12Y3	90	490	92	1,8	1

Додаток В. Технічні дані двигунів серії 4А з підвищеним ков-
занням (4АР) при ТВ = 40% [1; 21]

Типорозмір двигуна	Р, кВт	n_2 , об/хв	ККД, %	k_{max}	k_n
1	2	3	4	5	6
Синхронна частота обертання 3000 об/хв					
4AC71A2Y3	1	2700	72	2	2,2
4AC71B2Y3	1,2	2700	72	2	2,2
4AC80A2Y3	1,9	2745	75	2	2,2
4AC80B2Y3	2,5	2745	76	2	2,2
4AC90L2Y3	3,5	2775	80	2	2,2
4AC100S2Y3	4,8	2805	82	2	2,2
4AC100L2Y3	6,3	2805	82	2	2,2
4AC112M2Y3	8	2850	84	2	2,4
4AC132M2Y3	11	2840	84	2	2,4
Синхронна частота обертання 1500 об/хв					
4AC71A4Y3	0,6	1350	68	2	2,2
4AC71B4Y3	0,8	1350	68,5	2	2,2
4AC80A4Y3	1,3	1358	68,5	2	2,2
4AC80B4Y3	1,7	1335	70	2	2,2
4AC90L4Y3	2,4	1360	76	2	2,2
4AC100S4Y3	3,2	1395	76,5	2	2,2
4AC100L4Y3	4,25	1395	78	2	2,2
4AC112M4Y3	5,6	1395	79	2	2,2
4AC132S4Y3	8,5	1395	82,5	2,6	2,8
4AC132M4Y3	11,8	1410	84	2	2,2
4AC160S4Y3	17	1425	84,5	2	2,2
4AC160M4Y3	20	1432	87	2	2,2
4AC180S4Y3	21	1418	86	2	2,2
4AC180M4Y3	26,5	1440	88,5	2	2,2
4AC200M4Y3	31,5	1410	87,5	2	2,2
4AC200L4Y3	40	1410	89	2	2,2
4AC225M4Y3	50	1395	87,5	2	2,2
4AC250S4Y3	56	1380	87,5	2	2,2
4AC250M4Y3	63	1365	87,0	2	2,2

Продовження додатку В

1	2	3	4	5	6
Синхронна частота обертання 1000 об/хв					
4AC71A6Y3	0,4	920	62,5	2	2,1
4AC71B6Y3	0,63	920	65	2	2,1
4AC80A6Y3	0,8	860	61	2	2,1
4AC80B6Y3	1,2	860	66,5	2	2,1
4AC90L6Y3	1,7	900	71	1,9	2,1
4AC100L6Y3	2,6	920	75	1,9	2,1
4AC112MA6Y3	3,2	910	72	1,9	2,1
4AC112MB6Y3	4,2	910	75	1,9	2,1
4AC132S6Y3	6,3	940	79	1,9	2,1
4AC132M6Y3	8,5	940	80	1,9	2,1
4AC160S6Y3	12	940	82,5	1,9	2,1
4AC160M6Y3	16	940	84	1,9	2,1
4AC180M6Y3	19	940	84,5	1,9	2,1
4AC200M6Y3	22	910	83,5	1,9	2,1
4AC200L6Y3	28	920	85,5	1,9	2,1
4AC225M6Y3	33,5	880	81	1,9	2,1
4AC250S6Y3	40	950	89	1,9	2,1
4AC250M6Y3	45	950	86,5	1,9	2,1
Синхронна частота обертання 750 об/хв					
4AC71B8Y3	0,3	670	50	1,9	2
4AC80A8Y3	0,45	660	53,5	1,9	2
4AC80B8Y3	0,6	660	58	1,9	2
4AC90LA8Y3	0,9	660	61	1,8	2
4AC90LB8Y3	1,2	660	65	1,8	2
4AC100L8Y3	1,6	675	69	1,8	2
4AC112MA8Y3	2,2	670	68	1,8	2
4AC112MB8Y3	3,2	670	72	1,8	2
4AC132S8Y3	4,5	690	76	1,8	2
4AC132M8Y3	6	690	77	1,8	2
4AC160S8Y3	9	690	81,5	1,8	2
4AC160M8Y3	12,5	688	82,5	1,8	2
4AC180M8Y3	15	700	83,5	1,8	2
4AC200M8Y3	20	690	83,5	1,8	2
4AC225M8Y3	26,5	675	83	1,8	2
4AC250S8Y3	36	694	85	1,8	2

Доповнення до додатку В. Значення потужності, кВт, двигунів серії 4А з підвищеним ковзанням (4АС) у режимі S3 при різних ТВ% [1; 21]

Типорозмір двигуна	Синхронна частота обертання, об/хв															
	3000				1500				1000				750			
	Тривалість вмикання ТВ, %															
	15	25	60	100	15	25	60	100	15	25	60	100	15	25	60	100
4AC71A	1,2	1,06	0,95	0,85	0,8	0,65	0,6	0,6	0,45	0,4	0,4	0,4	-	-	-	-
4AC71B	1,5	1,3	1,1	0,9	1,1	0,9	0,8	0,7	0,8	0,65	0,65	0,5	0,35	0,3	0,3	0,2
4AC80A	2,4	1,9	1,7	1,5	1,6	1,3	1,1	0,95	1	0,9	0,7	0,5	0,55	0,5	0,45	0,35
4AC80B	3,2	2,7	2,2	2	2,1	1,7	1,5	1,3	1,5	1,3	1,1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
4AC90LA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	0,9	0,8	0,7
4AC90LB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,4	1,2	1	0,8
4AC90L	4,6	4	3,2	2,7	3,1	2,4	2,2	1,9	2,2	1,8	1,3	1,1	-	-	-	-
4AC100S	5,5	5	4,2	3,6	4	3,7	2,8	2,3	-	-	-	-	-	-	-	-
4AC100L	8	7	5,8	5,3	5,5	5	3,8	3,3	3,1	2,9	2,2	1,8	1,8	1,6	1,5	1,2
4AC112MA	-	-	-	-	-	-	-	-	4,5	3,8	2,8	2,5	3	2,6	1,9	1,5
4AC12MB	11	9,5	7J	6	S	6,7	5	4,2	5,6	5	3,8	3,2	4,2	3,6	2,5	1,9
4AC132S	-	-	-	-	11,8	9,5	7,5	7,1	8,5	7,5	6	4,5	6	5	3,6	2,6
4AC132M	17	14	11	10	16	14	10,5	9	11	10	7,5	6,3	8,5	7,1	5	3,6
4AC160S	-	-	-	-	22	19	15	13	16	14	11	10	11	10	8	7
4AC160M	-	-	-	-	25	23	18,5	17	21	19	15	13	16	14	11	10
4AC180S	-	-	-	-	26,5	24	20	19	-	-	-	-	-	-	-	-
4AC180M	-	-	-	-	32	30	25	24	22	20	17	16	19	17	14	13
4AC200M	-	-	-	-	42	35	28	26	28	25	20	18	26,5	24	19	16
4AC200L	-	-	-	-	50	47,5	37,5	35	40	33	25	23	-	-	-	-
4AC225M	-	-	-	-	63	55	45	40	40	35	28	25	33,5	30	24	22
4AC250S	-	-	-	-	75	63	53	50	56	45	36	33,5	45	45	30	26,5
4AC250M	-	-	-	-	80	71	60	56	60	53	40	36	-	-	-	-

Додаток Г. Технічні дані багатошвидкісних двигунів серії 4А

Типорозмір двигуна	P, кВт	n ₂ , об/хв	ККД, %	k _{max}	k _n
1	2	3	4	5	6
Двошвидкісні двигуни. Синхронні частоти обертання 1500/3000 об/хв. Схема з'єднання обмотки Д/УУ					
4A56A4/2Y3	0,1	1400	45	1,8	2,2
	0,14	2800	50	1,5	2,2
4A56B4/2Y3	0,12	1330	49	1,6	2,2
	0,18	2660	57	1,2	2,2
4A63A4/2Y3	0,19	1448	55	1,6	2,2
	1,265	2880	61	1,2	2,2
4A63B4/2Y3	0,224	1448	57	1,5	1,9
	0,37	2880	61	1,1	1,8
4A71A4/2Y3	0,45	1420	64	1,5	1,8
	0,75	2880	67	1,2	1,8
4A71B4/2Y3	0,63	1433	67	1,3	1,9
	0,95	2865	69	1,3	1,9
4A80A4/2Y3	1,1	1420	73	1,7	2
	1,5	2780	72	1,5	1,8
4A90LA4/2Y3	1,5	1420	76	1,7	2,1
	2	2780	74	1,7	1,9
4A90LB4/2Y3	2	1420	77	1,7	2,2
	2,5	2850	77	1,8	2,1
4A100S4/2Y3	2,65	1440	80	1,8	2,2
	3,3	2820	77	1,8	2,2
4A100L4/2Y3	3,2	1440	82	1,8	2,2
	4,2	2850	80	1,8	2,2
4A112M4/2Y3	4,2	1450	82	1,3	1,8
	5	2901	77	1,1	1,8
4A132S4/2Y3	6	1460	84	1,3	1,8
	6,7	2910	78	1,1	1,8
4A132M4/2Y3	8,5	1460	86	1,3	1,8
	9,5	2910	81	1,1	1,8
4A160S4/2Y3	11	1460	85	1,5	2,1
	14	2940	83	1,2	2
4A160M4/2Y3	14	1460	87	1,6	2,1
	17	2900	84	1,2	2
4A180S4/2Y3	18	1470	88,5	1,3	1,8
	21	2920	85	1,1	1,8
4A180M4/2Y3	22	1470	90	1,3	1,8
	26,5	2920	86	1,1	1,8

Продовження додатку Г

1	2	3	4	5	6
4A200L4/2Y3	33,5 37	1477 2955	91 87	1,8 1,8	2 2,2
4A225M4/2Y3	42,5 45	1477 2955	92 86	1,8 1,8	2 2,2
4A250S4/2Y3	50 60	1477 2955	93 87	1,8 1,6	2 2,2
4A250M4/2Y3	60 71	1477 2955	93 88	1,8 1,6	2 2,2
Синхронна частота обертання 750/1500 об/хв. Схема з'єднання обмотки Д/УУ					
4A90L8/4Y3	0,63 1	720 1430	73 75	1,3 1,3	1,8 1,8
4A100S8/4Y3	1 1,7	700 1430	68 80	1,2 1,4	1,8 1,9
4A100L8/4Y3	1,4 2,4	700 1430	69 81	1,2 1,2	1,8 1,8
4A112MA8/4Y3	1,9 3	710 1420	72 75	1,2 1	1,8 1,8
4A112MB8/4Y3	2,2 3,6	710 1430	75 77	1,2 1	1,8 1,8
4A132S8/4Y3	3,2 5,3	720 1440	77 80	1,2 1	1,8 1,8
4A132M8/4Y3	4,2 7,1	720 1440	80 82	1,2 1	1,8 1,8
4A160S8/4Y3	6 9	740 1460	76,5 84	1,5 1,2	2 2
4A160M8/4Y3	9 13	730 1460	79 86,5	1,5 1,2	2 2
4A180M8/4Y3	13 18	730 1455	84,5 87,5	1,2 1	1,8 1,8
4A200M8/4Y3	17 25	735 1470	86 87	1,4 1,4	1,8 2
4A200L8/4Y3	20 28	735 1470	87 88	1,4 1,4	1,8 2
4A225M8/4Y3	22,4 33,5	739 1478	87 87	2 1,5	2,2 2,2
4A250S8/4Y3	30 45	739 1478	89,5 88,5	1,6 1,4	1,8 1,9
4A250M8/4Y3	37 55	739 1478	89,5 89,5	1,8 1,5	1,8 2

Продовження додатку Г

1	2	3	4	5	6
4A280M8/4Y3	55	739	91,3	1,3	2,3
	75	1475	90,6	1,3	2,5
4A315S8/4Y3	75	731	90,8	1,3	1,8
	90	1435	91,3	1,3	2,3
4A315M8/4Y3	90	733	91,6	1,1	1,8
	110	1475	91,9	1,3	2,3
4A355S8/4Y3	110	740	92,6	1,4	2
	160	1480	92,3	1,6	2,6
4A355M8/4Y3	132	740	93,2	1,3	1,9
	200	1480	92,8	1,8	2,5
Синхронні частоти обертання 1000/1500 об/хв. Схема з'єднання обмотки УУУ/УУУ					
4A90L6/4Y3	1,3	950	73	1,3	1,8
	1,4	1430	73	1,3	1,8
4A100S6/4Y3	1,8	950	77	1,8	2,2
	2,1	1440	78	1,7	1,9
4A100L6/4Y3	2,5	970	80	1,8	2,2
	2,8	1460	80	1,7	1,9
4A112M6/4Y3	2,8	950	76	1,3	1,8
	3,2	1420	76	1,3	1,8
4A132S6/4Y3	4	950	80	1,3	1,8
	4,5	1420	79	1,3	1,8
4A132M6/4Y3	6	960	83	1,3	1,8
	6,2	1440	81,5	1,3	1,8
Схема з'єднання обмотки УУ/Д					
4A160S6/4Y3	7,1	980	80	1,4	2,2
	8,5	1470	79	1,3	2,2
4A160M6/4Y3	11	980	83	1,4	2,2
	13	1470	81,5	1,3	2,2
4A180M6/4Y3	13	980	85,5	1,2	2,2
	17	1470	86	1,2	2,2
4A200M6/4Y3	17	990	86,5	1,5	2,2
	22	1480	87	1,5	2,2
Синхронні частоти обертання 750/1000 об/хв. Дві незалежні обмотки. Схема з'єднання обмотки У/У					
4A100S8/6Y3	0,7	690	65	1,6	2
	0,9	930	74	1,2	1,8
4A100L8/6Y3	1	690	65	2	2
	1,3	930	76	1,5	1,8
4A112MA8/6Y3	1,1	690	65	1,2	1,8
	1,3	930	69	1,2	1,8

Продовження додатку Г

1	2	3	4	5	6
4A112MB8/6Y3	1,4 1,7	690 940	66,5 71	1,2 1,2	1,8 1,8
4A132S8/6Y3	2,4 2,6	710 970	73 75,5	1,2 1,2	1,8 1,8
4A132M8/6Y3	2,8 3,2	720 970	75 76,5	1,2 1,2	1,8 1,8
4A160S8/6Y3	7,5 8,5	725 975	83,5 83,5	1,4 1,3	2,2 2,2
4A160M8/6Y3	10 11	730 980	85 85,5	1,7 1,6	2,3 2,3
4A180M8/6Y3	13 15	735 980	85 88	1,3 1,5	1,9 2,2
4A200M8/6Y3	15 18,5	735 985	85,5 88,5	1,5 1,5	2 2
4A200L8/6Y3	18,5 22	735 985	86,5 89	1,5 1,5	2 2
4A225M8/6Y3	22 30	735 985	86 88,5	1,7 1,6	2,2 2,2
4A250S8/6Y3	30 37	739 990	89,5 91	1,4 1,5	2 2,2
4A250M8/6Y3	44 55	739 990	89,5 91	1,3 1,4	1,8 1,8
Синхронні частоти обертання 500/1000 об/хв. Схема з'єднання обмотки Д/УУ					
4A180M12/6Y3	6,7 11	480 975	76 84,5	1,5 1,3	1,9 1,9
4A200M12/6Y3	9 14	490 985	77,5 88	1,5 1,5	1,8 2
4A200L12/6Y3	10 17	485 980	80 88,5	1,5 1,5	1,8 2
4A225M12/6Y3	12,5 22	485 980	81,5 88	1,4 1,3	1,8 1,8
4A250S12/6Y3	16 28	493 985	83 90	1,7 1,5	1,8 1,8
4A250M12/6Y3	18,5 35,5	493 985	83,5 89,5	1,7 1,5	1,8 1,8
4A280M12/6Y3	37 55	490 981	88,6 91	1,2 1,1	1,9 2,2
4A315S12/6Y3	45 75	490 980	89,8 91,5	1,1 1,1	1,8 2,1
4A315M12/6Y3	55 90	490 981	90,1 92,2	1,2 1,3	2,1 2,2

Продовження додатку Г

1	2	3	4	5	6
4A355S12/6Y3	55	495	90,7	1,9	2,5
	90	990	92,1	2	2,8
4A355M12/6Y3	75	490	91,1	1,2	1,7
	110	985	92,7	1,7	2,5
Тришвидкісні двигуни. Синхронні частоти обертання 1000/1500/3000 об/хв. Дві незалежні обмотки. Схема з'єднання обмотки У/Д/УУ					
4A100S6/4/2Y3	1	940	69	2	2,5
	1,1	1425	66	1,3	2
	1,5	2850	67	1,1	2
4A100L6/4/2Y3	1,4	940	69	2	2,5
	1,5	1425	71	1,3	2,5
	2,1	2850	72	1,1	2
4A112M6/4/2Y3	1,6	950	71	1,3	1,8
	2,2	1440	76	1,3	1,8
	2,8	2880	71	1,1	1,8
4A132S6/4/2Y3	2,8	960	76,5	1,3	1,8
	3,6	1450	79,5	1,3	1,8
	4,2	2900	71,5	1,1	1,8
4A132M6/4/2Y3	3,8	960	78,5	1,3	1,8
	5	1450	81	1,3	1,8
	6	2900	76	1,1	1,8
4A160S6/4/2Y3	4,8	955	79,5	1,3	2
	5,3	1460	81	1,3	2,1
	7,5	2900	76	1,1	2
4A160M6/4/2Y3	6,7	955	81,5	1,3	2
	7,5	1455	83	1,3	2
	10,5	2900	78,5	1,1	2
Синхронні частоти обертання 750/1500/3000 об/хв. Дві незалежні обмотки. Схема з'єднання обмотки У/Д/УУ					
4A100S8/4/2Y3	0,63	705	58	1,5	2
	1,1	1425	66	1,1	2
	1,5	2850	67	1	2
4A100L8/4/2Y3	0,9	750	66	1,5	1,8
	1,5	1425	71	1,3	2,2
	2,1	2850	72	1,1	2
4A112M8/4/2Y3	1,1	700	65	1,2	1,8
	1,9	1440	72,5	1,1	1,8
	2,2	2870	67,5	1	1,8
4A132S8/4/2Y3	1,8	710	70	1,2	1,8
	3	1460	77,5	1,1	1,8
	3,6	2920	69	1	1,8

Продовження додатку Г

1	2	3	4	5	6
4A132M8/4/2Y3	2,4	720	72,5	1,2	1,8
	4,5	1460	79,5	1,1	1,8
	5	2940	71,5	1	1,8
4A160S8/4/2Y3	3,8	715	76	1,2	2
	4,25	1470	81,5	1,1	2
	6,3	2900	76,5	1	2
4A160M8/4/2Y3	5	720	78	1,2	2
	7,1	1470	94,5	1,1	2
	9,5	2900	80,5	1	2
Синхронні частоти обертання 750/1000/1500 об/хв. Дві незалежні обмотки. Схема з'єднання обмотки ДУ/УУ					
4A100S8/6/2Y3	0,71	712	59	1,4	1,9
	0,9	950	65	1,4	1,9
	1,3	1425	69	1,4	1,9
4A100L8/6/2Y3	0,9	712	61	1,4	1,9
	1,2	950	68	1,4	2
	1,7	1428	71	1	1,9
4A112MA8/6/2Y3	1	700	62	1,2	1,8
	1,1	950	65	1,2	1,8
	1,5	1400	72	1	1,8
4A112MB8/6/2Y3	1,2	700	63,5	1,2	1,8
	1,4	950	68,5	1,2	1,8
	2,1	1390	71	1	1,8
4A132S8/6/2Y3	1,9	720	69,5	1,2	1,8
	2,2	960	73,5	1,2	1,8
	3,2	1420	74	1	1,8
4A132M8/6/2Y3	2,6	720	72,5	1,2	1,
	2,8	960	75	1,2	81,8
	4,5	1420	77,5	1	1,8
4A160S8/6/2Y3	4	730	74,5	1,2	2
	4,5	980	76	1,2	2
	7,5	1450	80,5	1	2
4A160M8/6/2Y3	5	735	76,5	1,2	2
	6,3	980	77	1,2	2
	10	1450	82	1,0	2
4A180M8/6/2Y3	8,0	735	78	1,3	1,9
	10	985	83,5	1,2	2
	12,5	1420	83	1	1,9
4A200M8/6/2Y3	11	739	82	1,6	2
	12	990	82,5	1,2	2
	18,5	1478	85	1,2	2

Продовження додатку Г

1	2	3	4	5	6
4A200L8/6/2У3	14	739	83	1,6	2
	15	980	85,5	1,2	2
	21	1478	85,5	1,2	2
4A225M8/6/2У3	17	739	86	1,6	2
	18,5	990	86	1,2	2
	25	1478	86,5	1,2	2
4A250S8/6/2У3	20	717	88	1,8	2
	22	990	85,5	1,5	2
	30	1435	87	1,5	2
4A250M8/6/2У3	22	717	86	1,8	2,2
	30	990	88	1,5	2
	37	1435	88	1,5	2,2
<p>Чотиришвидкісні двигуни. Синхронні частоти обертання 500/750/1000/1500 об/хв. Дві незалежні обмотки. Схема з'єднання обмотки Д/Д/УУ/УУ</p>					
4A160M12/8/6/2У3	1,8	490	56,5	1,4	2
	4	730	67	1,2	2
	4,25	970	76	1,1	2
	6,7	1460	79	1	2
4A180M12/8/6/2У3	3	485	63	2	1,8
	5	735	75	1,6	1,8
	6	975	80,5	1,3	1,8
	8	1470	81,5	1	1,8
4A200M12/8/6/2У3	5	492	72	1,4	2
	8	742	80	1,2	2
	8,5	985	82,5	1,1	2
	12	1435	82,5	1	2
4A200L12/8/6/2У3	6	492	72	1,4	2
	10	742	81	1,2	2
	10,5	985	83	1,1	2
	15	1435	83,5	1	2
4A225M12/8/6/2У3	7,1	495	75,5	1,4	2
	12,5	742	82	1,3	2
	13	990	84,5	1,1	2
	20	1435	83,5	1	2
4A250S12/8/6/2У3	9	495	76	1,5	2
	17	742	84,5	1,3	1,9
	18,5	990	84	1,1	1,8
	26,5	1435	84,5	1	1,9
4A250M12/8/6/2У3	12	495	77	1,5	2
	22	742	85,5	1,3	1,9
	24	990	86	1,2	1,9
	30	1435	85,5	1,2	1,9

Додаток Д. Технічні дані двигунів серії 4А з фазним ротором (4АК, 4АНК) [1; 21]

Типорозмір двигуна	Р, кВт	ККД, %	K_{\max}
1	2	3	4
Синхронна частота обертання 1500 об/хв			
4АК160S4У3	11	86,5	3
4АК160М4У3	14	88,5	3,5
4АК180М4У3	18	89	4
4АК200М4У3	22	90	4
4АК200L4У3	30	90,5	4
4АК225М4У3	37	90	3
4АК250SA4У3	45	91	3
4АК250SBУ3	55	90,5	3
4АК250М4У3	71	91,5	3
Синхронна частота обертання 1000 об/хв			
4АК160S6У3	7,5	82,5	3,5
4АК160М6У3	10	84,5	3,8
4АК180М6У3	13	85,5	4
4АК200М6У3	18,5	88	3,5
4АК200L6У3	22	89	3,5
4АК225М6У3	30	89	2,5
4АК250S6У3	37	90,5	2,5
4АК250М6У3	45		2,5
Синхронна частота обертання 750 об/хв			
4АК160S8У3	5,5	80	2,5
4АК160М8У3	7,5	82	3
4АК180М8У3	11	85,5	3,5
4АК200М8У3	15	86	3
4АК200L8У3	18,5	86	2
4АК225М8У3	22	87	2,2
4АК250S8У3	30	88,5	2,2
4АК250М8У3	37	89	2,2
Синхронна частота обертання 1500 об/хв			
4АНК160S4У3	14	86,5	3
4АНК160М4У3	17	88	3,5
4АНК180S4У3	22	87	3,2

Продовження додатку Д

1	2	3	4
4АНК180М4У3	30	88	3,2
4АНК200М4У3	37	90	3
4АНК200L4У3	45	90	3
4АНК225М4У3	55	89,5	2,5
4АНК250SA4У3	75	90	2,3
4АНК250М4У3	110	92	2,5
4АНК250SB4У3	90	91,5	2,5
4АНК280S4У3	132	92	2
4АНК280М4У3	160	92,5	2
4АНК315S4У3	200	93	2
4АНК315М4У3	250	93	2
4АНК355S4У3	315	93,5	2
4АНК355М4У3	400	94	2
Синхронна частота обертання 1000 об/хв			
4АНК180S6У3	13	83,5	3
4АНК180М6У3	17	85	3
4АНК200М6У3	22	88	3
4АНК200L6У3	30	88,5	3
4АНК225М6У3	37	89	1,9
4АНК250SA6У3	45	89,5	2,3
4АНК250SB6У3	55	91	2,5
4АНК250М6У3	75	91,5	2,5
4АНК280S6У3	90	90	1,9
4АНК280М6У3	110	91,5	1,9
4АНК315S6У3	132	92	1,9
4АНК315М6У3	160	92,5	1,9
4АНК355S6У3	200	93	1,8
4АНК355М6У3	250	93	1,8
Синхронна частота обертання 750 об/хв			
4АНК180S8У3	11	85	3,2
4АНК180М8У3	14	86,5	3,5
4АНК200М8У3	18,5	86	2,5
4АНК200L8У3	22	87	2,5
4АНК225М8У3	30	86,5	1,8

Продовження додатку Д

1	2	3	4
4АНК250SA8У3	37	87,5	2,2
4АНК250SB8У3	45	89	2,2
4АНК250M8У3	55	89,5	2,2
4АНК280S8У3	75	90,5	1,9
4АНК280M8У3	90	90,5	1,9
4АНК315S8У3	110	91,5	1,9
4АНК315M8У3	132	92	1,9
4АНК355S8У3	160	92,5	1,7
4АНК355M8У3	200	92,5	1,7
Синхронна частота обертання 600 об/хв			
4АНК280S10У3	45	89	1,8
4АНК280M10У3	55	89,5	1,8
4АНК315S10У3	75	90	1,5
4АНК315M10У3	90	90,5	1,8
4АНК355S10У3	110	90,5	1,7
4АНК355M10У3	132	91	1,7
Синхронна частота обертання 500 об/хв			
4АНК315S10У3	55	89	1,8
4АНК315M10У3	75	90	1,8
4АНК355S10У3	90	89,5	1,7
4АНК355M10У3	110	90	1,7

Додаток Е. Технічні дані синхронних двигунів [22]

Типорозмір двигуна	P_2 , кВт	U, кВ	n_2 , об/хв	ККД, %	k_n	k_{max}
СДМП2-19-26-32-6УХЛ4	400	6	187,5	92,6	1,2	2,1
СДМП2-19-26-24-6УХЛ4	639	6	250	93,7	1,2	2,4
СДМП2-19-31-32-6УХЛ4	500	6	187,5	93	1,2	2,3
СДМП2-19-31-24-6УХЛ4	800	6	250	94	1,4	2,4
СДМП2-19-41-32-6УХЛ4	630	6	187,5	93,5	1,4	2,2
СДКП2-18-26-16УХЛ4	800	6	375	93,8	0,7	2,0
СДКП2-18-34-16УХЛ4	1000	6	375	94,6	0,8	2,0
СДКП2-18-41-16УХЛ4	1250	6	375	94,8	0,9	2,1
СДКП2-19-39-16УХЛ4	2000	6	375	95,6	0,8	1,9
СДКП2-19-61-16УХЛ4	3150	6	375	96,2	0,8	1,9
СДКП2-20-49-16ФУХЛ4	4000	6	375	96,2	0,7	1,9
СДКП2-20-56-16ФУХЛ4	4000	10	375	96,0	1,0	1,9
СДКП2-20-61-16ФУХЛ4	5000	6	375	96,5	0,8	1,8
СДКП2-21-46-20ФУХЛ4	5000	6	300	96,3	0,8	1,9
СДКП2-21-56-24ФУХЛ4	5000	6	250	96,3	0,8	1,8
СДКП2-18-51-16МФУХЛ4	1600	6	375	95,5	0,65	2,1
СДКП2-19-39-16МФУХЛ4	2000	6	375	95,6	0,8	1,9
СДКП2-20-61-16МФУХЛ4	5000	6	375	95,5	0,8	1,8
ВДС-375/89-24	10000	10	250	96,3	0,4	2,2
ВДС-375/105-24	12500	10	250	96,7	0,4	2
ВДС-375/125-24	16000	10	250	96,9	0,6	2,2
ВДС-375/89-28	8000	10	250	96,1	0,35	2
ВДС-375/105-28	10000	10	214	96,2	0,35	2,1
ВДС-375/125-28	12500	10	214	96,7	0,45	2
ВДС-375/89-32	8000	10	187	95,6	0,4	2,4
ВДС-375/105-32	10000	10	187	95,8	0,4	3
ВДС2-325/44-16	5000	6	375	95,3	0,4	1,8
ВДС2-325/49-16	5000	10	375	95,2	0,35	1,9
ВДС2-325/69-16	8000	10	375	95,9	0,32	1,8
ВДС2-325/44-18	5000	6	333	95,2	0,35	1,7
ВДС2-325/49-18	5000	10	333	95	0,5	1,9
ВДС2-325/44-20	4000	6	300	95,5	0,4	2
ВДС2-325/64-20	6300	10	300	95,7	0,35	1,9
ВДС2-325/59-24	5000	6	250	95,5	0,7	2,1

Додаток Ж. Технічні дані двигунів постійного струму серії 2П

Р, кВт	U, В	Частота обертання		ККД, %
		номінальна	максимальна	
1	2	3	4	5
Тип 2ПН90МУХЛ4, 2ПН90МГУХЛ4				
0,17	110	750	3000	47,5
	220	750	1500	48,5
0,25	110	1060	4000	56
	120	1120	2000	57
0,37	110	1500	3000	61,5
	120	1500	2250	61,5
0,71	110	2360	4000	69,5
	120	2360	3540	70
1	110	3000	4000	71,5
	120	3000	4000	72,5
Тип 2ПН90ЛУХЛ4, 2ПН90ЛГУХЛ4				
0,2	110	750	3000	54
	120	800	1500	54,5
0,34	110	1060	4000	60
	120	1000	2000	60
0,55	110	1500	4000	67,5
	120	1500	4300	67,5
0,9	110	2000	4000	73
	120	2120	4000	73
1,3	110	3150	4000	76
	120	3150	4000	78
Тип 2ПБ90МУХЛ4, 3ПБ90МГУХЛ4				
0,13	110	800	3000	49,5
	120	750	1500	47,5
0,18	110	1000	4000	54,5
	120	1000	2000	55,5
0,28	110	1600	4000	63,5
	120	1500	3000	63,5
0,4	110	2360	4000	69,5
	120	2200	4000	58,5
0,55	110	3000	4000	71,0
	120	3000	4000	71,0
Тип 2ПН100МУХЛ4, 2ПН100МГУХЛ4				
0,37	110	750	3000	60
	120	750	1500	59,5
0,5	110	1000	4000	65
	120	1000	2000	66

Продовження додатку Ж

1	2	3	4	5
0,75	110	1500	4000	71
	120	1500	4300	71,5
1,2	110	2120	4000	75
	120	2200	4000	76,5
2	110	3000	4000	78,5
	120	3000	4000	79
Тип 2ПН100ЛУХЛ4, 2ПН100ЛГУХЛ4				
0,42	110	750	3000	60,5
	120	750	1500	61,5
0,63	110	1000	4000	67
	120	1060	2000	67
1,1	110	1500	4000	72,5
	120	1500	4300	74
1,7	110	2200	4000	77
	120	2200	4000	78
2,2	110	3000	4000	79,5
	120	3150	4000	81
Тип 2ПН112ЛУХЛ4, 2ПН112ЛГУХЛ4				
0,8	110	750	3000	62,5
	120	750	2500	63,5
1,25	110	1060	4000	68,5
	120	1000	3500	68
2,2	110	1500	4000	74,5
	120	1500	4000	75
3,4	110	2240	4000	76
	120	2200	4000	78
5,3	110	3350	4000	79,5
	120	3000	4000	80
Тип 2ПН132МУХЛ4, 2ПН132МГУХЛ4				
1,6	110	750	3000	68
	120	750	2500	68,5
2,5	110	1000	4000	72
	220	1000	3000	73,5
	440	1000	2500	73
4	110	1500	4000	77,5
	120	1500	4000	79
	140	1500	3750	79
7	110	2200	4000	81
	220	2240	4000	83
	440	2240	4000	83
10,5	220	3000	4000	84
	440	3000	4000	85

Продовження додатку Ж

1	2	3	4	5
Тип 2ПН132ЛУХЛ4, 2ПН132ЛГУХЛ4				
1,9	110 220 440	7520 750 750	3000 2500 1850	71 72 70,5
3	110 220 440	950 1000 1000	4000 4000 3750	74,5 75,5 76,5
5,5	110 220 440	1500 1500 1600	4000 4000 3750	80 80,5 81
8,5	220 440	2200 2240	4000 4000	84 84,5
14	220 440	3150 3150	4000 4000	86 86,5
Тип 2ПФ132ЛУХЛ4, 2ПФ132ЛГУХЛ4				
2,8	110 220 440	750 750 750	3750 2500 1850	66,5 67 69
4,2	110 220 440	950 1000 1000	4000 3000 2500	72 73 73
5,5	110 220 440	1500 1600 1600	4200 4200 3750	79 80,5 80,5
7,5	110 220 440	2200 2120 2200	4000 4000 4000	83 83,5 86
11	220 440	3000 3150	4000 4000	85,5 86,5
Тип 2ПН160МУХЛ4, 2ПН160МГУХЛ4				
3	110 220 440	750 750 750	3000 2500 1850	75,5 76,5 76
4,5	110 220 440	950 1000 950	4000 3000 2500	78,5 79,5 79
7,5	110 220 440	1600 1500 1500	4000 4000 3750	83 83 84
13	220 440	2120 2360	4000 4000	85,5 86,5
18	220 440	3150 3150	4000 4000	87 87,5

Продовження додатку Ж

1	2	3	4	5
Тип 2ПН160ЛУХЛ4, 2ПН160ЛГУХЛ4				
4	110	750	3000	77,5
	220	800	2500	78,5
	440	750	1850	78,5
6,3	110	1000	4000	80,5
	220	1000	3000	81,5
	440	1060	2500	82
11	220	1500	4000	85,5
	440	1600	3750	85,5
16	220	2360	4000	86,5
	440	2360	4000	87,5
24	220	3150	4000	88
	440	3150	4000	89
Тип 2ПФ160ЛУХЛ4, 2ПФ160ЛГУХЛ4				
5,6	110	750	3750	76
	220	800	2500	77,5
	440	800	1850	76,5
8	220	1000	3000	80
	440	1060	2500	81
11	110	1500	4200	84
	220	1500	4200	84,5
	440	1500	3750	84,5
16	220	2360	4000	87
	440	2360	4000	88,5
18,5	220	3150	4000	87,5
	440	3150	4000	88,5
Тип 2ПН180МУХЛ4, 2ПН180МГУХЛ4				
5,6	110	750	3000	78,5
	220	750	2500	79
	440	750	1850	79,5
8	110	1000	3500	81,5
	220	1060	3000	83
	440	1000	2500	82
15	110	1500	3500	85,5
	220	1500	4000	85,5
	440	1500	3500	86
26	220	2240	3500	88
	440	2240	3500	89
37	220	3000	3500	79,5
	440	3150	3500	89,5

Продовження додатку Ж

1	2	3	4	5
Тип 2ПН180ЛУХЛ4, 2ПН180ЛГУХЛ4				
7,1	110	750	3000	80
	220	750	2500	80,5
	440	750	1800	82,5
10	110	1000	3500	82,5
	220	1000	3000	82,5
	440	1000	2500	83,5
18,5	220	1500	3500	87
	440	1600	3500	87,5
30	440	2200	3500	89
42	440	3000	3500	90,5
Тип 2ПФ180ЛУХЛ4, 2ПФ180ЛГУХЛ4				
10	110	750	3300	77,5
	220	750	2500	79
	440	750	1850	78
14	220	1000	3300	82
	440	1000	2500	83
18,5	220	1500	3500	87
	440	1500	3500	87
25	220	2120	3500	89
	440	2200	3500	89,5
32	440	3150	3500	90,5
Тип 2ПН200МУХЛ4, 2ПН200МГУХЛ4				
8,5	110	8010	3000	81
	220	800	2500	82
	440	800	1850	82
13	110	1120	3500	84
	220	1120	3000	85
	440	1000	2500	84,5
22	220	1500	3500	87,5
	440	1500	3500	87,5
36	220	2200	3500	88,5
	440	2200	3500	89,5
60	440	3150	3500	90,5
Тип 2ПН200ЛУХЛ4, 2ПН200ЛГУХЛ4				
11	110	800	3000	83
	220	800	2500	84
	440	750	1850	83,5
16	220	1000	3000	86
	440	1000	2500	86

Продовження додатку Ж

1	2	3	4	5
30	220	1500	3500	88,5
	440	1600	3500	89,5
53	440	2360	3500	90,5
75	440	3150	3500	91,5
Тип 2ПН280МУХЛ4, 2ПН280МГУХЛ4				
22	220	530	1250	83
30	220	600	1500	84,5
	440	600	1500	84,5
45	220	750	2000	86
	440	750	1200	86,5
75	220	1000	2250	88,5
	440	1180	2400	88,5
90	440	1500	1500	89
110	220	1500	2600	89,5
	440	1500	2250	89,5
Тип 2ПН280ЛУХЛ4, 2ПН280ЛГУХЛ4				
30	220	500	1250	83,5
	440	500	1250	83,5
37	220	600	1500	86
	440	600	1500	86
55	220	750	2000	87,5
85	440	1000	2250	88,4
90	220	1060	2000	88,4
132	220	1500	2600	90,6
	440	1500	1900	90,6
Тип 2ПН315МУХЛ4, 2ПН315МГУХЛ4				
45	220	600	1500	85,5
	440	600	1500	85,5
55	440	750	1800	87
100	440	1000	2250	88
110	220	1000	2250	89
160	220	1500	2400	90
	440	1900	2400	90
Тип 2ПФ315ЛУХЛ4, 2ПФ315ЛГУХЛ4				
55	220	500	1250	86
	440	500	1250	86
75	220	630	1500	87,5
	440	630	1500	87,5

Продовження додатку Ж

1	2	3	4	5
90	220 440	750 750	1800 1800	88 88
118	440	1000	2000	89
220	220 440	1500 1500	2400 2000	91 91

Навчальне видання

Петро Олександрович Василега
Дмитро Володимирович Муріков

Електропривод робочих машин

Навчальний посібник

Директор видавництва Р.В. Кочубей.
Головний редактор В.І. Кочубей.
Технічний редактор Н.Ю. Курносова.
Дизайн обкладинки і макет В.Б. Гайдабрус.
Комп'ютерна верстка Д.І. Іовенко, О.В. Бердинських

ТОВ «ВТД «Університетська книга».
40030, м. Суми, вул. Кірова, 27.
E-mail: publish@book.sumy.ua

Відділ реалізації:
тел./факс: (0542) 21-26-12, 21-11-25;
e-mail: info@book.sumy.ua

Підписано до друку 05.12.05. Формат 60x84 ¹/₁₆. Папір офсетний.
Гарнітура Скулбук. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 13,4.
Обл.-вид. арк. 13,44.
Тираж 1000 прим. Замовлення №

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного
реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої
продукції ДК № 489 від 18.06.2001

Надруковано відповідно до якості наданих діапозитивів
у ПП «Принт-Лідер»
Україна, 61070, м. Харків, вул. Рудика, 8