

МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Ярошенко Л.В.

*ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ
З ЕЛЕКТРОПРИВОДА ТА ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ*

Навчальний посібник

ВІННИЦЯ – 2010

УДК 631.3-52:621.31(075.3)

ББК 31.291я73

Ярошенко Л.В. Лабораторний практикум з електропривода та електрообладнання: Навчальний посібник. – Вінниця: РВВ ВНАУ, 2010. – 192 с.

Рецензенти:

д. т. н., проф., зав. каф. металорізальних верстатів та основ авто-матизації виробництва Вінницького національного технічного університету, голова спеціалізованої вченої ради К 10.01. 02 зі спеціальності 05.02.03 "Системи приводів" Р. Д. Іскович-Лотоцький;

д. т. н., проф., зав. каф. тракторів, автомобілів та технічного сервісу машин Вінницького державного аграрного університету В. Ф. Анісімов

Розглянуті питання дослідження механічних характеристик та визначення потужності електродвигунів за різних режимів навантаження. Описана методика дослідження і наладки апаратів та схем автоматичного керування електроприводами та електрообладнанням сільськогосподарських машин і агрегатів.

Розраховано на викладачів та студентів факультетів механізації сільського господарства вищих навчальних закладів III-IV рівнів акредитації.

Рекомендовано науково-методичною радою
Вінницького державного аграрного університету
(протокол № 7 від 31 березня 2008 року)

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Для виконання лабораторних робіт за індивідуальним графіком комплектуються бригади із 3-5 студентів. Одержавши графік виконання робіт, студент повинен самостійно підготуватись до кожної з них, вивчаючи лекційний матеріал чи відповідні розділи підручників, перелік яких розміщений у кінці інструкції до кожної лабораторної роботи, а також наведені у названих інструкціях короткі теоретичні пояснення.

Для оформлення звітів із виконаних лабораторних робіт і підготовки до наступної лабораторної роботи кожен студент повинен мати підписаний робочий зошит. На кожне лабораторне заняття студент повинен приходити підготовленим із необхідними записами у робочому зошиті. Перед практичним виконанням лабораторної роботи у робочому зошиті студента повинні бути такі записи: назва та мета роботи, конспективно, найважливіші теоретичні пояснення (обов'язково наводяться необхідні для розрахунків формули), вказівки щодо виконання роботи, необхідні таблиці та електричні схеми. Детальніше необхідний обсяг записів у робочому зошиті наведено у кінці кожної інструкції до лабораторної роботи.

Перед початком занять викладач перевіряє якість підготовки студентів до проведення лабораторної роботи. Не підготовлені студенти до роботи у лабораторії не допускаються. Уся експериментальна частина робіт виконується студентами відповідно до методичних вказівок та інструкцій до лабораторних робіт під керівництвом викладача, із дотриманням правил техніки безпеки.

Отримані експериментальні дані студенти заносять до робочого зошита, обробляють і закінчують оформляти звіт із виконаної лабораторної роботи, у якому, окрім підготовчих записів повинні бути такі: заповнені таблиці експериментальних та розрахункових даних, графіки (за необхідності), висновки студента про виконану роботу, де необхідно коротко проаналізувати отримані результати.

Усі електричні схеми і графіки необхідно виконувати акуратно, з використанням необхідних креслярських інструментів та дотриманням вимог стандартів на оформлення технічної документації. Графіки краще виконувати на міліметровому папері, приймаючи довжину його координатних осей не менше 100 мм із нанесенням на них шкал, де вказують також їх позначення та одиниці вимірювання.

Маючи оформлений звіт, кожен студент захищає лабораторну роботу під час занять або у визначений викладачем час. Після захисту лабораторних робіт або в кінці навчального семестру звіти з лабораторних робіт обов'язково здаються викладачеві.

ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ В ЛАБОРАТОРІЇ

Електротехнічні лабораторії інститутів належать до категорії приміщень із підвищеною небезпекою, оскільки у них людина може одночасно доторкнутись до металевих конструкцій будівель, технологічних апаратів та механізмів, які з'єднані із землею та до металевих корпусів і струмоведучих частин обладнання. Тому до роботи у лабораторії допускаються тільки ті студенти, які пройшли інструктаж із техніки безпеки. Під час роботи в лабораторії необхідно дотримуватись таких правил техніки безпеки:

1. Не ходити по лабораторії і не торкатись жодного обладнання, окрім того, що призначене для виконання заданої лабораторної роботи.
2. Перед початком роботи в лабораторії студент повинен ознайомитись із схемою електричного живлення лабораторії і робочих місць, з'ясувати, де розташовані апарати для вимикання і вмикання живлення всієї лабораторії.
3. Перед тим, як розпочати збирання електричної схеми на стенді, необхідно переконатись, що він не знаходиться під напругою, перевірити, чи вимкнений автоматичний вимикач, встановлений на вертикальній панелі робочого стола. Для цього потрібно натиснути на червону кнопку, а біла чи чорна кнопки повинні знаходитись у не зануреному стані, або опустити важіль автоматичного вимикача у нижнє положення, при цьому також не повинні горіти сигнальні лампочки чи світлодіоди, які розміщені поруч із вимикачем.
4. Починати складання електричної схеми, слід зі збирання послідовного кола, а потім підключати вольтметри, паралельні обмотки ватметрів і лічильників. При складанні схеми необхідно слідкувати за тим, щоб з'єднання були щільними, провідники не перетинали проходів і не потрапляли на рухомі частини машин і механізмів. Після складання схеми потрібно прибрати всі зайві провідники, прилади тощо.
5. Забороняється користуватися несправними приладами, апаратами та електричними машинами.
6. Зібрану схему перевіряють усі члени бригади, а потім викладач чи лаборант.
7. Вмикати електричну схему можна тільки з дозволу викладача, попередивши перед цим товаришів по роботі, і переконавшись, що ніхто із присутніх не торкається до струмоведучих частин обладнання чи частин обладнання, що обертаються.
8. Під час дослідів стежать за показами приладів і режимами роботи всього обладнання. Відліки за приладами ведуть в одному,

заздалегідь встановленому порядку, записуючи в першу чергу параметри, які при роботі змінюються найшвидше. При проведенні дослідів усі дані випробувань та технічні дані обладнання акуратно записуються у спеціальний зошит.

9. Виконуючи роботу, не слід підходити до пристроїв, що не призначені для виконання даної лабораторної роботи, і торкатися до струмоведучих частин лабораторного обладнання. Забороняється користуватися обладнанням і приладами, що призначені для іншої мети, з'єднувати їх елементи, натискати кнопки, перемикачі вимикачі і т. д.
10. Забороняється лишати ввімкнутий лабораторний стенд без нагляду.
11. Якщо в машині є відкриті частини, що обертаються, то не обхідно перевірити, чи надійно вони закріплені; також перевірити надійність кріплення машини в цілому. Перед вмиканням стенда та під час проведення дослідів необхідно слідкувати, щоб до рухомих частин машин не могли потрапити кінці одягу, волосся та ін.
12. Категорично забороняється вносити будь-які зміни до електричного кола під напругою. При потребі таких змін необхідно за допомогою автоматичного вимикача вимкнути лабораторний стенд. Після внесення необхідних змін в електричну схему стенда його повторне включення можливе тільки з дозволу викладача і після попередження про це присутніх.
13. У разі припинення постачання електроенергії, необхідно вимкнути лабораторний стенд шляхом вимикання автоматичного вимикача, що знаходиться на стенді.
14. Виконання лабораторної роботи однією людиною забороняється.
15. Розбирати електричну схему можна тільки при вимкненій напрузі, після перевірки викладачем результатів виконаної роботи, якщо вони будуть визнані незадовільними, то експеримент слід повторити.
16. Стенд необхідно терміново відключати у таких випадках:
 - при попаданні людини під напругу;
 - при появі запаху горілого, диму чи вогню з обладнання або приладів;
 - при порушенні нормальної роботи схеми та “зашкалюванні” стрілок приладів;
 - при порушенні нормальної роботи електричної машини (сторонні шуми, тріск, стукіт і т. п.);
 - при обриві проводів та пошкодженні їх ізоляції.
17. Після закінчення роботи необхідно розібрати електричну схему, акуратно скласти провідники і прибрати робоче місце.

18. За псування лабораторного обладнання, що викликане неохайним користуванням або невиконанням правил техніки безпеки, студенти несуть відповідальність і не допускаються до занять.

ПРАВИЛА ЗОБРАЖЕННЯ СХЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

1. Положення всіх елементів у схемах показують у нормальному стані. *Нормальним станом* контактів та інших елементів схем вважають їх положення при знеструмленому стані та відсутності механічної дії (натиску на кнопку), при нульовому положенні командоапарата чи контролера.
2. Довільна електрична схема автоматизованого електропривода складається з таких (частин) електричних кіл:
 - а) кола головного струму, куди входять з'єднання якорів електродвигунів, їх статорів і роторів, (зображуються суцільними товстими лініями, удвічі товстішими за лінії інших кіл);
 - б) кола керування або кола допоміжного струму, куди входять з'єднання апаратів керування, сигналізації та контролю, (зображуються суцільними тонкими лініями);
 - в) кола взаємних блокувань, що об'єднують блокувальні зв'язки (зображуються суцільними тонкими лініями);
 - г) кола сигналізації, що об'єднують сигнальні та контрольно-вимірювальні прилади й апарати (зображуються суцільними тонкими лініями).
3. Кожен елемент, що входить у схему автоматичного керування, повинен позначатися за допомогою букв. Причому елементи, що належать одному і тому самому апарату, позначають однією і тією ж буквою. Найчастіше позначення апаратури керування та контролю складається із декількох букв, із яких перша відповідає назві апарату, а решта – його призначенню у схемі. У випадку, коли у схемі автоматичного керування є декілька однакових за назвою апаратів, то їм привласнюють порядкові номери.
4. Головними фізичними величинами, які використовуються при автоматичному керуванні електродвигунами, є швидкість (е. р. с., частота або напруга), струм, шлях і час.






















Умовні графічні позначення на електричних схемах наведено у табл. В.1, а буквені позначення на електричних схемах – у табл. В.2.


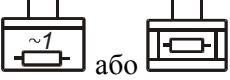
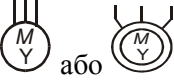




Таблиця В.1

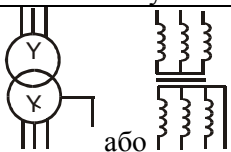
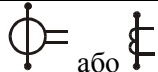
Умовні графічні позначення на електричних схемах

Позначення	Найменування
-	Струм постійний
~	Струм змінний
	Лінія електричного зв'язку
	Лінія електричного зв'язку з відгалуженням
	Заземлення
	Корпус апарата (машини, приладу)
Контакти контактного з'єднання	
	штир
	гніздо
	розбірне з'єднання
	нерозбірне з'єднання
	З'єднання контактне рознімне
Контакти комутаційного пристрою	
	замикаючий
	розмикаючий
Контакт комутаційного пристрою замикаючий з уповільнювачем, що діє:	
	при спрацюванні
	при поверненні
	при спрацюванні і поверненні
Контакт комутаційного пристрою розмикаючий з уповільнювачем, що діє:	
	при спрацюванні
	при поверненні
	при спрацюванні і поверненні
Контакт з механічним зв'язком (загальне позначення)	
	замикаючий
	розмикаючий

Позначення	Найменування
Вимикач	
	однополюсний
	триполюсний
	Вимикач триполюсний автоматичний з вказуванням величини, при зміні якої відбувається вимикання:
$I >$ $I <$ $U >$ $U <$ $T^{\circ} >$	максимального струму мінімального струму максимальної напруги мінімальної напруги максимальної температури
Вимикач шляховий (кінцевий)	
	однополюсний
	триполюсний
Вимикач кнопковий натискний із самоповерненням	
	із замикаючим контактом
	із розмикаючим контактом
Перемикач	
	однополюсний
	однополюсний багатопозиційний
Контакт електротеплового реле	
	з самоповерненням
	з поверненням при натисканні на кнопку
	Сприймаючий елемент електротеплового реле
	Котушка електромагнітного пристрою
	Котушка електромагнітного пристрою трифазного струму

Позначення	Найменування
	Електромагніт змінного струму
	Котушка електромагнітного пристрою
	Котушка електромагнітного пристрою трифазного струму
	Електромагніт змінного струму
Резистори, конденсатори	
	Резистор постійного опору
	Резистор змінного опору
	Терморезистор
	Конденсатор постійної ємності
	Конденсатор змінної ємності
	Конденсатор електролітичний полярний
	Конденсатор електролітичний неполярний
Прилади напівпровідникові	
	Діод
	Тиристор
	Стабілітрон односторонній
	Стабілітрон двосторонній
	Транзистор типу $p - n - p$
	Транзистор типу $n - p - n$
	Фоторезистор
	Фотодіод
Джерела оптичного випромінювання	
	Видиме випромінювання
	Ультрафіолетове випромінювання
	Інфрачервоне випромінювання

Позначення	Найменування
Тиск газів у джерелах випромінювання	
●	низький
●●	високий
●●●	надвисокий
	Лампа розжарювання
	Лампа газорозрядна освітлювальна низького тиску
	Лампа газорозрядна освітлювальна низького тиску з простими електродами
	Лампа газорозрядна освітлювальна високого тиску
Електронагрівні пристрої	
	Електропіч трифазна
	Електронагрівач однофазний
Машини електричні	
	Машина електрична (загальне позначення)
	Двигун трифазний із з'єднанням обмоток "зіркою"
	Машина постійного струму змішаного збудження
Вимірювальні прилади	
	прилад показуючий (наприклад, амперметр)
	прилад реєструвальний (наприклад, ватметр)
	прилад інтегруючий (наприклад, лічильник електроенергії)
Котушки індуктивності, дроселі трансформатори	
	котушка індуктивності, дросель без осердя
	котушка індуктивності, дросель з осердям
	трансформатор однофазний

Позначення	Найменування
Котушки індуктивності, дроселі трансформатори	
	трифазний трансформатор з феромагнітним осердям при з'єднанні обмоток зірка – зірка із виведеною нейтральною (середньою) точкою
	трансформатор струму

Таблиця В.2

Буквені позначення на електричних схемах

Перша літера	Групи видів елементів	Приклади видів елементів	Двобуквені коди
А	Пристрій (загальне позначення)		
В	Перетворювачі неелектричних величин в електричні (окрім генераторів і джерел живлення) або, навпаки, аналогові чи багато розрядні перетворювачі або датчики	Тепловий датчик	ВК
		Фотоелемент	ВL
		Датчик тиску	ВР
		Датчик частоти обертання (тахогенератор)	ВR
	Датчик швидкості	ВV	
С	Конденсатор		
Е	Елементи різні	Нагрівний елемент	ЕК
		Освітлювальна лампа	ЕL
F	Розрядники, запобіжники, захисні пристрої	Дискретний елемент захисту за струмом, миттєвої дії	FA
		Те ж, інерційної дії	FP
		Плавкий запобіжник	FU
		Дискретний елемент захисту за напругою, розрядник	FV
L	Котушки індуктивності, дроселі	Дросель люмінесцентної лампи	LL
К	Реле, контактори, пускачі	Реле струмове	КА
		Реле вказівне	КН
		Реле електротеплове	КК
		Контактор, магнітний пускач	КМ
		Реле часу	КТ
		Реле напруги	КV

<i>Перша літера</i>	<i>Групи видів елементів</i>	<i>Приклади видів елементів</i>	<i>Двобуквенні коди</i>
P	Прилади, вимірювальне обладнання	Амперметр	PA
		Лічильник імпульсів	PC
		Частотомір	PF
		Лічильник активної енергії	PI
		Лічильник реактивної енергії	PK
		Омметр	PR
		Реєструвальний прилад	PS
		Годинник	PT
		Вольтметр	PV
		Ватметр	PW
Q	Вимикачі та роз'єднувачі у силових колах	Автоматичний вимикач	QF
		Короткозамикач	QK
		Роз'єднувач	QS
R	Резистори	Терморезистор	RK
		Потенціометр	RP
		Шунт вимірювальний	RS
		Варистор	RV
T	Трансформатори	Трансформатор струму	TA
		Електромагнітний стабілізатор	TS
		Трансформатор напруги	TV
S	Пристрої комутаційні в колах керування, сигналізації та вимірювальних	Вимикач або перемикач	SA
		Кнопковий вимикач	SB
		Автоматичний вимикач	SF
		Вимикачі, що спрацьовують від:	
		- рівня	SL
		- тиску	SP
- положення (шляховий)	SQ		
- кутової швидкості	SR		
- температури	SK		
Y	Пристрій механічний з електромагнітним приводом	Електромагніт	YF
		Гальмо з електромагнітним приводом	YD
		Муфта з електромагнітним приводом	YC
V	Прилади електровакуумні та напівпровідникові	Діод, стабілітрон	VD
		Прилад електровакуумний	VL
		Транзистор	VT
		Тиристор	VS

Продовження таблиці В.2

<i>Перша літера</i>	<i>Групи видів елементів</i>	<i>Приклади видів елементів</i>	<i>Дебуквенні коди</i>
Х	Контактні з'єднання	Струмознімач, контакт ковзкий	ХА
		Штир	ХР
		Гніздо	ХS
		З'єднання розбірне	ХТ
У	Пристрій механічний з електромагнітним приводом	Електромагніт	УF
		Гальмо з електромагнітним приводом	УD
		Муфта з електромагнітним приводом	УС

МОДУЛЬ № 1

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ КЕРУВАННЯ

Мета роботи: вивчити призначення, будову, принцип роботи та правила вибору апаратів ручного та електромагнітного керування, дослідити електромагнітну систему магнітного пускача та роботу простих схем керування асинхронними коротко-замкнутими електродвигунами.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЯСНЕННЯ

Електричними апаратами керування та захисту називають електротехнічні пристрої та механізми, що призначені для ручного або автоматизованого вмикання та вимикання електричних кіл та їх автоматичного захисту при різних аномальних режимах.

За призначенням апарати керування поділяються на:

- комутуючі – призначені для розмикання електричних кіл без навантаження (рубильники, перемикачі, пакетні вимикачі та ін.);

- захисні – здійснюють захист електроспоживачів від коротких замикань та перевантажень (автоматичні вимикачі, запобіжники, теплові реле, реле максимального струму та реле мінімальної напруги);

- керуючі – що служать для запуску і зупинки двигунів, зміни напрямку та частоти їх обертання (пускачі, контактори, контролери, регулювальні та гальмівні резистори, реле керування).

За принципом дії виділяють такі типи апаратів:

- *апарати ручного керування* – вступають у дію тільки в результаті безпосередньої дії людини (рубильники, вимикачі, реостати);
- *апарати дистанційного та автоматичного керування*, можуть бути приведені в дію людиною дистанційно або їх робота може бути поставлена в автоматичну залежність від раніше заданих умов (контролери, контактори, пускачі, реле керування).

За характером комутації електричних кіл існують апарати:

- *контактні* - з'єднують та роз'єднують електричні кола із видимим розривом, за допомогою рухомих та нерухомих елементів (контактів);

- *безконтактні* - з'єднують та роз'єднують електричні кола без фізичного розриву, за рахунок різкої зміни їх внутрішнього опору (практично від 0 до ∞).

Усі електротехнічні пристрої поділяють за кліматичним виконанням, категорією розміщення та ступенем захисту від дотику людини до струмоведучих частин та попадання всередину їх забруднень та вологи, які вказують у паспорті цих пристроїв.

За кліматичним виконанням електротехнічні пристрої бувають таких класів (див. табл. 1.1):

Таблиця 1.1

Позначення кліматичних виконань електротехнічних виробів

Для мікрокліматичних районів	Позначення	Температура повітря, °С	
		Верхні межі	Нижні межі
З помірним кліматом	У	+ 40	- 45
З холодним кліматом	ХЛ	+ 40	- 60
З помірним і холодним кліматом	УХЛ	+ 40	- 60
З тропічним вологим кліматом	ТВ	+ 45	+ 1
З тропічним сухим кліматом	ТС	+ 45	- 10
З тропічним (сухим або вологим) кліматом	Т	+ 45	- 10
Загальнокліматичного виконання	О	+ 45	- 60

За категорією розміщення електричні пристрої бувають таких видів:

- 1.- для експлуатації просто неба;
- 2.- для експлуатації у відкритих приміщеннях (під навісом);
- 3.- для експлуатації у закритих приміщеннях без штучного регулювання мікроклімату;
- 4.- для експлуатації у закритих приміщеннях, де штучно регулюється мікроклімат (опалювані приміщення);
- 5.- для експлуатації у приміщеннях із підвищеною вологістю.

Для позначення *ступеня захисту* електротехнічних пристроїв використовують букви IP, за якими є дві цифри, перша з яких вказує на ступінь захисту обслуговуючого персоналу від дотику до струмоведучих та обертових частин цих пристроїв та попадання всередину них твердих тіл, а саме:

- 0 - спеціальний захист відсутній;
- 1 - захист від дотику великими частинами тіла та проникнення твердих тіл розміром понад 50 мм;
- 2 - захист від дотику пальців людини та проникнення у їх середину твердих тіл розміром понад 12 мм;
- 3 - захист від проникнення інструменту та проводу розміром понад 2,5 мм;
- 4 - захист від проникнення твердих тіл розміром понад 1 мм;
- 5 - захист від проникнення твердих тіл, але не повний захист від проникнення пили;
- 6 - повністю виключене проникнення пили.

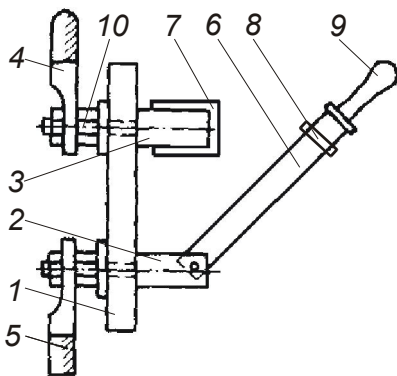
Друга цифра вказує на ступінь захисту електромеханічних пристроїв від проникнення води, а саме:

- 0 - захист відсутній;
- 1 - захист від крапель води, що падають вертикально;
- 2 - захист від крапель води, що падають під кутом, не більшим 15-ти градусів до вертикалі;
- 3 - захист від дощу, що падає під кутом, не більшим 60-ти градусів до вертикалі;
- 4 - захист від крапель води, що падають під довільним кутом;
- 5 - захист від водяних струменів;
- 6 - захист від водяних хвиль;
- 7 - захист при короткочасному зануренні у воду;
- 8 - захист при тривалому зануренні у воду.

До апаратів ручного керування відносяться:

Рубильники – найпростіші апарати, що призначені для роботи при номінальних струмах до 1500 А, бувають одно-, дво-, та трьохполюсними. Рубильник (див. мал. 1.1) має рухомі 6 та нерухомі 7 контакти, одні з яких виготовлені у вигляді ножів, інші – у вигляді підпружинених губок. Рухомі контакти з'єднуються ізоловуючою траверсою 8 із важелем 9, який може розміщуватись збоку або посередині рубильника. Контакти 6 та 7 встановлюються на контактній 3 і шарнірній 2 стійці, відповідно. Сійки 2 та 3 кріпляться до ізоляційної панелі 1 за допомогою болтів 10, які можуть виконувати роль клемного з'єднання, і до них приєднуються вхідні 4 та вихідні 5 проводи. У процесі вмикання рухомі контакти (ножі)

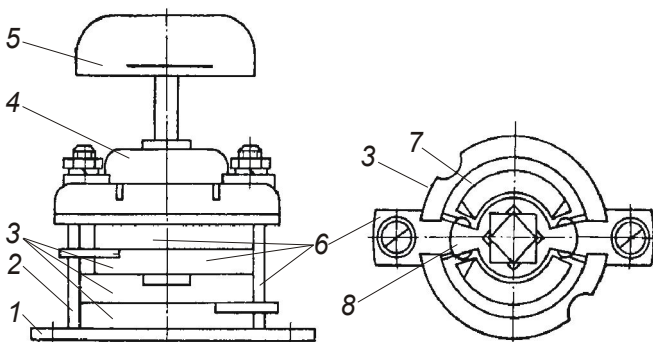
б “врубуються” у нерухомі контакти (губки) 7. Інколи рубильники комплектуються дугогасними камерами, призначення яких – розтягувати і таким чином швидко гасити електричну дугу, що виникає у момент розмикання контактів. Дугогасна камера – це набір мідних (або сталевих, покритих міддю) пластин, що закріплені між фібровими боковинами. При виникненні електричної дуги у момент розмикання контактів вона починає горіти між окремими пластинами. Навколо електродні явища, що виникають при цьому, віддача теплоти пластинам та виділення хлору із фібри сприяють швидкому гасінню дуги. При відсутності дугогасних камер контакти рубильника можна розмикати при струмі, що становить



Мал. 1.1 - Рубильник

не більше 30 % номінального. Рубильники виготовляються на номінальні струми від 100 до 1500 А і вибираються за номінальним струмом, напругою, кількістю полюсів, розміщенням рукоятки (центральне, бокове), кліматичним виконанням, категорією розміщення та ступенем захищеності.

Пакетні вимикачі та перемикачі – (див. мал. 1.2) бувають одно- та багатополісними (від 1 до 7) на номінальний струм 10, 25, 60, 100, 250, 400А при напрузі 220 В. При напрузі 380В номінальний струм потрібно зменшувати на 40 %. Конструктивно вони нагадують рубильник і складаються із окремих ізольованих контактних секцій (пакетів), та пристрою 4, який миттєво перемикає контакти при повороті рукоятки 5 на 90°, його швидкодія забезпечується застосуванням пружини. Кожна контактна секція складається з ізоляційного кільця 3, у пазах якого розміщені нерухомі контакти 6, що мають форму клиноподібного ножа, а в середній частині – пружні рухомі контакти 8 (губки), та фіброві шайби 7, які сприяють гасінню електричної дуги. Контактні секції встановлені одна над одною на скобі 1 і закріплені стяжними шпильками 2. Пакетні перемикачі можуть бути одно- та багатополісними, мати декілька робочих та нульових положень. Вибирають пакетні перемикачі за номінальними струмом і напругою, не обхідною кількістю полюсів з урахуванням кліматичного виконання, категорії розміщення та ступеня захищеності.



Мал. 1.2 - Пакетний вимикач

Кнопкові вимикачі – виготовляються із самоповерненням контактів (під дією пружини) у вихідне положення, або без нього (коли для повернення контактів у вихідне

положення необхідно натиснути на іншу кнопку). Контакти можуть бути замикаючими або розмикаючими. Кнопки випускають із циліндричними або грибоподібними штовхачами із сигнальними лампочками. Інколи кнопки групуються у кнопкові пости. Усі кнопки мають уніфікований контактний елемент, що здійснює комутацію електричних кіл напругою до 500 В, при силі струму до 10 А і обираються за необхідною схемою перемикачів з урахуванням умов навколишнього середовища;

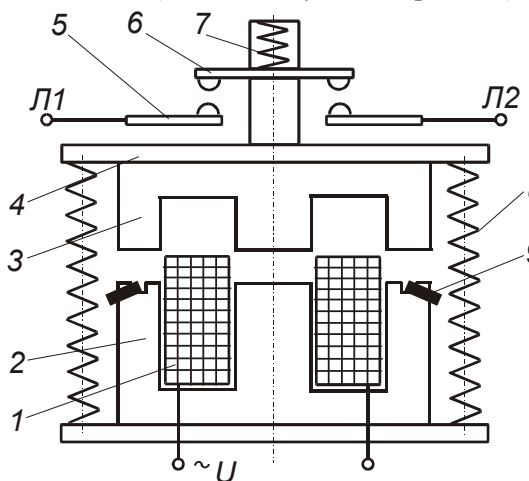
Натискні вібростійкі пускачі – серії ПНВ – призначені для ручного керування трифазним асинхронним двигуном малої потужності при напрузі до 500 В. Вони складаються із прямохідної контактної системи і кнопкового приводу із фіксуючим приводом, що фіксує положення “включено” та “виключено”. Рухомі частини контактів змонтовані на пластмасовій рейці, а нерухомі – на пластмасовій основі. Захист пускача від дії навколишнього середовища здійснюється пластмасовим кожухом. Для керування однофазними двигунами використовуються пускачі серії ПНВС, будова яких аналогічна будові пускачів ПНВ, але положення “включено” для середнього контакту не фіксується і після відпускання кнопки “Пуск” він розмикається.

До апаратів автоматичного (дистанційного) керування відносяться:

Магнітні пускачі. Головною складовою частиною електромагнітного пускача є контактор, крім якого пускач може мати теплове реле, кнопки “Пуск”, “Стоп”, “Реле” та контактну приставку. Контактор, у свою чергу, складається (див. мал. 1.3) із електромагніту, трьох головних (силових) контактів, за допомогою яких електроспоживач під’єднується до мережі та одного або декількох (залежно від типу магнітного пускача) допоміжних (блокуючих)

контактів. Електромагніт складається із котушки 1 та нерухокої 2 і рухомої 3 (якір) частин осердя. Для зменшення втрат на перемагнічування та вихрові струми, осердя виготовлене із тонких (товщиною 0,3...0,5 мм) листів електротехнічної сталі, які ізолюють один від одного шаром лаку або окалини. До якоря 3 кріпиться ізолююча траверса 4 із рухомими головними контактами 6 та контактними пружинами 7. Нерухомі контакти 5, до яких приєднуються електричні проводи Л1 та Л2, встановлені на корпусі контактора. Якір 3 за допомогою віджимних пружин 8 утримується на певній відстані від нерухокої частини осердя 2.

Працює магнітний пускач таким чином. При проходженні струму по його котушці 1 утворюється магнітне поле, під дією якого якір 3, переважаючи опір пружини 8, притягується до нерухокої частини осердя 3, при цьому замикаються головні 5, 6 та допоміжні (на малюнку не зображено) контакти. Коли струм по котушці 1 не протікає, магнітне поле зникає і під дією пружини 8, якір 3 із рухомими частинами контактів 6 повертається у вихідне положення. Струм у котушці зумовлюється величиною прикладеної напруги та опором котушки. При притягуванні якоря 3 до осердя 2 та зменшенні повітряного зазору між ними, індуктивний опір котушки 1 різко зростає і тому сила струму у котушці різко зменшується



Мал. 1.3 - Магнітний пускач (контактор)

і виявляється у 5-10 разів меншою від сили струму, що протікає по котушці, коли якір не притягнутий до осердя. При проходженні змінного струму у котушці 1 через нуль, якір 3 під дією пружини 8, відштовхується від осердя 2, а при зростанні струму – знову притягується до осердя. Таким чином, змінний струм у котушці створює умови для вібрування якоря і при недостатньо точному виготовленні магнітопроводу контактор при роботі гудітиме. Для того, щоб під час роботи не було гудіння, у магнітопровід (осердя)

впресовують коротко-замкнутий виток (із міді або алюмінію) 9, призначення якого – утримувати якір притяг-нутим до осердя у ті моменти, коли значення сили струму у котушці при зміні напрямку його протікання рівне нулю або близьке до нього. Це здійснюється за рахунок магнітного поля струму, який індукується у коротко замкнутому витку 9 при зникненні магнітного поля котушки. Контактні пружини 7 забезпечують необхідне притискання контактів у замкнутому стані. Допоміжні контакти (їх може бути від 1 до 4) встановлюються, як правило, з боків контактора і приводяться у дію від якоря. Контактори змінного струму виготовляють на номінальні сили струму 25, 40, 75, 130, 150, 600 А.

Електромагнітний пускач, що призначений для керування асинхронним двигуном, необхідно підбирати так, щоб номінальний струм його головних контактів $I_{ПН}$ був не меншим номінального струму електродвигуна $I_{ДН}$:

$$I_{ПН} \geq I_{ДН}.$$

Номінальна напруга головних контактів пускача U_H повинна бути не меншою напруги мережі U_M , у яку вона включається:

$$U_H \geq U_M.$$

Напруга котушки електромагнітного пускача $U_{КОТ}$ повинна бути рівною напрузі мережі, у яку вона включатиметься:

$$U_{КОТ} = U_M.$$

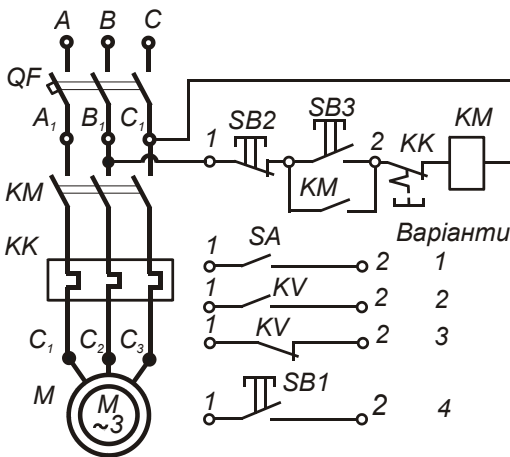
Підбираючи пускач, необхідно брати до уваги характер та режим роботи електродвигуна (необхідність реверсу, теплового захисту та ін.), кліматичне виконання, категорію розміщення та ступінь захищеності.

Окрім функцій керування, електромагнітні пускачі здійснюють нульове блокування, яке запобігає самовільному вмиканню двигуна при відновленні напруги після її зникнення або надмірного зниження. Пускачі із тепловим реле здійснюють також захист двигуна від перевантажень та неповно фазного режиму роботи (при обриві фази).

Схему керування асинхронним електродвигуном за допомогою нереверсивного електромагнітного пускача наведено на мал. 1.4. Якщо до затискачів 1 та 2 під'єднати вимикач SA із фіксованими положеннями (варіант 1), то отримуємо найпростішу схему керування, що дозволяє дистанційно керувати двигуном без нульового блокування. При автоматичному керуванні до тих самих затискачів 1 та 2 необхідно під'єднати контакт деякого реле керування KV (варіант 2 та 3). При варіанті 2 двигун вмикатиметься при спрацюванні реле, а при варіанті 3 двигун вмикатиметься при спрацюванні

реле. Якщо необхідно вмикати двигун короткочасно (“поштовхом”) для випробувань, наладки робочої машини або необхідно за безпечити роботу приводу тільки під наглядом персоналу, то живлення на котушку пускача подається через замикаючий контакт кнопки SB1, що під'єднується до затискачів 1 та 2 згідно з варіантом 4.

Для вмикання двигуна за варіантом, що зображений на малюнку, необхідно натиснути на кнопку SB3 – “Пуск”. При цьому по котушці електромагнітного пускача КМ протікатиме струм, пускач спрацює і своїми головними контактами під'єднає двигун до мережі, а допоміжними контактами зашунтує кнопку SB3. Після пуску кнопку можна відпустити, живлення котушки здійснюватиметься через допоміжний контакт КМ. Для зупинки двигуна необхідно натиснути на кнопку SB2 – “Стоп”, при цьому струм по котушці не протікатиме і пускач вимкне двигун. Якщо напруга у мережі зникне або знизиться більше допустимих меж, то контакти електромагнітного пускача під дією пружин розімкнуться і двигун зупиниться. При відновленні попередньої величини напруги пускач не спрацює, тому що коло його котушки розімкнуте (розімкнуті контакти кнопки “Пуск” і допоміжний контакт КМ), таким чином здійснюється нульове блокування. Для перевірки дії нульового блокування необхідно при увімкненому пускачі вимкнути короткочасно автоматичний вимикач на лабораторному стенді. При повторному вмиканні автоматичного вимикача пускач спрацює не відразу, а тільки після повторного натиску на кнопку “Пуск”.



Мал. 1.4 - Схема керування асинхронним двигуном за допомогою нереверсивного електромагнітного пускача

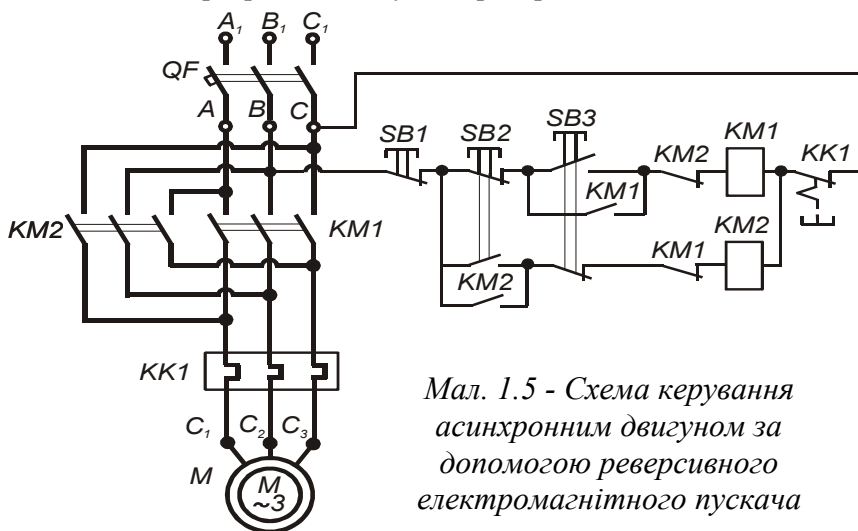
Як відомо, для зміни напрямку обертання (реверсу) двигуна необхідно поміняти місцями два лінійних провідники, що з'єднані з затискачами двигуна. Це здійснюється за допомогою реверсивних магнітних пускачів, що являють собою сукупність двох нереверсивних контакторів та системи блокування від одночасного їх спрацювання. Одночасне спрацювання двох контакторів реверсивного пуска-

ча призведе до двофазного короткого замикання. Блокування може бути механічним та електричним. Механічне блокування здійснюється за допомогою двоплечого важеля, з кінцями якого зв'язані рухомі частини двох контакторів. При замиканні головних контактів одного контактора, контакти другого відтягуються і їх включити неможливо, доки буде включений перший контактор. Окрім того, механічне блокування здійснюється у кнопковій станції. При вмиканні замикаючого контакту кнопки у колі котушки одного контактора розмикається її розмикаючий контакт, що включений у коло котушки другого контактора, тому одночасне вмикання двох контакторів неможливе. Електричне блокування здійснюється допоміжними розмикаючими контактами контакторів, які включають послідовно у коло “чужих” котушок. Якщо застосовується механічне блокування у самому реверсивному магнітному пускачі, то електричне блокування можна не застосовувати.

Схему реверсивного керування асинхронним електродвигуном наведено на мал. 1.5. Для запуску двигуна “Вперед” натискають на кнопку SB3 при цьому спрацьовує контактор KM1. Зупинку двигуна здійснюють натиском на кнопку SB1 – ”Стоп”. Для пуску двигуна ”Назад” натиском на кнопку SB2 вмикають контактор KM2.

Можливо також здійснювати реверс двигуна ”з ходу”. У цьому разі при обертанні двигуна, наприклад, “назад”, натискають на кнопку SB3. При цьому вимикається контактор KM2 і вмикається контактор KM1. Двигун загальмовується методом гальмування проти вмиканням, а потім починає обертатись у зворотному напрямі.

Якщо при роботі двигуна “приварились” головні контакти

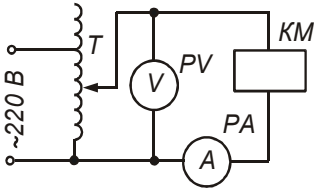


Мал. 1.5 - Схема керування асинхронним двигуном за допомогою реверсивного електромагнітного пускача

одного із контакторів, то вмикання іншого контактора неможливе, оскільки розмикаючий контакт першого контактора у колі котушки другого залишився розімкнутим.

ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитись із будовою та принципом роботи апаратів керування, що знаходяться на лабораторному стенді, записати їх основні паспортні дані.



Мал. 1.6 – Схема вмикання котушки електромагнітного пускача при дослідженні його магнітної системи

2. Зібрати електричну схему (мал. 1.6) для дослідження магнітної системи пускача. Плавно збільшувати напругу на котушці електромагнітного пускача до номінальної. Записати у таблицю 1.2 покази приладів, відзначивши напругу спрацювання магнітного пускача.

Таблиця 1.2

Протокол дослідження магнітної системи пускача

<i>U</i>	В	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
<i>I</i>	А										

Продовження таблиці 1.2

<i>U</i>	В	160	170	180	190	200	210	220	230	240
<i>I</i>	А									

3. Плавно зменшувати напругу на котушці електромагнітного пускача, записати у таблицю 1.3 показники приладів, відзначивши напругу відпускання магнітного пускача.

Таблиця 1.3

Протокол дослідження магнітної системи пускача

<i>U</i>	В	240	230	220	210	200	190	180	170	160	150
<i>I</i>	А										

Продовження таблиці 1.3

<i>U</i>	В	140	130	120	110	100	90	80	70	60
<i>I</i>	А									

4. Побудувати на одному малюнку залежності $U = f(I)$ за даними дослідів п. 2 та п. 3.
5. Зібрати електричну схему керування асинхронним двигуном за допомогою нереверсивного магнітного пускача за мал. 1.4. Запустити та зупинити двигун. Перевірити дію нульового блокування, як вказано вище.
6. Зібрати електричну схему керування асинхронним двигуном за

допомогою реверсивного магнітного пускача (мал. 1.5). Здійснити пуск, реверс та зупинку двигуна.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ:

1. Як класифікуються апарати керування?
2. Які бувають електротехнічні пристрої за кліматичним виконанням, категорією розміщення та ступенем захисту і як вони позначаються?
3. Призначення, будова, принцип роботи та правила вибору рубильників пакетних перемикачів, кнопкових вимикачів та натискних пускачів.
4. Призначення, будова, принцип роботи та правила вибору магнітних пускачів.
5. Як працює схема керування асинхронним електродвигуном з допомогою нереверсивного магнітного пускача та як здійснюється нульовий захист?
6. Як працює схема керування асинхронним електродвигуном з допомогою реверсивного магнітного пускача?

ПРОГРАМА ПОЗА АУДИТОРНОЇ САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ:

№ з/п	Вид підготовки	Час, год
1	За рекомендованою літературою вивчити призначення та класифікацію апаратів керування і захисту.	1
2	Вивчити призначення, будову, принцип роботи та правила вибору апаратів ручного та дистанційного керування трифазного споживача.	1
3	Підготувати робочий зошит для виконання лабораторної роботи, у який записати: <ul style="list-style-type: none">- назву та мету роботи;- короткі теоретичні пояснення із необхідними для розрахунків формулами;- вказівки щодо виконання роботи;- таблиці 1.2, 1.3;- електричні схеми (мал. 1.4, 1.5, 1.6).	2

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Практикум з електропривода/ В.С. Олійник, О.С. Марченко, Е.Л. Жулай та ін.). - К.: "Урожай", 1995. – 192 с. – (С. 7 - 15).
2. Електропривод/ О. С. Марченко, Ю. М. Лавриненко, П. І. Савчен-ко, Е. Л. Жулай. - К.: "Урожай", 1995. – 208 с.

3. Довідник сільського електрика/ За ред. В. С. Олійника. -К.: “Урожай”, 1982. – С. 100-147.
4. Нугер Б. К. Электрообладнання сільськогосподарських підприємств. К.: “Урожай”, 1988. – С. 101-116.
5. Филаткин П. А. Электрооборудование животноводческих ферм. - М.: “Агромаш”, 1987. – С. 133 - 149;
6. Цейтлин Л. С. Электропривод, электрооборудование и основы управления. – М.: “Высшая школа”, 1985. - С. 17-54.
7. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок/ Под ред. И. Ф. Кудрявцева. – М.: “Агропромиздат”, 1988. – С. 84-102.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ АПАРАТІВ ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАЧІВ

Мета роботи: вивчити призначення, будову, принцип роботи та правила вибору апаратів захисту електроспоживачів, дослідити захисні характеристики теплових реле та автоматичних вимикачів.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЯСНЕННЯ

Для запобігання аварій електрообладнання при виникненні в електропристроях аномальних режимів (короткого замикання, перевантажень, надмірного зниження напруги, перенапруги та ін.) використовують захисні пристрої. Їх дія спрямована на те, щоб відключити пошкоджену або перевантажену дільницю від мережі.

Захист від струмів короткого замикання, які у десятки разів перевищують струми при номінальних режимах, здійснюють такі апарати: запобіжники, автоматичні вимикачі електромагнітні струмові та безконтактні реле. Ці апарати повинні відключати пошкоджену дільницю мережі миттєво.

Захист від струмів перевантажень (тривалих), які у декілька разів перевищують струми при номінальних режимах, здійснюється за допомогою теплових та температурних реле і тепловими розчеплювачами автоматичних вимикачів, що діють із витримкою часу, величина якої обернено пропорційна струму перевантаження.

Для захисту від надмірного зниження або зникнення напруги використовують розчеплювачі мінімальної напруги автоматичних вимикачів, а також з'єднання за спеціальними схемами контакторів та електромагнітних пускачів.

Запобіжники – найдешевший та найпростіший захист елект-

ричних кіл від коротких замикань та різких великих перевантажень. Вони можуть бути розбірними (мал. 2.1 а) або нерозбірними (мал. 2.1 б), вставляються у контактні стояки або загвинчуються у патрон. Для електродвигунів малої та середньої потужності застосовують пробчаті, а для великих потужностей – трубчаті запобіжники. Пробчаті запобіжники складаються із фарфорового корпусу із гвинтовим патроном та частини у вигляді пробки із різьбою. Вони бувають чотирьох габаритів – ПРС6, ПРС20, ПРС63, ПРС100 із номінальними струмами 6, 20, 63, 100 А відповідно.

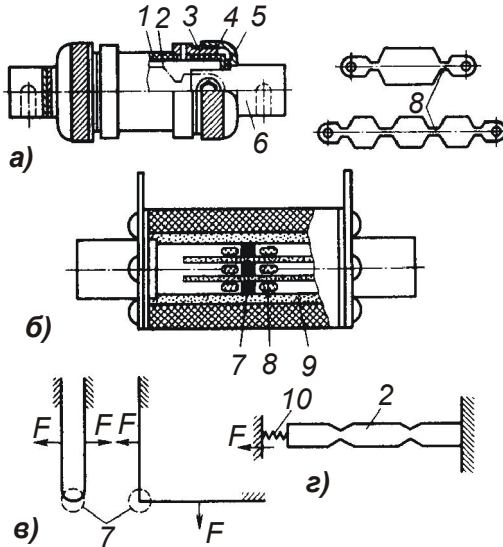
Трубчаті запобіжники складаються із патрона, контактних стояків та ізоляційної основи. У середині корпусу 1 розміщена плавка вставка 2 із міді, срібла, цинку або константану. Вона характеризується номінальним струмом – таким струмом, який може протікати тривалий час не руйнуючи її. Коли струм перевищить номінальний на 30-40%, вставка перегорє і струм у колі зникає. Чим більший струм, тим швидше вставка перегорить. Бажано, щоб при аварійному режимі вставка перегорє чимшвидше. Для цього використовують різні способи:

- 1) застосовують металургійний ефект, який полягає у тому, що на мідну вставку наносять олов'яну кульку 7. При короткому замиканні олово розплавляється розчиняючи у собі мідь. Утворюється сплав, що має меншу температуру плавлення і більший питомий опір, що сприяє ще більшому нагріванню та перегорянню вставки;
- 2) роблять вставку фігурною, вона має звуження (шийку) 8 та широкі частини, шийка розрахована на номінальний струм. Її перетин дещо менший перетину стрічкової вставки на цей же струм. Це не викликає перегорання шийки, так як теплота із неї добре поглинається широкими частинами і від них розсіюється у навколишнє середовище. При короткому замиканні нагрівання настільки інтенсивне, що шийка не встигає віддавати теплоту широким частинам і перегорє. Причому це відбувається швидше, ніж у стрічковій вставці, так як кількості теплоти для розплавлення тонкої шийки потрібно менше. Часто використовують обидва способи, розміщують олов'яну кульку у вузькому місці мідної вставки. Інколи вставку розтягують пружиною 10 (мал. 2.1 г), що також прискорює процес розмикання кола, або вставці надають вигнутої форми (мал. 2.1 в) і при протіканні великого струму її розтягують електромагнітні сили.

Для захисту напівпровідникових пристроїв використовують швидкодіючі запобіжники із срібною плавкою вставкою типу ПП-57.

При перегорянні плавкої вставки загоряється електрична

дуга, яку необхідно швидко погасити. Для цього використовують різні конструкції запобіжників:



Мал. 2.1 – Конструктивні схеми запобіжників

- 1) цинкова вставка під дією дуги розплавляється і виділяє іони цинку;
- 2) корпус із фібри виділяє хлор, іони цинку та хлору сприяють деіонізації дугового проміжку, дуга гасне при переході струму через нуль і знову не загоряється;
- 3) у фігурній вставці із двома або більше звуженнями дуга загоряється у декількох звуженнях, після чого широка частина вставки провалюється вниз, створюючи одразу великий проміжок. У цьому випадку не треба випаровувати всю вставку, на що необхідна більша кількість тепла і, відповідно, більше часу;
- 4) нерозбірні запобіжники (див. мал.1 б) часто заповнюють кварцовим піском, 9 який перед тим обробляють соляною кислотою, промивають та просушують. Дуга, що виникає, починає горіти між окремими піщинками, а отже розбивається на багато маленьких дуг, теплота віддається піску, дуга охолоджується та гасне.

Чим більшу напругу має мережа, тим більшою повинна бути відстань між контактами всередині запобіжника, що необхідно для надійного гасіння дуги. Тому на запобіжнику вказують не лише номінальний струм, але й номінальну напругу. Це означає, що у мережу із напругою, більшою за його номінальну напругу, запобіжник включати не можна, тому що навіть, якщо дуга погасне при проходженні через нуль, малий дуговий проміжок може бути пробитим знову у момент зростання наступної напівхвилі напруги.

Для електродвигунів із реостатним пуском при повному навантаженні плавкі вставки запобіжників вибирають на номінальний струм, що рівний номінальному струму електродвигуна. Якщо за стандартною шкалою потрібної плавкої вставки немає, то беруть

найближчу, яка розрахована на більшу силу струму.

Для електродвигунів із контактними кільцями, пуск яких здійснюється при 50-ти відсотковому навантаженні, а також для коротко замкнутих, що запускаються з допомогою апаратів, що шунтують запобіжники на період пуску, можна рекомендувати плавкі вставки запобіжників на силу струму $0,8 I_H$.

Для двигунів із короткозамкнутим ротором:

- при нормальних умовах пуску (рідкі пуски, невелика тривалість розгону) необхідно дотримуватись умов:

$$I_B = I_{II} / 2,5,$$

де I_B - номінальний струм плавкої вставки запобіжника;

I_{II} - пусковий струм електродвигуна;

- у пристроях із важкими умовами пуску (часті пуски при великій тривалості пуску):

$$I_B = I_{II} / (1,6 \dots 2,0).$$

При використанні декількох послідовно включених запобіжників необхідно також використовувати *селективний підбір* запобіжників. Селективність полягає у тому, що при короткому замиканні в електроспоживачі повинен перегоряти найближчий до нього запобіжник, а решта споживачів лишатиметься під напругою, і тільки у крайньому разі повинен перегоряти груповий запобіжник.

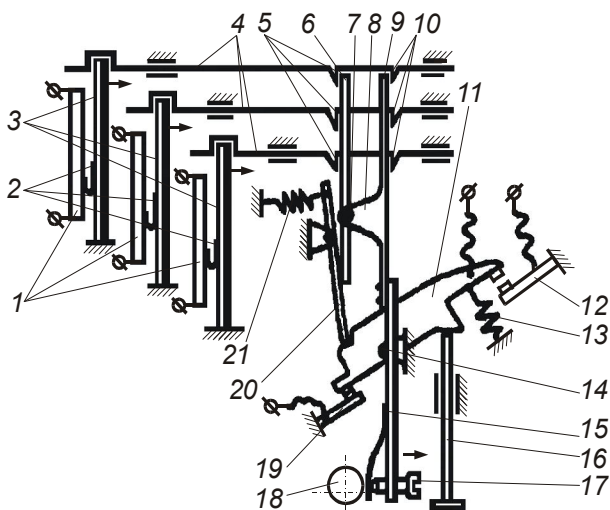
Теплові реле служать для захисту електродвигунів від тривалих перевантажень та неповнофазних режимів роботи (обриву фаз). Основним робочим елементом теплового реле є біметалева пластина, що є сплавом двох різноманітних металевих стрічок. Одна стрічка виготовлена із металу з високим коефіцієнтом теплового розширення, наприклад, латунь, нікель, а інша – із металу (сплаву) із меншим коефіцієнтом теплового розширення, наприклад, інвару. При нагріванні такої пластини, одна з її сторін розширюється більше, ніж інша, і пластина при цьому прогинається, діючи на механізм розщеплення, який розмикає контакт, що вмикається послідовно до котушки магнітного пускача. За способом нагрівання біметалевої пластини розрізняють реле із прямим, непрямим та комбінованим нагріванням. При прямому нагріванні струм навантаження проходить безпосередньо через біметалеву пластинку, при непрямому – через нагрівальний елемент, що розміщений поблизу біметалевої пластини, при комбінованому – одна частина струму проходить через нагрівний елемент, друга – через біметалеву пластинку.

Найбільшого застосування у сільськогосподарських пристроях набули двохполюсні теплові реле типу ТРП та ТРН. Перші з

них монтується у магнітних пускачах типу ПМЕ (ТРН-10, ТРН-10А та ТРН-25 і ПАЕ 3-го габариту (ТРН-40), другі – у пускачі типу ПАЕ 4-го (ТРН-60), 5-го та 6-го габаритів (ТРП-150). Однак двополюсні теплові реле мають низку недоліків, головним із яких є низька чутливість при обриві фази. Тому розроблені та випускаються триполюсні теплові реле серій РТЛ та РТТ. Перші – монтується у електромагнітні пускачі типу ПМЛ, другі – у ПМА. Ці реле мають *температурну компенсацію*, що зменшує вплив коливань температури навколишнього середовища на час спрацювання реле.

Триполюсні теплові реле РТТ складаються із пластмасового корпусу, що розділений на чотири відсіки. У трьох відсіках розміщені теплові елементи 1 (див. мал. 2.2) та біметалеві пластини 3. Гнучкі мідні стрічки 2 покращують теплопередачу між ними. У четвертому відсіку змонтовано контактну групу з механізмом розщеплення та регулятором струму неспрацювання. Контактна група складається з нерухомих розмикаючого 19 та замикаючого 12 контактів, і рухомого контакту 11, який обертається навколо осі 14. Механізм розщеплення складається із штовхачів 4, збірного важеля 8, заціпки 20 і пружин 13 та 21. Регулювання струму неспрацювання здійснюється з допомогою гвинта 17 та ексцентрика 18. Для повернення реле у вихідний стан передбачено кнопку 16.

Реле працює наступним чином. При проходженні через нагрівні елементи 1 електричного струму, більшого за струм неспрацювання реле, проходить їх інтенсивне нагрівання та передача



теплоти до біметалевих пластин 3. Останні, вигинаючись у напрямку, вказаному стрілками, лівими упорами 5 штовхачів 4 діють на збірний важіль 8. Пластина 9 важеля згинається праворуч. Коли її механічний опір вирівнюється з опором пружини 21, починає повертатись важіль 6,

Мал. 2.2 – Конструктивна схема електротеплового реле серії РТТ

навколо осі 7. Важіль 6, діючи на защіпку 20, звільняє рухомий контакт 11, який зусиллями пружини 13 повертається і перемикає контакти 12 та 19. Повернення контактів у вихідний стан проводиться від руки шляхом натиску на кнопку 16 після того, як охолонуть та вирівняються біметалеві пластини 3. Регулювання на заданий струм не спрацювання у межах 0,85-1,15 номінального струму реле виконується поворотом ексцентрика 18 за шкалою з ціною поділки 3%. Гвинт 17 необхідний для регулювання реле на спеціальному стенді.

Термокомпенсатор, що зменшує вплив коливань температури навколишнього середовища на час спрацювання реле, являє собою біметалеву пластину 15, що є частиною збірного важеля 8. При збільшенні температури навколишнього середовища головні біметалеві пластинки 3 прогинаються праворуч. У той самий бік прогинається пластинка 15, зберігаючи таким чином постійну відстань між важелями та защіпкою 20. При обриві однієї із фаз струм навантаження проходить тільки через два нагрівних елементи, викликаючи прогин двох біметалевих пластин, які через штовхачі 4 повертатимуть важіль 6 навколо осі 7. Третя пластина залишатиметься на місці та гальмуватиме штовхач, що зв'язаний із нею. У цьому випадку пластина 9 збірного важеля 8 впирається у правий упор 10 цього штовхача, що запобігатиме її прогину. При цьому важіль 6 повертатиме защіпку 20 при меншому прогині біметалевих пластин, зменшуючи таким чином час спрацювання реле. Теплові реле мають певну інерційність, тому вони не встигають спрацювати при короткочасних перевантаженнях, наприклад, при запуску трифазного асинхронного електродвигуна із короткозамкнутим ротором.

Теплові реле вибирають за умовою:

$$I_{HP} \geq I_H.$$

де, I_{HP} – номінальний струм неспрацювання теплового реле, А;

I_H – номінальний струм електродвигуна, А;

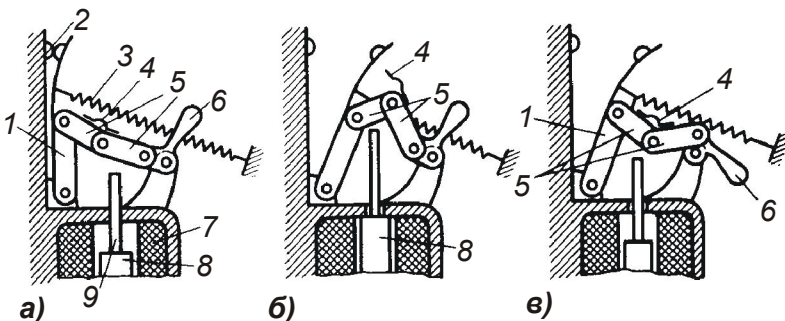
Правильно відрегульовані теплові реле не повинні спрацювати при номінальному навантаженні, а при навантаженні 150% від номінального вони повинні спрацювати через 2 хв.

Автоматичні вимикачі – слугують для нечастого вмикання і вимикання електричних кіл від руки й автоматичного відключення у випадку короткого замикання, тривалих перевантажень, перенапруги, надмірно зниженої напруги та ін. Автоматичний вимикач складається із корпусу, струмопровідного кола, дугогасної системи, приводу автомата, механізму вільного розчеплен-

ня та елементів захисту - розчеплювачів, які вимірюють відповідний параметр електричного кола і дають сигнали на відключення у тому разі, коли величина, що вимірюється ними, досягне заданого значення.

Дугогасна система необхідна для швидкого гасіння електричної дуги, щоб запобігти підгорянню контактів. У низьковольтних апаратах застосовуються два види дугогасних камер: із магнітним гасінням дуги та із деіонним. При магнітному гасінні дуги контакти розміщені у середині дугогасної камери, що виготовлена із термостійкого ізолюючого матеріалу. З обох сторін камера охоплена сталевим осердям дугогасного електромагніту, магнітне поле якого виштовхує дугу уверх камери, де вона розтягується і швидко гасне. При деіонному гасінні дуги над контактами, що розміщені у середині дугогасної камери, розміщені ґратки із сталевих або мідних пластин, які прикріплені до фібрових боковин. При розмиканні контактів, дуга що утворюється між ними, потоком повітря видувається уверх і попадає у зону металевих ґраток, де вона розтягується між окремими пластинами і, віддаючи їм тепло, швидко гасне. Швидкому гасінню дуги сприяють і фіброві боковини, які при нагріванні виділяють іони хлору.

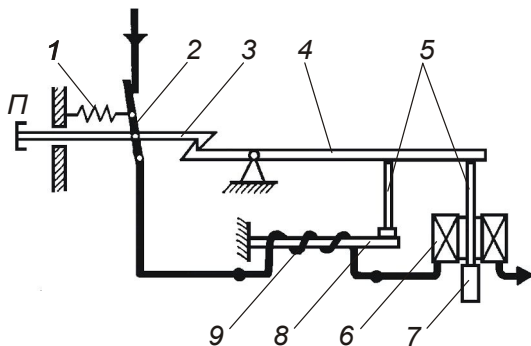
Механізм вільного розчеплення забезпечує вмикання і миттєве розмикання контактів, а також запобігає утриманню контактів рукою в момент вмикання, якщо у колі є аварійний режим. Механізм вільного розчеплення (мал. 2.3 а) складається із системи важелів, що ламається 5, які з'єднуються шарніром пружини 3, упора 4, важеля 1, до якого кріпиться рухомий контакт 2 рукоятки 6. Коли контакти замкнуті, то важелі 1 знаходяться на одній лінії, а пружина 3 розтягнута. Вимірювальний орган, що реагує на струм короткого замикання, називається електромагнітним розчеплювачем. Він складається із котушки 7, яка включається послідовно до наванта-



Мал. 2.3 – Конструктивна схема механізму вільного розчеплення

ження, магнітопроводу, підпружиненого осердя 8 та штоку 9. При нормальному режимі магнітний потік, що створюється котушкою, недостатній для втягування осердя. При виникненні струму короткого замикання, магнітний потік різко зростає й осердя 8, пересилуючи пружину, втягується у котушку, при цьому шток 9 діє на механізм вільного розчеплення, штовхаючи систему важелів 5, які під дією пружини 3 складаються, а контакти 2 розмикаються (див. мал. 2.3 б). Для того, щоб знову включити автоматичний вимикач, необхідно відвести рукоятку 6 праворуч (див. мал. 2.3 в) і випрямити систему важелів 5. Подаючи після цього рукоятку 6 ліворуч, можна знову замкнути контакти.

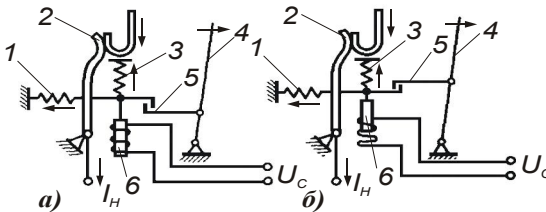
Для захисту від тривалих перевантажень в автоматах передбачено теплові розчеплювачі. Вимірювальним елементом теплового розчеплювача є біметалева пластина, яка нагрівається струмом навантаження. При появі струмів перевантаження біметалева пластина деформується і діє на механізм вільного розчеплення. При одночасному використанні електромагнітного та теплового захисту розчеплювач називається комбінованим. Принципова схема комбінованого розчеплювача автоматичного вимикача зображена на мал. 2.4. Контакт головного струму 2 замикається при натиску на кнопку П – “Пуск”. При цьому пружина 1 розтягується. Защіпка 3 спрацьовує і контакт 2 утримується у замкнутому стані. При тривалих перевантаженнях, струм у колі і в нагрівному елементі 9 перевищує встановлене значення, біметалева пластина 8 починає прогинатись доверху, при цьому шток 5 повертає важіль 4, защіпка 3 виходить із зачеплення із ним і контакти 2, під дією пружини 1, розмикаються. При коротких замиканнях, різко зростає струм у котушці 6, її магнітне поле втягує якір 7, який через шток 5 діє на важіль 4 і контакти 2 розмикаються.



Мал. 2.4 – Принципова схема комбінованого розчеплювача автоматичного вимикача

Розчеплювачі мінімальної напруги служать для відключення споживачів при неприпустимому зниженні напруги. Котушка розчеплювача (див. мал. 2.5 а) вмикається через розмикаючий допоміжний контакт на напругу мережі U_C . У цьому розчеплювачі за-

щіпка 5 утримується у зачепленні за допомогою зусилля створюваного магнітним полем котушки. При зниженні напруги U_C нижче допустимого значення, пружина 3 відтягує ярмір 6, звільняючи від зачеплення защіпку 5 і рухомий контакт 2, повертається під дією пружини 1 і розмикає коло. Важіль 4 схематично зображує механізм вільного розчеплення, за його допомогою відновлюється зачеплення защіпки 5 і замикаються контакти 2. У розчеплювачі максимальної напруги (див. мал. 2.5 б) защіпка 5 виходить із зачеплення при збільшенні напруги понад встановлені норми.



Мал. 2.5 – Схеми дії розчеплювачів

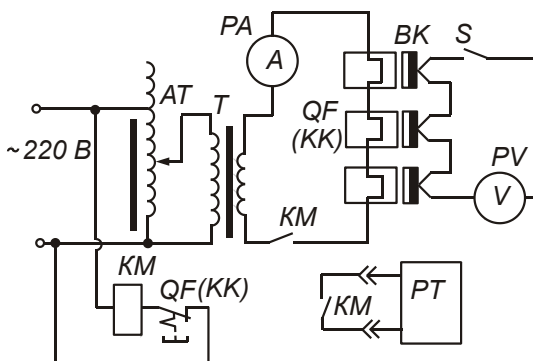
Струм проходить через автоматичний вимикач у такій послідовності: ввідні затискачі, контакти, тепловий розчеплювач, вивідні затискачі. Головними параметрами автоматичних

вимикачів є: номінальний струм апарата, номінальний струм розчеплювача, кратність струму відтинку електромагнітних розчеплювачів, номінальна напруга котушки розчеплювача мінімальної напруги, час спрацювання.

Для застосування у сільськогосподарських пристроях рекомендовані автоматичні вимикачі серії АЕ-1000, АЕ-2000, АБ3, АЗ700, АП50Е, ВА50.

ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитись із будовою та принципом роботи апаратів захисту електроспоживачів, що знаходяться на лабораторному стенді. Записати їх паспортні дані;
2. Зібрати електричну схему (мал. 2.6) для дослідження захисних характеристик теплових реле. Задля цього до схеми необхідно під'єднати елементи із позначенням *КК*. Щоб отримати рівнозначні результати у процесі досліджень, початкова температура усіх біметалевих пластин повинна бути однаковою. Для вимірювання температури біметалевих пластин до них припаяні термопари *ВК*, вільні кінці яких через перемикач *С* з'єднують з мілівольтметром *РВ*. Покази мілівольтметра пропорційні перевищенню температури біметалевої пластини над температурою навколишнього середовища. Охолоджують біметалеві пластини потоком повітря від вентилятора. Перед кожним заміром перевіряють температуру біметалевих пластин (покази мілівольтметра



Мал. 2.6 - Електрична схема стенду для дослідження захисних характеристик теплових реле та автоматичних вимикачів

кнуту теплове реле, таким же чином проводять наступний замір. Дані експерименту записати у таблицю 2.1. Дослід повторити три рази і визначити середній час спрацювання T_{cp} . За отриманими результатами будують залежність: $T_{CP} = f(I/I_{HA})$, де I_{HA} номінальний струм апарата.

PV повинні дорівнювати 0). Підключити стенд до мережі і автотрансформатором швидко встановити необхідну силу струму. Після спрацювання теплового реле включити вентилятор для охолодження біметалевих пластин. Коли вони охолонуть, необхідно вимкнути вентилятор, встановити покази електросекундоміра на позначку "нуль" увім-

Таблиця 2.1.

Протокол випробування теплового реле (автоматичного вимикача)

I/I_{HA}		1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
I	А								
T_1	сек.								
T_2	сек.								
T_3	сек.								
T_{cp}	сек.								

- Зібрати електричну схему (мал. 2.6) для дослідження захисних характеристик автоматичних вимикачів, для чого до схеми необхідно під'єднати елементи із позначеннями QF , а перемикач S поставити у положення QF . Дослідження проводити аналогічно п. 2 із заповненням такої самої таблиці і побудовою такої самої залежності.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- Які апарати застосовують для захисту електроспоживачів від коротких замикань, від тривалих перевантажень та від роботи при обриві фаз?
- Як побудовані та працюють запобіжники, теплові реле та автома-

- тичні вимикачі?
3. За якими параметрами вибирають запобіжники, теплові реле та автоматичні вимикачі?
 4. Як працює пристрій для прискорення спрацювання теплового реле при обриві фази?
 5. Що таке термокомпенсатор, як він побудований і працює?
 6. Які бувають розчеплювачі автоматичних вимикачів, як вони побудовані і працюють?

ПРОГРАМА ПОЗА АУДИТОРНОЇ САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ

№ з/п	Вид підготовки	Час, год
1	За рекомендованою літературою вивчити призначення, будову, принцип роботи та правила вибору апаратів захисту електроспоживачів.	2
2	Підготувати робочий зошит для виконання лабораторної роботи, у який записати: <ul style="list-style-type: none"> - назву та мету роботи; - короткі теоретичні пояснення із необхідними для розрахунків формулами; - вказівки щодо виконання роботи; - таблицю 2.1-1 шт.; - електричну схему стенду (мал. 2.6). 	2

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Практикум з електропривода/ В. С. Олійник, О. С. Марченко, Е. Л. Жулай та ін. – К.: Урожай, 1995. – 192 с.
2. Електропривод/ О. С. Марченко, Ю. М. Лавриненко, П. І. Савченко, Е. Л. Жулай. – К.: Урожай, 1995. - 208 с.
3. Довідник сільського електрика/ За ред. В. С. Олійника. - К.: Урожай, 1989. -С.100-147.
4. Цейтлин Л. С. Электропривод, электрооборудование и основы управления. – М.: “Высшая школа”, 1985. – С. 17 - 54.
5. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок/ Под редакцией И. Ф. Кудрявцева. – М.: Агрпромиздат, 1988. – С. 84 - 102.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ
ЗМІШАНОГО ЗБУДЖЕННЯ

Мета роботи: дослідити регульовальну та швидкісну характеристики двигуна постійного струму змішаного збудження методом безпосереднього навантаження та виявити вплив послідовної обмотки на швидкісну характеристику двигуна.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЯСНЕННЯ

Колекторні машини постійного струму можуть працювати як у режимі генератора, так і в режимі рушія (двигуна). Якщо двигун постійного струму під'єднати до джерела постійного струму з напругою U , то в обмотці збудження та в обмотці якоря машини з'являться струми. В результаті взаємодії струму якоря з магнітним полем обмотки збудження на якорі електродвигуна створюється обертовий електромагнітний момент M . Під дією цього моменту якір починає обертатись, отже двигун працюватиме у режимі рушія і приводитиме у рух з'єднану із ним машину, споживаючи при цьому електроенергію із мережі і перетворюючи її у механічну. У процесі роботи двигуна його якір обертається у магнітному полі, при цьому в обмотці якоря індукується електрорушійна сила (ЕРС) E , напрям якої можна визначити за правилом "правої руки". У двигуні ЕРС направлена назустріч струму якоря $I_{\text{я}}$ і тому її називають зворотною. Її можна визначити за законом електромагнітної індукції:

$$E = k_e \Phi \omega, \quad (3.1)$$

де E - зворотна електрорушійна сила, що індукується в обмотках якоря при його обертанні;

k_e - постійний коефіцієнт, що залежить від конструкції двигуна;

Φ - магнітний потік одного полюса обмотки збудження;

ω - кутова швидкість якоря.

Для електричного кола якоря двигуна, що працює в усталеному режимі, справедливий Другий закон Кірхгофа:

$$U = E + (R_{\text{я}} + R_{\text{л}})I_{\text{я}}, \quad (3.2)$$

де U - напруга на затискачах якоря;

$R_{\text{я}}$ - опір в обмотці якоря;

$R_{\text{л}}$ - величина додаткового (пускорегульовального) опору у колі якоря;

$I_{\text{я}}$ - сила струму в обмотці якоря.

Величину обертового електромагнітного моменту M , що створюється на якорі електродвигуна, можна визначити за законом електромагнітних сил:

$$M = k_M \Phi I_{\text{я}}, \quad (3.3)$$

де k_M - постійний коефіцієнт, що залежить від конструкції двигуна.

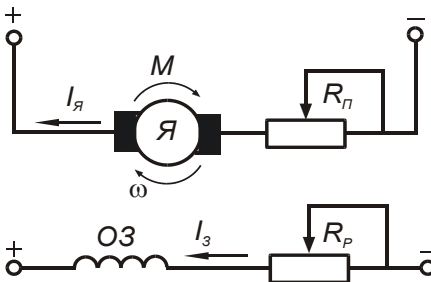
Якщо з рівнянь (3.1) та (3.2) визначити кутову швидкість ω , то отримаємо формулу *електромеханічної характеристики двигунів постійного струму*:

$$\omega = \frac{U - (R_{\text{я}} + R_{\text{п}})I_{\text{я}}}{k_e \Phi}. \quad (3.4)$$

З формули (3.4) видно, що регулювати кутову швидкість якоря двигуна постійного струму можна шляхом зміни напруги на затискачах якоря U або магнітного потоку обмотки збудження - Φ , або величини додаткового (пускорегулювального) опору у колі якоря - $R_{\text{п}}$. Підставивши у формулу (3.4) значення сили струму з формули (3.3), отримаємо формулу механічної характеристики двигунів постійного струму:

$$\omega = \frac{U}{k_e \Phi} - M \frac{(R_{\text{я}} + R_{\text{п}})}{k_M k_e \Phi^2}. \quad (3.5)$$

Двигун постійного струму паралельного збудження (шунтовий двигун) (див. мал. 3.1). Характерною особливістю названого двигуна є те, що обмотка збудження **ОЗ** включена паралельно до обмотки якоря, отже струм у цій обмотці (струм збудження) I_3 і її магнітний потік Φ не залежать від навантаження і є величинами постійними (при постійному R_p , якщо не враховувати реакції якоря), отже $I_3 = \text{const}$ і $\Phi = \text{const}$, звідки, враховуючи формулу (3.3),



отримаємо:

$$M = k_1 I_{\text{я}},$$

де $k_1 = k_M \Phi = \text{const}$ - постійний коефіцієнт.

Отже, обертовий момент шунтового двигуна прямо пропорційний силі струму у якорі:

$$I_{\text{я}} = (U - E)/(R_{\text{я}} + R_{\text{п}}).$$

Мал. 3.1 – Електрична схема двигуна постійного струму паралельного збудження (шунтового)

При $R_{\text{п}} = \text{const}$ у формулі механічної характеристики (3.5) можна ввести заміну:

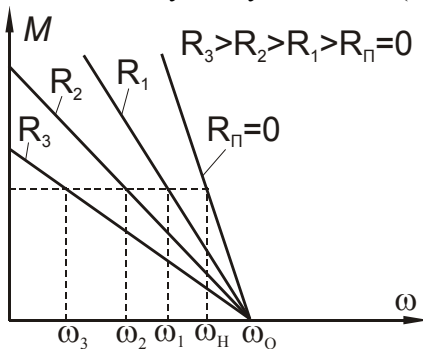
$$\frac{U}{k_e \Phi} = A = \text{const} \quad \text{та} \quad \frac{(R_{\text{я}} + R_{\text{п}})}{k_M k_e \Phi^2} = B = \text{const}.$$

Тоді рівняння механічної характеристики набуде вигляду прямої лінії: $\omega = A - BM$. На мал. 3.2 наведено механічні характеристики двигуна при різних значеннях опору якірного кола $R_{Я}+R_{П}$. Для кожного конкретного двигуна $R_{Я} = const$ і зміна опору якірного кола зумовлюється зміною $R_{П}$. Чим більший опір якірного кола, тим м'якша механічна характеристика. При $M = 0$ і $I_{Я} = 0$ кутова швидкість двигуна ω_0 називається швидкістю ідеального холостого ходу, отже при ω_0 усі характеристики незалежно від опору $R_{Я}+R_{П}$ перетинаються в одній точці: $\omega_0 = U/(k_e \Phi)$.

З механічної характеристики шунтового двигуна видно, що момент, який розвиває двигун, автоматично приводиться у відповідність із моментом опору робочої машини. Своєрідним регулятором двигуна тут є зворотна електрорушійна сила E . Під дією збільшеного моменту опору робочої машини, зменшується кутова швидкість двигуна і відповідно до формули (3.1) зменшується зворотна ЕРС E , що при постійній напрузі живлення U призводить до зростання сили струму якоря $I_{Я}$ відповідно до формули (3.2), а отже й обертового моменту двигуна M (відповідно до формули (3.3)). Кутова швидкість понижується рівно на стільки, скільки необхідно для зменшення зворотної ЕРС E та приведення сили струму якоря $I_{Я}$ у відповідність до збільшеного моменту опору машини. З виразу механічної характеристики видно, що зменшення кутової швидкості при зростанні навантаження тим більше, чим більший опір кола якоря.

Шунтовий двигун належить до двигунів із жорсткою механічною характеристикою, у яких значна зміна моменту супроводжується незначною зміною кутової швидкості. Практично при зміні моменту двигуна від $M_{ХХ}$ (моменту, який розвиває двигун при холостому ході) до номінального моменту M_H (найбільшого моменту, який може розвивати двигун, необмежено довго не перегрівуючись) кутова швидкість двигуна ω зменшується у середньому на 3-6%. Жорсткість шунтового двигуна $\beta = const < 0$.

Однією із важливих характеристик будь-якого двигуна є його перевантажувальна здатність (здатність двигуна долати пікові навантаження), яка виз-



Мал. 3.2 - Механічні характеристики двигуна постійного струму паралельного збудження (шунтового)

начається за формулою:

$$\mu_K = M_{max}/M_H,$$

де M_{max} – максимально допустимий момент двигуна.

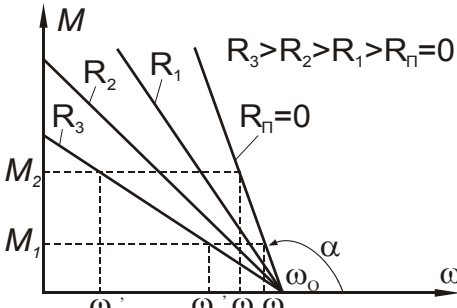
Шунтові двигуни мають доволі високу перевантажувальну здатність і допускають короточасні перевантаження у межах $\mu_K = 2-2,5$ та 50% перевантаження за струмом протягом однієї хвилини.

Регулювання кутової швидкості двигунів постійного струму паралельного збудження. Способи регулювання кутової швидкості двигунів оцінюються за такими показниками:

- плавністю регулювань;
- діапазоном регулювань, що визначається відношенням най-більшої кутової швидкості до найменшої;
- економічністю регулювань, що визначається вартістю регулювальної апаратури та втратами електроенергії у ній.

З формули електромеханічної характеристики двигуна постійного струму (3.4) видно, що кутову швидкість шунтового двигуна можна регулювати шляхом зміни напруги на затискачах двигуна, зміни головного магнітного потоку або опору кола якоря.

Введення додаткового опору у коло якоря. Додатковий опір включають у коло якоря аналогічно пусковому реостату R_{Π} , але він має бути розрахованим на тривале протікання струму. Збільшення величини додаткового опору у колі якоря R_{Π} , при постійних U та Φ , призводить до зростання кута нахилу механічних характеристик α (див. мал. 3.3), що пов'язаний із жорсткістю механічної характеристики залежністю: $\beta = - \arctg \alpha$.



Мал. 3.3 - Механічні характеристики шунтового двигуна при зміні величини додаткового опору у колі якоря

При цьому двигун переходить на більш м'яку механічну характеристику роботи, що супроводжується різкою зміною його кутової швидкості при зміні навантаження:

$$\alpha = \arctg \frac{R_{Я} + R_{\Pi}}{k_M k_e \Phi^2} =$$

$$= \arctg k_2 (R_{Я} + R_{\Pi}),$$

де $k_2 = 1/k_M k_e \Phi^2 = const$ –

постійний коефіцієнт.

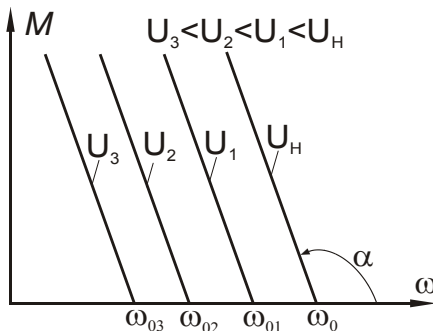
Названий спосіб доволі простий і забезпечує плавне регулювання кутової швидкості у широкому діапазоні (тільки у сторону меншої від номінальної), але має низку істотних недоліків,

які обмежують його використання. До цих недоліків можна віднести:

1. При малих навантаженнях кутова швидкість можна регулювати у дуже вузькому діапазоні;
2. При великих значеннях величини додаткового опору - R_{II} робота двигуна дуже нестійка, внаслідок переходу двигуна на м'яку характеристику, коли при зміні навантаження різко змінюється його кутова швидкість;
3. На нагрівання реостату витрачається багато електроенергії $\Delta P = kI_A^2 R_{II}$;
4. Оскільки реостат повинен працювати при високій потужності, то він має великі габаритні розміри та вартість;
5. Зниження кутової швидкості супроводжується зниженням потужності, оскільки $P = M\omega$.

Зміна величини напруги, що підводиться до затискачів двигуна.
 Регулювання кутової швидкості шунтового двигуна шляхом зміни величини напруги, що підводиться до затискачів двигуна, застосовується лише при $I_3 = const$, а отже при роздільному живленні обмотки якоря та обмотки збудження.

Швидкість ідеального холостого ходу ω_0 прямо пропорційна напрузі живлення, а кут нахилу механічних характеристик α від напруги не залежить, тому при зменшенні напруги живлення, механічні характеристики не змінюють кута нахилу α , а зміщуються у сторону менших швидкостей, залишаючись паралельними одна одній (див мал. 3.4). Для здійснення цього способу регулювання необхідно коло якоря двигуна підключити до джерела із регульованою напругою. Для керування двигунами малої та середньої потужності можна використовувати регульований випрямляч, у яко-



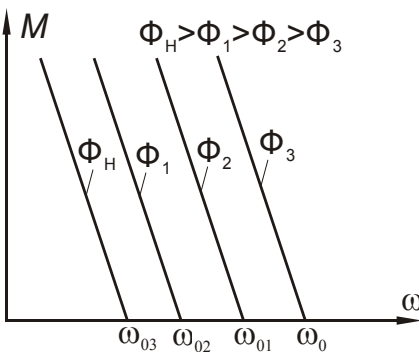
Мал. 3.4 – Механічні характеристики шунтового двигуна при зміні величини напруги, що підводиться до затискачів якоря двигуна

му напруга постійного струму змінюється за допомогою автотрансформатора. Для керування двигунами великої потужності доцільно використовувати генератор постійного струму незалежного збудження, привід якого здійснюється трифазним двигуном змінного струму. Така система живлення називається системою “генератордвигун”, величина вихідної напруги у ній регулюється за допомогою зміни струму збудження генерато-

ра постійного струму.

Зміна напруги у колі яко-ря дозволяє регулювати кутову швидкість вниз від номінальної, оскільки напруга вище від номінальної неприпустима. Названий метод забезпечує плавне та економічне регулювання у широкому діапазоні $n_{max}/n_{min} \geq 25$. У даному разі найбільша кутова швидкість обмежується умовами комутації, а найменша – умовами охолодження двигуна. Ще однією перевагою названого способу регулювання є те, що він дозволяє без реостатний запуск двигуна при пониженій напрузі.

Зміна основного магнітного потоку обмотки збудження.
 Названий спосіб регулювання у двигуні паралельного збудження здійснюється за допомогою реостату R_p у колі обмотки збудження (див. мал. 3.1). При зменшенні опору цього реостату зростає струм збудження та магнітний потік обмотки збудження, що, відповідно до формули (3.4), призводить до зменшення кутової швидкості. При збільшенні опору R_p кутова швидкість зростатиме. Залежність кутової швидкості від струму збудження називається *регульовальною характеристикою* двигуна $n = f(I_z)$ при $I = const$ та $U = const$. З формули (3.4) випливає, що із зменшенням магнітного потоку Φ кутова швидкість зростає за гіперболічною залежністю. Названий метод дозволяє регулювання кутової швидкості тільки вгору від номінальної (див мал. 3.5). При повністю введеному реостаті R_p через обмотку збудження проходить мінімальний струм і двигун розвиватиме максимальну кутову швидкість. При обриві обмотки збудження під навантаженням двигун зупиниться внаслідок малого обертового моменту двигуна (за рахунок струму у якорі та магнітного



Мал. 3.5 - Механічні характеристики шунтового двигуна при зміні величини основного магнітного потоку

ного потоку залишкового магнетизму полюсів), якщо ж обрив ставиться при холостому ході двигуна - то він піде "врознос". Сучасні шунтові двигуни дозволяють регулювання кутової швидкості зазначеним методом у діапазоні $n_{max}/n_{min} \geq 2...5$. Надмірне збільшення кутової швидкості небезпечне (внаслідок іскріння колектора та перегрівання підшипників), тому межі регулювання розширюють за рахунок зниження номінальної кутової швидкості,

але це пов'язано із зростанням розмірів, ваги та вартості двигунів. Названий метод регулювання доволі простий та економічно вигідний, оскільки у двигунах паралельного збудження струм $I_3 = (0,01 \dots 0,07)I_{Я}$, а тому втрати у регулювальному реостаті невеликі. При використанні повзункового реостата регулювання виходить плавним із збереженням потужності постійною, оскільки при зменшенні магнітного потоку зростає кутова швидкість, але водночас зменшується обертовий момент і навпаки.

Режими роботи двигунів постійного струму паралельного збудження. Наведеним вище режимом не вичерпуються всі можливості даного двигуна, значний інтерес становлять можливості переведення двигуна на роботу у гальмівних режимах, що дозволяють швидко загальмовувати робочу машину. З великого числа можливих способів гальмування електродвигунів розглянемо три, що становлять найбільший інтерес для сільського господарства.

Гальмування з рекуперацією енергії полягає у тому, що двигун у період гальмування переводиться у режим генератора, який виробляє електричну енергію і подає її у мережу. Для цього необхідно навести в обмотках якоря зворотну електрорушійну силу більшої величини, ніж прикладена до його затискачів напруга мережі, тоді внаслідок того, що $E > U$, струм якоря $I_{Я} = (U - E) / (R_{Я} + R_{П}) < 0$ набуде від'ємного значення, а це означає перехід двигуна на роботу у режим генератора. Момент двигуна при цьому змінює свій напрям на протилежний. Збільшити зворотну ЕРС E відповідно до (3.1) можна або збільшивши магнітний потік, або збільшивши за допомогою сторонньої сили кутову швидкість якоря вище ω_0 . Перший метод гальмування використовується при гальмуванні деяких металорізальних станків, другий використовується для пригальмовування електропоїздів на схилах.

Механічні характеристики гальмівного режиму із рекуперацією енергії розміщуються у IV квадранті (див. мал. 3.6), оскільки є природнім продовженням характеристик рушійного режиму для прямого (умовно) попереднього обертання ($\omega_{П} > 0$), що розміщені у I квадранті. Механічні характеристики гальмівного режиму із рекуперацією енергії при зворотному (умовно) обертанні ($\omega_{П} < 0$) розміщуються у II квадранті, будучи природнім продовженням характеристик рушійного режиму, які знаходяться у III квадранті.

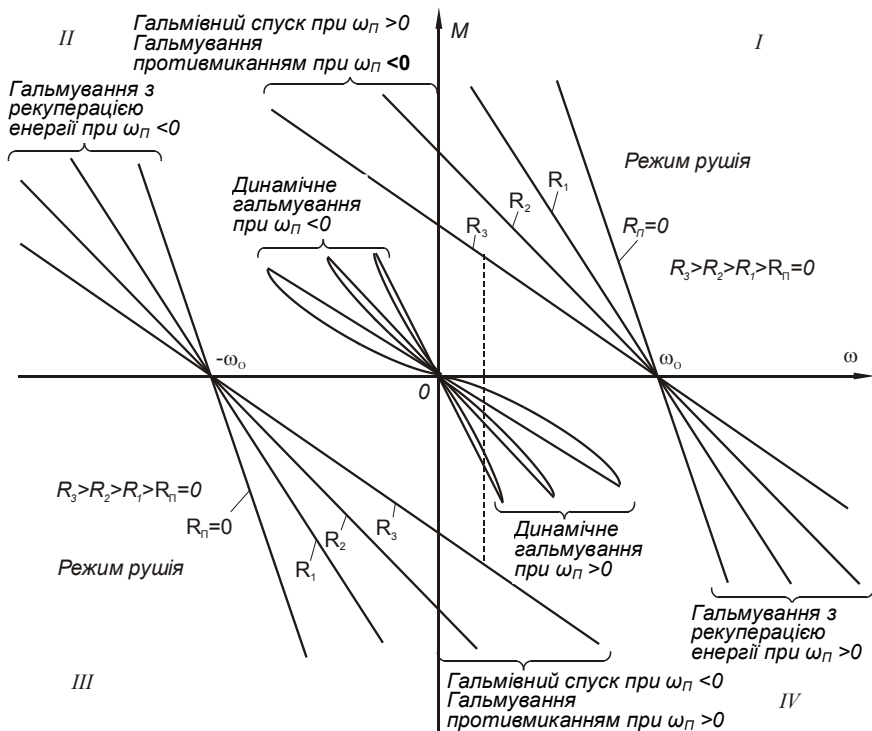
Гальмування противмиканням відбувається за умов, коли обмотки двигуна включені для обертання в одному напрямку, але якір із деяких причин обертається у протилежному напрямку. При цьому можливі два варіанти гальмування:

- гальмівний спуск;
- гальмування зміною полярності якоря на ходу двигуна.

Гальмівний спуск здійснюється у приводах підймальних механізмів, коли двигун включений на підйом вантажу, але вантаж настільки великий, що момент, який він створює, змушує привід обертатись в сторону опускання вантажу. Механічні характеристики цього режиму є продовженням характеристик рушійного режиму I квадранту у II квадранті (при $\omega_{\Pi} > 0$), а при попередньому зворотному обертанні (при $\omega_{\Pi} < 0$) вони є продовженням механічних характеристик рушійного режиму III квадранту у IV квадранті. Оскільки якір двигуна у цьому разі обертається у протилежну порівняно із нормальним рушійним режимом сторону, то напрям ЕРС E , що індукуюється в обмотках якоря, збігатиметься із напрямом напруги мережі. Внаслідок цього сила струму у якорі $I_{\text{я}} = (U - E) / (R_{\text{я}} + R_{\Pi})$ при гальмівному спуску буде значно більшою, ніж у рушійному режимі, і тому як для обмеження струму, так і для отримання щоразу потрібного моменту у коло якоря обов'язково вводять додатковий регульований опір R_{Π} .

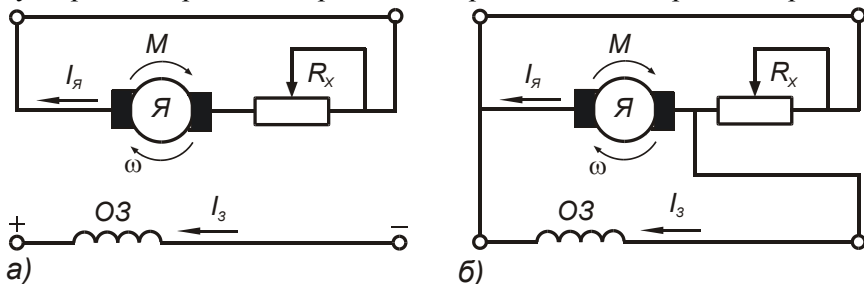
Гальмування зміною полярності якоря на ходу двигуна – найхарактерніший режим противмикання. При переключенні обмотки якоря у ній змінюється напрям протікання струму, а оскільки напрям магнітного потоку обмотки збудження залишається незмінним, то обертовий момент на якорі змінить свій напрям і буде направленим проти обертання ротора, а отже гальмуватиме його. У цьому разі напрям ЕРС E , що індукуюється в обмотках якоря, збігатиметься із напрямом напруги мережі, тому на час гальмування у коло якоря необхідно вмикати додатковий опір, який обмежуватиме струм, у протилежному разі можуть виникати стрибки струму до $(20-40)I_{\text{H}}$ і відповідно – моменту. Механічні характеристики при названому режимі гальмування знаходяться у IV квадранті у випадку зміни полярності якоря на ходу двигуна при прямому попередньому обертанні (при $\omega_{\Pi} > 0$), і у II квадранті при попередньому зворотному обертанні (при $\omega_{\Pi} < 0$). Якщо при кутовій швидкості, що близька до нуля, двигун не відключити від мережі, то він перейде у рушійний режим зворотного обертання (III квадрант).

Динамічне гальмування. Якщо обмотки якоря працюючого шунтового двигуна відключити від мережі і замкнути на зовнішній опір R_{X} (див. мал. 3.7), то продовжуючи обертатись за інерцією, він посилатиме струм як у коло обмотки збудження, так і через опір R_{X} внаслідок того, що у його обмотках індукуватиметься ЕРС E , величина якої у момент вимикання двигуна близька до величини напруги мережі. При зупинці двигуна ЕРС $E = 0$. Чим менший опір R_{X} ,



Мал. 3.6 - Гальмівна діаграма двигуна постійного струму паралельного збудження (шунтового)

тим більший струм протікає в обмотках якоря і тим сильніша його гальмівна дія. Динамічне гальмування може відбуватись як при незалежному збудженні (мал. 3.7, а), так і при самозбудженні (мал. 3.7, б). Механічні характеристики режиму динамічного гальмування шунтового двигуна (див. мал. 3.6) при незалежному збудженні утворюють прямі, що проходять через початок координат і розмі-

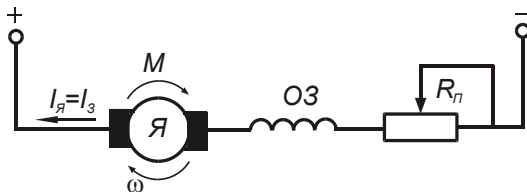


Мал. 3.7 – Електричні схеми динамічного гальмування двигуна постійного струму паралельного збудження (шунтового): а) – при незалежному збудженні; б) – при самозбудженні;

щуються у IV квадранті при прямому попередньому обертанні (при $\omega_{\Pi} > 0$), і у II квадранті при попередньому зворотному обертанні (при $\omega_{\Pi} < 0$). При самозбудженні внаслідок поступового зниження кутової швидкості у процесі гальмування проходить зниження магнітного потоку $\Phi = var$. Тому механічні характеристики мають криволінійний характер. Для плавного гальмування силу струму протягом усього періоду зупинки необхідно підтримувати постійною шляхом поступового виведення опору R_x . У малопотужних двигунах обмотка якоря має відносно великий опір, тому для швидкої зупинки допускається замикання обмотки якоря накоротко ($R_x = 0$).

Двигун постійного струму послідовного збудження (серієсний двигун). У названому двигуні обмотка збудження включена послідовно до обмотки якоря (див. мал. 3.8), оскільки через обмотку збудження цього двигуна протікає струм навантаження, то її виготовляють із відносно невеликої кількості витків проводу великого перетину. Оскільки опір обмоток серієсного двигуна невеликий, то для обмеження пускового струму послідовно до обмотки якоря вводять пусковий реостат R_{Π} . Максимальне значення цього опору обирають за умови щоб початковий пусковий момент був рівним (2-2,5) M_H , при розгоні двигуна реостат виводять. Залежність магнітного потоку від сили струму $\Phi(I)$ має нелінійний характер і її важко виразити аналітично, тому складно навести точний аналітичний вираз механічної характеристики названого двигуна, але для навантаження меншого за 75% від номінального, поки магнітопровід ненасичений, можна вважати, що магнітний потік серієсного двигуна зростає пропорційно до струму якоря $\Phi = k_M I_{\text{я}}$, але оскільки у даному двигуні, $I_{\text{я}} = I_3$ то: $M = k_1 I_{\text{я}}^2 = k_2 \Phi^2$.

Отже, обертовий момент серієсного двигуна пропорційний квадрату струму якоря. Якщо у вираз механічної характеристики двигунів по-тійного струму підставити замість магнітного потоку його значення $\Phi = \sqrt{Mk_3}$ і виконати перетворення, то рівняння механічної характеристики двигунів постійного струму послідовного збудження набуде вигляду:



$$\omega = \frac{U}{\sqrt{Mk_3}} - \frac{(R_{\text{я}} + R_{\Pi})}{k_4}$$

Вона має гіперболічний характер із великою крутизною в ділянці

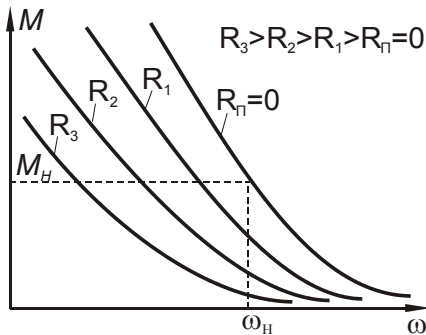
Мал. 3.8 - Електрична схема двигуна постійного струму послідовного збудження (серієсного двигуна)

малих значень моменту, а в ділянці високих значень моменту, внаслідок насичення магнітної системи двигуна, магнітний потік при зростанні навантаження практично не змінюється і залежність близька до лінійної (див. мал. 3.9). Двигуни серієсного типу мають м'яку механічну характеристику і тому при значному зростанні навантаження різко сповільнюються. При цьому інерційні маси приводу віддають на вал двигуна запасену кінетичну енергію, що обмежує кидки струму та потужності, яку споживає двигун із мережі. При малих навантаженнях двигун автоматично збільшує кутову швидкість, забезпечуючи високу продуктивність виконавчого механізму. Але при різкому зниженні навантаження кутова швидкість двигуна різко зростає і двигун іде “вразнос” (при $M \rightarrow 0 \Rightarrow I_{\text{я}} \rightarrow 0 \Rightarrow \Phi \rightarrow 0 \Rightarrow \omega \rightarrow \infty$). Тому його рекомендується включати при навантаженні $M_0 \geq 0,25M_H$, окрім того забороняється з'єднувати серієсний двигун із робочою машиною за допомогою пасової передачі, оскільки при її обриві або при зіскакуванні паса двигун перейде у холостий режим і піде “вразнос”.

Властивість названого двигуна – розвивати великий обертовий момент (оскільки двигун має велику перевантажувальну здатність $\mu_K = M_{\text{max}}/M_H = 2,5 \dots 3$) – сприяє його широкому використанню у вантажопідіймальних пристроях, у важких металорізальних станках із великими інерційними масами, а також у якості тягових двигунів на транспорті та в інших випадках, коли при роботі машин є часті перевантаження, а рівномірність роботи не має великого значення.

Регулювання кутової швидкості двигунів постійного струму послідовного збудження. З виразу електромеханічної характери-

тики двигунів постійного струму випливає, що всі способи регулювання кутової швидкості шунтового двигуна можуть бути використані й у серієсному двигуні.



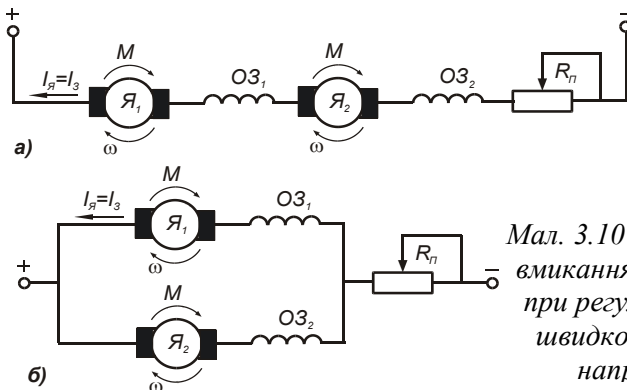
Мал. 3.9 - Механічні характеристики двигуна постійного струму послідовного збудження

Введення додаткового опору у коло якоря. Названий спосіб регулювання кутової швидкості серієсного двигуна здійснюється так само, як і у шунтовому двигуні, та має такі ж переваги та недоліки. Механічні характеристики серієсного двигуна при зміні величини додаткового опору у колі його якоря наведено на мал. 3.9.

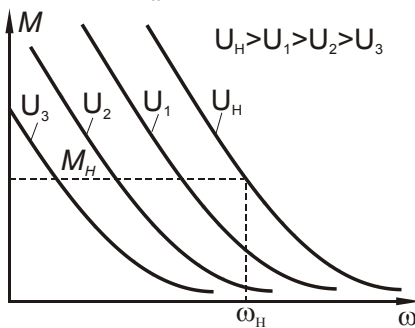
Зміна величини напруги,

що підводиться до затискачів якоря двигуна. Для регулювання кутової швидкості серієсних двигунів малої та середньої потужності можна також використовувати регульований випрямляч, у якому напруга постійного струму змінюється за допомогою автотрансформатора, а для керування двигунами великої потужності доцільно використовувати систему “генератор – двигун”.

При спільній роботі декількох однотипних двигунів на один вал кутову швидкість регулюють зміною схеми їх взаємного включення (див. мал. 3.10). При послідовному включенні двигунів (див. мал. 3.10 а) напруга на затискачах кожного із них буде вдвічі меншою, ніж при паралельному їх вмиканні (див. мал. 3.10 б), унаслідок чого кутова швидкість двигунів зменшується також приблизно вдвічі. Зазначений метод регулювання кутової швидкості серієсного двигуна значно економічніший від реостатного і використовується в електропотягах, трамваях, ножицях для різання металу та деяких типах електрокарів.



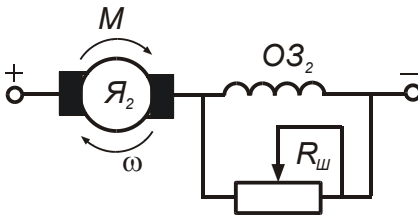
Мал. 3.10 – Електричні схеми вмикання серієсних двигунів при регулюванні їх кутової швидкості шляхом зміни напруги живлення



Мал. 3.11 – Механічні характеристики серієсного двигуна при регулюванні його кутової швидкості шляхом зміни напруги живлення

При зменшенні величини напруги, що підводиться до затискачів двигуна, його механічні характеристики зміщуються в бік зменшення кутової швидкості, практично не змінюючи свого нахилу (див. мал. 3.11).

Зміна основного магнітного потоку обмотки збудження. Названий спосіб регулювання у двигуні послідовного збудження можна здійснити двома способами: шунтуванням обмотки збудження за допомогою реостату R_ш та секціонуванням обмотки збуд-

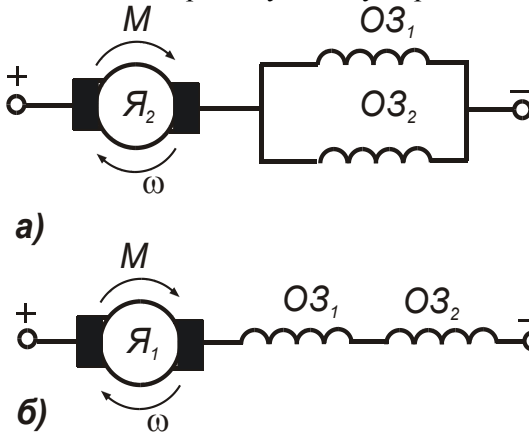


Мал. 3.12 – Електричні схеми вмикання серієсних двигунів при регулюванні їх кутової швидкості шляхом шунтування обмотки збудження

ження. Включення реостату $R_{ш}$ та збільшення його опору (див. мал. 3.12) призводить до зменшення струму збудження $I_z = I_{я} - I_{ш}$, а отже, до зменшення магнітного потоку та, відповідно, до зростання кутової швидкості.

При секціонуванні обмотки збудження, її розбивають на декілька секцій і регулюють кутову швидкість зміною схеми їх взаємного вмикання (див. мал.

3.13). Перемикання секцій обмотки збудження із паралельного з'єднання (мал. 3.13 а) на послідовне (мал. 3.13 б) при постійному струмі у якорі, призводить до збільшення числа ампер-витків цієї обмотки, а отже, до зростання магнітного потоку та відповідного зменшення кутової швидкості. Названий метод регулювання, забезпечує глибоке регулювання кутової швидкості, але економічно не вигідний і використовується дуже рідко.

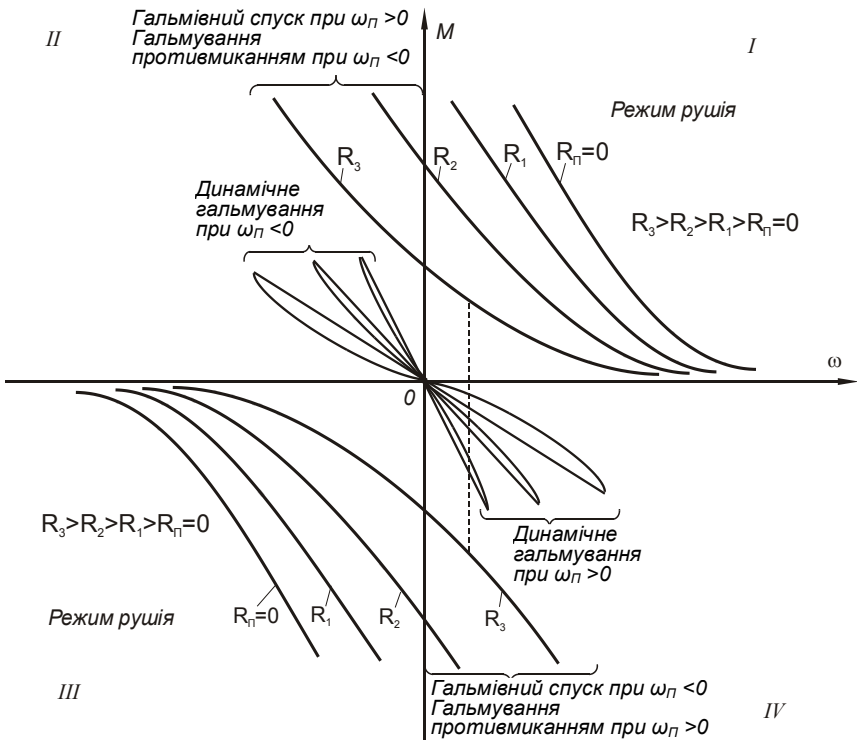


Мал. 3.13 – Електричні схеми вмикання серієсних двигунів при регулюванні їх кутової швидкості шляхом секціонування обмотки збудження

Режими роботи двигунів постійного струму послідовного збудження. Наведеним вище режимом не вичерпуються всі можливості названого двигуна, він, як і шунтовий двигун, може працювати у гальмівних режимах, що дозволяють швидко загальмовувати робочу машину. Гальмування з рекуперацією енергії для названого двигуна неможливе, оскільки неможливо збільшити його зворотну ЕРС E вище від напруги мережі ні шляхом збільшення магнітного потоку, оскільки він залежить від струму якоря, а отже, від навантаження, ні шляхом збільшення кутової швидкості вище швидкості ідеального холостого ходу ω_0 , оскільки у названого двигуна $\omega_0 \rightarrow \infty$.

Гальмування противмиканням можна здійснити двоюко, як і для шунтового двигуна: гальмівний спуск та зміною полярності обмотки якоря чи обмотки збудження на ходу двигуна. На відміну від шунтових двигунів, у серієсних можна змінювати полярність не тільки якоря, але й обмотки збудження (оскільки вона має невелику кількість витків).

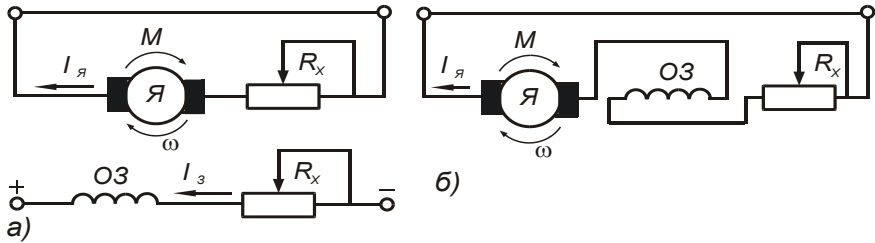
Механічні характеристики режиму гальмівного спуску є продовженням характеристик рушійних режимів із квадрантів I і III у квадранти II і IV - відповідно (див. мал. 3.14). Гальмування проти-вмиканням за методом зміни полярності обмоток на ходу двигуна здійснюється в результаті перевodu двигуна із механічних характеристик рушійного режиму у I квадранті на механічні характеристики гальмування противмиканням у IV квадранті при попередньому прямому обертанні (при $\omega_{\Pi} > 0$), і з механічних характеристик рушійного режиму у III квадранті на механічні характеристики гальмування противмиканням у II квадранті при попередньому зворотному обертанні (при $\omega_{\Pi} < 0$). Для нормалізації роботи двигуна та приводу у гальмівних режимах противмикання,



Мал. 3.14 – Гальмівна діаграма двигуна постійного струму послідовного збудження (серієсного)

а також для обмеження струму та величини гальмівного моменту, у коло якоря обов'язково вводять регульований опір.

Динамічне гальмування. Для переведу серієсного двигуна у режим динамічного гальмування, його обмотки якоря та збудження відключають від мережі і замикають на опір R_x . Динамічне гальмування може відбуватись як при незалежному збудженні (мал. 3.15, а), так і при самозбудженні (мал. 3.15, б). Щоб запобігти розмагнічуванню при гальмуванні із самозбудженням, необхідно змінити полярність якоря або обмотки збудження.



Мал. 3.15 – Електричні схеми динамічного гальмування двигуна постійного струму послідовного збудження (серієсного):

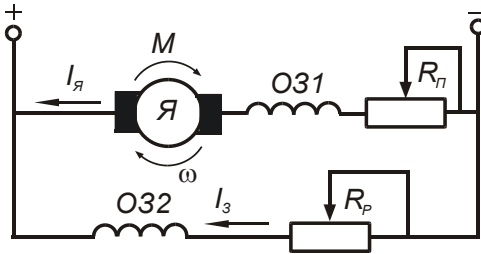
а) – при незалежному збудженні; б) – при самозбудженні

Механічні характеристики режиму динамічного гальмування серієсного двигуна при самозбудженні (див. мал. 3.14) мають криволінійну форму і розміщені у IV квадранті при прямому попередньому обертанні (при $\omega_{\Pi} > 0$), і у II квадранті при попередньому зворотному обертанні (при $\omega_{\Pi} < 0$). Вони перетинають осі координат у нульовій точці. При інтенсивному самозбудженні та малому опорі кола якоря може виникати великий гальмівний момент, який є небезпечним для приводу. Тому на практиці частіше використовують динамічне гальмування серієсного двигуна при незалежному збудженні. Механічні характеристики цього режиму динамічного гальмування становлять прямі, що проходять через початок координат, аналогічно до того, як це було у відповідному режимі гальмування шунтового двигуна, при цьому вони тим жорсткіші, а гальмування швидше, чим менший опір кола якоря.

Двигун постійного струму змішаного збудження (компаундний). Двигун змішаного збудження має дві обмотки збудження: послідовну ОЗ1 та паралельну ОЗ2 (див. мал. 3.16.). Формула електромеханічної характеристики має вигляд:

$$\omega = \frac{U - (R_{\text{я}} + R_{\Pi})I_{\text{я}}}{k_e(\Phi_2 \pm \Phi_1)}, \quad (3.6)$$

де Φ_1 і Φ_2 - магніпні потоки паралельної та послідовної обмоток збудження.

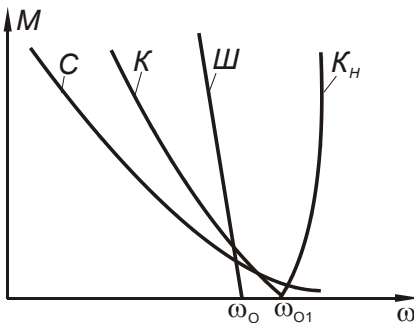


Мал. 3.16 - Еклектична схема двигуна постійного струму змішаного збудження (компаундного)

до зменшення кутової швидкості двигуна. При зустрічному включенні обмоток (коли їх магнітні потоки направлені назустріч один одному) магнітний потік Φ_1 із збільшенням навантаження розмагнічує двигун, зменшуючи її сумарний магнітний потік (знак мінус у формулі (3.6)), що призводить до зростання кутової швидкості. Робота двигуна при цьому стає нестійкою, оскільки із зростанням навантаження кутова швидкість необмежено зростає. Однак при невеликій кількості витків послідовної обмотки, із зростанням навантаження кутова швидкість не зростає і в усьому діапазоні навантаження залишається незмінною. Виходячи із загального рівняння електромеханічної характеристики двигунів постійного струму, механічна характеристика компаундного двигуна має вигляд:

$$\omega = \frac{U}{k_e(\Phi_2 \pm \Phi_1)} - M \frac{(R_{\text{я}} + R_{\text{п}})}{k_M k_e(\Phi_2 \pm \Phi_1)^2}.$$

Оскільки невідома аналітична залежність магнітного потоку від струму якоря, то побудувати механічну характеристику компаундного двигуна за наведеним виразом неможливо. Паралельна обмотка ОЗ2 забезпечує мінімальний магнітний потік, який при зміні навантаження не змінюється і не допускає двигун до розносу.



Мал. 3.17 – Механічні характеристики двигунів постійного струму

Знак плюс відповідає узгодженому включенню обмоток збудження (коли їх магнітні потоки направлені в одному напрямку). У цьому випадку із збільшенням навантаження загальний магнітний потік зростає (за рахунок магнітного потоку послідовної обмотки збудження Φ_1), що призводить до зменшення кутової швидкості двигуна. При зустрічному включенні обмоток (коли їх магнітні потоки направлені назустріч один одному) магнітний потік Φ_1 із збільшенням навантаження розмагнічує двигун, зменшуючи її сумарний магнітний потік (знак мінус у формулі (3.6)), що призводить до зростання кутової швидкості. Робота двигуна при цьому стає нестійкою, оскільки із зростанням навантаження кутова швидкість необмежено зростає. Однак при невеликій кількості витків послідовної обмотки, із зростанням навантаження кутова швидкість не зростає і в усьому діапазоні навантаження залишається незмінною. Виходячи із загального рівняння електромеханічної характеристики двигунів постійного струму, механічна характеристика компаундного двигуна має вигляд:

Оскільки невідома аналітична залежність магнітного потоку від струму якоря, то побудувати механічну характеристику компаундного двигуна за наведеним виразом неможливо. Паралельна обмотка ОЗ2 забезпечує мінімальний магнітний потік, який при зміні навантаження не змінюється і не допускає двигун до розносу. Названий двигун має м'яку механічну характеристику (див. мал. 3.17), великий пусковий момент та велику перевантажувальну здатність $\mu_k = 2,2 \dots 2,7$, але без небезпечної властивості йти "врознос". Механічні харак-

теристики компаундного двигуна (крива K на мал. 3.17) займають проміжне положення між характеристиками шунтового (крива $\mathcal{Ш}$ на мал. 3.17) та серієсного (крива C на мал. 3.17) двигунів. На мал. 3.17 наведено також механічну характеристика компаундного двигуна при неузгодженому включенні обмоток та великій кількості витків послідовної обмотки (крива K_H). Кутову швидкість компаундного двигуна можна регулювати такими самими способами, як і шунтового та серієсного. Щоб змінити напрям обертання двигуна, змінюють напрям протікання струму у колі якоря чи в паралельній обмотці збудження. Компаундні двигуни можуть працювати у тих самих гальмівних режимах, що і шунтові двигуни. Однак наявність двох обмоток збудження робить двигун змішаного збудження дорожчим від шунтових і серієсних двигунів, що дещо обмежує його застосування. Двигуни змішаного збудження застосовують звичайно там, де вимагаються значні пускові моменти, швидке прискорення при розгоні, стійка робота і допустиме лиш незначне зменшення кутової швидкості при збільшенні навантаження (прокатні стани, підймальні механізми, насоси, компресори).

ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитись із лабораторним стендом та записати в табл. 3.1 паспортні дані досліджуваного електродвигуна.

Таблиця 3.1

Паспортні дані досліджуваного електродвигуна

Тип двигуна	P_H	U_H	I_H	ККД	n_H	Режим роботи	Клас ізоляції	Вага
	кВт	В	А	%	об/хв			

2. Зібрати електричну схему стенду (мал. 3.18).
3. При заданому навантаженні зняти регульовану характеристику двигуна шляхом регулювання:
 - а) струму збудження I_3 при напрузі, рівній номінальній ($U = U_n$). Запустити двигун вхолосту. Результати записати у табл. 3.2. За отриманими результатами побудувати залежність $n = f(I_3)$;

Таблиця 3.2

Протокол дослідження регульовальної характеристики електродвигуна при регулюванні струму збудження

№ з/п		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	А										
I_3	А										
n	об/хв										

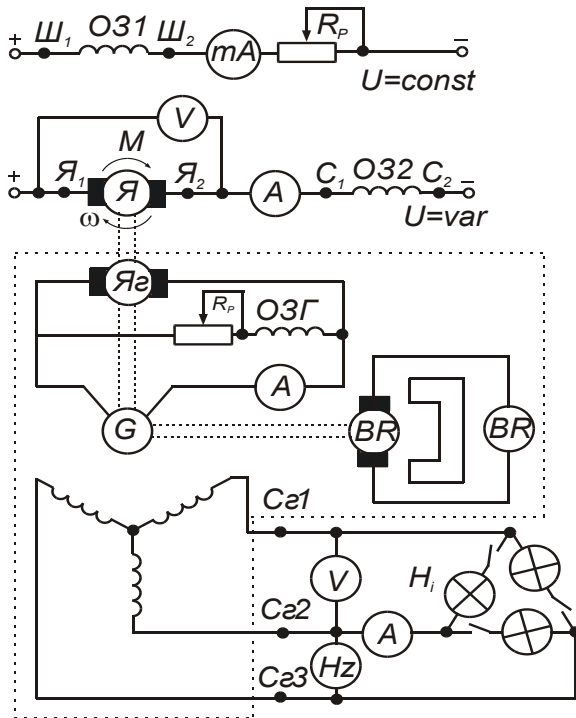
б) напруги на якорі U при струмі збудження, рівному номінальному ($I_3 = I_{3н}$). Результати записати у табл. 3.3. За отриманими результатами побудувати залежність $n = f(U)$.

Таблиця 3.3

*Протокол дослідження регульовальної характеристики
електродвигуна при регулюванні напруги*

№ з/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	А									
U	В									
n	об/хв									

4. Дослідити швидкісну характеристику при узгодженому включенні обмоток збудження двигуна і постійних напрузі якоря ($U = U_n$) та струмі збудження ($I = I_3$). Навантаження двигуна змінювати шляхом зміни навантаження (кількості під'єднаних електролампочок) механічно з'єднаного із ним синхронного генератора. Результати дослідів записати у табл. 3.4. За отриманими результатами побудувати залежність $n = f(P)$.



Мал. 3.18 – Електрична схема лабораторного стенду
(обведене пунктирною лінією – зібране на стенді)

Таблиця 3.4

*Протокол дослідження швидкісної характеристики
електродвигуна при узгодженому включенні обмоток*

№ з/п		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>I</i>	А										
<i>n</i>	об/хв										
<i>P</i>	кВт										

Таблиця 3.5

*Протокол дослідження швидкісної характеристики
електродвигуна при неузгодженому включенні обмоток*

№ з/п		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>I</i>	А										
<i>n</i>	об/хв										
<i>P</i>	кВт										

5. Дослідити швидкісну характеристику двигуна при зустрічному включенні його обмоток збудження, аналогічно до п. 4 із записом результатів у таблицю 3.5 і побудовою залежності $n = f(P)$ на одному із п. 4 малюнку.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ:

1. Що таке електромеханічна характеристика двигуна постійного струму і які величини до неї входять?
2. Що таке перевантажувальна здатність та жорсткість механічної характеристики електродвигуна?
3. Які особливості роботи двигуна постійного струму паралельного збудження (шунтового)?
4. Якими способами можна регулювати кутову швидкість двигуна постійного струму паралельного збудження (шунтового), в чому їх переваги та недоліки?
5. У яких гальмівних режимах може працювати двигун постійного струму паралельного збудження (шунтовий) і як його перевести у ці режими?
6. Які особливості роботи двигуна постійного струму послідовного збудження (серісного)?
7. Якими способами можна регулювати кутову швидкість двигуна постійного струму послідовного збудження (серісного), в чому їх переваги та недоліки?
8. У яких гальмівних режимах може працювати двигун постійного струму послідовного збудження (серісний), і як його перевести у ці режими?
9. Які особливості роботи двигуна постійного струму змішаного збудження (компаундного)?

10. Якими способами можна регулювати кутову швидкість двигуна постійного струму змішаного збудження (компаундного), в чому їх переваги та недоліки?
11. У яких гальмівних режимах може працювати двигун постійного струму змішаного збудження (компаундний), і як його перевести у ці режими?
12. Що таке узгоджене чи неузгоджене включення обмоток компаундного двигуна і як це можна з'ясувати при запуску двигуна?

**ПРОГРАМА ПОЗААУДИТОРНОЇ САМОСТІЙНОЇ
ПІДГОТОВКИ:**

№ з/п	Вид підготовки	Час, год
1	За рекомендованою літературою вивчити будову та принципи роботи електродвигунів постійного струму можливі методи регулювання кутової швидкості їх переваги та недоліки, а також можливі гальмівні режими цих двигунів	2
2	Підготувати робочий зошит для виконання лабораторної роботи, у який записати: <ul style="list-style-type: none"> - назву та мету роботи; - короткі теоретичні пояснення (конспективно) із необхідними для розрахунків формулами; - вказівки щодо виконання роботи; - таблиці 3.1 – 3.5; - електричну схему лабораторного стенда (мал. 3.18) 	1

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Практикум з електропривода/ В. С. Олійник, О. С. Марченко, Е. Л. Жулай та ін. – К.: Урожай, 1995. - 192 с. (С. 16 - 28);
2. Електропривод/ О. С. Марченко, Ю. М. Лавриненко, П. І. Савченко, Е. Л. Жулай. – К.: Урожай, 1995. – 208 с. (С. 11 - 36);
3. Цейтлин Л. С. Электропривод, электрооборудование и основы управления. – М.: Высшая школа, 1985. – 192 с. (С. 77 - 101);
4. Мякишев Н. Ф. Электропривод, электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных и установок. – М.: Агропромиздат, 1986. – 176 с. (С. 18 – 26, 41-43).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ДОСЛІДЖЕННЯ АСИНХРОННОГО КОРОТКОЗАМКНУТОГО ДВИГУНА

Мета роботи: вивчити конструкцію асинхронного електродвигуна, засвоїти правила визначення “початків” та “кінців” обмоток статора, дослідити роботу двигуна при пускових і номінальних режимах, а також при обриві однієї з фаз статора перед пуском та під час його роботи при з’єднанні обмоток статора “зіркою” і “трикутником”.

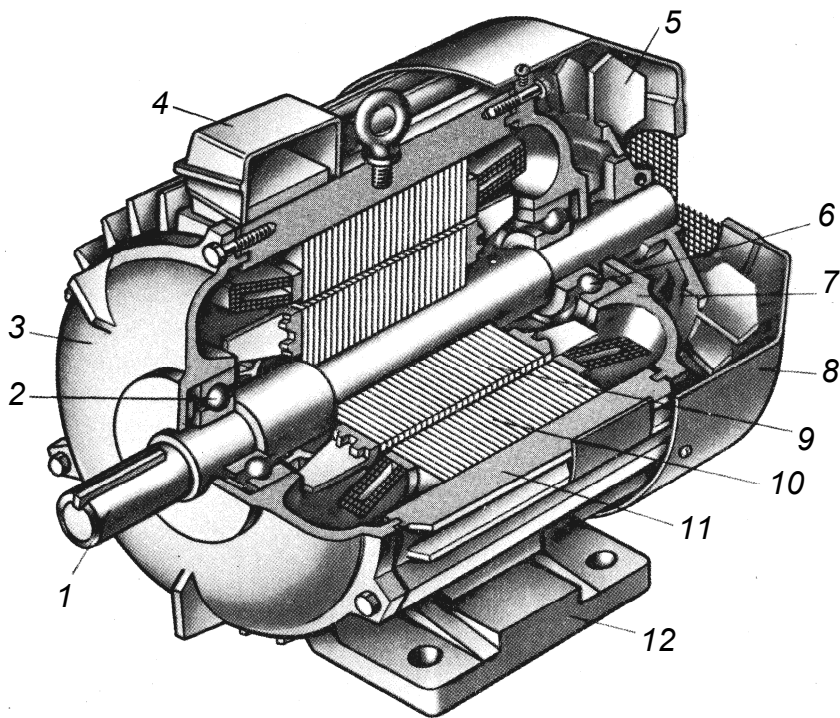
КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЯСНЕННЯ

Трифазний асинхронний двигун винайшов російський інженер-винахідник М. О. Доліво-Добровольський у 1889 р. Цей двигун має значні переваги над іншими електричними машинами: простий у конструктивному плані, надійний, не має потреби в збудженні. Ці переваги асинхронних двигунів дозволили широко застосовувати їх у промисловості, сільському господарстві та інших галузях народного господарства всіх країн світу.

Асинхронний двигун складається з двох основних частин, розділених повітряним зазором: нерухомого статора й обертового ротора. Кожна з цих частин має осердя й обмотку. При цьому обмотка статора включається в мережу і є немовби би первинною, а обмотка ротора – вторинною, тому що енергія в неї надходить з обмотки статора за рахунок магнітного зв'язку між цими обмотками, як у трансформатора.

За своєю конструкцією асинхронні двигуни поділяються на два види: двигуни з короткозамкнутим ротором і двигуни з фазним ротором. Будову *трифазного асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором* показано на мал. 4.1. Двигуни цього виду мають найбільш широке застосування. Нерухома частина двигуна - статор складається з корпусу 11 та осердя 10 із трифазною обмоткою. Корпус двигуна відливають з алюмінієвого сплаву чи з чавуну або роблять зварним. Розглянутий двигун має закрите обдувне виконання. Тому поверхня його корпусу має ряд повздовжніх ребер, призначення яких полягає в тому, щоб збільшити поверхню охолодження двигуна. У корпусі розташоване осердя 10 статора, що має шихтовану конструкцію: відштамповані листи з електротехнічної сталі, яка має найменші втрати на перемагнічування, товщиною, звичайно, 0,5 мм, покриті шаром ізоляційного лаку, зібрані в пакет і скріплені спеціальними скобами чи повздовжніми зварни-

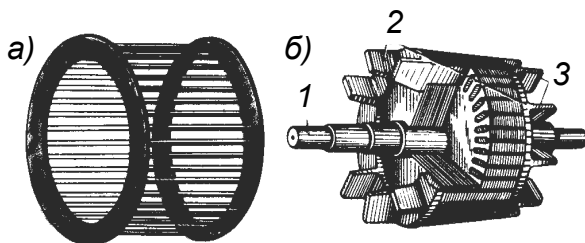
ми швами по зовнішній поверхні пакета. Така конструкція осердя сприяє значному зменшенню вихрових струмів Фуко, що виникають у процесі перемагнічування осердя обертовим магнітним полем. На внутрішній поверхні осердя статора є повздовжні пази, у яких розташовані пазові частини обмоток статора. Фазні обмотки виготовляють з ізолюваного мідного проводу, який укладають у пази таким чином, щоб між їх серединами був кут 120° .



Мал. 4.1 – Будова трифазного асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором: 1 - вал; 2, 6 - підшипники; 3, 7 - підшипникові щити; 4 - коробка виводів; 5 - вентилятор; 8 - кожух вентилятора; 9 - осердя ротора з короткозамкнутою обмоткою; 10 - осердя статора з обмоткою; 11 - корпус; 12 - лапи

У розточці статора розташована обертова частина двигуна – ротор, що складається з вала 1 і осердя 9 із короткозамкнутою обмоткою. Така обмотка, названа «колесо білки», складається з ряду металевих (алюмінієвих чи мідних) стержнів, розташованих у пазах осердя ротора, замкнених із двох сторін короткозамикаючими кільцями (мал. 4.2 а). Осердя ротора також має шихтовану конструкцію, але листи ротора не покриті ізоляційним лаком, а

мають на своїй поверхні тонку плівку окислу. Це є достатньою ізоляцією, що обмежує вихрові струми, тому що величина їх невелика через малу частоту перемагнічування осердя ротора. Наприклад, при частоті мережі 50 Гц і номінальному ковзанні 6 % частота перемагнічування осердя ротора складає 3 Гц. Ротор і статор розділені повітряним зазором.



Мал. 4.2 - Короткозамкнутий ротор: а - обмотка «клітка білки»; б - ротор з обмоткою, виконаною методом лиття під тиском; 1 - вал; 2 – короткозамикаючі кільця; 3 - вентиляційні лопатки

Короткозамкнут а обмотка ротора в більшості двигунів виконується залиттям зібраного осердя ротора розплавленим алюмінієвим сплавом. При цьому одночасно зі стержнями обмотки від-ливаються

коротко-замикаючі кільця і вентиляційні лопатки (див. мал. 4.2 б).

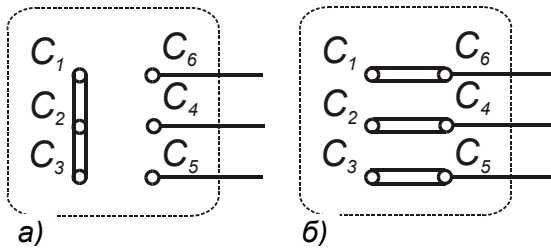
Вал ротора обертається (див. мал. 4.1) у підшипниках кочення 2 і 6, розташованих у підшипникових щитах 3 і 7. Охолодження двигуна здійснюється методом обдування зовнішньої поверхні корпусу з ребрами. Потік повітря створюється відцентровим вентилятором 5, прикритим кожухом 8. На торцевій поверхні цього кожуха є отвори для забору повітря.

Кінці обмоток фаз виводять на затискачі коробки виводів 4. Зазвичай асинхронні двигуни призначені для включення в трифазну мережу на дві різні напруги, що відрізняються в $\sqrt{3}$ разів. Наприклад, двигун розрахований для включення в мережу на напруги 220/380 В. Якщо в мережі лінійна нап-руга 380 В, то обмотку статора варто з'єднати зіркою, а якщо 220 В, то трикутником. В обох випадках напруга на обмотці кожної фази буде 220 В. Виводи обмоток

Таблиця 4.1
Позначення виводів обмоток статора асинхронного двигуна

Номер фази	Початок фази	Кінець фази
1	C_1	C_4
2	C_2	C_5
3	C_3	C_6

фаз позначають так, як вказано в табл. 4.1., і розташовують на панелі таким чином, щоб з'єднання обмоток фаз було зручно виконувати за допомогою перемичок без перехресчування останніх (мал. 4.3).



Мал. 4.3 – Схеми з'єднань обмоток статора трифазних асинхронних двигунів: а - зіркою; б - трикутником

Монтаж двигуна в місці його установки здійснюється або за допомогою лап 12 (див. мал. 4.1), або за допомогою фланця. В останньому випадку на підшипниковому щиті (звичайно, з боку виступаючого кінця вала) роблять фланець з

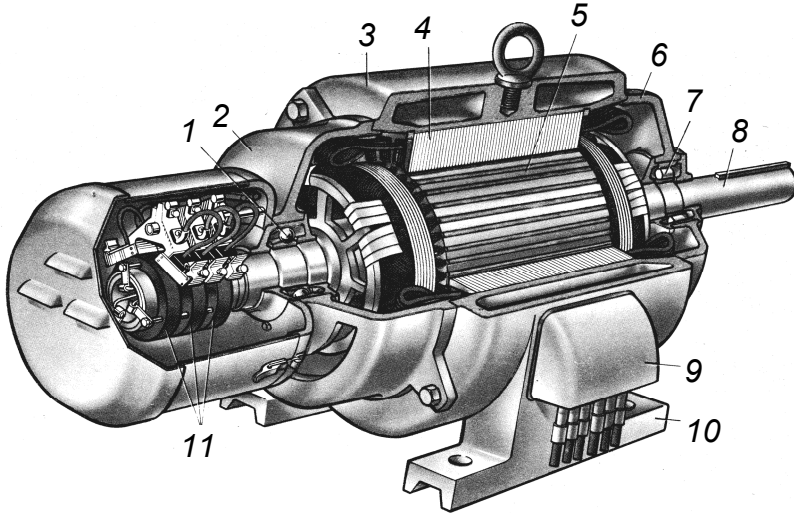
отворами для кріплення двигуна на робочій машині. Для запобігання можливому враженню обслуговуючого персоналу електричним струмом двигуни обладнують болтами для підключення до заземлення (не менше двох). Умовне позначення асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором на електричних схемах наведено на мал. 4.5 а.

Інший різновид трифазних асинхронних двигунів – *двигуни з фазним ротором* – конструктивно відрізняються від розглянутого двигуна, головним чином, будовою ротора (мал. 4.4). Статор цього двигуна також складається з корпусу 3 та осердя 4 із трифазною обмоткою. У нього є підшипникові щити 2 і 6 із підшипниками кочення 1 і 7. До корпусу 3 прикріплені лапи 10 і коробки виводів 9. Однак ротор має більш складну конструкцію. На валі 8 закріплене шихтоване осердя 5 із трифазною обмоткою, виконаною аналогічно обмотці статора. Цю обмотку з'єднують зіркою, а її кінці приєднують до трьох контактних кілець, розташованих на валі й ізольованих одне від одного і від вала. Для здійснення електричного контакту з обмоткою обертового ротора на кожне контактне кільце 1 накладають, звичайно, дві щітки 2, розташовані в щіткотри-мачах 3. Кожен щіткотримач обладнаний пружинами, що забезпечують притискання щіток до контактного кільця з визначеним зусиллям.

Асинхронні двигуни з фазним ротором мають більш складну конструкцію і менш надійні, але вони мають кращі регульовальні і пускові властивості, ніж двигуни з короткозамкнутим ротором. Умовне позначення асинхронного двигуна з фазним ротором на електричних схемах наведено на мал. 4.5 б. Обмотка ротора цього двигуна з'єднана з пусковим реостатом ПР, що створює в колі ротора додатковий опір R_D .

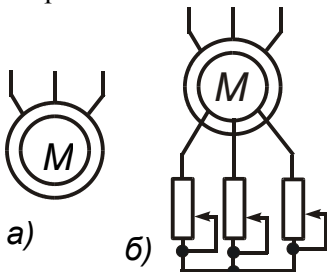
На корпусі асинхронного двигуна кріпиться табличка, на якій зазначені тип двигуна, назва заводу-виготовлювача, рік випуску і

номінальні дані (корисна потужність, напруга, струм, коефіцієнт потужності, частота обертання, ККД та ін.).



Мал. 4.4 – Будова трифазного асинхронного двигуна з фазним ротором: 1, 7 – підшипники; 2, 6 – підшипникові щити; 3 – статор; 4 – осердя статора з обмоткою; 5 – осердя ротора; 8 – вал; 9 – коробка виводів; 10 – лапи; 11 – контактні кільця

Відповідно до принципу оборотності електричних машин, асинхронні машини можуть працювати як у рушійному, так і в генераторному режимах. Крім того, можливі ще й режими електромагнітного гальмування протидивниманням, динамічного та ін. Принцип роботи асинхронного двигуна заснований на використанні обертового магнітного поля статора. Для того, щоб у статорі двигуна



Мал. 4.5 – Умовні позначення асинхронного двигуна на електричних схемах: а – з короткозамкнутим ротором; б – з фазним ротором

утворилось обертове магнітне поле, необхідно дотримуватись трьох таких вимог:

- 1) середини обмоток статора двигуна повинні знаходитись під кутом 120° одна відносно одної (так вони встановлені при виготовленні двигунів на заводах);
- 2) струми в обмотках статора двигуна повинні бути зсунутими один відносно одного на третину періоду або на 120° , якщо врахувати, що повний період, рівний 360° (таке співвідношення між струмами та напругами забезпечується при виробленні трифазного струму на електростанціях, що передається по

трифазній мережі);

- 3) струми в усіх обмотках статора двигуна повинні протікати в однаковому напрямі: від “початків” до “кінців” або від “кінців” до “початків” – різниці немає, але якщо в одній обмотці струм протікає від “початку” до “кінця”, то й у двох інших обмотках він повинен протікати від “початків” до “кінців” і навпаки (ця вимога повинна забезпечуватися при підключенні двигунів до мережі).

Асинхронний двигун працює таким чином. При включенні обмотки статора в мережу трифазного струму виникає обертове магнітне поле статора, частота обертання якого називається синхронною n_C і визначається виразом:

$$n_C = 60f/p, \quad (4.1)$$

де f - частота струму живлення; p – число пар полюсів.

Оскільки в Україні електростанції генерують змінний струм із частотою $f = 50$ Гц, то залежно від числа пар полюсів – p синхронна частота обертання магнітного поля статора n_C може набувати значень, що вказані у табл. 4.2:

Таблиця 4.2

Синхронні частоти обертання магнітного поля статора

p		1	2	3	4	5	6
n_C	об./хв.	3000	1500	1000	750	600	500

У сільському господарстві використовуються в основному асинхронні двигуни із синхронними частотами обертання магнітного поля статора рівними 3000, 1500 чи 1000 об./хв.

Обертове поле статора зчіплюється як з обмоткою статора, так і з обмоткою ротора і наводить у них ЕРС. Будучи ЕРС самоіндукції, вона діє зустрічно прикладеній до обмотки напрузі й обмежує значення струму в обмотці. Обмотка ротора замкнута, тому ЕРС ротора породжує в стержнях обмотки ротора струми. Взаємодія цих струмів із полем статора створює на роторі електромагнітні сили P_{EM} , напрямом яких визначають за правилом “лівої руки”. Сукупність сил P_{EM} створює на роторі електромагнітний момент M , що приводить його в обертання з частотою $n < n_C$ у сторону обертання поля статора. Величину електромагнітного моменту M можна визначити за залежністю:

$$M = k\Phi I_2 \cos\psi_2, \quad (4.2)$$

де k – постійний коефіцієнт;

Φ – магнітний потік обмоток двигуна;

I_2 – струм в обмотках ротора;

ψ_2 – кут зсуву фаз між струмом I_2 та ЕРС ротора.

Обертання ротора за допомогою вала передається виконавчому механізмові. Таким чином, електрична енергія, що надходить із мережі в обмотку статора, перетворюється в механічну енергію обертання ротора двигуна. Напрямок обертання магнітного поля статора, а отже, і напрямки обертання ротора залежать від порядку чергування фаз напруги, що підводиться до обмотки статора. Частота обертання ротора n , названа *асинхронною*, завжди менша частоти обертання поля n_C , тому що тільки в цьому випадку відбувається наведення ЕРС в обмотці ротора асинхронного двигуна. Величина, що характеризує різницю частот обертання ротора й обертового поля статора, називається *ковзанням*. Ковзання є дуже важливим параметром асинхронної машини, його виражають у частках одиниці або у відсотках:

$$S = (\omega_C - \omega) / \omega_C = (n_C - n) / n_C, \quad (4.3)$$

де ω – кутова швидкість двигуна, що рівна:

$$\omega = \pi n / 30;$$

ω_C – синхронна кутова швидкість асинхронного двигуна, що визначається за формулою:

$$\omega_C = 2\pi f / p.$$

Цілком очевидно, що зі збільшенням навантажувального моменту на валу асинхронного двигуна частота обертання ротора n зменшується. Отже, ковзання асинхронного двигуна залежить від механічного навантаження на валу двигуна і може змінюватися в діапазоні $0 < S < 1$.

При включенні асинхронного двигуна в мережу в початковий момент часу ротор під впливом сил інерції нерухомий ($n = 0$). При цьому ковзання S дорівнює одиниці. У режимі роботи двигуна без навантаження на валу (режим холостого ходу) ротор обертається з частотою, не набагато меншою від синхронної частоти обертання n_C , і ковзання дуже мало відрізняється від нуля ($S \approx 0$). Ковзання, що відповідає номінальному навантаженню двигуна, називають *номінальним ковзанням* S_H . Для асинхронних двигунів загального призначення $S_H = 1-8\%$, при цьому для двигунів великої потужності, $S_H = 1\%$, а для двигунів малої потужності $S_H = 8\%$.

Залежність між обертовим моментом асинхронного двигуна та кутовою швидкістю його валу, що називається його *механічною характеристикою*, описується рівнянням, куди входять параметри двигуна. Це рівняння дещо громіздке й незручне у користуванні, тому при практичних розрахунках частіше користуються приблизною формулою Клосса, у яку входять каталожні дані двигуна:

$$M = \frac{M_K(2+q)}{\frac{S}{S_K} + \frac{S_K}{S} + q}, \quad (4.4)$$

де M - обертовий момент електродвигуна, Нм;

M_K - критичний момент двигуна, Нм;

S_K - критичне ковзання асинхронного двигуна, що рівне:

$$S_K = S_H \left(\mu_K + \sqrt{\mu_K^2 - 1} \right);$$

q - допоміжний коефіцієнт, який можна визначити зі співвідношення:

$$q = (1/S_K + S_K - 2\mu_1)/(\mu_1 - 1).$$

Для двигунів значної потужності q приймається рівним нулю.

- допоміжний каталожний коефіцієнт μ_1 , що рівний:

$$\mu_1 = \mu_K / \mu_{\Pi},$$

де μ_{Π} - кратність пускового моменту двигуна;

μ_K - перевантажувальна здатність двигуна;

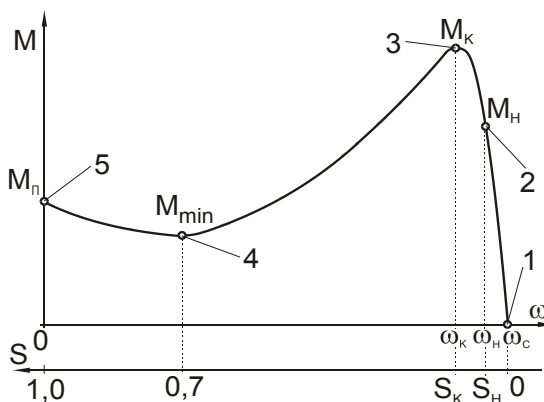
S_H - номінальне ковзання двигуна, що рівне:

$$S_H = (\omega_C - \omega_H) / \omega_C.$$

Механічна характеристика асинхронного двигуна, наведена на мал. 4.6, має п'ять характерних точок. Точка 1 - синхронна швидкість $\omega = \omega_C$ при $S = 0$ і $M = 0$. Точка 2 - номінальне навантаження, коли $M = M_H$ $\omega = \omega_H$ та $S = S_H$. Номінальний момент двигуна M_H , [Нм] – це найбільший момент, розвиваючи який двигун може працювати необмежено довго не перегріваючись: він вираховується за каталожними даними двигуна:

$$M_H = P_H / \omega_H \text{ або } M_H = 9550 P_H / n_H, \quad (4.5)$$

де P_H - номінальна потужність двигуна, кВт;



Мал. 4.6 – Механічна характеристика асинхронного двигуна

ω_H - номінальна кутова швидкість, рад/сек.

Точка 3 – критична, коли $\omega = \omega_K$ при $S = S_K$ та $M = M_K = \mu_K M_H$. У цій точці двигун розвиває максимальний (критичний) момент, який визначає перевантажувальну здатність двигуна μ_K , що вибирається з довідників і для асинх-

ронних двигунів знаходиться у межах $\mu_K=1,7-2,2$. Точка 4 - “провал моменту” - спостерігається при $S \approx 0,7$ коли двигун розвиває у процесі розгону найменший (мінімальний) момент $M = M_{min} = \mu_{min} M_H$. “Провал” кривої моменту M_{min} (ділянка при $0,7 < S < 0,85$) ускладнює процес розгону двигуна і може викликати “застрявання” ротора на малій частоті обертання. Точка 5 - пускова, коли $\omega = 0$ при $S = 1$ і $M = M_{II} = \mu_{II} M_H$.

Максимальний момент двигуна M_K називається критичним, тому що на механічній характеристиці він поділяє зони стійкої та нестійкої роботи двигуна. Дільницю механічної характеристики асинхронного двигуна при $0 < S < S_K$ називають зоною стійкої роботи двигуна, коли при перевантаженнях двигун сповільнюється, але автоматично розвиває більший момент, який дозволяє долати це пікове навантаження. Дільницю механічної характеристики асинхронного двигуна в межах $S_K < S < 1$ називають зоною нестійкої роботи двигуна, коли будь-яке перевантаження, що супроводжується сповільненням двигуна, призводить до зменшення обертового моменту двигуна та його зупинки.

Потужність, яку споживає електродвигун із мережі при номінальному навантаженні P_1 (кВт):

$$P_1 = P_H / \eta_H$$

де η_H - номінальний ККД двигуна.

Різниця між споживаною та номінальною потужностями складає втрати у двигуні ΔP (кВт):

$$\Delta P = P_1 - P_H = P_H / \eta_H - P_H = P_H (1/\eta_H - 1). \quad (4.6)$$

Номінальний струм трифазних асинхронних короткозамкнутих двигунів можна визначити з формули:

$$I_H = P_H / \sqrt{3} \eta_H U_H \cos \varphi_H; \quad (4.7)$$

де P_H - номінальна потужність електродвигуна, Вт;

U_H - номінальна напруга, В;

$\cos \varphi_H$ - номінальний коефіцієнт потужності;

η_H - номінальний коефіцієнт корисної дії електродвигуна.

Одним із найбільш шкідливих режимів роботи асинхронного двигуна є пусковий режим, при якому він споживає великий пусковий струм, що призводить до швидкого його перегрівання та значного падіння напруги у мережі, особливо у сільській місцевості, де використовуються малопотужні трансформаторні підстанції, а лінії електропередач виготовляються із проводу невеликого перетину та мають значну протяжність. Пусковий струм двигуна I_{II} (А):

$$I_{II} = k_I I_H,$$

де k_I - кратність пускового струму (знаходиться у межах $k_I = 5-10$ і вибирається з довідників).

Значне зростання пускового струму названого двигуна пов'язане з тим, що при підключенні статора трифазного двигуна до мережі у ньому утворюється обертове магнітне поле, яке миттєво набирає своєї синхронної швидкості $n_C = 1000-3000$ об/хв, а ротор унаслідок інертності в першу мить нерухомий, при цьому витки обмотки його ротора перетинають велику кількість силових ліній обертового магнітного поля статора й у них індукується великий пусковий струм I_{II} . Далі ротор зрушує з місця і починає наздоганяти обертове магнітне поле статора, при цьому витки його обмоток перетинають все менше силових ліній обертового магнітного поля й струм у них зменшується до величини, що відповідає навантаженню двигуна.

Зменшення шкідливих наслідків від пускових режимів двигуна можна досягнути або при зменшенні величини пускових струмів шляхом запуску двигунів при пониженій фазній напрузі чи використанні двигунів із фазними роторами, або при зменшенні часу запуску двигуна шляхом запускання двигуна без навантаження в холосту чи використовуючи для з'єднання двигуна з робочими машинами відцентрові муфти. Зменшення пускового струму за рахунок зменшення фазної напруги досягається перемиканням обмоток статора на період пуску з “трикутника” на “зірку” або спеціальним трифазним трансформатором. Запуск потужних двигунів із фазним ротором здійснюється за допомогою трисекційного трифазного реостата, який перед запуском виставляється на максимальний опір. Далі, у міру розгону двигуна цей опір зменшується і при досягненні двигуном номінальних обертів закорочується. При запуску двигуна з додатковим опором у колі фазного ротора не тільки зменшується кратність пускового струму до величини $k_I = 2-3$, але зростає і величина пускового моменту (див. мал. 4.7). І все ж, незважаючи на кращі експлуатаційні характеристики, ці двигуни порівняно з короткозамкненими складніші за будовою, на третину дорожчі і вимагають автоматичної апаратури керування, тому вони у сільському господарстві використовуються дуже рідко.

Для збільшення пускового моменту двигунів із короткозамкненими роторами використовують двигуни, що мають ротори з двома короткозамкнутими обмотками або ротори з глибоким пазом, що призводить до явища витіснення струму до периферії й зменшення індуктивного опору та покращення пускових характеристик.

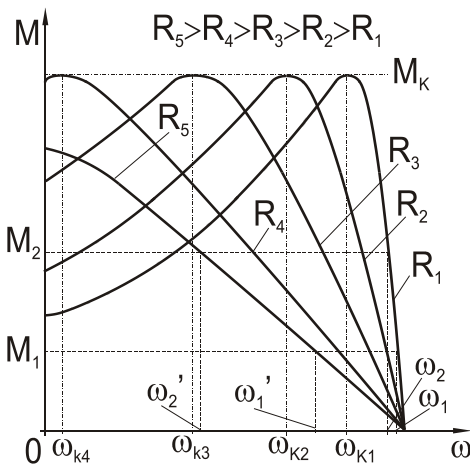
Реверсування асинхронних двигунів, тобто зміна напрямку обертання їх ротора, відбудеться тоді, коли поміняти місцями два лінійних провідники, що під'єднують двигун до мережі. У цьому випадку змінюється черговість фазних напруг, а напрям обертання магнітного поля статора змінюється на протилежний, що і призводить до зміни напрямку обертання ротора.

Регулювання частоти обертання асинхронних двигунів

Частоту обертання ротора асинхронного двигуна можна регулювати зміною якої-небудь із трьох величин: ковзання S , частоти струму в обмотці статора f або числа полюсів в обмотці статора p .

Регулювати частоту обертання *зміною ковзання S* можна трьома способами: зміною напруги, що підводиться до обмоток статора, порушенням симетрії цієї напруги та зміною активного опору обмотки ротора. Регулювання частоти обертання зміною ковзання відбувається тільки в навантаженому двигуні. У режимі холостого ходу ковзання, а отже, і частота обертання залишаються практично незмінними.

Регулювання частоти обертання зміною активного опору в колі ротора. Цей спосіб регулювання частоти обертання можливий лише у двигунах із фазним ротором. Механічні характеристики асинхронного двигуна, побудовані для різних значень активного опору кола ротора (див. мал. 4.7), показують, що зі збільшенням активного опору ротора зростає критичне ковзання, а критичний момент лишається незмінним. Практично зміна активного опору



Мал. 4.7 – Вплив величини додаткового опору на вигляд механічної характеристики асинхронного двигуна

кола ротора досягається включенням у коло ротора регулювального реостата, подібного до пускового реостата, але розрахованого на тривалий режим роботи. Електричні втрати в роторі пропорційні ковзанню, тому зменшення частоти обертання (збільшення ковзання) супроводжується ростом електричних втрат у колі ротора й зниженням ККД двигуна. Це свідчить про неекономічність розглянутого способу регулювання. До того ж, необхідно мати на увазі, що ріст

втрат у роторі супроводжується погіршенням умов вентиляції через зниження частоти обертання, що призводить до перегрівання двигуна. Окрім того, при цьому у самому реостаті втрачається велика кількість енергії (тому реостат має великі габарити та вартість), а зменшення кутової швидкості ротора супроводжується зменшенням потужності двигуна.

Розглянутий спосіб регулювання має ще і той недолік, що ділянка механічної характеристики, що відповідає усталеній роботі двигуна, при введенні в коло ротора додаткового опору стає більш пологою і коливання навантажувального моменту на валу двигуна супроводжуються значними змінами частоти обертання ротора. Це ілюструє мал. 4.7, на якому видно, що, якщо навантажувальний момент двигуна зміниться з M_1 на M_2 , то зміна частоти обертання при виведеному регульовальному реостаті (коли $R = R_1$) складе з ω_1 до ω_2 , а при введеному реостаті (коли $R = R_5$) ця зміна складатиме з ω_1' до ω_2' . Як видно з малюнку, в останньому випадку зміна частоти обертання значно більша, що призводить до різкого сповільнення двигуна.

Але, незважаючи на зазначені недоліки, розглянутий спосіб регулювання частоти обертання широко застосовується в асинхронних двигунах із фазним ротором (наприклад, у стендах для обкатування автотракторних двигунів та у деяких вантажопідіймальних механізмах). Залежно від конструкції регульовального реостата цей спосіб регулювання частоти обертання може бути плавним (при плавній зміні опору) чи ступінчатим (при ступінчатій зміні опору).

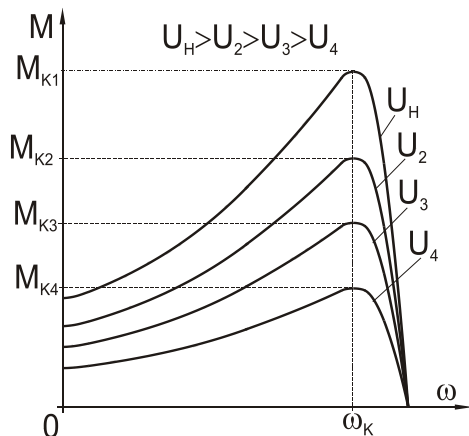
При малих навантаженнях такий спосіб забезпечує регулювання частоти обертання в дуже вузькому діапазоні, при великих – забезпечує регулювання частоти обертання в широкому діапазоні, але тільки вниз від синхронної частоти обертання. Разом із тим, він забезпечує двигуну поліпшені пускові властивості.

Регулювання частоти обертання зміною напруги живлення.

Електромагнітний момент асинхронного двигуна пропорційний квадрату напруги мережі живлення. Це значною мірою відбивається на експлуатаційних властивостях двигуна: *навіть невелике зниження напруги мережі викликає помітне зменшення обертового моменту асинхронного двигуна*. Наприклад, при зменшенні напруги мережі на 10% відносно номінальної електромагнітний момент двигуна зменшується на 19%.

Можливість цього способу регулювання підтверджується графіками механічних характеристик двигуна, побудованими для

різних значень напруги живлення U (див. мал. 4.8). При незмінному навантаженні на валі двигуна збільшення напруги, що підводиться до двигуна, викликає ріст частоти обертання. Однак діапазон регулювання частоти обертання виходить невеликим (у межах 1,3:1), що пояснюється вузькою зоною усталеної роботи двигуна, обмеженим значенням критичного ковзання й не припустимістю значного перевищення номінального значення напруги. Останнє пояснюється тим, що з перевищенням номінальної напруги виникає небезпека надмірного перегрівання двигуна, викликаного різким збільшенням електричних і магнітних утрат. У той же час із зменшенням напруги U двигун втрачає переважувальну здатність, що, як відомо, пропорційна квадрату напруги мережі живлення, а також зменшуються його коефіцієнти корисної дії та потужності. Підведену до двигуна напругу змінюють або регулювальним автотрансформатором, або реакторами, що включаються в



Мал. 4.8 – Вплив величини напруги живлення на вигляд механічної характеристики асинхронного двигуна

розрив лінійних проводів. Вузький діапазон регулювання і неекономічність (необхідність у додаткових пристроях) обмежують ділянку застосування цього способу регулювання частоти обертання. Названий метод регулювання кутової швидкості застосовується у системах вентиляції тваринницьких ферм типу “Клімат”, “Кліматика”, у яких для розширення діапазону регулювання використовуються спеціальні двигуни з підвищеним критичним ковзанням.

Регулювання частоти обертання зміною числа полюсів обмотки статора. Цей спосіб регулювання заснований на зміні синхронної частоти обертання $n_C = 60 f/p$ і дає ступінчасте регулювання. Так, при $f = 50$ Гц і $p = 1 \div 5$ пар полюсів можна одержати такі синхронні частоти обертання: 3000, 1500, 1000, 750, 600 об./хв.

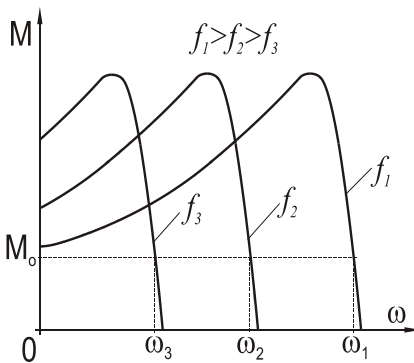
Змінювати число полюсів в обмотці статора можна або укладанням на статорі двох обмоток із різним числом полюсів, або укладанням на статорі однієї обмотки, конструкція якої дозволяє шляхом переключення котушкових груп одержувати різне число

полюсів. Останній спосіб набув найбільшого застосування, а двигуни, у яких передбачена така можливість, називаються *багатошвидкісними*.

Регулювання частоти обертання зміною числа полюсів на статорі застосовують винятково в асинхронних двигунах із короткозамкнутим ротором, тому що число полюсів в обмотці цього ротора завжди дорівнює числу полюсів статора і для зміни частоти обертання досить змінити число полюсів в обмотці статора. У разі ж фазного ротора довелося б і на роторі застосувати полюсну обмотку, яка переключається, що призвело б до неприпустимого ускладнення двигуна.

Регулювання частоти обертання зміною частоти струму в статорі. Цей спосіб регулювання (частотне регулювання) також заснований на зміні синхронної частоти обертання $n_c = 60 f/p$.

Для здійснення цього способу регулювання необхідне джерело живлення двигуна змінним струмом із регульованою частотою. Для цього можуть застосовуватися електромашинні, іонні чи напівпровідникові перетворювачі частоти (ПЧ). Щоб регулювати частоту обертання, досить змінити частоту струму f . Але зі зміною частоти буде змінюватися і максимальний момент. Тому для збереження незмінними перевантажувальної здатності, коефіцієнта потужності і ККД двигуна на потрібному рівні необхідно одночасно зі зміною частоти f змінювати і напругу живлення U . Якщо частота обертання двигуна регулюється за умови *сталості моменту навантаження* ($M = \text{const}$ див. мал. 4.9), то підведену до двигуна напругу необхідно змінювати пропорційно зміні частоти



Мал. 4.9 – Вплив частоти струму живлення на вигляд механічної характеристики асинхронного двигуна

струму, так щоб $U/f = \text{const}$. При цьому потужність двигуна збільшується пропорційно наростанню частоти обертання. Частотне регулювання двигунів дозволяє плавно змінювати частоту обертання в широкому діапазоні (до 12:1). Однак джерела живлення з регульованою частотою струму здорожують установку. Тому частотне регулювання до останнього часу застосовувалося в основному для одночасного регулювання групи двигунів, що працюють в однакових умовах (наприклад,

рольгангових двигунів). Але завдяки розвитку силової напівпровідникової техніки в останні роки створені пристрої частотного регулювання асинхронними двигунами типів ТПЧ-15, ТПЧ-30, ТПЧ-60, ТПЧ-100, що розраховані для підключення асинхронних приводів потужністю 15-100 кВт. Вони мають кращі техніко-економічні показники порівняно з електромеханічними перетворювачами і застосовуються для індивідуального регулювання асинхронними двигунами. Використання асинхронних двигунів, укомплектованих такими пристроями для частотного регулювання, найбільше доцільне в пожежо- і вибухонебезпечних середовищах (хімічна й нафтопереробна промисловість), де застосування колекторних двигунів неприпустиме.

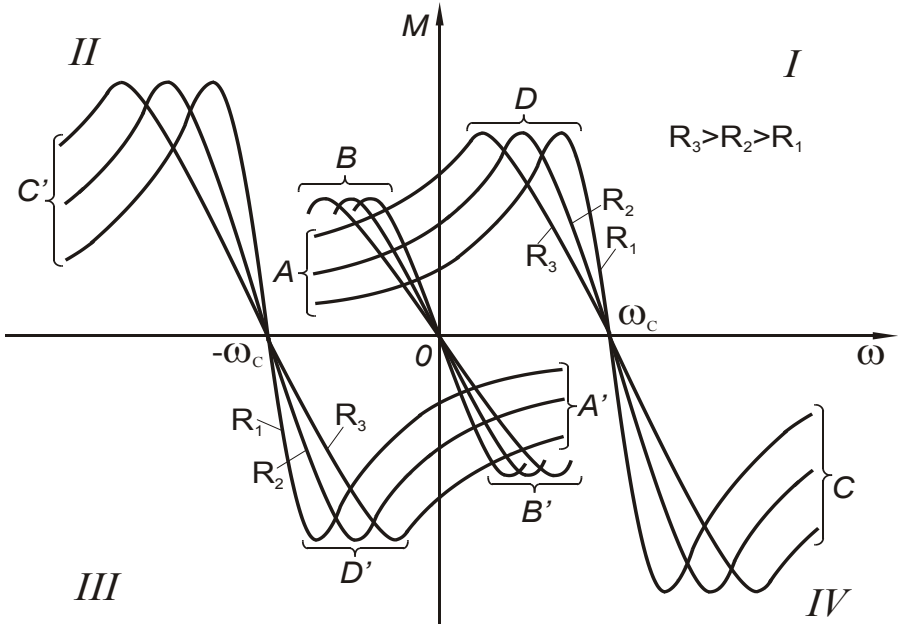
Режими роботи асинхронних двигунів. Наведеним вище режимом не вичерпуються всі можливості зазначеного двигуна, значний інтерес становлять можливості переведення асинхронного двигуна на роботу у гальмівних режимах, що дозволяють швидко загальмовувати робочу машину. З великого числа можливих способів гальмування електродвигунів розглянемо три, що становлять найбільший інтерес для сільського господарства.

Гальмування з рекуперацією енергії полягає у тому, що двигун у період гальмування переводиться у режим асинхронного генератора, який виробляє активну електричну енергію і подає її у мережу, а реактивну енергію, що необхідна для створення магнітних полів, споживає з мережі. У цьому режимі двигун під дією зовнішніх сил чи запасу кінетичної енергії обертається у попередньому напрямі зі швидкістю, більшою за синхронну, розвиваючи при цьому гальмівний момент. Механічні характеристики цього режиму знаходяться у IV квадранті (див. мал. 4.10), будучи природнім продовженням характеристик рушійного режиму для прямого (умовно) попереднього обертання ($\omega_{\text{п}} > 0$), що розміщені у I квадранті. Механічні характеристики гальмівного режиму з рекуперацією енергії при зворотному (умовно) обертанні ($\omega_{\text{п}} < 0$) розміщуються у II квадранті, і є природнім продовженням характеристик рушійного режиму, які знаходяться у III квадранті.

Рекуперативне гальмування використовують при гарячому обкатуванні автотракторних двигунів після ремонту. Асинхронний двигун із фазним ротором, що раніше приводив у рух відремontований автотракторний двигун, при наданні йому з боку останнього кутової швидкості, більшої від синхронної, починає працювати у рекуперативному гальмівному режимі і завантажуватиме відремontований автотракторний двигун.

Рекуперативне гальмування в електроприводах металообробних станків у підймальних механізмах та екскаваторах часто застосовується при використанні двигунів із зміною числа пар полюсів. При перемиканні з меншого числа пар полюсів на більше гальмування проходить до тих пір, поки кутова швидкість не знизиться до кутової швидкості, що відповідає найбільшому можливому числу пар полюсів. Подальше гальмування проходить за рахунок механічного гальма.

Гальмування противмиканням. Це такий режим, при якому ротор двигуна під дією зовнішніх сил чи за інерцією обертається у напрямі, протилежному обертанню магнітного поля статора. Галь-



Мал. 4.10 – Механічні характеристики асинхронного двигуна при різних режимах роботи: *A* – гальмівний спуск при прямому попередньому обертанні $\omega_{\Pi} > 0$ (збігаються із гальмуванням противмиканням при зворотному попередньому обертанні $\omega_{\Pi} < 0$); *A'* – гальмівний спуск при зворотному попередньому обертанні $\omega_{\Pi} < 0$ (збігаються із гальмуванням противмиканням при прямому попередньому обертанні $\omega_{\Pi} > 0$); *B* – динамічне гальмування при зворотному попередньому обертанні $\omega_{\Pi} < 0$; *B'* – динамічне гальмування при прямому попередньому обертанні $\omega_{\Pi} > 0$; *C* – гальмування з рекуперацією енергії при прямому попередньому обертанні $\omega_{\Pi} > 0$; *C'* – гальмування з рекуперацією енергії при зворотному попередньому обертанні $\omega_{\Pi} < 0$; *D* – рушійний режим при $\omega_{\Pi} > 0$; *D'* – рушійний режим при $\omega_{\Pi} < 0$

мування противмиканням можна здійснити двома шляхами. У режимі гальмівного спуску асинхронний двигун працює тоді, коли він включений для обертання в одному напрямку, але під дією навантаження (наприклад, великої ваги вантажу) обертається у іншому. Механічні характеристики, що відповідають даному режиму, розміщені у II квадранті при прямому попередньому обертанні ($\omega_{\text{п}} > 0$) і в IV квадранті при зворотному попередньому обертанні ($\omega_{\text{п}} < 0$). При цьому струми в обмотках двигуна можуть перевищувати номінальні значення у 7-8 разів, тому в коло ротора вмикають відповідний додатковий опір.

Гальмування противмиканням при перемиканні фаз обмоток на зворотне обертання на ходу двигуна засноване на тому, що в результаті перемикання фаз змінюється напрям обертання магнітного поля статора, створюється гальмівний момент, обертання ротора при цьому сповільнюється. Коли кутова швидкість ротора наблизиться до нуля, його необхідно відключити від мережі, а то він почне обертатись у зворотному напрямі. Механічні характеристики названого режиму розміщені у IV та II квадрантах. Оскільки перемикання обмоток статора на ходу двигуна супроводжується різким зростанням струмів в обмотках статора та ротора, то у коло ротора необхідно обов'язково попередньо включити додатковий опір.

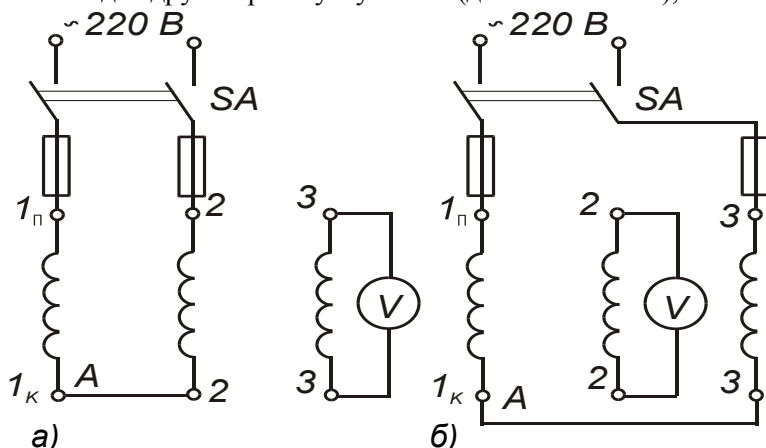
Динамічне гальмування. Це такий режим, при якому фазні обмотки статора двигуна відключаються від мережі змінного струму і хоча б на одну з них подається понижена постійна напруга. Постійний струм, що протікає по обмотці, створює нерухоме магнітне поле. Під його дією, в обмотках ротора, що обертається за інерцією, індукується струм. Взаємодія цього струму з магнітним потоком зумовлює виникнення гальмівного моменту. Механічні характеристики режиму динамічного гальмування знаходяться у IV та II квадрантах. Вони проходять через початок координат, оскільки при кутовій швидкості, рівній нулю, гальмівний момент у цьому режимі також рівний нулю. Величина максимального гальмівного моменту пропорційна квадрату прикладеної до статора напруги.

Характерною несправністю асинхронного двигуна чи лінії його живлення є “обрив фази”, коли одна або дві фазні обмотки двигуна виявляються відключеними. При цьому зменшується сумарний магнітний потік двигуна Φ , але, оскільки при цьому навантаження двигуна i , відповідно, електромагнітний момент, який він розвиває, лишаються незмінними, то відповідно до формули (4.2) повинен зрости струм у роторі двигуна I_2 . Це зростання відбувається за рахунок деякого сповільнення ротора двигуна й зростання

величини ковзання S , унаслідок чого двигун починає посилено гудіти. У цьому разі, за рахунок магнітного зв'язку між обмотками ротора й статора, як у трансформатора, зростає і струм в обмотках статора двигуна, що працюють. Тому, коли при “обриві фази” навантаження двигуна перевищує $0,5P_H$, його необхідно відключити від мережі. Коли ж “обрив фази” двигуна відбудеться перед запуском – двигун не запуститься. Для захисту двигунів від роботи при “обриві фази” (їх відключення) у колах їх живлення використовують спеціальні апарати – теплові реле або автоматичні вимикачі.

ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

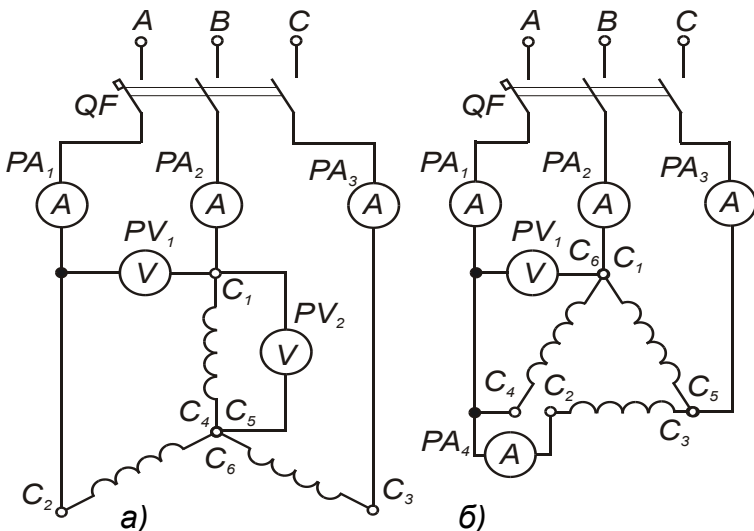
1. Вивчити конструкцію асинхронних трифазних електродвигунів із короткозамкнутим та фазним ротором, що розміщені на стендах.
2. Визначити “початки” і “кінці” фазних обмоток статора двигуна. Якщо відсутні бірки з позначенням “початків” та “кінців” обмоток статора асинхронного двигуна, то перед підключенням цього двигуна до мережі їх необхідно визначити. Це найзручніше зробити методом трансформації у такій послідовності. Одним із методів проходження струму визначають виводи, що належать до кожної з фаз. Для цього можна використати джерело живлення та контрольну лампочку чи вольтметр і, з'єднавши їх послідовно, почергово підключати до виводів двигуна. Коли струм проходить, це означає, що виводи належать до однієї фази. Нумерувати фази можна довільно. Далі, також довільно, можна вибрати початок першої фази і вже відносно нього визначати “початки” і “кінці” решти фаз. Потім з'єднаємо “кінець” першої фази з одним із виводів другої фази у вузол А (див. мал. 4.11а), вільні кінці



Мал. 4.11 – Схеми з'єднань обмоток статора при визначенні “початків” та “кінців” фаз методом трансформації

цього єднання під'єднують до мережі змінного струму 220 В. До затискачів третьої фази під'єднують контрольну лампочку або вольтметр із шкалою до 30-60 В, і за допомогою вимикача SA подають напругу, при цьому може бути два випадки:

1. вольтметр показує деяку напругу (контрольна лампочка горить) – значить у вузол *A* з'єднано різнойменні виводи (“кінець” першої фази з “початком” другої);
 2. вольтметр показує “нуль” (контрольна лампочка не горить) – значить у вузол *A* з'єднано однойменні виводи (“кінець” першої фази з “кінцем” другої); “початки” і “кінці” третьої фази визначають аналогічно (див. мал. 4.11б).
3. Зібрати електричне коло (мал. 4.12 а) для включення електричного двигуна у трифазну мережу при з'єднанні обмоток статора “зіркою” і дослідити його роботу при обриві однієї з фаз перед запуском і під час роботи. Здійснити реверс двигуна, результати записати у таблицю 4.3.



Мал. 4.12 – Схеми з'єднань обмоток статора при дослідженні параметрів двигуна: а) - з'єднання “зіркою”, б) - з'єднання “трикутником”

Таблиця 4.3

Схема з'єднань обмоток статора двигуна	Напруга, В		Струм, А								
			запуск		номінальна робота		обрив фази				
	$U_{Л}$	$U_{Ф}$	$I_{ПЛ}$	$I_{ПФ}$	$I_{НЛ}$	$I_{НФ}$	при роботі	перед пуском	$I_{Л}$	$I_{Ф}$	
Y											
Δ											

4. Зібрати електричне коло (мал. 4.12 б) для включення двигуна в трифазну мережу при з'єднанні обмоток статора “трикутником” і дослідити його роботу аналогічно до п. 3.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке механічна характеристика двигуна?
2. Що таке перевантажувальна здатність та жорсткість механічної характеристики електродвигуна?
3. Як побудовані та працюють асинхронні двигуни з короткозамкнутим і фазним ротором?
4. Чи може ротор асинхронного двигуна обертатися синхронно з обертовим полем статора і чому?
5. Що таке ковзання асинхронної машини і який діапазон зміни ковзання асинхронної машини в різних режимах її роботи?
6. Яким чином асинхронний двигун можна перевести в режим гальмування з рекуперацією енергії і де цей режим використовується?
7. Яким чином асинхронний двигун можна перевести в режим гальмування противмиканням і де цей режим використовується?
8. Яким чином асинхронний двигун можна перевести в режим динамічного гальмування і де цей режим використовується?
9. Якими показниками характеризуються пускові властивості асинхронних двигунів?
10. Які переваги й недоліки пускових властивостей асинхронних двигунів?
11. Які існують способи пуску асинхронних двигунів при зниженій напрузі?
12. Які існують способи регулювання частоти обертання асинхронних двигунів і які у них переваги та недоліки?
13. Чому при частотному регулюванні частоти обертання одночасно з частотою струму необхідно змінювати напругу?
14. Чому при “обриві фази” зростає струм в обмотках двигуна, що працюють?
15. Як можна визначити “початки” та “кінці” обмоток статора трифазної машини?

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Практикум з електропривода/ В. С. Олійник, О. С. Марченко, Е. Л. Жулай та ін. – К.: Урожай, 1995. - 192 с. (С. 34 - 40);
2. Електропривод/ О. С. Марченко, Ю. М. Лавриненко, П. І. Савченко, Е. Л. Жулай. – К.: Урожай, 1995. – 208 с. (С. 37 – 50, 85 - 112);
3. Цейтлин Л. С. Электропривод, электрооборудование и основы управления. – М.: Высшая школа, 1985. – 192 с. (С. 102-122);

4. Мякишев Н. Ф. Электропривод, электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных и установок. – М.: Агропромиздат, 1986. – 176 с. (С. 27 – 36, 44 - 58).
5. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок/ Под ред. И. Ф. Кудрявцева. – М.: Агропромиздат, 1988. – 480 с. (С. 40 - 52).

**ПРОГРАМА ПОЗААУДИТОРНОЇ САМОСТІЙНОЇ
ПІДГОТОВКИ:**

№ з/п	Вид підготовки	Час, год
1	За рекомендованою літературою вивчити будову та принцип роботи асинхронних двигунів	2
2	Вивчити можливі методи регулювання кутової швидкості асинхронних двигунів, їх переваги та недоліки, а також можливі гальмівні режими цих двигунів	2
3	Підготувати робочий зошит для виконання лабораторної роботи, у який записати: <ul style="list-style-type: none"> - назву та мету роботи; - короткі теоретичні пояснення (конспективно) із необхідними для розрахунків формулами; - вказівки щодо виконання роботи; - таблицю 4.3; - електричні схеми експериментів (мал. 4.11, 4.12) 	1

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

**ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО
ДВИГУНА В ОДНОФАЗНОМУ РЕЖИМІ**

Мета роботи: вивчити конструкцію та принцип дії однофазного асинхронного двигуна, ознайомитися з деякими схемами підключення трифазного асинхронного двигуна в однофазну мережу і дослідити його роботу при пускових та номінальних режимах.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЯСНЕННЯ

У багатьох випадках електропривод робочих машин технічно чи економічно доцільніше здійснювати від мережі однофазного змінного струму, ніж від трифазного. Привід від однофазної мережі змінного струму знаходить застосування у сільськогосподарському виробництві, фермерських господарствах, пристроях автоматики, у

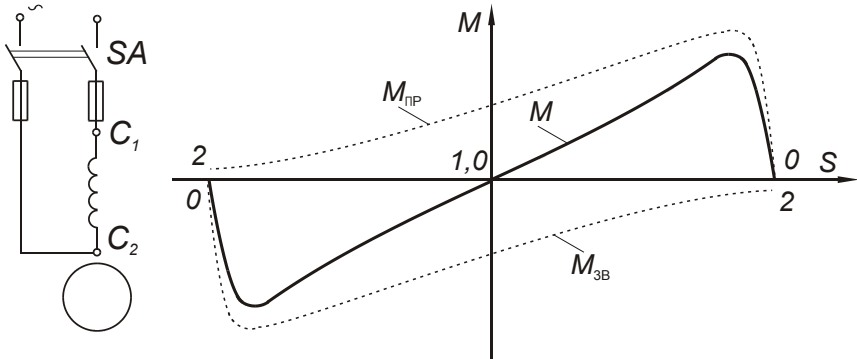
побути та ін. Промисловість випускає однофазні електродвигуни порівняно невеликої потужності (до 0,8-1,5 кВт), тому виникає необхідність використання трифазних асинхронних двигунів в однофазній мережі. Принцип роботи трифазних двигунів в однофазній мережі подібний до принципу роботи однофазних двигунів, тому доцільніше почати вивчення з останнього.

За своєю будовою однофазний асинхронний двигун аналогічний трифазному і складається зі статора, у пазах якого розміщена однофазна обмотка, і короткозамкнутого ротора (див. мал. 5.1а). Особливість роботи однофазного асинхронного двигуна полягає в тому, що при включенні однофазної обмотки статора у мережу створюється не обертовий, а *пульсуючий* магнітний потік з амплітудою Φ_{max} , що змінюється від $+\Phi_{max}$ до $-\Phi_{max}$. При цьому вісь магнітного потоку залишається нерухомою у просторі. Для пояснення принципу дії однофазного двигуна пульсуючий потік Φ_{max} розкладемо на два обертових у протилежні сторони потоки $\Phi_{пр}$ і $\Phi_{зв}$, кожен із яких дорівнює $0,5\Phi_{max}$. Домовимося вважати потік $\Phi_{пр}$, що обертається в напрямку обертання ротора, *прямим*, а потік $\Phi_{зв}$ – *зворотним*. Ці два обертових потоки перетинають витки коротко-замкнутої обмотки ротора і створюють на роторі два обертових моменти $M_{пр}$ та $M_{зв}$, що діють у протилежних напрямках. Результуючий момент M однофазного двигуна дорівнює сумі цих моментів (див. мал. 5.1 б).

При $\omega = 0$ ($S = 1$) моменти $M_{пр}$ та $M_{зв}$ рівні, а тому пусковий момент однофазного двигуна дорівнює нулю. Отже, однофазний асинхронний двигун не може самостійно зрушити з місця при підключенні його до мережі, а має потребу в первісному поштовху, тому, що лише при $S \neq 1$ на ротор двигуна діє обертовий момент $M = M_{пр} - M_{зв}$.

Наведені на мал. 5.1 залежності моментів показують, що однофазний асинхронний двигун не створює пускового моменту. Щоб цей момент з'явився, необхідно під час пуску двигуна створити в ньому обертове магнітне поле. З цією метою на статорі двигуна крім робочої обмотки P , застосовують ще одну - пускову Π . Ці обмотки розташовують на статорі, так, щоб їх осі були зміщені одна відносно одної на 90 електричних градусів. Крім того, струми в обмотках статора I_P і I_{Π} повинні бути зсунуті по фазі один відносно одного. Для цього в коло пускової обмотки включають фазозсуваючий елемент (ΦE), у якості якого можуть бути застосовані активний опір, індуктивність чи ємність (мал. 5.2 а). При досягненні частоти обертання, близької до номінальної, пускову

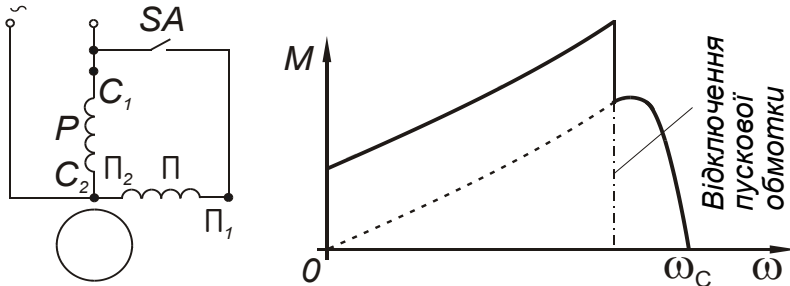
обмотку Π відключають за допомогою реле. Таким чином, під час пуску двигун є двофазним і має пусковий момент (мал. 5.2 б), а під час роботи – однофазним.



Мал. 5.1 – Електрична схема (а) та механічна характеристика (б) однофазного асинхронного двигуна

Для одержання обертового магнітного поля за допомогою двох обмоток на статорі, що зміщені одна відносно одної на 90 електричних градусів, необхідно дотримуватись таких умов:

- а) магнітні потоки робочої й пускової обмоток повинні бути рівні і зсунуті в просторі один відносно одного на 90 ел. град;
- б) струми в обмотках статора I_P і I_{Π} повинні бути зсунуті по фазі один відносно одного на 90° .



Мал. 5.2 – Електрична схема (а) та механічна характеристика (б) однофазного асинхронного двигуна з пусковою обмоткою

При *строгому* дотриманні зазначених умов обертове поле статора є *круговим*, що відповідає найбільшому обертовому моменту. При *частковому порушенні* якої-небудь з умов поле статора стає *еліптичним*, і містить зворотну складову. Зворотна складова поля створює гальмівний момент і погіршує пускові властивості двигуна.

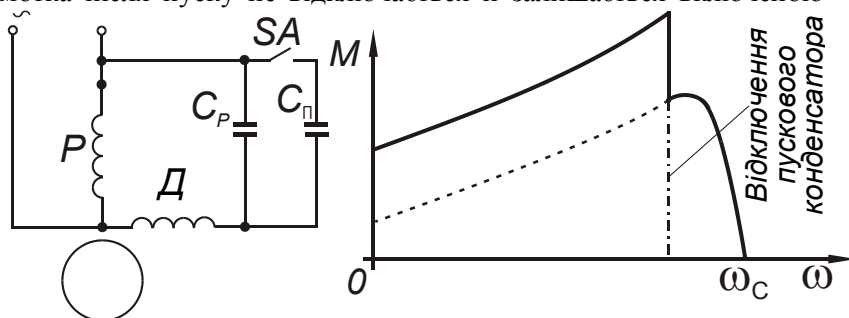
Активний опір та індуктивність у якості ΦE не забезпечують одержання фазового зсуву між струмами в 90° . Лише тільки

ємність C в якості ΦE забезпечує необхідний фазовий зсув. Значення цієї ємності вибирають таким, щоб струм пускової обмотки I_{Π} у момент пуску ($S = 1$) випереджав по фазі напругу на кут до 90° . Якщо при цьому обидві обмотки створюють однакові за значенням магнітні потоки, то в початковий період пуску обертове поле виявиться круговим і двигун буде розвивати значний початковий пусковий момент. Однак застосування ємності в якості ΦE часто обмежується значними габаритами конденсаторів, тим більше, що для одержання кругового поля потрібні конденсатори значної ємності. Наприклад, для однофазного двигуна потужністю 200 Вт необхідна ємність 30 мкФ при робочій напрузі 300-500 В.

Набули поширення однофазні двигуни з активним опором у якості ΦE . При цьому підвищений активний опір пускової обмотки досягається тим, що вона виконується проводом зменшеного перетину (порівняно з проводом робочої обмотки). Оскільки ця обмотка включена на нетривалий час (звичайно, кілька секунд), то така її конструкція цілком припустима. Пусковий момент таких двигунів, звичайно, не перевищує номінального, але це цілком прийнятно при пуску двигунів із невеликим навантаженням на валі. Застосування ємності в якості ΦE дозволяє одержати пусковий момент $M_{\Pi} = (1,6 - 2,0) M_H$.

Асинхронні конденсаторні двигуни

Асинхронний конденсаторний двигун має на статорі дві обмотки, що займають однакове число пазів і зсунуті в просторі одна відносно одної на 90 ел. град. Одну з обмоток – головну – включають безпосередньо в однофазну мережу, а іншу – допоміжну – включають у цю ж мережу, але через робочий конденсатор C_P (мал. 5.3 а). На відміну від розглянутого раніше однофазного асинхронного двигуна, в конденсаторному двигуні допоміжна обмотка після пуску не відключається й залишається включеною



Мал. 5.3 – Електрична схема (а) та механічна характеристика (б) однофазного конденсаторного асинхронного двигуна

протягом усього періоду роботи, при цьому ємність C_P створює фазовий зсув між струмами I_P і I_D .

Таким чином, якщо однофазний асинхронний двигун після закінчення процесу пуску працює з пульсуючим магнітним потоком статора, то конденсаторний двигун – з обертовим. Тому конденсаторні двигуни за своїми властивостями наближаються до трифазних двигунів. Однак ємність C_P забезпечує одержання кругового обертового поля лише за одного, цілком визначеного режиму роботи двигуна. Якщо ж зміниться режим (навантаження), то зміняться і струм I_D , і фазовий кут, а отже, і величина C_P , що відповідає круговому полю. Таким чином, якщо навантаження двигуна відрізняється від розрахункового, то обертове поле двигуна стає еліптичним і робочі властивості двигуна погіршуються. Звичайно, розрахунок C_P ведуть для номінального навантаження чи близького до нього.

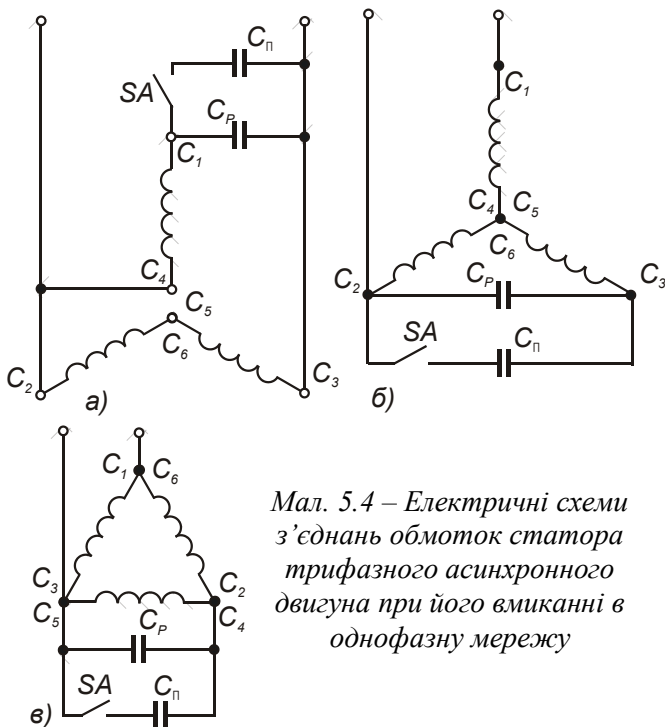
Володіючи порівняно високими ККД і коефіцієнтом потужності ($\cos\phi = 0,80 \div 0,95$), конденсаторні двигуни мають нерадовільні пускові властивості, тому що ємність C_P забезпечує кругове поле лише при розрахунковому навантаженні, а при пуску двигуна поле статора еліптичне. При цьому пусковий момент, звичайно, не перевищує $0,5M_H$.

Для підвищення пускового моменту паралельно до ємності C_P включають ємність $C_{П}$, названу *пусковою* (мал. 5.3а). Величину $C_{П}$ вибирають, виходячи з умов одержання кругового поля статора при пуску двигуна, тобто одержання найбільшого пускового моменту. Після закінчення пуску ємність $C_{П}$ варто відключити, тому що при невеликих ковзаннях у колі обмотки статора, що містить ємність C та індуктивність L , можливий резонанс напруг, через що напруга на обмотці і на конденсаторі може у два-три рази перевищити напругу мережі. На мал. 5.3, б наведено механічну характеристику однофазного асинхронного двигуна із пусковою ємністю $C_{П}$.

При виборі типу конденсатора варто пам'ятати, що його робоча напруга визначається амплітудним значенням синусоїдальної напруги, прикладеної до конденсатора. При круговому обертовому полі ця напруга перевищує напругу мережі.

Робота трифазного асинхронного двигуна від однофазної мережі

Трифазний асинхронний двигун може бути використаний для роботи від однофазної мережі. У цьому разі такий двигун включають як конденсаторний за однією зі схем, наведених на мал. 5.4. Значення робочої ємності C_P (мкФ) при частоті змінного струму 50 Гц можна орієнтовно визначити за однією з формул: для схеми,



Мал. 5.4 – Електричні схеми з'єднань обмоток статора трифазного асинхронного двигуна при його вмиканні в однофазну мережу

зображеної на мал. 5.4 а:

$$C_P \approx 2700 \cdot I / U_M,$$

на мал. 5.4 б:

$$C_P \approx 2800 \cdot I / U_M,$$

на мал. 5.4 в:

$$C_P \approx 4800 \cdot I / U_M.$$

Тут I – номінальний фазний струм в обмотці статора, А;

U_M – напруга однофазної мережі, В.

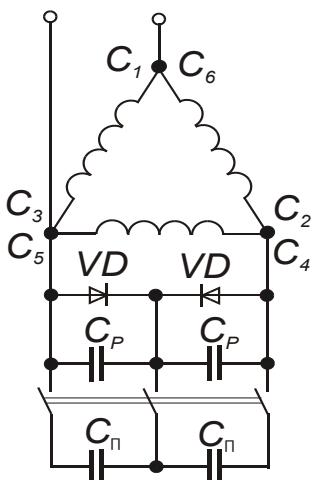
При підборі робочої ємності необхідно стежити за тим, щоб струм у фазних обмотках статора

при сталому режимі роботи не перевищував номінального значення. Коли пуск двигуна відбувається при значному навантаженні на валу, паралельно до робочої ємності C_P включають пускову ємність:

$$C_{II} = (2,5 \dots 3,0) C_P.$$

У цьому разі пусковий момент стає рівним номінальному. За необхідності подальшого збільшення пускового моменту потрібно прийняти ще більше значення пускової ємності.

Велике значення для надійної роботи асинхронного двигуна в якості конденсаторного має правильний вибір конденсатора за напругою. Варто мати на увазі, що габарити й вартість конденсаторів визначаються не тільки їхньою ємністю, але й робочою напругою. Тому вибір конденсатора з великим “запасом” за напругою призводить до невиправданого збільшення габаритів і вартості установки, а включення конденсаторів на напругу, що перевищує допустиму робочу напругу, призводить до передчасного виходу з ладу конденсаторів, а отже, і всієї установки. Визначаючи напругу на конденсаторі при включенні двигуна за однією з розглянутих схем, необхідно мати на увазі: при включенні двигуна за схемою мал. 5.4а напруга на конденсаторі



Мал. 5.5 – Електрична схема з'єднань обмоток статора трифазного асинхронного двигуна при його вмиканні в однофазну мережу за допомогою електролітичних конденсаторів

дорівнює $U_K \approx 1,3U_M$, а при включенні двигуна за схемами мал. 5.4б, в ця напруга дорівнює $U_K \approx 1,15U_M$.

У схемах конденсаторних двигунів, звичайно, застосовують паперові конденсатори в металевому герметичному корпусі прямокутної форми типів КБГ-МН чи БГТ (термостійкі). На корпусі конденсатора зазначені смінь і робоча напруга, яка повинна бути не меншою 1,3 номінальної напруги мережі. Як пускові конденсатори можна використовувати менші за габаритами та дешевші електролітичні типу ЕП, що спеціально призначені для цієї мети (робоча напруга не менше 450 В). Слід мати на увазі, що електролітичні конденсатори, розраховані на роботу у колах постійного струму, тому у колах змінного струму вони можуть працювати лиш декілька секунд і після запуску двигуна їх необхідно обов'язково виключати. Електролітичні конденсатори, можна викорис-

Таблиця 5.1

Дані для вмикання трифазного асинхронного електродвигуна напругою 220/380 В в однофазну мережу напругою 220 В

Потужність, кВт	Частота обертів, хв ⁻¹	Номинальний струм, А	Величина робочої ємності, мкФ				Величина пускової ємності, мкФ		Тип робочої ємності		Тип пускової ємності		Диоди
			Схема						5.4в		5.5		
			5.4в	5.5	5.4в	5.5	5.4в	5.5	5.4в	5.5			
1,1	2790	4	131	262	328-393	656-786	МБГП	КЕ	МБГП	КЕ	КД222М		
1,1	1395	4,8	104	208	260-312	520-624	КБГ-МН	К50-3	КБГ-	К50-3	КД202Р		
1,5	2850	5,7	124	248	310-372	620-744	БГТ	К50-6	МН	К50-6	2Д202А		
1,5	1395	6,2	135	270	338-405	676-810	МБГЧ	К50-7	БГТ	К50-7	КД206А		
2,2	2850	8,0	175	350	438-525	876-1050	МБГО	К50-12	МБГЧ	К50-12	КД206А		
2,2	1410	8,7	190	380	475-570	958-1140	МБГТ	К50-17	МБГО	К50-17	2Д206Б		
3,0	2820	10,6	231	462	578-693	1156-1386		К50-19	МБГТ	К50-19	Д246А		
3,0	1410	11,6	253	506	633-759	1266-1518		К50-20	ЕП	К50-20	Д246		
4,0	2880	13,7	299	598	747-897	1494-1794		К50-32		К50-32	Д246Б		
4,0	1410	14,9	325	658	813-975	1626-1950					Д247Б		
5,5	2880	18,2	397	794	993-1197	1986-2394					Д248Б		
5,5	1435	19,9	434	868	1085-1302	2170-2604					Д247		
											КД206Б		

товувати і як робочі, але при спеціальній схемі вмикання (див. мал. 5.5). У табл. 5.1 наведені величини ємностей та типи конденсаторів і діодів для двох найчастіше використовуваних схем (мал. 5.4 в та мал. 5.5).

При використанні трифазного двигуна в однофазному конденсаторному режимі його корисна потужність, звичайно, не перевищує 70-80 % номінальної потужності, а при однофазному режимі без робочої ємності корисна потужність двигуна не перевищує 60 % його номінальної потужності.

Для керування електродвигуном, що вмикається за схемою з робочою та пусковою ємностями, доцільно використовувати пускач натискний вібростійкий, типу ПНВС, що має спеціальні пускові контакти, які розмикають коло пускової ємності при відпусканні кнопки “пуск”. Можна також використовувати магнітні пускачі та кнопкові пости, що вмикаються за спеціальними схемами. Для зміни напрямку обертання двигуна достатньо поміняти місцями виводи робочої чи пускової обмоток.

ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 1) Записати паспортні дані електродвигуна і вирахувати величини фазозсувних елементів, для під'єднання двигуна у однофазну мережу при різних її напругах. Результати записати у табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Паспортні дані досліджуваного двигуна

Тип електродвигуна	P_H кВт	U_H В	I_H А	$\cos\varphi_H$	ККД %	U В	R_{II} Ом	C_P Мкф	C_{II} Мкф
						220			
						127			

- 2) Зібрати вказані викладачем електричні схеми під'єднання трифазних двигунів в однофазну мережу (мал. 5.6 а, б, в), та дослідити їх роботу при запуску і навантаженні, і здійснити реверс двигуна. Результати записати у табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Протокол дослідження роботи трифазного двигуна в однофазній мережі

Схема з'єднання обмоток статора	Напруга мережі, В	Величина ємності (мкФ), або опору (Ом)			Струм, А			
		C_P	C_{II}	R_{II}	робоча обмотка		допоміжна обмотка	
					I_{II}	I_H	I_{II}	I_H
а								
б								
в								

Схеми дослідження роботи трифазного двигуна в однофазній мережі наведені на мал. 5.6. Величина пускового активного опору R_{Π} (для схеми мал. 5.6 а) повинна бути близькою до опору фазної обмотки змінному струму і розрахованою на пусковий струм (y 5-7 разів більший від номінального). Приблизний розрахунок значення R_{Π} [Ом] можна здійснити за такою емпіричною формулою:

$$R_{\Pi} = \frac{\alpha \eta_H \cos \varphi_H}{K_I P_H},$$

де α – конструктивний коефіцієнт ($\alpha = 0,3 \div 1,3$);

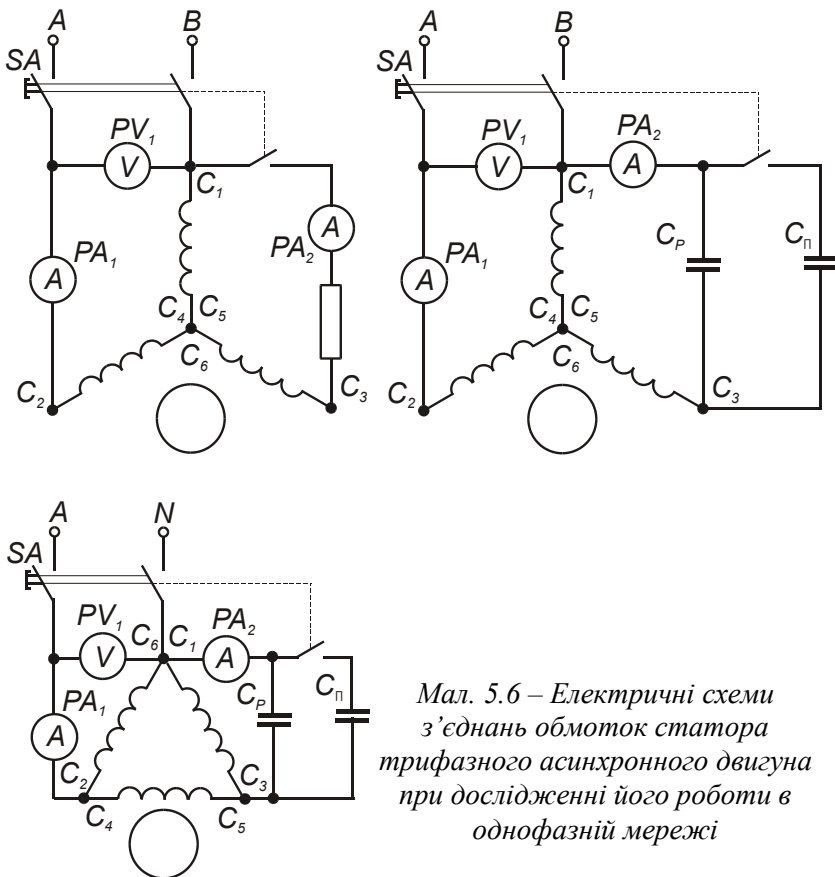
η_H – номінальний коефіцієнт корисної дії в %;

$\cos \varphi_H$ – номінальний коефіцієнт потужності;

K_I – кратність пускового струму ($K_I = 5 \div 7$);

P_H – номінальна потужність двигуна, кВт.

Величина ємності робочого конденсатора C_P [мкФ], для схем



Мал. 5.6 – Електричні схеми з'єднань обмоток статора трифазного асинхронного двигуна при дослідженні його роботи в однофазній мережі

мал. 5.6 б, в, визначається за емпіричною формулою:

$$C_p = 1950 I_H / U_H \cos \varphi_H ,$$

де U_H та I_H – номінальні напруга та сила струму двигуна.

ПРОГРАМА ПОЗААУДИРНОЇ САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ

№ з/п	Вид підготовки	Час, год
1	За рекомендованою літературою вивчити будову та принцип роботи однофазних асинхронних двигунів	1
2	Вивчити можливі методи вмикання трифазних асинхронних двигунів в однофазну мережу, їх переваги та недоліки	1
3	Підготувати робочий зошит для виконання лабораторної роботи, у який записати: - назву та мету роботи; - короткі теоретичні пояснення (конспективно) із необхідними для розрахунків формулами; - вказівки щодо виконання роботи; - таблиці 5.2, 5.3; - електричні схеми експериментів (мал. 5.6)	1

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Чому однофазний двигун не створює пускового моменту?
2. З якою метою в коло пускової обмотки однофазного двигуна включають фазозсуваючий елемент?
3. Чим відрізняється однофазний двигун від конденсаторного?
4. Як можна підвищити пусковий момент у конденсаторному двигуні?
5. Як забезпечується створення обертового магнітного поля у статорі трифазного асинхронного двигуна при його роботі в однофазній мережі?
6. Від чого залежить вибір схеми вмикання трифазного асинхронного двигуна в однофазну мережу?
7. Як розраховують величину фазозсуваючих елементів?
8. Як змінити напрям обертання трифазного асинхронного двигуна при його роботі в однофазній мережі?
9. При яких схемах вмикання трифазного асинхронного двигуна в однофазну мережу він має кращі експлуатаційні характеристики і чому?

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Електропривод: Ч.1./О. С. Марченко, Ю. М. Лавриненко, П. І. Савченко, Е. Л. Жулай. – К.: Урожай, 1995. – 208 с. (С. 49 – 50).

2. Мякишев Н. Ф. Электропривод, электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных и установок. – М.: Агропромиздат, 1986. – 176 с. (С. 37 – 40).
3. Кацман М. Н. Электрические машины. – М.: Высшая школа, 1990. – 463 с.: ил. (С. 208 - 217).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

ДОСЛІДЖЕННЯ НАГРІВАННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Мета роботи: дослідити нагрівання електродвигуна під час роботи, визначити усталене перевищення температури двигуна, постійну часу нагрівання та номінальну потужність електродвигуна за його нагріванням.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЯСНЕННЯ

Потужність, яку може розвивати електродвигун, в основному визначається його нагріванням унаслідок втрат енергії ΔP при роботі, величина яких залежить від коефіцієнта корисної дії двигуна η_H :

$$\Delta P = P_1 - P_H = \frac{P_H}{\eta_H} - P_H = P_H \frac{1 - \eta_H}{\eta_H},$$

де P_1 – потужність, що підводиться до двигуна із мережі;

P_H – номінальна потужність двигуна.

Утрати енергії поділяються на *змінні* (що залежать від навантаження) та *постійні*, які за будь-якого навантаження на електродвигун практично однакові і в основному залежать від величини напруги мережі живлення електродвигуна. До *змінних втрат* ΔP_V належать втрати від проходження струму навантаження по обмотках електродвигуна (вони пропорційні квадрату сили струму навантаження), до *постійних втрат* ΔP_K – втрати на перемагнічування осердя (гістерезис), втрати від протікання в осерді вихрових струмів Фуко, втрати на тертя та ін. Унаслідок безперервного виділення постійної кількості теплоти при роботі двигуна із постійним навантаженням його температура поступово підвищується і перевищує температуру навколишнього середовища. При цьому зростає тепловіддача від двигуна в навколишнє середовище. Через деякий час настає теплова рівновага, коли кількість тепла, що утворюється у двигуні за одиницю часу, дорівнює кількості тепла, що віддається двигуном у навколишнє середовище. Температура двигуна при цьому залишається незмінною і називається *устале-*

ною. Підвищення температури обмоток двигуна понад допустиму значно скорочує термін служби ізоляції. Допустима температура електродвигуна залежить від термостійкості ізоляційних матеріалів, що використані при його виготовленні. Стандарт ГОСТ 8865-87 поділяє всі ізоляційні матеріали, що використовуються в електричних машинах, за теплостійкістю (гранично допустимою температурою нагрівання $\theta_{доп}$) на сім класів (див. табл. 6.1):

Таблиця 6.1

Термостійкість ізоляційних матеріалів

У	А	Е	В	Ф	Н	С
90 ⁰ С	105 ⁰ С	120 ⁰ С	130 ⁰ С	155 ⁰ С	180 ⁰ С	>180 ⁰ С

При аналізі нагрівання електродвигуна оцінюється перевищення його температури над температурою навколишнього середовища. У стандартах за нормальну температуру навколишнього газоподібного середовища (охолоджувального) прийнята температура + 40 °С при висоті над рівнем моря 1000 м.

Допустима температура підшипників електричних машин не повинна перевищувати + 100 °С для підшипників кочення і + 80 °С для підшипників ковзання.

Залежність перевищення температури двигуна над температурою навколишнього середовища від часу має вигляд експоненціальної функції:

$$\tau = \tau_y \left(1 - e^{-\frac{t}{T_H}}\right) + \tau_{II} e^{-\frac{t}{T_H}},$$

де τ - перевищення температури двигуна над температурою навколишнього середовища, °С;

τ_y, τ_{II} - відповідно, усталене та початкове перевищення температури двигуна над температурою навколишнього середовища, °С;

t - час, с;

T_H - постійна часу нагрівання, с.

Охолодження двигуна при вимиканні його з мережі описується залежністю:

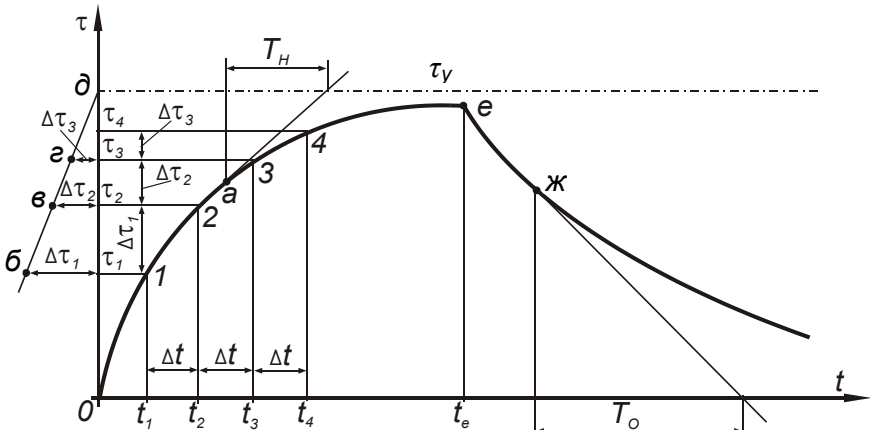
$$\tau = \tau_{II} e^{-\frac{t}{T_O}},$$

де T_O - постійна часу охолодження, с.

У двигунів із самовентильацією (без вентиляції від окремих вентиляторів) $T_O > T_H$, оскільки тепловіддача при нерухомому вентиляторі двигуна менша, ніж при рухомому.

Оскільки усталеного значення перевищення температури електродвигун теоретично набуває за нескінченний проміжок часу $t \rightarrow \infty$, а дослід, як правило, обмежений у часі, то τ_y визначають

графічним способом (мал. 6.1). Для цього знаходять приріст температури: $\Delta\tau_1, \Delta\tau_2, \Delta\tau_3$ і т. д. за рівні проміжки часу Δt . Через точки кривої нагрівання 1, 2, 3, 4 проводять горизонтальні лінії і на них ліворуч від осі ординат відкладають величини $\Delta\tau_1, \Delta\tau_2, \Delta\tau_3$. Отримують точки δ, ϵ, ζ , через які проводять пряму до перетину з віссю ординат (τ) у точці δ . Відрізок $O\delta$ у обраному масштабі дорівнює усталеному перевищенню температури двигуна τ_y . Горизонтальна лінія, проведена через точку δ , буде асимптотою для кривої нагрівання.



Мал. 6.1 – Криві нагрівання та охолодження двигуна

Постійну часу нагрівання T_H можна визначити за кривою нагрівання, для цього необхідно через точку на осі ординат, що відповідає $0,632\tau_y$ провести горизонтальну лінію до перетину з кривою нагрівання і спроектувати точку перетину на вісь часу, відрізок від початку координат до проекції названої точки на вісь часу у масштабі часу буде рівним T_H . За наявності кривої нагрівання, постійну часу можна визначити методом дотичної, проведеної у довільній точці кривої (бажано до другої її половини), наприклад у точці a . Відрізок від проекції точки a на лінію τ_y до точки перетину дотичної і лінії τ_y у масштабі часу буде рівним T_H . Методом дотичної визначають і постійну часу охолодження двигуна T_O .

Якщо τ_y не визначене, то постійну часу нагрівання можна визначити за трьома точками за формулою:

$$T_H = \Delta t / \ln \frac{\tau_2 - \tau_1}{\tau_3 - \tau_2}.$$

Величини τ_1, τ_2, τ_3 беруть з графіка, через рівні проміжки часу Δt .

Усталене значення перевищення температури двигуна можна визначити за формулою:

$$\tau_y = \tau_i / \left(1 - e^{-\frac{t_i}{T_H}}\right),$$

де τ_i , t_i – змінні значення дозвільної точки кривої нагрівання електродвигуна.

ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитись з обладнанням стенда і записати у табл. 6.2 паспортні дані досліджуваного двигуна.

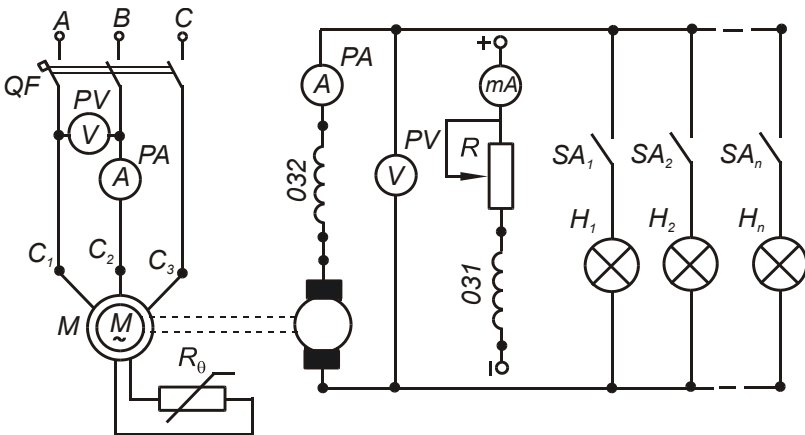
Таблиця 6.2

Паспортні дані електродвигуна

Тип двигуна	P_H	U_H	I_H	ККД	$\cos\varphi$	Режим роботи	Клас ізоляції	Вага кг
	Вт	В	А	%				

2. Зібрати електричну схему стенда (мал. 6.2). При проведенні дослідів температуру обмоток досліджуваного двигуна вимірюють за допомогою термометра опору R_0 (типу ТСМ), який закладений в осердя статора двигуна. Навантаженням на двигун є механічно з'єднаний з ним двигун постійного струму змішаного збудження П22, що працює в режимі генератора і навантажений лампочками H .

3. Ввімкнути двигун і завантажити його шляхом включення певної кількості лампочок H . При проведенні експерименту необхідно контролювати (за допомогою амперметра) і підтримувати наван-



Мал. 6.2 – Електрична схема з'єднань стенда дослідження нагрівання електродвигуна

таження досліджуваного двигуна постійним шляхом включення певної кількості лампочок H . Щоб потужність холостого ходу навантажувального двигуна була незмінною, необхідно підтримувати за допомогою реостата R постійний струм його збудження. Потужність на валу досліджуваного двигуна визначається за формулою:

$$P_D = U_G I_G + P_0 + I_G^2 R_{я} + 0,01 U_G I_G,$$

де U_G – напруга генератора, В;

I_G – струм генератора, А;

P_0 – втрати холостого ходу генератора, Вт;

$I_G^2 R_{я}$ – втрати потужності на нагрівання обмоток якоря генератора;

$0,01 U_G I_G$ – додаткові втрати в генераторі.

Величини параметрів, що контролюються під час роботи навантажувального двигуна (генератора) і підтримуються незмінними, записати до табл. 6.2.

4. Під час роботи двигуна, через кожні 3 хвилини записувати у табл. 6.3 температуру двигуна θ_D , температуру навколишнього середовища $\theta_{НС}$ (покази ртутного термометра, що знаходиться біля двигуна), струм, який споживає (I_D) електродвигун (покази амперметра А).

Таблиця 6.2

U_G	I_G	$I_{ГЗ}$	P_0	$R_{я}$
В	А	А	Вт	Ом

За результатами досліджень побудувати криву нагрівання двигуна $\tau = f(t)$, де $\tau = \theta_D - \theta_{НС}$. Графічно визначити усталене перевищення температури двигуна τ_y , провести на графіку відповідну йому горизонтальну лінію і продовжити відповідно до неї криву нагрівання двигуна. Визначити аналітично (за допомогою формули) τ_y і знайти середнє значення.

Таблиця 6.3

t	хв	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	
θ_D	$^{\circ}\text{C}$																						
$\theta_{НС}$	$^{\circ}\text{C}$																						
τ	$^{\circ}\text{C}$																						
I_D	А																						

5. Визначити постійну часу нагрівання двигуна T_H за трьома вище вказаними способами і знайти середнє значення.
6. Визначити номінальну потужність двигуна за його нагріванням за формулою:

$$P_H = P_D \sqrt{\tau_{\max} / \tau_y},$$

де τ_{\max} – допустиме перевищення температури обмоток двигуна, для цього класу ізоляції $\tau_{\max} = \theta_{\text{доп}} - 40^{\circ} \text{C}$.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які втрати енергії мають місце під час роботи електродвигуна, як вони поділяються і від чого залежать?
2. Чому збільшення температури двигуна спостерігається до певного значення і в подальшому при тому ж постійному навантаженні припиняється?
3. Що називається усталеною температурою?
4. Як графічно за кривою нагрівання знайти усталене значення перевищення температури двигуна та постійну часу його нагрівання?
5. Як впливає температура навколишнього середовища на допустиму потужність електродвигуна?
6. Чому постійна часу охолодження звичайних електродвигунів більша за постійну часу їх нагрівання?
7. Від чого залежить величина допустимої температури електродвигуна?
8. Як поділяються ізоляційні матеріали за термостійкістю?

ПРОГРАМА ПОЗААУДИТОРНОЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Вид підготовки	Час, год
1	За рекомендованою літературою вивчити закони нагрівання й охолодження електродвигунів та методи визначення допустимого навантаження електродвигуна за нагріванням	2
2	Вивчити графічні та аналітичні методи визначення усталеного перевищення температури електродвигуна та постійних часу його нагрівання й охолодження	2
3	Підготувати робочий зошит для виконання лабораторної роботи, у який записати: <ul style="list-style-type: none"> - назву та мету роботи; - короткі теоретичні пояснення (конспективно) із необхідними для розрахунків формулами; - вказівки щодо виконання роботи; - таблиці 6.2, 6.3; - електричні схеми експериментів (мал. 6.2) 	1

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Електропривод: Ч.1 О. С. Марченко, Ю. М. Лаврінченко, П. І. Савченко, Э. Л. Жулай/ За ред. О. С. Марченка. – К.: Урожай, 1995. – 208 с. – (С. 165-170).

2. Олійник В.С., Марченко О.С., Жулай Є.Л., Лавріненко Ю.М. Практикум з електроприводу. – К.: Урожай, 1995. – 192 с. – (С. 58-65).
3. Мякишев Н. Ф. Электропривод и электрооборудование автоматизированных сельскохозяйственных установок – М.: Агропромиздат, 1986. – 176 с. – (С. 92-110).
4. Цейтлин Л. С. Электропривод, электрооборудование и основы управления. – М.: Высшая школа, 1985. – 192 с. - (С. 131-136).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

ПІДВИЩЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Мета роботи: вивчення методів підвищення коефіцієнта потужності споживачів електричної енергії в однофазних або трифазних мережах при навантаженні активно-індуктивного характеру, з'ясування залежності коефіцієнта потужності асинхронних електродвигунів від навантаження на їх валу.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЯСНЕННЯ

Енергію електричного струму можна розглядати як складену з двох частин: однієї, що витрачається на виконання корисної роботи, для якої призначені електросприймачі, і другої, яка коливається в електричному колі і не виконує корисної роботи. Першу з них називають *активною*, а другу – *реактивною*.

Відповідно до повної, активної і реактивної енергії розрізняють повну, активну і реактивну потужність. Активна потужність P характеризує швидкість перетворення електричної енергії в корисну роботу (механічну, теплову та ін.), а також теплові втрати на нагрівання провідників у струмоприймачах і електромережах. Активна енергія весь час надходить від генератора до споживача і повернення цієї енергії назад не відбувається.

Друга складова повної потужності S , так звана реактивна потужність Q , корисної роботи не виконує і призначена тільки для створення магнітних полів у електродвигунах, трансформаторах, котушках індуктивності та ін., без яких вони не можуть працювати. Реактивна енергія весь час коливається між генератором та споживачем із частотою вдвічі більшою частоти коливань змінного електричного струму. При збільшенні струму споживача, реактивна енергія підходить до нього, а при зменшенні струму повертається до генератора.

Число, що показує, яку частину від повної потужності,

спожитої споживачем, становить активна потужність – називають *коефіцієнтом потужності* $\cos\varphi$ цього споживача:

$$\cos\varphi = P/S.$$

Значення $\cos\varphi$ можна виміряти за допомогою фазометра або визначити за відомими P і S за наведеною вище формулою.

Переважає більшість споживачів електричної енергії буває двох видів:

1) споживачі активної енергії (освітлювальні лампи, побутові нагрівні прилади, електричні печі та ін.), коефіцієнт потужності яких $\cos\varphi = 1$, вони споживають тільки активну потужність P ;

2) споживачі активної та індуктивної енергій (електричні дви-гуни, трансформатори, різного типу реле, котушки індуктивності та ін.) для яких $\cos\varphi < 1$.

Повна і реактивна потужності для однофазних споживачів:

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad [BA];$$

$$P = UI \cos\varphi, \quad [Bm];$$

$$Q = UI \sin\varphi, \quad [BAp],$$

- для трифазних споживачів:

$$S = \sqrt{3}U_{\text{Л}}I_{\text{Л}};$$

$$P = \sqrt{3}U_{\text{Л}}I_{\text{Л}} \cos\varphi;$$

$$Q = \sqrt{3}U_{\text{Л}}I_{\text{Л}} \sin\varphi,$$

- струм в однофазній лінії:

$$I = P/(U \cos\varphi),$$

- лінійний струм трифазних споживачів:

$$I_{\text{Л}} = P/(\sqrt{3}U_{\text{Л}} \cos\varphi).$$

Величина коефіцієнта потужності характеризує економічність роботи електропристроїв. Зниження $\cos\varphi$ призводить до непродуктивного завантаження генераторів, трансформаторів та ліній електропередач реактивним струмом. При цьому корисне (активне) навантаження їх зменшується, не довантажуються первинні двигуни електростанцій, знижується їх ККД, зростають витрати палива на одну кВт/год виробленої електроенергії, збільшується втрата електроенергії у лініях електропередач. Усе це показує, що підвищення коефіцієнта потужності електропристроїв є важливим народногосподарським завданням.

Причинами низького коефіцієнта потужності електроспоживачів можуть бути:

- використання великої кількості асинхронних двигунів із

- низьким номінальним $\cos\varphi$;
- неповне завантаження електродвигунів і трансформаторів;
- використання електродвигунів, ремонт яких виконаний неправильно (обточений ротор);
- коливання напруги і частоти струму мережі живлення;
- нерівномірне навантаження електродвигунів.

Коефіцієнт потужності електропристроїв можна поліпшити в результаті зменшення споживання ними реактивної енергії та шляхом компенсації за допомогою спеціальних компенсуючих пристроїв.

Щоб забезпечити мінімальне споживання реактивної потужності, необхідно:

- забезпечити нормальне рівномірне навантаження електродвигунів та силових трансформаторів. Асинхронні двигуни, що завантажені менш як на 60% їх номінальної потужності, необхідно за-мінити двигунами меншої потужності. Обмотки статорів асинхрон-них двигунів, які завантажені не більш як на 40% від номінального навантаження, необхідно перемкнути (якщо це можливо) із з'єднання “трикутником” на з'єднання “зіркою”;

- усунути холості ходи електродвигунів і зварювальних трансформаторів, застосовуючи для цього автоматичні обмежувачі холостого ходу;

- замінити асинхронні електродвигуни синхронними, якщо це допускається умовами роботи електроприводів та є економічно доцільним, або використовувати асинхронні двигуни із високим номінальним $\cos\varphi_H$.

Зменшуючи споживання реактивної потужності електроприймачами в реальних сільськогосподарських пристроях, можна підвищи-ти значення $\cos\varphi$ до 0.7-0,8, але довести його до одиниці неможливо, тому для подальшого підвищення $\cos\varphi$ застосовують спеціальні компенсуючі пристрої: конденсаторні батареї, синхронні компенсатори тощо.

В умовах сільськогосподарського виробництва найефективнішими компенсуючими пристроями є конденсаторні батареї, які комплектуються із конденсаторів змінного струму серії КМ (масляні) або КС (солоні). У сільських електропристроях найефективнішою є групова компенсація реактивної потужності, коли конденсаторна батарея під'єднується до розподільчого щитка й обслуговує всі електродвигуни, що підключаються до нього, розвантажуючи при цьому від реактивної потужності лінії електропередач, що подають електроенергію до цього щитка.

При використанні конденсаторних пристроїв слід мати на увазі:

- сумарна потужність батареї не повинна перевищувати величину найменшої реактивної потужності електроспоживачів, що під'єднані до неї;
- індивідуальна компенсація доцільна лише для електроспоживачів потужністю 20 кВт і більше, з великою кількістю годин роботи на рік;

- на силових пристроях, що працюють не повну добу, батареї конденсаторів повинні бути обладнані автоматичними пристроями, які забезпечують їх вмикання та вимикання залежно від величини струму, що споживається.

Відповідно до нових правил користування електричною та тепловою енергією запропоновано систему стимулювання і покарання за ступінь компенсації реактивної потужності. За цією системою знижки і надбавки до тарифу на електроенергію визначають окремо для двох груп споживачів:

- споживачів із приєднаною потужністю трансформаторів і високовольних двигунів 750 кВА і більше;
- споживачів із приєднаною потужністю менше 750 кВА.

Сільськогосподарські електроспоживачі здебільшого належать до другої групи. Для них величину знижок і надбавок H [%] рекомендується визначати за відношенням фактичної реактивної потужності $Q_{K\Phi}$ компенсуючого пристрою, що встановлений біля споживача, до економічної реактивної потужності Q_{KE} , яка задається споживачу енергопостачальною організацією, тобто: $K = (Q_{K\Phi}/Q_{KE})100\%$, користуючись шкалою:

K [%]	0...30	30...50	50...70	70...90	90...110	110...130	> 130
H [%]	+50	+30	+10	0	-5	+10	+50

Крім того, енергопостачальна організація задає режим роботи компенсуючого пристрою у вигляді графіка його вмикання і вимикання. Якщо цей графік не виконується, то встановлюється максимальна надбавка до тарифу в розмірі 50% за квартал, в якому було порушення заданого режиму. При цьому знижки або надбавки за шкалою не застосовуються. Економічну реактивну потужність Q_{KE} компенсуючого пристрою визначають за його розрахунковою реактивною потужністю Q_{KP} , користуючись шкалою:

Q_{KP} кВАр	<50	50..120	120..190	190..260	260..380	>380
Q_{KC} кВАр	0	75	150	225	300	450

Розрахункову реактивну потужність компенсуючого пристрою визначають за формулою:

$$Q = (0,2 + 0,5d)S,$$

де S - приєднана потужність споживача, кВА;

d - частка встановленої потужності асинхронних двигунів і зварювальних трансформаторів у складі низьковольтних електроспоживачів.

При покращенні коефіцієнта потужності трифазних споживачів конденсатори з'єднуються або "трикутником", або "зіркою" (залежно від ємності конденсаторів і їх робочої напруги). У загальному випадку, коли необхідно підвищити коефіцієнт потужності від $\cos\varphi_1$ до $\cos\varphi_2$ (для сільських електропристроїв $\cos\varphi$ необхідно підвищувати до 0,92...0,95) потужність батареї статичних конденсаторів підраховують за формулою:

$$Q_{KP} = P(tg\varphi_1 - tg\varphi_2),$$

де P - активна потужність двигунів, кВт.

Ємність трифазної батареї статичних конденсаторів:

$$3C = Q_{KP} 10^9 / \omega U^2,$$

де C - ємність однієї фази конденсаторної батареї, мкф;

U - напруга на фазі конденсатора, В;

$$\omega = 2\pi f - \text{кутова швидкість (при } f=50 \text{ Гц, } \omega=314 \text{ рад/с)}.$$

Із виразу випливає, що при одній і тій же ємності конденсаторної батареї реактивна потужність пропорційна квадрату прикладеної напруги, тому конденсатори рекомендується підключати на стороні високої напруги трансформаторної підстанції, але у цьому разі трансформатор буде завантажений реактивною потужністю. З цієї ж причини конденсатори з'єднують у "трикутник", а не у "зірку", оскільки $U_{\phi\Delta} = \sqrt{3}U_{\phi Y}$ і потужність конденсаторної батареї зростає утричі.

Щоб не допускати вмикання заряджених конденсаторів, та за-безпечити безпечне обслуговування конденсаторних батарей, засто-совують розрядні резистори, які підключаються паралельно до кон-денсаторних батарей. Після від'єднання конденсаторного пристрою від мережі резистори повинні знижувати амплітудне значення нап-руги до 50 В, за час не більший 1 хвилини. При напрузі до 1000 В замість резисторів використовують звичайні лампи розжарювання.

Для покращення коефіцієнта потужності застосовують також синхронні компенсатори, що є синхронними двигунами, які працюють у режимі неробочого ходу при перезбудженні. Вони генерують реактивну енергію в мережу. Так само, як і для конденсаторів, у синхронних компенсаторів $Q_K < 0$.

ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

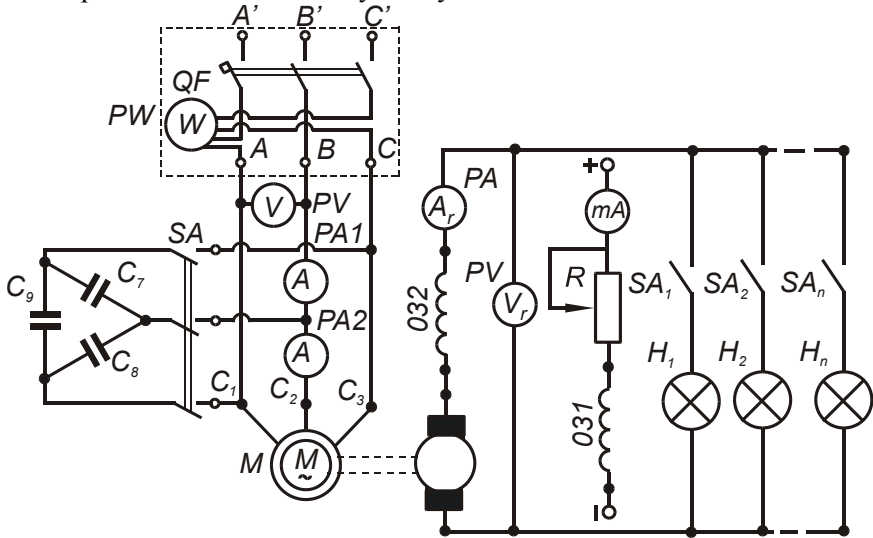
1. Записати технічні дані досліджуваного двигуна у табл. 7.1.

Паспортні дані електродвигуна

Тип двигуна	P_H	U_H	I_H	к.к.д.	$\cos\varphi$	Режим роботи	Клас ізоляції	Вага кг
	Вт	В	А	%				

2. Зібрати схему (мал. 7.1).

3. Зняти покази приладів при включених і при виключених конденсаторах для холостого ходу двигуна.



Мал. 7.1 - Електрична схема лабораторного стенда для дослідження коефіцієнта потужності асинхронного двигуна (обведене пунктирною лінією - зібране на стенді)

4. Здійснити навантаження електродвигуна і повторити експеримент. Для навантаження електродвигуна використовується ефективний двигун постійного струму змішаного збудження, який працює в режимі генератора. Для навантаження генератора, у свою чергу, використовується набір ламп розжарювання. Перед під'єднанням навантаження до генератора, його збуджують при холостому ході до номінальної напруги. Для цього при відключеному навантаженні генератора поступово зменшують опір резистора R (який перед включенням схеми встановлюється на максимальний опір) збуджуючи генератор до номінальної напруги. Якщо генератор не збуджується, необхідно змінити напрям струму в паралельній обмотці збудження (поміняти місцями її виводи Ш₁ та Ш₂). Після чого можна навантажувати генератор, який, у свою чергу,

навантажуватиме асинхронний електродвигун. Результати дослідів і розрахунків записати в таблицю 7.2.

Таблиця 7.2

Робота споживача	Виміри				Розрахунки			Зауваження
	U_L	I_L	I_ϕ	P	S	$\cos\varphi$	Q	
	В	А	А	Вт	ВА		ВАр	
при холостому ході								без конденсатора
								з конденсатором
при навантаженні								без конденсатора
								з конденсатором

5. При виключених конденсаторах зняти залежність $\cos\varphi$ від навантаження. Результати дослідів записати в таблицю 7.3.

6. Побудувати на одному малюнку графіки залежностей: $\cos\varphi = f_1(P)$; $Q = f_2(P)$; $S = f_3(P)$.

Таблиця 7.3.

№ з/п	ВИМІРИ			РОЗРАХУНКИ		
	U_L	I_L	P	$\cos\varphi$	S	Q
	В	А	Вт		ВА	ВАр
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. На що витрачається активна і реактивна енергії (потужності) електричного струму в електроспоживачах?
2. Що таке коефіцієнт потужності, чим і як він вимірюється?
3. Як можна поділити електроспоживачі залежно від $\cos\varphi$?
4. До чого призводить зниження $\cos\varphi$ електроспоживачів?
5. Що може бути причиною низького $\cos\varphi$ електроспоживачів?
6. З якою метою підвищують коефіцієнт потужності електропристроїв?
7. Які існують методи підвищення $\cos\varphi$ електроспоживачів?
8. Які існують методи компенсації реактивної енергії та які із них частіше застосовуються у сільському господарстві?
9. Яких вигод і яких затрат зазнає господарство при підвищенні коефіцієнта потужності електропристроїв статичними конденсаторами?

ПРОГРАМА ПОЗААУДИТОРНОЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Вид підготовки	Час, год
1	За рекомендованою літературою вивчити, що таке коефіцієнт потужності електроспоживачів і як він впливає на економічність їх роботи та роботу електрогосподарства в цілому?	2
2	Вивчити методи підвищення коефіцієнта потужності та компенсації реактивної потужності, та правила підбору компенсуючих пристроїв окремих електроспоживачів та електрогосподарства в цілому	2
3	Підготувати робочий зошит для виконання лабораторної роботи, у який записати: - назву та мету роботи; - короткі теоретичні пояснення (конспективно) із необхідними для розрахунків формулами; - вказівки щодо виконання роботи; - таблиці 7.1, 7.2, 7.3; - електричні схеми експериментів (мал. 7.1)	1

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1) Мурзін В. К. Загальна електротехніка. – Полтава: “Кременчук”, 2001. – 323 с. – (С. 98 - 99).
- 2) Трегуб А. П. Электротехника. - К.: Вища школа, 1987. – 600 с.
- 3) Гончар В. Ф., Тищенко Л. П. Електрообладнання тваринницьких підприємств і автоматизація виробничих процесів у тваринництві. – К.: Вища школа, 1986. – 352 с. – (С. 134 - 139).

МОДУЛЬ № 2

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМ ГАЛЬМУВАННЯ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Мета роботи: вивчити будову та принцип роботи електромеханічного гальма й реле контролю швидкості, а також роботу схем керування асинхронним двигуном з електромеханічним гальмуванням, гальмуванням противмиканням та динамічним гальмуванням; дослідити залежність часу динамічного гальмування асинхронного електродвигуна від величини прикладеної до його затискачів напруги постійного струму.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЯСНЕННЯ

До найбільш широкоживаних способів гальмування асинхронних електродвигунів можна віднести такі:

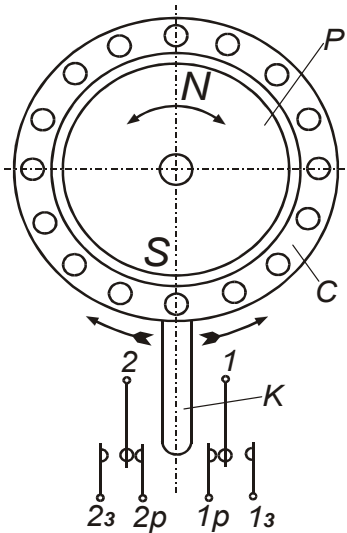
- механічне гальмування з електричним керуванням (електромеханічне гальмування);
- гальмування противмиканням;
- динамічне гальмування.

Механічне гальмування з електричним керуванням здійснюється механічним гальмом, керованим тяговим або гальмівним електромагнітом. Воно застосовується у тому разі, коли після зупинки двигуна необхідно зафіксувати нерухоме положення його валу (кранові піднімальні пристрої, лебідки, муфти тощо). Для цього застосовують колодкові або дискові гальма. Гальмування валу здійснюється пружинами або тягарем, розгальмування – тяговим або гальмівним електромагнітом (однофазним та трифазним). Обмотка електромагніта включається паралельно до обмоток статора двигуна. При подаванні напруги на електродвигун, гальмівний електромагніт також отримує живлення і, притягуючи свій якір, розгальмовує вал електродвигуна. При вимиканні електродвигуна з мережі або при зникненні напруги у мережі якір електромагніта відштовхується пружинами й вал двигуна загальмовується механічним гальмом. Цей спосіб гальмування досить ефективний і застосовується для двигунів малої й середньої потужності. Вибіг ротора виходить мінімальним.

Гальмування противмиканням. Для гальмування противмиканням необхідно під час обертання ротора двигуна змінити послідовність фаз живлення на його статорі (для цього достатньо поміняти місцями два лінійних провідники, що під'єднані до статора двигуна). При цьому зміниться напрям обертання магнітного поля статора і воно загальмовуватиме ротор. При близькій до нуля швидкості ротора статор необхідно вимкнути з мережі, інакше ротор почне обертатись у зворотному напрямку. Вимикати двигун із мережі краще автоматично за допомогою реле контролю швидкості.

Принципова схема реле контролю швидкості типу РКС-М наведена на мал. 8.1. Ротор реле P , що є постійним магнітом, зв'язаним з валом керованого двигуна за допомогою муфточки. Статор C реле має обмотку типу “клітка білки”, подібну до обмотки короткозамкнутого ротора електродвигуна (алюмінієві стержні замкнуті кільцями). Статор може вільно провертатись навколо своєї осі. До статора прикріплена колодочка K , яка своїм кінцем може діяти на підпружинені рухомі контакти. При

обертанні ротора (і його магнітного поля) в обмотках статора індукуються електричний струм. Магнітне поле ротора, що обертається, діє на витки обмотки статора із струмом і примушує статор реле *C* з колодкою *K* повертатись. При цьому колодочка перемикає контакти реле. При малій швидкості обертання на статорі реле створюється малий обертовий момент і підпружинені контакти повертаються у вихідне положення.



Мал. 8.1 – Будова реле контролю швидкості РКС-М

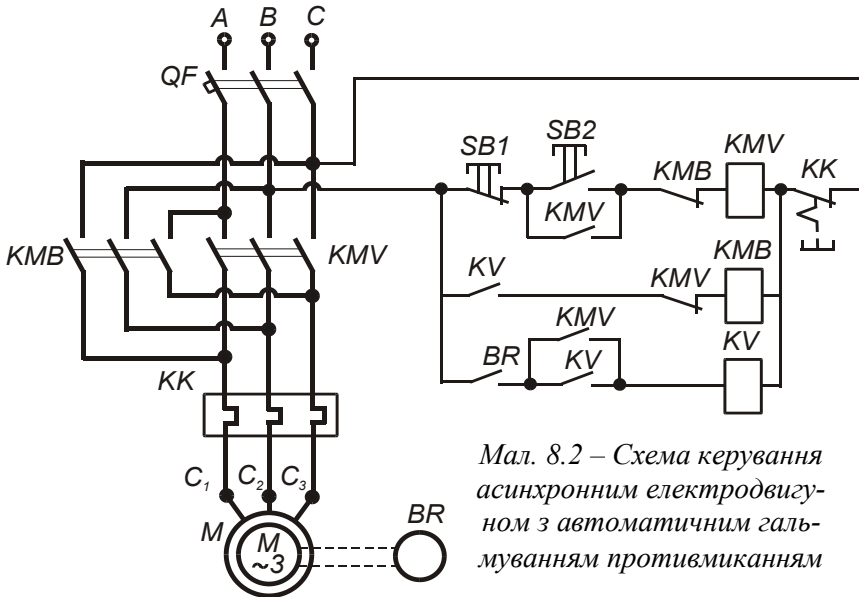
Динамічне гальмування. Гальмування противмиканням виходить різким, що для низки приводів неприпустимо. При динамічному гальмуванні гальмівний момент наростає плавно, максимальний гальмівний момент виходить при низькій швидкості (20 ÷ 30% номінальної).

Щоб створити режим динамічного гальмування асинхронного двигуна, необхідно відключити його від мережі змінного струму і подати на статор понижену постійну напругу. Оскільки при постійному струмі обмотки статора створюють лише активний опір, то напруга постійного струму не повинна перевищувати 10% від величини номінальної напруги змінного струму. Постійний струм, що проходить в обмотці статора, створює нерухоме у просторі

магнітне поле, в якому обертається (за інерцією) ротор двигуна. В обмотці ротора індукуються е.р.с., під дією якої у витках обмотки ротора виникає змінний струм. Взаємодія цього струму з нерухомим магнітним полем статора призводить до гальмування ротора. При зниженні швидкості обертання ротора до нуля струм у його обмотці і гальмівний момент також зменшуються до нуля. Після закінчення гальмування живлення обмотки статора постійним струмом необхідно відключити.

Запуск і автоматичне гальмування противмиканням асинхронного двигуна можна здійснити, використовуючи схему наведену на мал. 8.2. У ній використовується два контактори: лінійний КМВ і гальмівний КМБ, проміжне реле КV, реле контролю швидкості BR, кнопки SB2 - "Пуск" та SB1 - "Стоп". Контактори КМВ та КМБ увімкнені за звичайною реверсивною схемою. Захист двигуна

здійснюється автоматичним вимикачем або запобіжниками і тепловими реле.

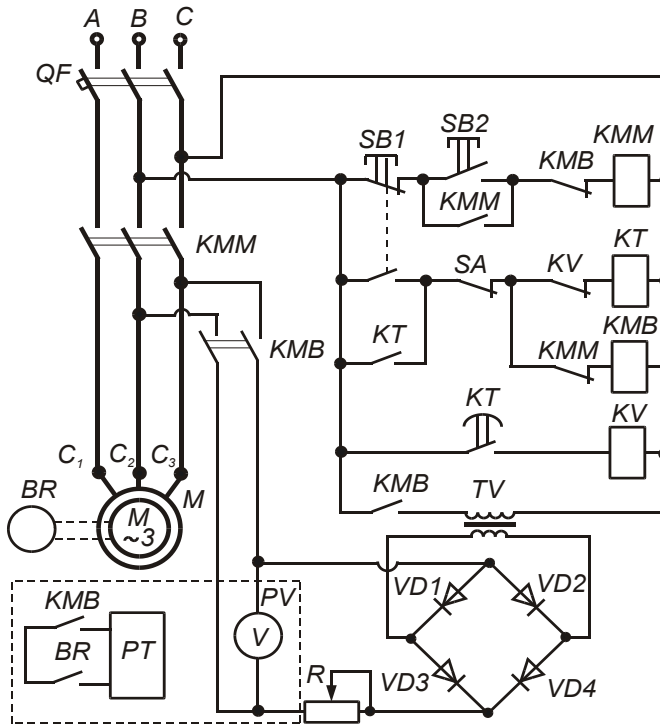


Мал. 8.2 – Схема керування асинхронним електродвигуном з автоматичним гальмуванням противмиканням

Для запуску двигуна натискають на кнопку SB2 - “Пуск”, при цьому струм поступає на котушку лінійного контактора KMV і він своїми головними контактами вмикає двигун у мережу. Один замикаючий блок-контакт цього контактора шунтує кнопку “Пуск”, другий замикаючий – готує коло котушки реле KV, розмикаючий блок-контакт розмикається у колі котушки KMB. При досягненні валом двигуна деякої швидкості контакт реле BR замикається і реле KV спрацьовує. При цьому один його контакт шунтує блок-контакт KMV у колі котушки KV, інший контакт реле KV також замикається й готує коло живлення котушки гальмівного контактора KMB. При роботі двигуна котушка контактора KMB не може одержати живлення, тому що розмикаючий блок-контакт KMV у колі котушки KMB розімкнутий.

При натисканні на кнопку “Стоп” контактор KMV вимикається, його розмикаючий блок-контакт у колі котушки контактора KMB, під дією пружин замикається, контактор KMB спрацьовує й вмикає двигун у мережу зі зворотнім чергуванням фаз. Двигун загальмовується і при швидкості ротора, близькій до нуля, реле BR розмикає свій контакт, реле KV знеструмлюється й вимикає контактор KMB. На цьому гальмування завершується.

Запуск і динамічне гальмування асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором можна здійснити за схемою зображеною



Мал. 8.3 - Схема керування асинхронним електродвигуном з автоматичним динамічним гальмуванням

швидкості BR і електросекундомір PT, а для вимірювання величини постійної напруги, що прикладається до статора двигуна - вольтметр PV. Захист двигуна здійснюється автоматичним вимикачем QF. Величина постійної напруги на статорі двигуна регулюється резистором R. Вимикач SA служить для переведення двигуна у режим вільного вибігу при зупинці.

Для запуску двигуна натискають на кнопку SB2 - "Пуск". При цьому спрацьовує лінійний контактор KMM і головними контактами вмикає двигун у мережу, його замикаючий блок-контакт шунтує кнопку "Пуск", а розмикаючий блок-контакт у колі котушки KMB розмикається. Двигун запускається й працює.

Для зупинки двигуна, натискають на кнопку SB1 - "Стоп", один її контакт у колі котушки контактора KMM розмикається, при цьому контактор KMM відпускається, його головні контакти відключають двигун від мережі змінного струму, а блок-контакт у колі котушки KMB замикається. При натисканні на кнопку SB1 - "Стоп", одночасно замикається і її другий контакт і подає струм на

на мал. 8.3. У ній використовуються два контактори: лінійний KMM і гальмівний KMB, проміжне реле KV, реле часу KT, кнопки SB2 - "Пуск" та SB1 - "Стоп", випрямляч VD, знижувальний трансформатор T, резистор R. Для вимірювання часу гальмування використовуються реле контролю

катушки реле часу КТ та гальмівного контактора КМВ, замикаючий блок-контакт якого підключає до мережі трансформатор Т із випрямлячем VD, а головні контакти подають випрямлений струм на одну із фаз двигуна і починається його динамічне гальмування. При цьому блок-контакт контактора КМВ у колі катушки контактора КММ розмикається.

Це запобігає одночасному спрацюванню двох контакторів КМВ і КММ, що може призвести до короткого замикання електричних кіл змінного й постійного струму. При поданні напруги контактом кнопки SB1 – “Стоп” на реле часу КТ, воно спрацьовує й один його контакт миттєво замикається, шунтуючи кнопку SB1 – “Стоп”, після чого її можна відпустити, а контакт реле часу КТ у колі катушки проміжного реле KV замикається з витримкою часу, яка розрахована на час динамічного гальмування. При цьому спрацьовує проміжне реле KV, його контакт у колі реле часу КТ розмикається, реле часу КТ також відпускається й обидва його контакти миттєво розмикаються, що призводить до відпускання контактора КМВ, головні контакти якого відключають статор двигуна від мережі постійного струму, а блок-контакт відключає трансформатор від мережі змінного струму. На цьому динамічне гальмування закінчується. У разі, коли немає необхідності контролювати час гальмування двигуна та величину постійної напруги, в електричних схемах керування відсутні апарати обведені пунктирною лінією на мал. 8.3.

ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитись з обладнанням робочого місця і записати в зошит його паспортні дані.
2. Зібрати електричну схему за мал. 8.3. Запустити електродвигун, натиснувши на кнопку SB2 – “Пуск”. Після запуску двигуна, натиском на кнопку SB1– “Стоп”, перевести його у режим динамічного гальмування. За допомогою резистора R швидко встановити необхідну напругу постійного струму, яка подається на статор двигуна.
3. Запустити електродвигун і після запуску перевести у режим динамічного гальмування. За допомогою електросекундоміра РТ заміряти час динамічного гальмування електродвигуна T_i . Дослід повторити тричі. Результати записати у таблицю 8.1.
4. Змінюючи величину напруги постійного струму, аналогічно до п. 2 заміряти час гальмування двигуна при різних напругах аналогічно до п. 3. Результати записати у таблицю 8.1.

За отриманими результатами побудувати залежність $U = f(T_{CP})$.

Таблиця 8.1

Дослідні дані при дослідженні гальмування асинхронного двигуна

U	V	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
T_1	сек										
T_2	сек										
T_3	сек										
T_{CP}	сек										

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Як здійснюється електромеханічне гальмування електродвигунів?
2. Як перевести асинхронний електродвигун у режим гальмування противмиканням?
3. Як побудоване і працює реле контролю швидкості?
4. Як перевести асинхронний електродвигун у режим динамічного гальмування?
5. Як працює електрична схема запуску й автоматичного гальмування противмиканням асинхронного електродвигуна?
6. Як працює електрична схема запуску і динамічного гальмування асинхронного електродвигуна?

ПРОГРАМА ПОЗААУДИТОРНОЇ САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ

№ з/п	Вид підготовки	Час, год
1	За рекомендованою літературою вивчити принцип роботи асинхронного електродвигуна при електромеханічному й динамічному його гальмуванні, а також гальмуванні проти вмиканням	1
2	Вивчити роботу електричних схем керування електродвигуном при здійсненні цих режимів та будову і роботу електромеханічного гальма і реле контролю швидкості	1
3	Підготувати робочий зошит для виконання лабораторної роботи, у який записати: <ul style="list-style-type: none"> - назву та мету роботи; - короткі теоретичні пояснення (конспективно) із необхідними для розрахунків формулами; - вказівки щодо виконання роботи; - таблицю 8.1; - електричні схеми мал. 8.2, 8.3. 	2

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Практикум з електропривода/ В. С. Олійник та ін. – К.: Урожай, 1995, – 192 с. – С. 104-109.
2. Електропривод: Ч. 1. Марченко О. С. та ін./ За ред. О. С. Марченка. – К.: Урожай, 1995, – 208 с. – С. 44-47.
3. Цейтлин Л. С. Электропривод, электрооборудование и основы управления. – М.: Высш. шк., 1985, – 192 с. – С. 155-158.
4. Герасимович Л. С. и др. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок. – М.: Колос, 1980, –391 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНИХ НАСОСНИХ ПРИБОРІВ

Мета роботи: ознайомитись з основними типами насосних пристроїв, які використовуються у сільському господарстві та системами їх керування й автоматизації, засвоїти методику вибору електродвигуна насоса і підключення його до електричної мережі, дослідити режими роботи електронасосного агрегату.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЯСНЕННЯ

У сільськогосподарському виробництві насосні пристрої застосовуються у системах водопостачання, зрошування та каналізації. Системи водопостачання призначені для добування, очищення й розподілу води для технічних та господарських потреб. Автоматичні системи керування насосними станціями систем водопостачання призначені для автоматичного запуску й зупинки насосів за певною програмою, автоматичного регулювання подачею насосів, вмикання резервного насоса, захисту електродвигунів, сигналізації нормальної роботи та аварійних зупинок, вимірювання тиску та рівня води, сили струму, який споживає електродвигун та напруги. Затрати ручної праці на подачу води у тваринницькі ферми становлять 30% від усіх робіт, а застосування автоматизованого електропривода збільшує продуктивність праці на цих операціях у 18-20 разів.

До сільськогосподарських споживачів воду в основному подають через водонапірний котел чи водонапірний бак, за допомогою відцентрових насосів, які приводяться в рух асинхронними електродвигунами. Безпосередньо від насоса у розподільчу мережу

воду подають у відкритих зрошувальних системах із приводом від асинхронних чи синхронних двигунів. Для забирання води з відкритих водоймищ, а також із шахтних криниць і свердловин із динамічним рівнем води у них не глибше 5-7 м від поверхні землі, переважно застосовують відцентрові насоси типів К, КМ і ЦВ та вихрові насоси типів В, ВК і ВКС. З глибинних шахтних криниць та свердловин воду піднімають за допомогою водоструменевих пристроїв ВН та заглибних електронасосів типів ЭЦВ, ЭПН, ЭПЛ, АП, АПВ і АПВМ.

Для того, щоб вибрати тип і потужність електронасосного пристрою та їх кількість, необхідно, виходячи з місцевих умов, вибрати схему водопостачання. При виборі насоса виходять із його необхідної подачі Q_H та напору H , який він повинен створювати.

Подачу насоса знаходять із співвідношення:

$$Q_H = k_r k_d Q_{сд} / 24\eta,$$

де k_r - коефіцієнт нерівномірності погодинної витрати (для поселень $k_r = 1,5$; для ферми з автонапувалками $k_r = 2 \dots 3$, для ферми без автонапувалок $k_r = 4 \dots 5$);

k_d - коефіцієнт нерівномірності добової витрати ($k_d = 1,1 \dots 1,3$);

η - ККД пристрою, який враховує втрати води ($\eta = 0,9$);

$$Q_{сд} = \sum q_i n_i - \text{середньодобова витрата води, (л/доб.)};$$

q_i - норма води на одного споживача (корова, свиня, птах, технологічний процес, автомобіль), л/доб.;

n_i - число споживачів цього виду.

При розрахунку водопостачання, зокрема, враховують пожежну витрату води (2,5-10 л/с) залежно від розмірів господарства чи населеного пункту, тривалість пожежі приймають рівною 2-3 год. Цю витрату зобов'язані забезпечити насосний агрегат та водопровідна мережа або на нього повинна бути розрахована запасна ємність. Напір насоса обирають таким чином, щоб він міг подавати воду при необхідному тиску у заданому місці.

Необхідний напір насоса H визначають із залежності:

$$H = H_B + H_H + H_T + H_I, [M],$$

де H_B - висота всмоктування;

H_H - найбільша висота водоспоживачів;

H_T - напір втрат у трубопроводах;

H_I - напір, який необхідний для створення певної швидкості витікання води (вільний напір).

Знаючи потрібні витрату та напір, за каталогом вибирають насос з урахуванням можливої частоти обертання привідного

електродвигуна. За універсальною характеристикою вибраного насоса уточняють його подачу Q_H , напір H і визначають коефіцієнт корисної дії.

Потужність двигуна для приводу насоса:

$$P_{дв} = k_3 \rho Q_H H / \eta_H \eta_{II} ,$$

де ρ - питома вага рідини, що перекачується, Н/м³;

η_{II} - ККД передачі (при прямому з'єднанні валів $\eta_{II} = 1$, для клинопасової передачі $\eta_{II} = 0,98$, для зубчатої $\eta_{II} = 0,97$, для плоскопасової $\eta_{II} = 0,95$);

η_H - ККД насосів (поршневих $\eta_H = 0,7-0,9$, відцентрових $\eta_H = 0,4-0,8$, вихрових $\eta_H = 0,25-0,5$);

k_3 - коефіцієнт запасу, що обирається з табл. 9.1.

Таблиця 9.1

Коефіцієнти запасу

P, кВт	≤1	2	3	4	5	8	≥10
k_3	1,7...2	1,5	1,33	1,25	1,2	1,12	1,05...1

Для відцентрових насосів особливо важливо правильно вибрати кутову швидкість, оскільки його продуктивність, пропорційна кутовій швидкості, напір і момент квадрату кутової швидкості, а потужність її кубу:

$$Q \equiv \omega; H \equiv \omega^2; M \equiv \omega^2; P \equiv \omega^3.$$

Тип електродвигуна обирають, виходячи з умов навколишнього середовища та особливостей монтажу. Наприклад, для приводу заглибних насосів типу ЭЦВ застосовують спеціальні двигуни типу ПЭДВ потужністю 0,7-65 кВт, які мають видовжену форму корпусу і розраховані на роботу у свердловинах діаметром від 100 до 250 мм при подачі на висоту до 350 м. Підшипникова пара заглибних двигунів складається з пари ковзання: сталь – гума, сталь – текстоліт чи сталь – пластик. Маса ротора сприймається підп'ятником, який складається зі сталеві п'яти, насадженої на кінець вала ротора та гумового чи текстолітового кільця, яке запресовується у розточку підшипникового щита. Підшипники змащуються водою. Перед вмиканням заглибного електродвигуна в його внутрішню порожнину необхідно обов'язково залити чисту воду. Обмотка статора двигуна виконується проводом із поліхлорвініловою вологостійкою ізоляцією. Заглибні електронасоси залежно від рівня залягання водоносного шару експлуатують на глибинах 40-230 м. Термін служби заглибних електродвигунів до капітального ремонту відносно невеликий – 1...1,5 року.

Для приводу не заглибних відцентрових насосів типу К та КМ та вихрових насосів використовують асинхронні короткозамкнуті двигуни сільськогосподарського виконання або двигуни з фазним ротором із вологостійкою ізоляцією потужністю 1,5...55 кВт.

Механічна характеристика відцентрового насоса має вентиля-торний вигляд і описується формулою:

$$M_O = M_{TP} + (M_{OH} - M_{TP})(\omega/\omega_H)^x,$$

де M_O - момент опору при кутовій швидкості, ω ;

M_{OH} - момент опору при номінальній кутовій швидкості, ω_H ;

M_{TP} - момент опору від сил тертя у рухомих частинах машини для відцентрового насоса $M_{TP} = 0,05M_{OH}$;

x - показник степеня, для відцентрового насоса $x = 2$.

Відцентровий насос можна запускати як при відкритій, так і при закритій засувці на напірному трубопроводі.

Подачу насосних пристроїв можна регулювати шляхом включення і відключення одного або декількох двигунів (у випадку застосування декількох електронасосів), зміною частоти їх обертання та дроселюванням засувкою.

Двохпозиційне релейне регулювання застосовується у більшості автоматичних пристроїв. У цьому випадку двигун працює в ділянці номінальних навантажень із достатньо високими техніко-економічними показниками. Недоліки названого способу полягають у тому, що двигун частину часу не працює, а отже коефіцієнт використання його встановленої потужності менший одиниці та пропорційний відносній тривалості включення. Окрім того, при збільшенні частоти включень двигуна за годину (нормальне допустиме число включень за годину рівне 6) його нагрівання може перевищити допустиме, тому привід повинен перевірятись на допустиму частоту включень.

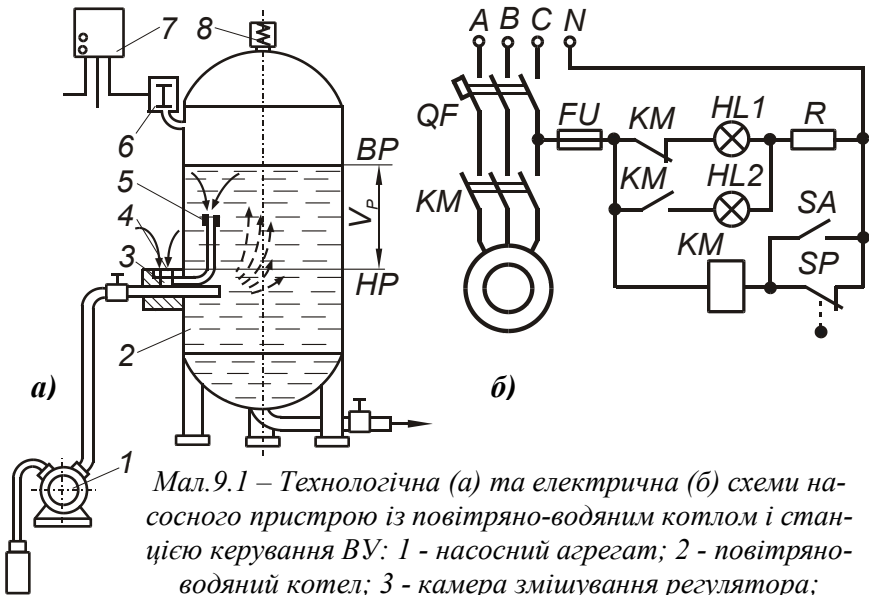
Регулювання при дроселюванні засувкою призводить до непродуктивних затрат потужності електродвигуна на переборення додаткового опору у прикритій засувці і застосовується на напірній магістралі у пристроях із синхронними двигунами потужністю у декілька кіловат за невеликого діапазону та плавності регулювання, коли застосування інших методів призводить до значного зростання капітальних затрат і не дає істотної економії за рахунок зниження втрат.

Регулювання подачі електронасоса шляхом зміни частоти обертів є одним із найбільш раціональних способів. Частоту обертів асинхронного двигуна можна регулювати шляхом зміни напруги, що підводиться до двигуна, переключенням числа пар

полосів, зміни опору у колі ротора чи частоти струму живлення, а також, за допомогою електромагнітної муфти чи клинопасової передачі з варіатором.

При надійному електропостачанні і невеликих погодинних витратах (1,6...36 м³/год) на фермах можуть застосовуватись насосні пристрої з повітряно-водяним котлом, заглибним, лопатним чи вихровим насосом і станцією керування типу ВУ (див. мал. 9.1).

Насосний пристрій типу ВУ працює таким чином: вода, яка подається насосом 1, йде до споживачів, а її надлишок – у повітряно-водяний котел 2, де вода піднімається й стискає повітря, яке знаходиться у котлі. Коли тиск води у котлі досягає певного значення, реле тиску 6 своїми контактами SP відключає електро-насосний агрегат і подача води зупиняється. Після цього вода до споживачів подається під тиском повітря у котлі. Поверненню води назад до водоймища через насос протидіє зворотній клапан. У міру витрати води тиск у котлі знижується і коли він досягає встановленого мінімального значення, реле тиску включає насосний агрегат. Звичайно, відношення мінімального тиску (вмикання) до максимального (вимикання) складає 0,65...0,75 для пристроїв невеликої подачі і 0,8...0,85 для пристроїв із великою подачею. Повітряна подушка котла пом'якшує гідравлічні удари, які виникають при



Мал.9.1 – Технологічна (а) та електрична (б) схеми насосного пристрою із повітряно-водяним котлом і станцією керування ВУ: 1 - насосний агрегат; 2 - повітряно-водяний котел; 3 - камера змішування регулятора; 4 - повітряний клапан; 5 - жиклер; 6 - реле тиску; 7 - станція керування; 8 - запобіжний клапан

перехідних режимах роботи електронасосного пристрою. У повітряноводяних котлах повітря безпосередньо контактує з водою, в результаті чого частина його розчиняється й виноситься водою, що зменшує об'єм повітряної подушки. Це може призвести до порушення нормальної роботи пристрою і більш частих включень агрегату. Для автоматичного підтримування необхідного об'єму повітряної подушки застосовується розподільна діафрагма або струменевий регулятор, за допомогою якого повітряна подушка поповнюється повітрям.

У повітряно-водяних котлах запас води порівняно невеликий, тому за великих погодинних витрат води, зростає частота вмикання насосного агрегату, що може призвести до перегрівання електродвигуна й виходу його з ладу. Збільшення об'єму котла істотно підвищує його вартість, тому при великих годинних витратах води використовують баштові насосні пристрої з водонапірними баками.

Автоматичні системи керування баштових насосних пристроїв повинні виконувати такі функції:

- автоматичне вмикання електродвигуна при випорожненні водонапірного бака нижче встановленого рівня й вимикання електродвигуна при заповненні водонапірного бака вище верхнього встановленого рівня та при зниженні рівня води у свердловині (захист від сухого ходу);

- ручне керування водонасосного пристрою;

- вимикання електродвигуна при коротких замиканнях, перевантаженнях, обриві фази, значному зниженні напруги;

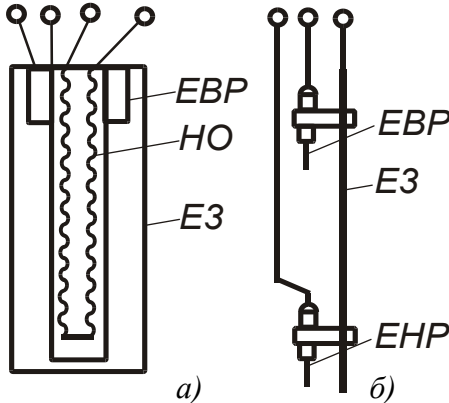
- сигналізацію про роботу системи керування та про завантаження двигуна.

Контроль за рівнем води у водонапірному баку може здійснюватись за допомогою поплавкових чи електродних датчиків рівня та електроконтактних манометрів. Поплавкові датчики рівня мають низьку надійність роботи внаслідок наявності рухомих механічних частин.

Електродні датчики рівня (мал. 9.2) використовують провідність води для проходження електричного струму і надійно працюють при позитивних температурах, а при морозі відмовляють у роботі, оскільки електроди покриваються кригою, яка має низьку провідність і швидко окислюється. Для запобігання замерзанню електродних датчиків рівня (як правило, датчика верхнього рівня) використовують нагрівальний опір *НО* потужністю 80...100 Вт, який включається на зимовий період від руки. Оскільки для

електричного зв'язку датчиків рівня, які розміщені у баку і станції керування, необхідні з'єднувальні проводи значної протяжності, то у нових станціях керування насосними пристроями для контролю за рівнем води у водонапірних баках використовуються електроконтактні манометри, які встановлюються у приміщенні насосної станції і можуть реєструвати перепад статичного тиску стовпа рідини у системі водопостачання при зміні рівня води на 1-2 м.

Заглибні насоси, як правило, поставляють разом із станціями



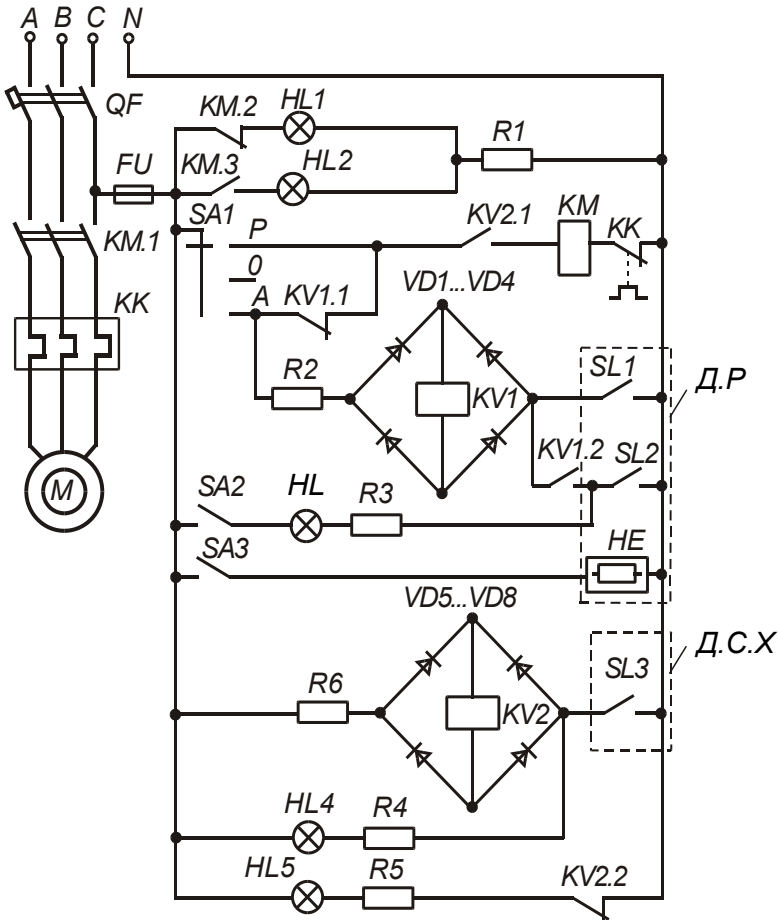
Мал. 9.2 - Електродні датчики рівня: а) - трубчатий датчик; б) - стержневий датчик; ЕЗ – загальний електрод з'єднаний із нульовим проводом мережі; ЕВР - електрод верхнього рівня; ЕНР - електрод нижнього рівня; НО – нагрівальний опір

керування та релейно-контактними елементами ПЭТ або напівпровідниковими пристроями (логічними елементами, мікросхемами) типу ШЭП та “Каскад”, які відрізняються також за потужністю керованого двигуна і виготовляються двох габаритів для двигунів потужністю 10...12 кВт і 16...65 кВт. Перші дві станції зняті з виробництва, але у господарствах ще використовуються.

Розглянемо прості схеми автоматичного керування насосних пристроїв, які розповсюджені у сільському господарстві і за допомогою яких можна з'ясувати принцип роботи типових станцій типу ШЭП, “Каскад” та інших. Електричну схему автоматизованого керування заглибних насосів за допомогою електродних датчиків рівня у водонапірному баку й електродного датчика сухого ходу у свердловині наведено на мал. 9.3.

За нормальних умов роботи заглибний насос знаходиться у воді й контакти (електроди) датчика сухого ходу SL3 замкнуті, реле KV2 ввімкнено, його замикаючі контакти KV2.1 у колі котушки магнітного пускача КМ замкнуті, горить сигнальна лампочка HL4, яка сигналізує про наявність води у свердловині (у зоні насоса). Режим роботи схеми задається перемикачем SA1. При переключенні його у положення А (автоматичне керування) і вмиканні автоматичного вимикання QF, на схему керування

подається напруга. Якщо рівень води у напірному баку знаходиться нижче електрода нижнього рівня датчика, то контакти (електроди) SL1 і SL2 – розімкнуті, реле KV1 знеструмлене і його контакти KV1 у колі котушки магнітного пускача KM замкнуті. У цьому разі магнітний пускач спрацьовує й включає електродвигун насоса, одночасно гасне сигнальна лампочка HL1 і загоряється лампочка HL2. Насос подаватиме воду до напірного баку й рівень води у ньому підніматиметься. Коли вода заповнить проміжок між електродом нижнього рівня і корпусом датчика, який під'єднаний до заземленого нульового проводу, контакти SL2 замкнуться, але реле KV1 не спрацює, оскільки його контакти KV1.2, які включені послідовно з контактами SL2, розімкнуті. Коли вода досягне



Мал.9.3 – Електрична схема автоматизації роботи заглибного насоса за рівнем води у водонапірній вежі

електрода верхнього датчика рівня, контакти SL1 замкнуться, реле KV1 спрацює й розімкне свої контакти KV1.1 у колі магнітного пускача KM і вимкне останній, а також замкне замикаючі контакти KM.2, магнітний пускач KM відключить своїми головними контактами електродвигун, а допоміжними контактами вимкне сигнальну лампочку HL2 і ввімкне лампочку HL1. Повторне вмикання електродвигуна насоса відбудеться при зниженні рівня води до положення, коли розімкнуться контакти (електроди) SL2 і реле KV1 знеструмиться.

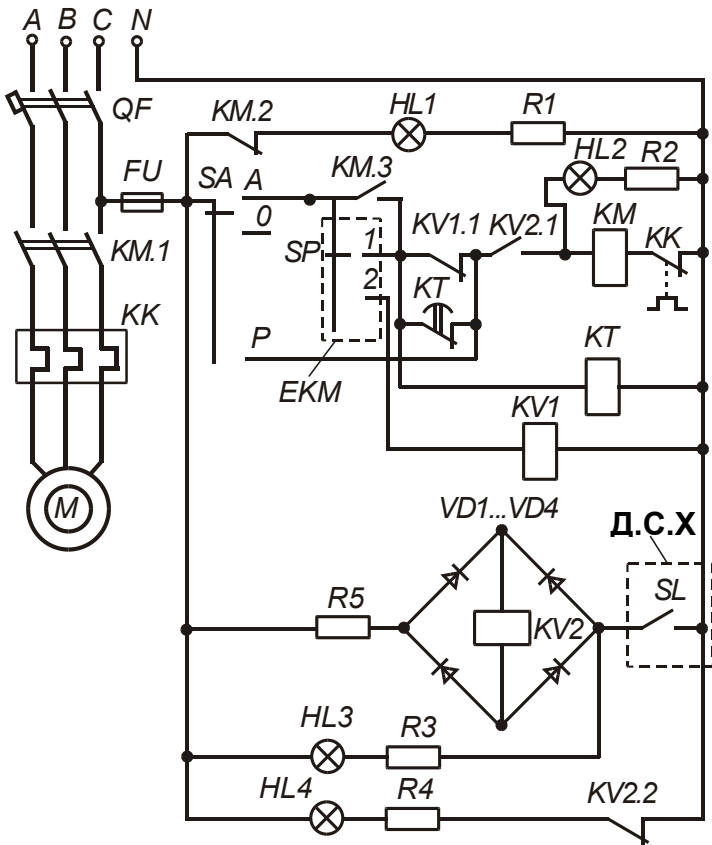
Реле KV1 живиться постійним струмом, оскільки обмотка реле змінного струму може перегоріти при повільному заповненні водою верхнього датчика рівня і повільному зменшенні опору води та зростанні струму до величини струму спрацювання, який при розімкнутому магнітопроводі у декілька разів більший від номінального струму. Опір R2 обирають таким, щоб при напрузі мережі 220 В на обмотці реле KV1 була напруга 24 В постійного струму.

У випадку аварійного зниження рівня води у свердловині (у зоні заглибного насоса) нижче допустимого положення розімкнуться контакти (електроди) датчика сухого ходу SL3, реле KV2 знеструмиться й розімкне контакти KV2.1 у колі котушки магнітного пускача KM, який вимкне електродвигун заглибного насоса. Лампочка HL4 погасне, а HL5 загориться, сигналізуючи про аварійне зниження рівня води у свердловині. Для захисту електродвигуна заглибного насоса від перевантажень, замість теплових реле може використовуватись пристрій ФУЗ-М, який більш надійно захищає двигун заглибного насоса як від перевантажень, так і від неповнофазних режимів роботи.

На мал. 9.4 наведено електричну схему автоматизованого керування заглибним насосом з водонапірним баком за допомогою електроконтактного манометра. За наявності води у свердловині у зоні заглибного насоса контакти (електроди) датчика сухого ходу SL будуть замкнутими, а реле KV2 триматиме замкнутими свої контакти KV2.1 у колі котушки магнітного пускача KM. В автоматичному режимі при вимкненому насосі рівень води у баку знижується, коли вона витрачається, а отже, зменшується тиск водяного стовпа, рухомий стрілковий контакт манометра SP буде рухатись до нерухомого контакту 1, положення якого встановлюється відповідно до тиску, який створює водяний стовп при нижньому рівні води у баку. При замиканні цих контактів струм надходить на магнітний пускач KM, який вмикає електродвигун заглибного насоса і своїми замикаючими контактами KM.2 шунтує контакти 1

та SP.

При вмиканні електронасосного агрегату у напірному трубопроводі виникає короткочасне підвищення тиску у момент трогання насоса. У цьому випадку рухомий контакт манометра SP може торкнутись контакту 2 і реле KV1 може короткочасно розімкнути свої контакти у колі котушки пускача КМ, але пускач не вимикається, оскільки його живлення здійснюватиметься через контакти реле часу КТ. Після розгону електронасосного агрегату й стабілізації тиску, реле часу розімкне свої контакти КТ. При підніманні рівня води у напірному баку тиск водяного стовпа зростатиме і рухомий стрілковий контакт манометра SP рухатиметься до нерухомого контакту 2, положення якого встановлюється відповідно до тиску, який створює водяний стовп при верхньому рівні води у баку. При замиканні цих контактів, струм надійде до реле KV1, яке



Мал.9.4 – Електрична схема автоматизації роботи заглибного насоса за тиском водяного стовпа водонапірної вежі

розімкне свої контакти KV1.1. і вимкне магнітний пускач КМ, який, у свою чергу, вимкне електродвигун насоса. При витраті води, її рівень у напірному баку знову знижуватиметься, тиск зменшиться і контакт SP знову доторкнеться до контакту 1. Робота схеми повториться. Для гасіння короточасних зростань тиску, які діють на електроконтактний манометр у моменти зрушення насоса з місця, на відгалуженні до манометра встановлюють дроселі з малими отворами або регульовані вентиля. У таких випадках реле часу у схемі на мал. 9.4 не потрібне.

Станції керування ШЭП відрізняються від попередніх тим, що всі кола керування виконані на безконтактних логічних елементах, змонтованих у блок БЛ-4М. Силові кола залишені такими ж, до них входить автоматичний вимикач та електромагнітний пускач. Безконтактні апарати керування мають більшу надійність порівняно з релейно-контактними. Середній строк служби логічних елементів 40 тис. годин при набагато вищій швидкодії (можуть працювати з частотою до 10 кГц) і захищеності від дії навколишнього середовища. Окрім того безконтактні пристрої не потребують регулювань і наладки. Станції керування ШЭП виконують ті ж функції, що і попередні схеми керування, окрім того дозволяють автоматичне керування електронасосом у режимі дренажу, залежно від рівня води у свердловині за допомогою встановлених у ній датчиків рівня. Окрім того, захист двигуна від перевантажень та обриву фази виконаний на логічних елементах із контролем струму навантаження має вищу надійність і швидкодію. Ця станція також знята з виробництва, але у господарствах ще використовується.

Найпоширеніші станції керування «Каскад», комплектуються скриньками керування, ЯНН5110 або ЯН 5100 і випускаються у двох виконаннях: для керування двигунами потужністю до 12кВт та двигунами потужністю від 16 до 65 кВт. Залежно від типу скриньки керування станція «Каскад» може виконувати такі функції:

- автоматичний запуск і зупинку електронасоса залежно від рівня води у режимі водопіднімання та дренажу;
- місцевий (від руки) та телемеханічний запуск і зупинку двигуна;
- автоматичний запуск електронасоса в режимі водопіднімання залежно від тиску водяного стовпа у башті та його автоматичну зупинку через названий оператором проміжок часу (до 90 хв);
- селективний автоматичний запуск насосів із регульованою витримкою часу;
- вимикання електронасоса при зниженні рівня води у сверд-

ловині (захист від сухого ходу) та при перевантаженні;

- неможливість повторного автоматичного запуску після спрацювання будь-якого захисту;

- світлову сигналізацію з розшифровкою причини аварійної зупинки;

- контроль завантаження двигуна струмом.

Усі функції автоматичного керування, сигналізації та захисту двигуна від аварійних режимів (окрім коротких замикань) виконує блок керування типу БОН-9200, виконаний на напівпровідникових елементах.

ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитись з обладнанням лабораторного стенда і записати у таблицю 9.2 паспортні дані електродвигуна, а у табл. 9.3 - насоса.

Таблиця 9.2

Паспортні дані електродвигуна

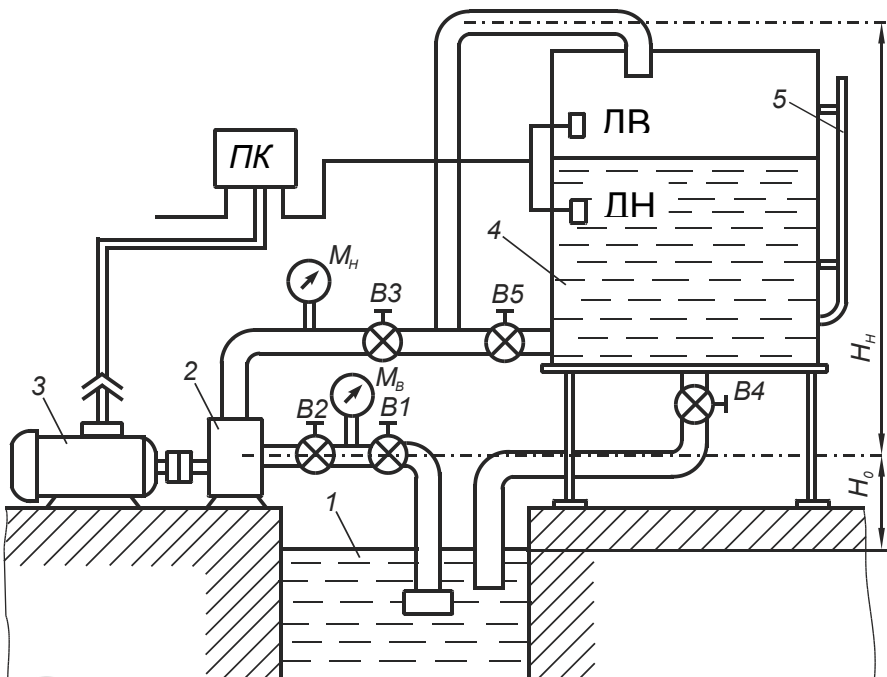
Назва	Тип	U_H	I_H	P_H	$\cos\varphi$	η_H	n_H	Вага	Клас ізоляції	Режим роботи
		В	А	Вт		%	об/хв	кг		

Таблиця 9.3

Паспортні дані насоса

Назва	Тип	Q_H	H_H	Вага
		м ³ /с	м	кг

2. Вивчити будову й принцип роботи станцій керування типу ШЭП та “Каскад”, з’ясувати можливі режими їх роботи, а також умови застосування переваги та недоліки.
3. Перевірити роботу в автоматичному режимі схеми керування насосним агрегатом за допомогою електроконтактного манометра.
4. Запустити у дію насосний пристрій (мал. 9.5) у режимі ручного керування і визначити подачу насоса, заповнюючи бак при закритих вентилях В4 і В5 (вентиль В5 служить для заповнення відцентрового насоса водою перед запуском) та повністю відкритих вентилях В1, В2 і В3, вирахувати об’єм V води, яка подається насосом протягом деякого часу (попередньо заміряти площу бака F). Зафіксувати 4...6 проміжків часу t роботи насоса і відповідні їм рівні води за допомогою водомірної труби. Результати записати у табл. 9.4.
5. Установити витрати при різних положеннях водорозбірного вентиля В4 (вентиль відкритий на один оберт маховичка, на два і т. д.



Мал.9.5 – Схема лабораторного стенду для дослідження водопостачального пристрою із водонапірним баком: 1 - резервуар з водою; 2 - насос; 3 - електродвигун; 4 - водонапірний бак; 5 - водомірна трубка; ПК - пульт керування; В1, В2, В3, В4, В5 - вентилі; ДВР, ДНР - датчики верхнього та нижнього рівня

Таблиця 9.4

Дані для визначення подачі насоса

№ з/п	t, с	h, м	$\Delta V, \text{м}^3$	$\Delta t, \text{с}$	F, м^2	$Q_{\text{п}}, \text{м}^3/\text{с}$
1						
2						
3						
4						
5						

Таблиця 9.5

Дані для визначення витрати води

№ з/п	t, с	h, м	$\Delta V, \text{м}^3$	$\Delta t, \text{с}$	F, м^2	$Q_{\text{п}}, \text{м}^3/\text{с}$
1						
2						
3						
4						

повністю) витрати заміряти у межах зміни напору водяного стовпа від верхнього до нижнього рівня. Після кожного досліду заповнити бак до верхнього рівня. Результати записати у табл. 9.5.

6. Виміряти напір, який розвиває насос. Запустити насосний пристрій у режимі ручного керування при відкритих вентилях В1, В2, В3 і В4. Напори H_H та H_B визначити за показами манометрів на нагнітальному і всмоктувальному трубопроводі. Повний напір H_{Π} насоса дорівнює їх сумі. Сумарний напір H_C складається з геометричних висот всмоктування, нагнітання та вільного напору H_I ($H_I = 6...10$ м вод. ст.) Напір втрат у трубопроводах H_T буде рівним $H_T = H_{\Pi} - H_C$. Результати записати у табл. 9.6.

Таблиця 9.6

Результати вимірювань напорів

H_B		H_H		H_{Π}		H_I		H_C		H_T		H_T	
Па	м. вод. ст.	Па	м. вод. ст.	Па	м. вод. ст.	Па	м. вод. ст.	Па	м. вод. ст.	Па	м. вод. ст.	Па	м. вод. ст.

7. Визначити ККД насоса при роботі у режимі ручного керування і повністю відкритих вентилях В1, В2, В3 та В4. Покази приладів записати у табл. 9.7.

Таблиця 9.7

Дослідні дані для визначення ККД насосного пристрою

№ з/п	U	I	P	Q_{Π}	H_B	H_H	H_{Π}
	В	А	Вт	м ³ /с	Па	Па	Па
1							

Потужність, яка затрачується на піднімання води (корисна), кВт:

$$P_K = Q_H H_{\Pi} / 102.$$

ККД пристрою і насоса:

$$\eta_{\Pi P} = P_K / P,$$

$$\eta_{\text{НАС}} = QH / [102(P - \Delta P_H)],$$

де H - напір, що створює насос, м. вод. ст.:

$$H = H_H Q^2 / Q_H^2,$$

де H_H та Q_H - номінальні значення напору й подачі насоса (за паспортними даними);

$$\Delta P_H = P_H (1 - \eta_X),$$

де η_X - ККД двигуна при навантаженні P_X .

Коефіцієнт механічного завантаження двигуна:

$$x = P / P_{\Pi P},$$

де $P_{\Pi P}$ - приєднана потужність, кВт:

$$P_{\text{пр}} = P_H / \eta_H.$$

$$\eta_x = x / [I + (I + \eta_H) / \eta_H - S / (I + S_H) (I + I / \cos \varphi_H) (I - x)],$$

де η_H , S_H , $\cos \varphi_H$ - номінальні значення ККД, ковзання та коефіцієнта потужності електродвигуна.

8. Визначити частоту вмикань насосного пристрою при заданому об'ємі регульованої ємності. Витрату води встановити рівною половині номінальної подачі насоса ($Q = Q_H/2$) і включити насосний пристрій у режимі автоматичного керування. Результати вимірів записати до табл. 9.8.

Частота вмикань рівна:

$$Z = 1/t_{\text{ц}} = 1/(t_p + t_3),$$

де $t_{\text{ц}} = t_p + t_3$ - час циклу, с; t_p - час роботи насоса, с; t_3 - час зупинки, с.

Таблиця 9.8

Дослідні дані для визначення частоти вмикань насосного пристрою

№ з/п.	U	I	P	Q_H	Q_P	ΔV	Час, сек		
	В	А	Вт	м ³ /с	м ³ /с	м ³	t_p	t_3	$t_{\text{ц}}$
1									

За умови $Q = Q_H/2$ - частоту вмикань можна розрахувати за формулою: $Z_p = Q_H / 4 \Delta V$.

У випадку розходження Z і Z_p необхідно пояснити причину.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які системи водопостачання застосовують у сільському господарстві й у чому їх переваги та недоліки?
2. За яким принципом керування автоматизують водопіднімальні пристрої?
3. Як побудовані та працюють заглибні електронасоси й у чому переваги систем водопостачання з їх використанням?
4. Які системи датчиків використовують у водопіднімальних пристроях, у чому полягає принцип їх роботи та в чому їх переваги й недоліки?
5. Які функції виконують станції керування ПЭТ, ШЭП та "Каскад" і як вони працюють в автоматичному режимі?
6. У чому полягають переваги безконтактних систем керування електроприводом водопіднімальних пристроїв?
7. Як працює автоматичний водопіднімальний пристрій з повітряно-водяним котлом?
8. У чому полягають особливості запуску та роботи відцентрових та вихрових насосів?
9. Як здійснюється захист електродвигуна для приводу водяного насоса?

10. Як розрахувати потужність електродвигуна для приводу водяного насоса?
11. Як залежить потужність, яку споживає електродвигун, від частоти обертів насоса?
12. Чому обмежується максимальне число включень електродвигуна насоса за годину, від чого воно залежить та як його розрахувати?

ПРОГРАМА ПОЗААУДИРНОЇ САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ

№ з/п	Вид підготовки	Час, год
1	За рекомендованою літературою ознайомитись із будовою, принципом роботи та технічними характеристиками водяних насосів, які використовуються у сільському господарстві	1
2	Вивчити принцип роботи, переваги та недоліки без баштових та баштових систем водопостачання, при застосуванні різних датчиків рівня, а також ознайомитись з будовою, принципом роботи та перевагами й недоліками систем автоматичного керування насосними пристроями	1
3	Підготувати робочий зошит для виконання лабораторної роботи, у який записати: <ul style="list-style-type: none"> - назву та мету роботи; - короткі теоретичні пояснення (конспективно) із необхідними для розрахунків формулами; - вказівки щодо виконання роботи; - таблиці 9.2...9.8; - електричні схеми мал. 9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5. 	2

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Практикум з електропривода/ В. С. Олійник, О. С. Марченко, Е. Л. Жулай, Ю. М. Лавриненко. – К.: Урожай, 1995, 192 с. – (С. 126–138).
2. Подобайло В. Г., Зініч В. П., Байгер М. А. Застосування електроенергії у сільському господарстві. - К.: Урожай, 1989. – 166 с. – (С. 70–76).
3. Електрообладнання тваринницьких підприємств і автоматизація виробничих процесів у тваринництві/ В. Ф. Гончар, Л. П. Тищенко – 2-е вид. перероб. і доп. – К.: Вища школа, 1986, 287 с. – (С. 193 – 202).
4. Фокин В. В. Практикум по электрооборудованию сельскохозяйственного производства. – М.: Агропромиздат, 1991, 160 с. – (С. 110–121).
5. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок/ Н. Ф. Кудрявцев, Л. А. Калинин,

- В. А. Карасенко и др. Под ред. Н. Ф. Кудрявцева. – М.: Агропромиздат, 1988, 480 с. – (С. 130 – 154).
6. Фоменков А. П. Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий. – М.: Колос, 1984. 288 с. – (С. 15 – 47).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРНОГО ПРИБОРУ

Мета роботи: ознайомитись з будовою, основними характеристиками вентилятора та способами регулювання його подачі, напору, моменту, потужності та ККД шляхом заміни його кутової швидкості та площі перетину повітроводу, з'ясувати особливості електропривода вентиляторних пристроїв.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЯСНЕННЯ

У повітряному середовищі виробничих приміщень, де знаходяться люди, тварини, обладнання, матеріали, продукти переробки, кормові відходи, завжди є деяка кількість шкідливих домішок (вуглекислого газу, вологи, аміаку, сірководню, пилу та ін.), а також спостерігається відхилення температури від нормативних значень, що негативно впливає на стан здоров'я людей, продуктивність тварин, довговічність електрообладнання. Для підтримання у допустимих межах температури, вологи, запиленості і вмісту шкідливих газів у повітрі виробничих, тваринницьких та інших приміщень використовують вентиляторні пристрої.

Системи механічної вентиляції поділяються на витяжну, припливну та припливно-витяжну. У системах витяжної вентиляції вентилятори витягують повітря із приміщень, створюючи розрідження, а свіже повітря надходить у приміщення через нещільності. У системах припливної вентиляції вентилятори подають зовнішнє повітря до приміщень, створюючи надлишковий тиск, під дією якого повітря виходить із приміщення через витяжні шахти та нещільності. При цьому, як правило, повітря, яке подається до приміщень, підігрівається. Припливно-витяжна вентиляція – це комбінація припливної вентиляції з витяжною.

Щоб вибрати вентилятор і визначити потужність електродвигуна для його приводу, потрібно розрахувати необхідну витрату повітря та необхідний напір для подавання свіжого повітря до приміщення. Витрату повітря у тваринницьких та птахівничих приміщеннях визначають, виходячи з необхідності видалити із приміщення

надлишкових вуглекислого газу, теплоти чи вологості. Найбільшу отриману погодинну L витрату повітря приймають за розрахункову.

Погодинний повітрообмін L_K для видалення надлишкового вмісту вуглекислого газу можна визначити за залежністю:

$$L_K = kC/(C_1 - C_2),$$

де k - коефіцієнт, який враховує виділення CO_2 мікроорганізмами підстилки, $k = 1,2$;

C - кількість CO_2 , яка виділяється усіма тваринами (береться з довідників), л/год;

C_1 - вміст CO_2 у зовнішньому повітрі, (для сільської місцевості $C_1 = 0,3$ л/м³, у містах $C_1 = 0,4$ л/м³);

C_2 - допустимий вміст CO_2 у повітрі в середині приміщення (береться з довідників), л/м³;

Погодинний повітрообмін L_B для видалення надлишкової вологи можна визначити за залежністю:

$$L_B = k_1 W_1 (d_2 - d_1),$$

де k_1 - коефіцієнт, що враховує випаровування вологи з підлоги, $k_1 = 1,1$;

W_1 - волога, що виділяється тваринами всередині приміщення (береться з довідників), г/год;

d_1 - вологовміст зовнішнього повітря, л/м³, що рівний:

$$d_1 = d_{1H} \cdot \varphi_1,$$

де d_{1H} - вологовміст насиченого зовнішнього повітря при розрахунковій температурі, л/м³;

φ_1 - розрахункова відносна вологість зовнішнього повітря;

d_2 - допустимий вологовміст повітря всередині приміщення, л/м³, що рівний:

$$d_2 = d_{2H} \cdot \varphi_2,$$

де d_{2H} - вологовміст насиченого повітря всередині приміщення при оптимальній температурі л/м³,

φ_2 - допустима відносна вологість повітря всередині приміщення.

Значення розрахункової температури і відносної вологості зовнішнього повітря для вентиляційних пристроїв у різних зонах беруть із довідників із вентиляції. Якщо цих відомостей немає, то орієнтовно розрахункову температуру зовнішнього повітря можна прийняти рівною $+3$ °С, а відносну вологість $\varphi_1 = 0,9$.

Погодинний повітрообмін L_T для видалення надлишкової теплоти, можна визначити за залежністю:

$$L_T = [(Q_T n - Q_0)(1 + \alpha t_{II})] / [C_V (t_{II} - t_3)]$$

де Q_T - вільна теплота, що виділяється однією твариною, середньої для цього приміщення маси, кДж/г;

n - кількість тварин у приміщенні;

t_{II}, t_3 - температура повітря у приміщенні та назовні його, °С;

C_V - питома теплоємність повітря при температурі 0 °С і нормаль-ному тиску, кДж/(м³ град), $C_V = 1,283$;

α - температурний коефіцієнт розширення повітря, $\alpha = 1/273$ °С;

Q_O - втрати теплоти через зовнішні огорожі, кДж/г, що рівні:

$$Q_O = Vq_O(t_{II} - t_3)$$

де V - об'єм будівлі м³;

q_O - теплова характеристика приміщення, кДж/м³ град. год, для утеплених тваринницьких і птахівничих приміщень $q_O = 2,1...2,9$, для не утеплених $q_O = 2,9...5,1$, для інших виробничих приміщень $q_O = 1,9...3,15$, для адміністративних приміщень $q_O = 1,3...1,9$.

Щоб визначити необхідний спосіб збудження руху повітря для обміну K_O , визначають погодинну кратність обміну, користуючись формулою:

$$K_O = L/V.$$

У випадку, коли K_O не більше 3 год⁻¹ застосовують вентиляційні пристрої із природнім збудженням повітрообміну (прівітрювання), коли $K_O > 3$ - зі штучним збудженням повітрообміну вентиляторами. У холодну пору року у пристроях без підігрівання повітря кратність повітрообміну не повинна перевищувати 5.

Розрахункову подачу вентилятора, Q_P м³/год, визначають за формою:

$$Q_P = k_3 L / N_B,$$

де k_3 - коефіцієнт запасу подачі вентиляційного пристрою ($k_3 = 1,1...1,5$) із зростанням потужності зменшується);

N_B - кількість вентиляторів.

Розрахунковий тиск (напір) вентилятора h_P , Па:

$$h_P = h_{CT} + h_D$$

де h_{CT} і h_D - відповідно статична й динамічна складові тиску, Па.

Статичний тиск:

$$h_{CT} = h_{PP} + h_M,$$

де h_{PP} - втрати тиску на прямих ділянках повітроводів (на подолання опорів, що виникають унаслідок тертя повітря об стінки повітроводів), Па;

h_M - втрати тиску на подолання місцевих опорів (у фасонних частинах) повітроводів, Па.

Динамічний тиск:

$$h_d = \rho v^2 / 2,$$

де ρ - питома густина повітря, $\rho = 1,29 \text{ кг/м}^3$;

v - швидкість руху повітря, $v = 10 \dots 15 \text{ м/с}$.

У розосереджених вентиляційних пристроях (за відсутності повітроводів), нехтують втратами тиску повітря на вході й виході вентилятора й вважають, що розрахунковий тиск (напір) дорівнює динамічному.

Розрахункову потужність двигуна P_p для приводу вентилятора визначають за формулою:

$$P_p = (Q_p h_p / \eta_B \eta_{ПЕР}) 10^{-3},$$

де $\eta_{ПЕР}$ - ККД механічної передачі від електродвигуна до вентилятора;

η_B - ККД вентилятора.

Механічна характеристика вентилятора має вигляд:

$$M_O = M_{TP} + (M_{OH} - M_{TP})(\omega/\omega_H)^2,$$

де M_O - момент опору вентилятора при кутовій швидкості ω ;

M_{TP} - момент опору сил тертя у підшипниках вентилятора, або момент зрушення з місця;

M_{OH} - момент опору вентилятора при номінальній кутовій швидкості ω_H .

Оскільки $M_{TP} \ll M_{OH}$, то перевірку обраного двигуна за умовами зрушення не проводять і приблизно вважають, що $M_O \equiv \omega^2$, а відповідно потужність вентилятора $P_B \equiv \omega^3$. Тому номінальна кутова швидкість двигуна повинна збігатись з номінальною кутовою швидкістю вентилятора, оскільки незначне збільшення кутової швидкості призводить до різкого зростання необхідної потужності електродвигуна.

Продуктивність вентилятора регулюють зміною кутової швидкості (найбільш економічний спосіб) або перерізу повітроводу за допомогою засувки, (при застосуванні асинхронних двигунів, що мають постійну кутову швидкість). Останній спосіб регулювання продуктивності неекономічний, тому нині все частіше застосовують регульований за частотою обертання електропривод змінного струму.

Автоматичні системи керування вентиляційно-опалювальними пристроями у тваринницьких і птахівничих приміщеннях повинні забезпечувати дотримання заданого волого-температурного режиму і газового складу повітря. При заданій температурі повітря у приміщенні продуктивність вентилятора повинна бути розрахована на видалення шкідливих домішок із повітря. Якщо темпера-

тура повітря у приміщенні вища норми, то продуктивність вентиляторів повинна зростати, а при температурі нижче норми – зменшуватись. Названий принцип роботи систем автоматизації використовується у комплектах вентиляційного обладнання “Клімат – 2”, “Клімат – 3”, “Клімат – 4”, до комплекту обладнання яких входять осьові електровентилятори серії ВО. Привід таких вентиляторів здійснюється від спеціальних асинхронних електродвигунів типу 4АПА80 або АИРП80, які мають підвищений опір обмотки ротора, що зумовлює порівняно малу кратність пускового струму (4...5), підвищений пусковий момент (практично рівний критичному) і підвищене номінальне ковзання ($S = 0,06...0,07$ проти $0,04...0,05$ у двигунів загального виконання). Завдяки підвищеному ковзанню названі двигуни допускають регулювання кутової швидкості у широкому діапазоні шляхом зміни підведеної до статора напруги. Водночас такі двигуни мають нижчі значення ККД та $\cos\phi$ порівняно із двигунами загального виконання. Корпус такого двигуна має циліндричну форму без ребер і вентилятора самовентиляції, діаметр двигуна не перевищує діаметра втулки робочого колеса вентилятора. Охолоджується двигун зовнішнім обдуванням і кріпиться до корпусу вентилятора за допомогою кронштейнів і гумових прокладок. Робоче колесо вентилятора має чотири лопатки, що кріпляться до встановленої на валі електродвигуна втулки. Вентилятор має жалюзі, які відкриваються потоком повітря, а закриваються при зупинці вентилятора під дією власної ваги.

У вентиляційних пристроях “Клімат – 4” напруга на двигунах змінюється ступінчато за допомогою автотрансформатора АТ-10 із відгалуженнями, що дають напругу від 70 до 300 В. Напруги обрані так, щоб отримати дві знижені частоти обертання: - 33% та 66% від номінальної, окрім того, регулювання продуктивності пристрою здійснюється зміною кількості груп працюючих вентиляторів (від 1 до 3).

Комплект “Клімат – 4” забезпечує виконання таких функцій:

- ручне керування електровентиляторами;
- триступінчате регулювання частоти обертання електровентиляторів залежно від температури повітря у приміщенні, вниз від номінальної (33%, 66% та 100%);
- автоматичний перехід на нижчу частоту обертання при зниженні температури у приміщенні і на вищу частоту обертання при підвищенні температури у приміщенні;
- автоматичний вибір кількості груп працюючих вентиляторів;

- світлову сигналізацію наявності напруги на станції керування, кількість груп працюючих вентиляторів і їх частоту обертання;
- захист електродвигунів від коротких замикань і перевантажень за допомогою автоматичних вимикачів АП50Б або АЕ2026, які змонтовані безпосередньо біля вентиляторів.

Для виконання цих функцій до комплекту “Клімат – 4” входить станція керування типу ШАП5701 із панеллю датчиків температури і 10...30 вентиляторів серії ВО із автоматичними вимикачами для захисту електродвигунів. Контроль температури у приміщенні здійснюється напівпровідниковими трипозиційними терморегуляторами ПТР3-04 із діапазоном регулювання температури від +5 °С до +35 °С. Прилад може давати команди “нижче норми”, “норма”, “вище норми”. У якості чутливого елемента в ньому використаний терморезистор ММТ-1 з опором від 1 до 3 кОм, що вмикається в одне із плечей моста змінного струму. Датчики температури встановлюються всередині приміщення і з’єднуються із станцією керування екранованими проводами із гнучкими мідними жилами.

В останні роки випускаються станції керування ШОА9203, за допомогою яких продуктивність вентиляторів регулюється тільки зміною частоти їх обертання. Кількість швидкостей збільшена до шести. Станції мають два терморегулятори, один із яких контролює температуру повітря всередині приміщення, а другий - назовні.

Основними недоліками комплектів “Клімат – 4” із станціями керування ШАП та ШОА є наявність автотрансформатора та великої кількості електромагнітних пускачів, що збільшує втрати енергії і знижує надійність станцій, окрім того, при ступінчатому регулюванні погіршується якість параметрів мікроклімату.

З 1985 р. серійно випускається безконтактний пристрій “Кліматика – 1”, який забезпечує плавну автоматичну зміну частоти обертання електровентиляторів залежно від відхилення температури повітря у приміщенні шляхом зміни напруги на статорних обмотках електродвигунів. Регулюють напругу у діапазоні 1:6 трифазним тиристорним регулятором, який працює за принципом фазового керування кутом відкриття тиристорів. У цих пристроях застосовані досконаліші й надійніші схеми на основі напівпровідникових мікросхем, а також передбачений захист від порушення черговості фаз, неповно фазного режиму та імпульсів перенапруги. Сигналізаційні пристрої виконані на світлодіодах.

Конструктивно пристрій “Кліматика -1” складається із двох металевих скриньок, у одній із яких встановлено блок перемикачів, а у іншій - силовий тиристорний блок та блок керування. Блок

перемикачів складається з трьох автоматичних вимикачів типу АП50 та клемних з'єднань. За допомогою цього блоку станція працює в автоматичному та в нерегульованому режимах. В останньому випадку електродвигуни вентиляторів вмикаються на повну напругу мережі. Пристрій комплектується також датчиками температури (до чотирьох), які встановлюються у різних місцях приміщення і за допомогою екранованих проводів під'єднуються до блоку керування. На панелі керування змонтовано перемикач режимів роботи, задавач температури (у діапазоні від 0 до 40 °С розбитому на чотири діапазони), перемикач кількості приєднаних датчиків температури, задавач мінімальної напруги з безрозмірною шкалою від 1 до 10 та світлові сигнальні пристрої. Захист електродвигунів від коротких замикань та перевантажень здійснюється автоматичними вимикачами, що змонтовані безпосередньо біля вентиляторів.

ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитись з обладнанням лабораторного стенда і записати паспортні дані електродвигуна постійного струму у табл. 10.1, асинхронного двигуна - у табл. 10.2, вентилятора - у табл. 10.3.

Таблиця 10.1

Паспортні дані електродвигуна постійного струму

Назва	Тип	U_H	I_H	P_H	R_{Σ}	P_0	η_H	n_H	Вага	Клас ізоляції	Режим роботи
		В	А	Вт	Ом	Вт	%	об/хв			

Таблиця 10.2

Паспортні дані асинхронного двигуна

Назва	Тип	U_H	I_H	P_H	$\cos\varphi$	η_H	n_H	Вага	Клас ізоляції	Режим роботи
		В	А	Вт		%	об/хв			

Таблиця 10.3

Паспортні дані вентилятора

Назва	Тип	Q_H , м ³ /год	Вага, кг

2. Зібрати електричну схему електропривода вентилятора із двигуном постійного струму (мал. 10.1) і дослідити залежність потужності P_B , напору H , моменту опору M_0 та продуктивності вентилятора Q від його кутової швидкості. Результати вимірів і розрахунків записати до табл. 10.4.

Напір, який створює вентилятор, у лабораторному стенді заміряють за допомогою U-подібних водяних манометрів із трубками Піто (мал. 10.2). Вимірювальна трубка має два канали: внутрішній для динамічного напору 1 та зовнішній 2 - статичного напору

і два приймальних отвори, один із яких направлений назустріч потоку повітря, а інший - перпендикулярно до нього.

Таблиця 10.4

Дослідні дані при регулюванні продуктивності вентилятора

№ з/п	B	n	ω	P_0	U_Y	I_Y	U_3	I_3	M_0	Напір, мм. вод. ст.	
	м^2	об/хв	с^{-1}	Вт	В	А	В	А	Нм	H_D	H_C
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											

Щоб зменшити вплив завихрень повітря, вимірювальну трубку встановлюють посередині нагнітальної труби достатньої довжини. Якщо з'єднати одне коліно манометра із внутрішнім каналом 1 (мал. 10.2. а), а інше залишити вільним, то різниця рівнів води у них відповідатиме повному напорові H (1 мм вод. ст. = 9,8 Па). При з'єднанні обох колін із каналами (мал. 10.2 б) манометр покаже значення динамічного напору H_D . Для заміру статичного напору H_C одне коліно манометра з'єднують із зовнішнім каналом 2 (мал. 10.2 в), а інше залишають вільним.

Швидкість потоку повітря v у повітроводі можна визначити за динамічним напором:

$$v = \sqrt{2H_D / \gamma} = 1,29 \sqrt{H_D},$$

де $\gamma = 1,2 \text{ кг/м}^3$ - густина повітря.

Подачу вентилятора Q , визначають за формулою:

$$Q = Bv, [\text{м}^3 / \text{с}],$$

де B - площа перетину повітроводу у місці встановлення трубки Піто, м^2 .

Потужність повітряного потоку:

$$P_B = QH, [\text{Вт}].$$

Потужність, що споживається електродвигуном із мережі:

$$P = U_Y I_Y + U_3 I_3, [\text{Вт}],$$

де I_Y, I_3 - сили струму обмоток якоря й збудження, відповідно, А;

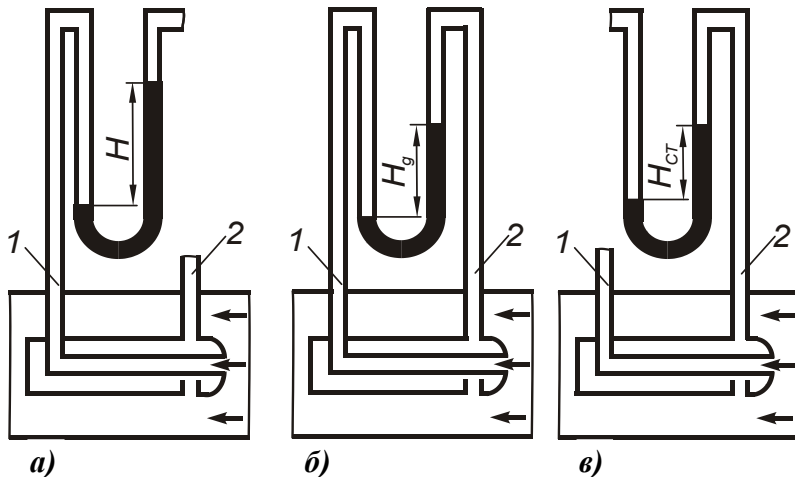
U_Y, U_3 - напруги на обмотках якоря й збудження, відповідно, В.

Механічна потужність на валі електродвигуна:

$$P_M = U_Y I_Y - I_Y^2 - P_O,$$

де $R_{Я}$ - опір обмотки якоря, Ом;

P_0 - втрати потужності у режимі холостого ходу, Вт.



Мал. 10.2 – Схеми з'єднання U-подібного манометра з трубками Піто при вимірюванні (а) повного, (б) динамічного, (в) статичного напорів: 1 - канал швидкісного напору; 2 - канал статичного напору

Момент опору на валі двигуна:

$$M_O = P_M / \omega .$$

$$\text{ККД вентилятора } \eta_B = P / P_M .$$

$$\text{ККД вентиляторного пристрою } \eta_{ВП} = P_B / P .$$

Результати розрахунків занести до табл. 10.5.

3. Дослідити залежність потужності P_B , напору H , моменту опору M_O , продуктивності вентилятора Q від зміни площі перетину повітропроводу (1,0; 0,75; 0,5; 0,25; 0 від максимальної) при постійній кутовій швидкості $\omega = \omega_H = const$, покази приладів записати у таблицю, аналогічну до табл. 10.4. Розрахувати параметри роботи вентилятора аналогічно до п. 2 і записати їх у таблицю, аналогічну до табл. 10.5.

За отриманими результатами побудувати залежності (на п'яти окремих малюнках):

$$1) \quad \omega = f_1(M_O); \quad \omega = f_2(H); \quad \omega = f_3(Q);$$

$$2) \quad H = f_4(Q);$$

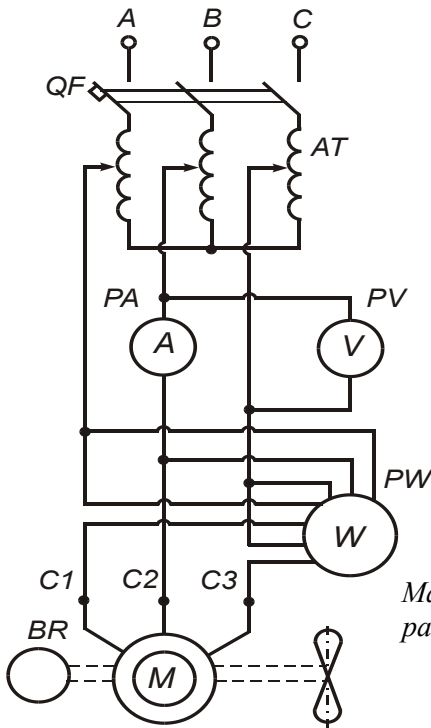
$$3) \quad \omega = f_5(P_B);$$

$$4) \quad \eta_B = f_6(Q);$$

$$5) \quad \eta_{ВП} = f_7(Q);$$

а) при $B = const; \omega = var;$

б) при $\omega = const; B = var;$



Мал. 11.3 – Електрична схема лабораторного стенда для дослідження електропривода вентилятора

Таблиця 10.5

Результати розрахунків при регулюванні продуктивності вентилятора

№ з/п	B	v	ω	Q	P_B	P	P_M	M_0	η_B	$\eta_{ВП}$
	м ³	м/с	с ⁻¹	м ³ /с	Вт	Вт	Вт	Нм		
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										

5. Зібрати електричну схему дослідження електропривода вентилятора з асинхронним двигуном (мал. 10.3) і, змінюючи напругу його живлення за допомогою автотрансформатора, дослідити залежність кутової швидкості вентилятора і коефіцієнта потужності від напруги на затискачах статора електродвигуна. Коефіцієнт потужності можна розрахувати за формулою:

$$\cos \varphi = P / \sqrt{3} U_{Л} I_{Л} .$$

Дослідні дані записати у табл. 10.6.

За отриманими результатами побудувати залежності:
 $n = f_8(U_{\text{Л}})$; $\cos \varphi = f_9(U_{\text{Л}})$; $\cos \varphi = f_{10}(n)$.

Таблиця 10.6

Дослідні дані при регулюванні напруги живлення двигуна вентилятора

$U_{\text{Л}}$	В	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
$I_{\text{Л}}$	А										
P	Вт										
n	об/хв										
$\cos \varphi$											

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Як побудовані й працюють електровентилятори серії ВО і електродвигуни серії 4АПА та АИРП?
2. Якими способами регулюють подачу вентилятора й у чому їх переваги та недоліки?
3. Як залежить продуктивність, напір, момент і потужність на валі вентилятора від кутової швидкості?
4. З чого складаються втрати в електровентиляторному пристрої?
5. Як заміряти напір і подачу вентилятора?
6. Як визначити ККД вентилятора і вентиляторного пристрою?
7. Які функції виконують комплекти вентиляційного обладнання “Клімат – 4” і “Кліматика – 1”, із чого вони складаються та як працюють?

ПРОГРАМА ПОЗААУДИТОРНОЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Вид підготовки	Час, год
1	За рекомендованою літературою ознайомитись із будовою, принципом роботи та технічними характеристиками вентиляторів сільськогосподарського призначення та їх приводних електродвигунів	1
2	Вивчити будову та принцип роботи комплектних вентиляційних пристроїв “Клімат – 4” і “Кліматика – 1” та з’ясувати їх переваги та недоліки	1
3	Підготувати робочий зошит для виконання лабораторної роботи, у який записати: <ul style="list-style-type: none"> - назву та мету роботи; - короткі теоретичні пояснення (конспективно) із необхідними для розрахунків формулами; - вказівки щодо виконання роботи; - таблиці: 10.1, 10.2, 10.3, 10.6 - 1 шт, 10.4, 10.5 - 2 шт. - електричні схеми: мал. 10.1, мал. 10.3. 	2

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Практикум з електропривода/ Ю. С. Марченко, Е. Л. Жулай, Ю. М. Лавриненко. – К.: Урожай, 1995, 192 с. – С. 138 -160.
2. Електрообладнання тваринницьких підприємств і автоматизація виробничих процесів у тваринництві/ В. Ф. Гончар, Л. П. Тищенко. – 2-е вид. перероб. і доп. – К.: Вища школа, 1986, 87 с. – С. 102 – 211.
3. Фокин В. В. Практикум по электрооборудованию сельскохозяйственного производства – М.: Агропромиздат, 1991. – 160 с. – С.105 - 110.
4. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок/ И. Ф. Кудрявцев, Л. А. Калинин, В. А. Карасенко и др., Под ред. И. Ф. Кудрявцева. – М.: Агропромиздат, 1988, 480 с. – С.155 - 169.
5. Фомеков А. П. Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий – М.: Колос, 1984, 288 с. – С. 48 - 81.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СВЕРДЛИЛЬНОГО СТАНКА

Мета роботи: вивчити роботу електропривода свердлильного станка та засвоїти методику розрахунку потужності його електродвигуна

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЯСНЕННЯ

Головний привід свердлильного станка слугує для обертання різального інструмента і здійснюється від асинхронного короткозамкнутого електродвигуна, при виборі якого визначну роль відіграє правильне визначення його потужності, від оптимального значення якої залежить економічність роботи електропривода: коефіцієнт корисної дії, затрати електричної енергії, вартість електродвигуна та вартість виготовленої деталі. Потужність різання при свердлінні залежить від багатьох факторів: швидкості різання, виду оброблюваного матеріалу, величини подачі, стійкості свердла та ін. Вибір потужності двигуна для головного приводу свердлильного станка виконують методом еквівалентних величин за навантажувальною діаграмою станка, яка будується на підставі технологічних даних при обробці найбільш ходових деталей. Регулювання швидкості обертання шпинделя свердлильного станка як при одношвидкісному асинхронному двигуні, так і при багатошвидкісному

двигуні здійснюють за допомогою багатоступеневої коробки передач. Діапазон регулювання швидкості головного приводу вертикально-свердильного станка (2...10):1.

Потужність електродвигуна для головного приводу свердильного станка розрахунковим методом можна визначити, розраховавши спочатку потужність на свердлі P_{CB} за формулою:

$$P_{CB} = \frac{\pi \cdot n \cdot M_{CB}}{30 \cdot 102}, \quad [\text{кВт}],$$

де n – частота обертання свердла, об/хв;

M_{CB} – обертовий момент на свердлі, кг·м.

Обертовий момент на свердлі:

$$M_{CB} = C_M \cdot D^X \cdot S_{II}^y / 1000, \quad [\text{кг·м}],$$

де D - діаметр свердла, мм;

S_{II} - подача (в мм на один оберт свердла);

C_M , x , y – залежать від виду оброблюваного матеріалу і беруться з табл. 11.1.

Таблиця 11.1

Постійні коефіцієнти для розрахунку обертового моменту на свердлі

Коефіцієнт	Оброблюваний матеріал						
	сталь вуглецева $\sigma_{вд}$, кг/мм ²				чавун сірий		
	30-40	40-50	50-60	60-70	м'який	середній	твердий
C_M	37	44	50	58	9	11,6	14,6
x	1,8				2		
y	0,78				0,6		

Подачу S_{II} за один оберт можна визначити, знаючи глибину свердління h (мм), час свердління t (с) та частоту обертання свердла n (об/хв):

$$S_{II} = 60 \cdot h / (t \cdot n), \quad [\text{мм/об}].$$

Повну потужність, яка використовується для приводу станка P_P , можна визначити, складаючи потужність на свердлі P_{CB} із потужністю холостого ходу станка $P_{ХХ}$ або, знаючи ККД станка, за формулою:

$$P_P = P_{CB} / \eta_{СТ},$$

де $\eta_{СТ}$ – ККД станка ($\eta_{СТ} = 0,7 \dots 0,85$).

Отриману розрахункову потужність електродвигуна P_P необхідно порівняти з дійсною потужністю на валі двигуна P_2 .

За допомогою ватметра можна визначити потужність P_1 , яку двигун споживає з мережі. Потужність на валі двигуна P_2 знаходять, віднімаючи від споживаної потужності P_1 втрати у двигуні.

Точний облік втрат в асинхронному двигуні

Втрати в обмотках статора (втрати в міді):

$$P_{M1} = 3I_{\phi}^2 R_{\phi} = I_L^2 R_{\phi},$$

де R_{ϕ} - опір фази статора при робочій температурі.

Із досліду холостого ходу двигуна знаходять потужність холостого ходу P_{XX} , а потім суму втрат в осерді (у сталі) P_{CT} та механічних P_{MEX} :

$$P_0 = P_{XX} - P_{M1} = P_{MEX} + P_{CT}.$$

Розділити втрати в сталі та механічні порівняно важко, можна прийняти для малих двигунів механічні втрати рівними $10 \div 20\%$ від втрат у сталі.

Втрати в обмотках ротора (міді ротора) P_{M2} визначаються через електромагнітну потужність P_{EM} та ковзання S :

$$P_{EM} = P_1 - P_{MEX} - P_{CT};$$

$$P_{M2} = P_{EM} S / 100,$$

де S - ковзання, %.

$$S = (n_c - n) / n_c.$$

Додаткові втрати P_D приймають у розмірі $0,5\%$ від споживаної потужності.

Таким чином, потужність на валі асинхронного двигуна:

$$P_2 = P_1 - (P_{M1} + P_{MEX} + P_{CT} + P_{M2} + P_D)$$

Приблизний метод обліку втрат у двигуні

Повні втрати у двигуні при номінальному режимі:

$$\sum P_{BT} = P_{2H} / \eta_H - P_{2H} = P_{2H} (1 - \eta_H) / \eta_H,$$

де P_{2H} - номінальна потужність на валі двигуна;

η_H - номінальний ККД двигуна.

Втрати у двигуні розділяють на постійні ΔP_K та змінні ΔP_V .

Для асинхронних двигунів відношення цих утрат, звичайно, рівне:

$$\Delta P_K / \Delta P_V = 0,5.$$

Таким чином:

$$\sum P_{BT} = \Delta P_K + \Delta P_V = 3\Delta P_K,$$

звідки при номінальному навантаженні постійні втрати:

$$\Delta P_K = \sum P_{BT} / 3,$$

і змінні втрати:

$$\Delta P_V = 2\sum P_{BT} / 3.$$

При зміні навантаження змінні втрати змінюються пропор-

ційно квадрату сили струму. Тому змінні втрати при навантаженні, відмінному від номінального, визначаються зі співвідношення:

$$\Delta P_{VX} = \Delta P_V (I_X / I_H)^2,$$

де I_X – сила струму статора при даному навантаженні.

Повні втрати:

$$\sum \Delta P_X = \Delta P_K + \Delta P_V (I_X / I_H)^2.$$

Потужність на валі двигуна:

$$P_2 = P_1 - \sum \Delta P_X.$$

ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитись із обладнанням та приладами, які використовуються у лабораторній роботі, записати їх паспортні дані у табл. 11.2.
2. Заміряти опір фази статора електродвигуна і записати у табл. 11.2.

Таблиця 11.2

Паспортні дані електродвигуна

Назва	Тип	U_H	I_H	P_H	$\cos \varphi_H$	η_H	n_H	R_Φ	Клас ізоляції	Режим роботи	Вага
		В	А	Вт		%	об/хв	Ом			кг

3. Зібрати електричну схему керування електродвигуном станка (мал. 11.1). Заміряти напругу, силу струму, потужність та частоту обертання при холостому ході двигуна. Визначити потужність холостого ходу станка P_{XX} та втрати у двигуні за одним із способів. Результати вимірів і розрахунків записати у табл. 11.3.

Таблиця 11.3

Результати дослідження холостого ходу станка

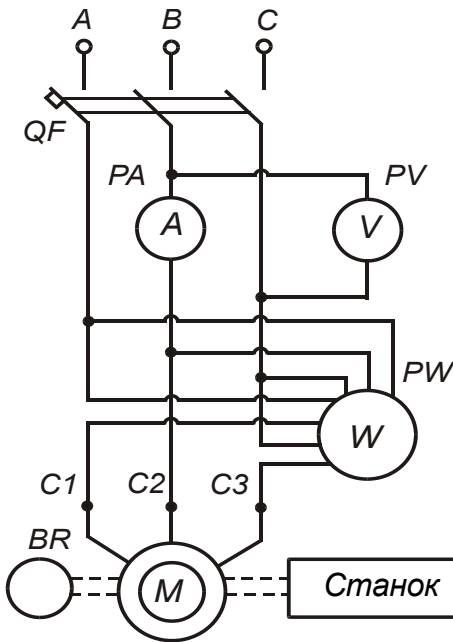
U_L	I_L	P_{XX}	n_{XX}	P_{MIX}
В	А	Вт	об/хв	Вт

4. Визначити дослідним шляхом потужність свердлильного станка при свердлінні одного з матеріалів і вирахувати потужність на валі двигуна. Результати записати у табл. 11.4.
5. Визначити розрахунковим шляхом потужність свердлильного станка і порівняти її з дослідними даними.

Таблиця 11.4

Дослідні дані для визначення потужності двигуна

U_L	I_L	P_1	n	D	h	t	S_{II}	P_2
В	А	Вт	об/хв	мм	мм	сек	мм/об	Вт



Мал. 11.1 – Електрична схема лабораторного станда

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. За якими методами визначають потужність електродвигуна для головного приводу свердильного станка?
2. У якому діапазоні і за допомогою чого здійснюється регулювання швидкості свердильного станка?
3. Від яких факторів залежить сила різання свердильного станка?
4. Як визначити подачу свердла?
5. Як працює електрична схема керування свердильним станком?
6. Як здійснюється точний облік втрат в асинхронному двигуні?
7. Як здійснюється приблизний облік утрат в асинхронному двигуні?
8. На які складові поділяються втрати в асинхронному двигуні і від чого вони залежать?

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Практикум з електропривода/ В. С. Олійник та ін. - К.: Урожай, 1995, 192 с.
2. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок/ Под ред. И. Ф. Кудрявцева.- М.: Агропромиздат, 1988, 408 с. - С. 229 - 233.
3. Фоменков А. П. Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий. - М.: Колос, 1984, 288 с. - С. 185 - 193.

ПРОГРАМА ПОЗААУДИТОРНОЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Вид підготовки	Час, год
1	За рекомендованою літературою вивчити роботу електропривода свердлильного станка та засвоїти методику розрахунку потужності його електродвигуна	2
2	Підготувати робочий зошит для виконання лабораторної роботи, у якій записати: <ul style="list-style-type: none"> - назву та мету роботи; - короткі теоретичні пояснення (конспективно) із необхідними для розрахунків формулами; - вказівки щодо виконання роботи; - таблиці: 11.1, 11.2, 11.3, 11.4 - 1 шт.; - електричну схему: мал. 11.1. 	2

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА РУЧНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ТА ДЖЕРЕЛ ЇХ ЖИВЛЕННЯ

Мета роботи: вивчити призначення, будову, принцип дії та технічні характеристики ручних електричних машин і джерел їх живлення, дослідити асинхронний перетворювач частоти

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЯСНЕННЯ

Ручною електрифікованою називається машина, у якій головний робочий рух здійснюється від електродвигуна, а керування, подача та інші рухи – від руки. Продуктивність праці при застосуванні цих машин зростає у декілька разів порівняно із застосуванням не електрифікованих машин. Промисловість випускає понад 100 типів ручних електрифікованих машин. У сільському господарстві найпоширеніші машини для підстригання овець, а також машини для виконання слюсарно-монтажних робіт: дрилі, ножиці, шліфувальні машини, машини для обробітку деревини та інші.

Будь-яка ручна електрифікована машина складається з рушія - електродвигуна чи електромагніта, передавального пристрою, власне інструменту та регулювальних пристроїв, які задають напрямок та глибину обробітку, а також корпусу чи рами і пристроїв для керування та живлення електричним струмом. Ручні електрифіковані машини повинні відповідати таким вимогам:

- невелика маса і підвищена механічна міцність;
- безпечність, зручність і економічність при експлуатації;
- велика перевантажувальна здатність та жорсткість

механічної характеристики.

За робочою напругою та ступенем електробезпеки ручні електрифіковані машини поділяються на три класи:

- 1 клас - машини з мінімальною напругою живлення вище 42 В, тільки з робочою ізоляцією та заземлювальним пристроєм;
- 2 клас - машини з номінальною напругою живлення вище 42 В і подвійною або посиленою ізоляцією але без заземлювальних пристроїв (на корпус цих машин ставиться знак \square);
- 3 клас - машини з номінальною напругою живлення до 42 В від трансформаторів чи перетворювачів.

Для приводу ручних електрифікованих машин розроблено уніфіковані серії електродвигунів:

- АН - асинхронні, промислової частоти струму живлення;
- АП - асинхронні, підвищеної частоти струму живлення;
- КН - універсальні колекторні.

Обертвий рух від двигуна до інструмента може передаватись через гнучкий вал (електрошліфувальні та стригальні машини) або через такі редуктори:

- циліндричний (електродрилі, стригальні машини);
- черв'ячний (електропилки);
- циліндричний редуктор і кривошипний вал із повзуном (електроножиці).

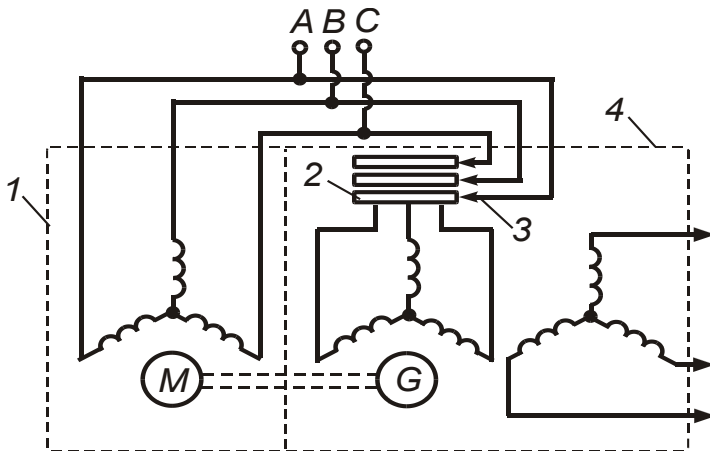
Застосування гнучкого валу дає можливість істотно зменшити масу інструменту, але значні втрати потужності, невеликий строк служби та виникнення у корпусі реактивного моменту, який додатково завантажує руку людини, обмежують його використання. Тому більше розповсюджений ручний електрифікований інструмент із вмонтованим електродвигуном та передавальним редуктором. Для зменшення активної маси електродвигуна збільшують його кутову швидкість і частоту струму живлення. Але робочі органи інструменту мають свою оптимальну швидкість. Тому збільшення кутової швидкості двигуна призводить до зростання передавального числа й маси редуктора. Отже, сумарна маса електродвигуна й редуктора має мінімум за певної оптимальної частоти обертів двигуна. Для ручного електрифікованого інструменту вона знаходиться у межах 8...12 тис. об/хв. Для отримання таких частот обертання асинхронних двигунів їх живлять струмом підвищеної (200 Гц) частоти. Такі двигуни мають достатньо жорстку механічну характеристику, велику перевантажувальну здатність, невелику масу, прості й надійні в експлуатації, але необхідність використання перетворювачів струму створює певні незручності.

Застосовуються також універсальні колекторні двигуни змінного однофазного струму, які можуть працювати і від мережі постійного струму. Перевагою колекторних двигунів є висока частота обертів 12...18 тис. об/хв за відсутності перетворювачів струму. Серед недоліків цих двигунів можна назвати низьку надійність щіткового контакту та м'якість механічної характеристики, що призводить до зниження частоти обертів при будь-якому перевантаженні.

Для живлення ручного електрифікованого інструменту може використовуватись знижувальний трансформатор ТС. Для зміни схеми з'єднання обмоток вони обладнані спеціальними перемичками, корпус трансформатора заземлюється шляхом під'єднання до нього нульового проводу мережі живлення.

Для перетворення змінного струму частоти 50 Гц напругою 220 В чи 380 В у змінний трифазний струм підвищеної частоти 200 Гц і напругою 36 В використовують перетворювач частоти ІЕ-9401. Перетворювач частоти (див. мал. 12.1) складається із дво полюсного двигуна із короткозамкнутим ротором 1 та шести полюсного асинхронного генератора 4 із фазним ротором. Їх статори розміщені у одному корпусі, а ротори насаджені на один вал. На валі також закріплені три ізольованих одне від одного кільця 2, до яких приєднані затискачі обмоток ротора генератора. Кільця контактують із вугільними щітками 3, до яких підводиться трифазний струм напругою 380 В або 220 В при частоті 50 Гц. Ця ж сама напруга одночасно підводиться і до обмоток статора двигуна. Обмотки статора двигуна і ротора генератора з'єднані так, щоб їх магнітні поля обертались в одному напрямку. Електродвигун обертає ротор генератора з частотою 2800 об/хв, одночасно, магнітне поле ротора генератора обертається із синхронною частотою 1000 об/хв відносно самого ротора. Тому силові лінії обертового магнітного поля ротора перетинають витки нерухомої обмотки статора генератора з частотою, рівною $2800 + 1000 = 3800$ об/хв. При цьому у шести полюсних обмотках статора генератора виникає напруга 36 В з частотою 190 Гц.

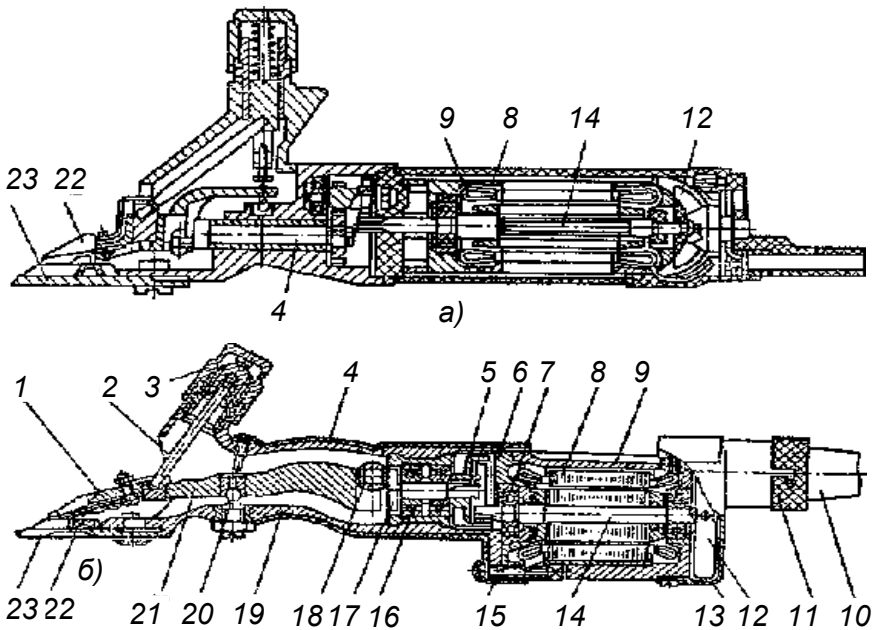
Стригальний агрегат ЭСА-12/200 призначений для підстригання овець та верблюдів. Агрегат включає в себе 12 стригальних машин типу МСУ - 200, перетворювач частоти типу ІЕ-9401, точильний апарат типу ТА-1 або ДАС-350, переносну електромережу та комплект запасних частин та інструментів. При використанні цих агрегатів продуктивність праці стригалі збільшується у 3-4 рази при вищій якості вовни за рахунок більш низького та рівного зрізання, а вихід її збільшується на 8-10% у результаті зменшення січки порівняно з ручним підстриганням.



Мал. 12.1 - Електрична схема перетворювача частоти
 ІЭ-9401: 1 - електродвигун; 2 - контактне кільце;
 3 - щітка; 4 - генератор

Стригальна машинка МСУ-200 (мал. 12.2 а) складається із стригальної головки й електродвигуна типу АП. Ширина захвату стригальної головки 76,8 мм. Її різальний апарат здійснює 2200 подвійних ходів за хвилину. Стригальна головка складається з корпусу, ексцентрикового і натискного механізмів, різального апарату та редуктора з передавальним числом $i = 5$. Вмонтований трифазний асинхронний короткозамкнутий електродвигун АП закритого обдувного виконання має номінальну потужність 90 ват, напругу живлення 36 В при частоті 200 Гц, номінальну частоту обертів 10600 об/хв, $\cos\varphi = 0,75$, $\eta = 0,65$. Двигун має закритий алюмінієвий корпус із ребрами охолодження і зовнішнім самообдуванням від вентилятора, що встановлений на кінці валу ротора. Довжина шнура живлення 2,2 м. У стригальній машинці МСУ-200 В (див. мал. 12.2 б) обертовий рух від електродвигуна до вала головки стригальної машинки передається за допомогою пари шестерень із передавальним числом $i = 5$. Кінець вала електродвигуна виготовлений у вигляді шестерні, яка входить у зачеплення із шестернею, що має внутрішній зубчатий вінець. Обертовий рух валу, на якому встановлено шестерню за допомогою ексцентрикового пристрою, перетворюється у поперечний зворотно-поступальний рух важеля різального апарату. Використання напруги живлення 36 В при частоті 200 Гц істотно зменшує небезпеку враження електричним струмом і робить експлуатацію цих стригальних машинок електробезпечною. Збільшення рухливості й зниження реактивного моменту (приблизно у чотири рази), який призводить до втоми руки

стригалья, збільшує продуктивність праці при підстриганні овець за допомогою машинок МСУ-200 на 20...30% порівняно з підстриганням за допомогою стригальних машинок із гнучким валом ЭСА-1Д.

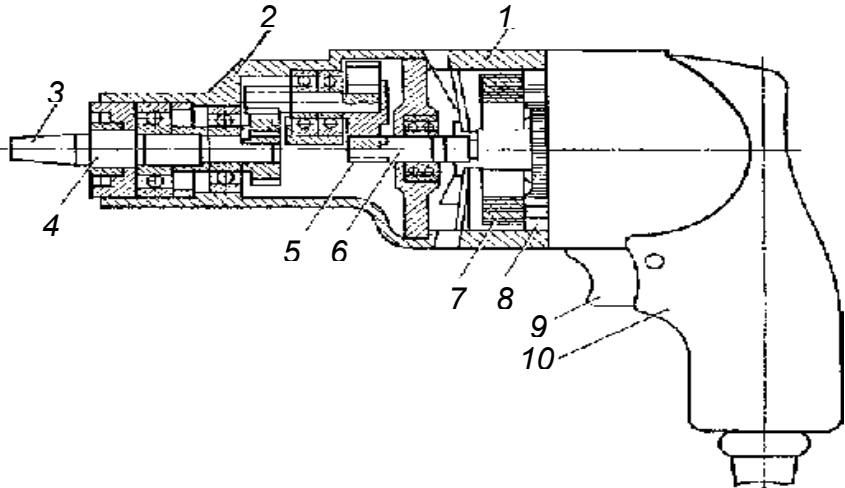


Мал. 12.2 – Стригальні машинки МСУ-200 (а) та МСУ-200В (б):
 1 - натискна лапка; 2 - упорний стержень; 3 - натискна гайка;
 4 - кожух; 5 - зубчате колесо; 6 - щит підшипника; 7 – шарикопідшипник; 8 - статор електродвигуна; 9 - корпус електродвигуна;
 10 - шнур живлення; 11 - фіксатор; 12 - вентилятор; 13 - кришка електродвигуна; 14 - вал-шестерня ротора електродвигуна;
 15 - гвинт; 16 – підшипник; 17 - ексцентрик; 18 - ролик; 19 - корпус машинки; 20 - вісь; 21 - важіль; 22 - ніж; 23 - гребінка; 24 - вал

Електричні свердлильні ручні машини застосовують для свердління отворів у різних матеріалах і виконання інших операцій. Шпиндель машинки можуть з'єднувати із зовнішнім робочим інструментом, наприклад, абразивним кругом, металевою щіткою та ін.

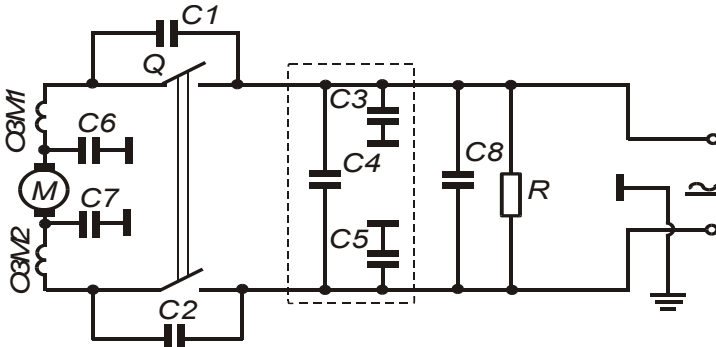
Кожна електрична свердлильна ручна машина складається (див. мал. 12.3) із вмонтованого електродвигуна, зубчатої передачі та шпинделя. Потужність електродвигунів знаходиться у межах від 0,1 до 0,8 кВт, частота обертів 2800...12000 об/хв, напруга живлення 220 В та 36 В, частота струму живлення 50 та 200 Гц, маса машин 1,4...9,1 кг. Для приводу електричних свердлильних ручних машин переважного застосування набули універсальні колекторні двигуни типу КН, схему включення яких у мережу наведено на мал. 12.4.

Оскільки колекторний двигун при роботі створює значні радіоперешкоди, то для їх усунення застосовують фільтри з конденсаторів.



Мал. 12.3 – Кінематична схема привода електрифікованої свердильної ручної машини: 1 - корпус; 2 - перша зубчата пара; 3 - конус; 4 - робочий вал; 5 - друга зубчата пара; 6 - ведучий вал; 7 - статор; 8 - ротор; 9 - вимикач; 10 - рукоятка

Електроножиці ручні НЭ-35401 призначені для різання листової сталі завтовшки до 2,5 мм з тимчасовим опором розриву до 450 МПа. Ножиці складаються з електродвигуна, редуктора з кривошипно-шатунним механізмом, ручки з вимикачем. Електродвигун універсальний колекторний типу КН потужністю 250 Ват з номінальною частотою обертів 12000 об/хв працює від мережі змінного струму частотою 50 Гц при напрузі 220 В. Режим роботи повторно короткочасний (S3) із тривалістю вмикання 40%. Подвійна ізоляція електродвигуна забезпечує максимальну безпеку



Мал. 12.4 – Схема підключення електропривода ручного інструменту із універсальним колекторним двигуном

працюючого при роботі від мережі 220 В без застосування додаткових захисних засобів та заземлювальних пристроїв.

Пилка ручна електрична дискова ИЭ5102Б призначена для розпилу дерев'яних дошок, брусків завтовшки до 70 мм при подачі 1 м/хв, а також для зрізування дерев'яних деталей під необхідним кутом (від 0° до 45°). Складається з електродвигуна, редуктора, ручки з вимикачем, різального диска діаметром 200 мм, захисних кожухів, плити з напрямним сектором та пристрою для регулювання глибини пропилу, струмоведучого кабелю зі штепсельним з'єднанням. Привід здійснюється трифазним асинхронним двигуном типу АН потужністю 600 ват і частотою обертів 2800 об/хв, що працює від мережі змінного струму з частотою 50 Гц при напрузі 220 В. Режим роботи двигуна тривалий (S1).

Поверхневий вібратор типу ИВ-1 призначений для ущільнення бетонової суміші, а також для усунення зависання сипучих матеріалів у бункерах. Складається із асинхронного електродвигуна з коротко-замкнутим ротором, на валу якого з обох сторін закріплені дебалансні вантажі з регульованим статичним моментом відносно осі обертання. Вантажі закриваються кожухами. Двигун кріпиться безпосередньо до поверхонь площадок, які необхідно приводити у коливний рух. При обертанні дебалансних вантажів виникають постійні за величиною обертові інерційні відцентрові сили, які є збуджувачами вібраційних коливань. Живиться вібратор від джерела змінного струму частотою 50 Гц при напрузі 36 В. Потужність двигуна 0,4 кВт при частоті обертів 2800 об/хв.

Правила техніки безпеки при експлуатації ручних електричних машин:

1. До роботи з ручними електрифікованими машинами допускаються особи, що пройшли спеціальне навчання та інструктаж із техніки безпеки при використанні названих машин і мають позначку у посвідченні про допуск до цих робіт.
2. В особливо небезпечних приміщеннях (вогкі підвали, дахи, котли та ін.) допускається робота машинами тільки третього класу з обов'язковим застосуванням захисних засобів (діалектричні рукавиці, килими, калоші).
3. Заземлення корпусів машин першого класу необхідно виконувати за допомогою спеціальної жили проводу живлення, яка не повинна буди одночасно провідником робочого струму. Провід повинен бути оснащений штепсельною вилкою, що має відповідну кількість робочих та один заземлювальний контакт. Конструкція вилки повинна забезпечувати першочергове вмикання заземлювального контакту та вимикання його із запізненням. Заземлення корпусів машин другого та третього класів не дозволяється.

4. При роботі ручними машинами забороняється:
 - а) передавати машину іншим особам, що не мають права працювати з нею;
 - б) доторкатись руками до інструменту, що рухається;
 - в) видаляти руками стружку під час роботи машини;
 - г) вносити всередину котлів, металевих резервуарів та інших особливо небезпечних приміщень переносні трансформатори та перетворювачі частоти;
5. Під час роботи необхідно слідкувати за температурою корпусу електроінструменту, яка не повинна перевищувати температуру навколишнього повітря більше ніж на 20° .
6. Ручні електричні машини та допоміжне обладнання до них (трансформатори, перетворювачі частоти, захисновимикаючі пристрої, кабелі) повинні періодично перевірятись – не рідше одного разу у шість місяців. При перевірці виконують такі операції:
 - зовнішній огляд;
 - перевірку роботи на холостому ході не менше 5 хв.;
 - вимірювання опору ізоляції мегомметром при напрузі 500 В протягом 1 хв, при цьому опір ізоляції повинен бути не менше 0,5 МОм;
 - перевірку справності кола заземлення (для машини першого класу).
7. Ручні машини повинні мати інвентарний номер і зберігатись у сухому приміщенні. При видачі машини у роботу необхідно перевіряти її комплектність, надійність кріплення деталей, зовнішній вигляд ізоляційних деталей корпусу й кабелю, справність роботи машини на холостому ході.
8. У побутових умовах дозволяється експлуатувати тільки машини другого та третього класів відповідно до вказаного у паспорті призначення, без застосування індивідуальних захисних засобів.

ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

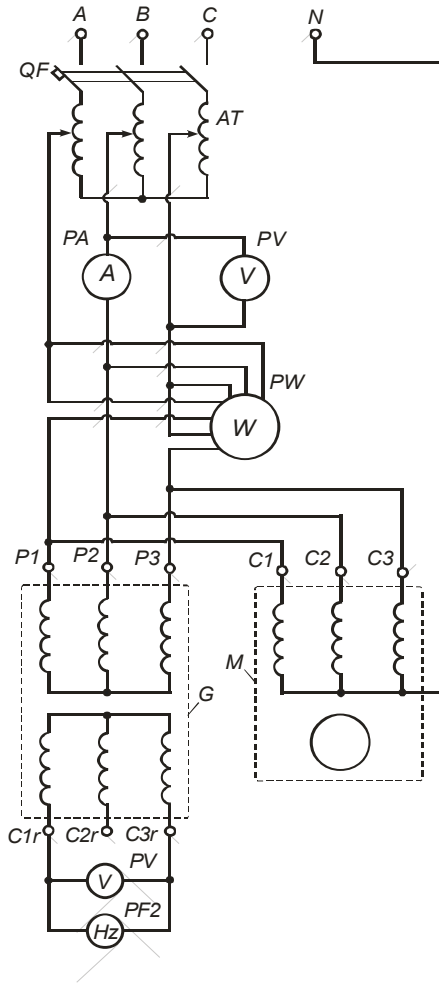
1. Вивчити будову й принцип дії ручних електрифікованих машин та джерел їх живлення, що знаходяться на робочому місці, і записати їх паспортні дані.
2. Зібрати електричну схему (мал. 12.5) та дослідити залежність вихідної напруги U_{II} , частоти струму f_{II} і потужності холостого ходу P_{XX} , перетворювача частоти ИЭ-9401 від напруги його живлення U_M , результати вимірювань записати у табл. 12.1.

За отриманими результатами побудувати залежності:

$$U_{II} = f_1(U_M); \quad f_{II} = f_2(U_M); \quad P_{XX} = f_3(U_M).$$

3. Під'єднати стригальну машину до перетворювача частоти, включити їх у мережу і випробувати їх роботу на холостому ході. Прослідкувати за показами приладів, що заміряють частоту й

напругу на виході перетворювача.



Таблиця 12.1

Дослідні дані при регулюванні напруги живлення перетворювача частоти

№ з/п		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U_M	В										
U_{Π}	В										
f_{Π}	Гц										
P_{XX}	Ват										

За отриманими результатами побудувати залежності:

$$U_{\Pi} = f_1(U_M); f_{\Pi} = f_2(U_M); P_{XX} = f_3(U_M).$$

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які машини називають ручними електрифікованими?
2. Які вимоги ставлять до ручних електрифікованих машин, і як їх класифікують за ступенем електробезпеки?
3. Які типи електродвигунів застосовують на ручних електрифікованих машинах і які їх переваги та недоліки?
4. Як побудований і працює перетворювач частоти ІЕ-9401?
5. Як побудовані і працюють стригальні машини, електричні свердлильні ручні машини, ручні електроножиці, дискова ручна електрична пилка та поверхневий вібратор типу ІВ-1?
6. У чому полягають основні правила техніки безпеки при роботі з ручними електрифікованими машинами?

ПРОГРАМА ПОЗААУДИТОРНОЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Вид підготовки	Час, год
1	За рекомендованою літературою ознайомитися з основними вимогами до ручного електрифікованого інструменту, системами його живлення та привідними електродвигунами	1
2	Вивчити будову і принцип роботи: стригальних машинок, свердлильних ручних машинок, ручних електроножиць, дискової ручної електропилки та поверхневого вібратора	1
3	Підготувати робочий зошит для виконання лабораторної роботи, у який записати: <ul style="list-style-type: none">- назву та мету роботи;- короткі теоретичні пояснення (конспективно) із необхідними для розрахунків формулами;- вказівки щодо виконання роботи;- таблицю 12.1;- електричну схему: мал. 12.5.	2

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Практикум з електропривода/ В. С. Олійник, О. С. Марченко, Е. Л. Жулай, Ю. М. Лавриненко. – К. : Урожай, 1999, 192 с. – С. 173 - 182.
2. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу “Електрообладнання і засоби автоматизації сільськогосподарської техніки” Ч. 1/ Е. Л. Жулай, Ю. М. Лавриненко, О. Ю. Синявський, В. М. Демченко. – К. НАУ, 1996, 88 с. - С. 53-66
3. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок/ Н. Ф. Кудрявцев, Л. А. Калинин, В. А. Каряченко и др. Под ред. Н. Ф. Кудрявцева. – М.: Агропромиздат, 1988, 480 с. – С. 211-218.

4. Фоменков А. П. Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий. – М.: Колос, 1984. – 288 с. – С. 157-173.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 13

ЕЛЕКТРИЧНІ ДЖЕРЕЛА ВИДИМОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Мета роботи: вивчити будову, принцип роботи джерел видимого випромінювання: ламп розжарювання, лю-мінесцентних ламп, ламп типу ДРЛ та прист-рою для контролю освітленості - люксоміру.

ТЕОРЕТИЧНІ ПОЯСНЕННЯ

У сучасному сільськогосподарському виробництві для штучного освітлення широкого застосування набули електричні джерела видимого випромінювання, до яких належать: лампи розжарювання і газорозрядні лампи, що перетворюють електричну енергію у видиме проміння – світло.

В електричних лампах розжарювання світло випромінює нит-ка розжарювання, яка розігрівається струмом, що проходить по ній, до температури порядку 2700-3000°C. Нитку розжарювання виго-товляють із вольфрамового дроту і, з метою запобігання окислен-ню, розміщують у герметичній скляній колбі. Позначення лампи розжарювання загального призначення розшифровують так:

- перша буква означає: В - вакуумна, Г - газонаповнена моно-спіральна аргонна); Б - біспіральна (дві вольфрамові дротинки, звити у спіраль, а з цієї спіралі, у свою чергу, звита ще більша спі-раль, завдяки чому збільшується світловий потік і к.к.д. лампи); БК - біспіральна криптонова;

- наступні цифри вказують діапазон робочих напруг (промис-ловість випускає лампи наступних діапазонів напруг: 215-225 В, 220-230 В, 230-240 В, 235-245 В);

- за номінальну напругу приймають середину діапазону;

- останні цифри вказують на номінальну потужність ламп.

Середня тривалість горіння лампи розжарювання становить – 1000 годин. Важливими характеристиками ламп розжарювання є також: світловий потік, або потужність світлового потоку, (лм); світлова віддача, яка визначає економічність лампи (що дорівнює відношенню потужності світлового потоку до загальної потужності лампи – лм/вт).

До переваг ламп розжарювання можна віднести: просту будо-ву, надійну роботу в різних умовах навколишнього середовища, по-

рівняно низьку вартість виготовлення, а також просте підключення до мережі живлення. Серед недоліків цих ламп можна назвати: низьку світлову віддачу (до 20 лм/Вт), а отже, низький світловий ККД (до 3,5 %); незадовільний спектральний склад випромінювання (переважає довгохвильове випромінювання), велика яскравість.

Низька економічність ламп розжарювання призвела до створення кварцових *галогенних ламп* розжарювання. Це кварцова трубка, вздовж осі якої розміщена вольфрамова спіраль. У трубку вводять 1-2 мг йоду (галоген) і заповнюють її аргоном до тиску 0,08 МПа. Пари йоду при звичайних температурах (до +60 °С) не створюють хімічних сполук із вольфрамом. При вищих температурах вони утворюють із частинками вольфраму, що осіли на колбі, йодистий вольфрам. Якщо температура колби вища за 250 °С, то йодистий вольфрам перебуває у пароподібному стані і поступово дифундує до нитки розжарювання. У зоні високих температур, близьких до температури розжарювання нитки, йодистий вольфрам розпадається на вольфрам і йод. Вольфрам осідає на нитку розжарювання, а атоми йоду повертаються до стінок колби. Отже відбувається регенерація вольфрамової нитки. В результаті цього світловий потік у 2-2,5 рази більший, ніж при аналогічних за потужністю ламп розжарювання, при строках служби галогенних ламп 2000 год. Галогенні лампи напругою 220 В виготовляють потужністю 1000-2000 Вт (КИ-220-1000-5 і КИ-220-2000-4).

Відповідно до нових норм освітленості, для освітлювальних пристроїв рекомендовано застосовувати в першу чергу газорозрядні лампи як найекономічніші. Усі газорозрядні джерела за величиною робочого тиску поділяються на лампи низького, високого та надви-сокого тиску.

Люмінесцентні лампи низького тиску являють собою скляну циліндричну колбу, внутрішню поверхню якої покрито люмінофром. На обох кінцях колби є цоколі, на яких закріплені електроди з вивідними контактними штирями. Для покращення емісії електронів, електроди покрито шаром оксиду. З колби лампи викачане повітря і введено аргон під тиском близько 400 Па з невеликою кількістю ртуті (30 - 50 мг).

У люмінесцентних лампах світлова енергія виникає в результаті подвійного перетворення енергії електричного струму. По-перше, електричний струм, що протікає між електродами лампи, викликає електричний розряд у газовому середовищі і випарах ртуті, внаслідок чого молекули газу і ртуті збуджуються і випромінюють при цьому променеву енергію, більша частина якої є ультрафіоле-

тове проміння. По-друге, ультрафіолетове проміння попадає на люмінофор, що нанесений на стінки колби лампи і перетворюється у світлове випромінювання. Залежно від складу люмінофора можна отримати видиме випромінювання різного спектрального складу.

За певної густини струму характер процесу іонізації між-електродного проміжку лампи може бути лавиноподібним. У цьому разі, зі збільшенням струму опір міжелектродного проміжку різко зменшується, що призводить, в свою чергу, до ще більшого збільшення струму і, як наслідок, до аварійного режиму. Обмежити струм, а отже, стабілізувати режим роботи, можна шляхом застосування струмообмежувального опору, який називають баластним, оскільки потужність на ньому втрачається безкорисно. Для роботи при постійному струмі використовують активні баласты, при змінному струмі індуктивні, ємнісні (іноді активні).

Промисловість випускає люмінесцентні лампи 5 типів: денного світла - ЛД; денного світла з покрашеною кольоропередачею - ЛДЦ, холодного білого кольору ЛХБ, білого світла - ЛБ, теплого білого - ЛТБ. Нині випускаються нові лампи із спектром випромінювання близьким до природного (сонячного) ЛЕ. Люмінесцентні лампи випускаються потужністю 15, 20, 30, 40, 65, 80 Вт.

Порівняно з лампами розжарювання – люмінесцентні лампи мають кращий спектральний склад випромінювання, більшу світлову віддачу (60 - 70 лм/Вт), і більший час горіння – 12000-15000 годин, а також більший світловий ККД лампи 4,9...9,6 %. До недоліків їх роботи можна віднести: складність будови, шум при роботі, пульсацію світлового потоку, що викликає стробоскопічний ефект, для зменшення величини пульсації світлового потоку необхідно лампи включати в різні фази, або застосовувати анти-стробоскопічні пускорегулювальні апарати (ПРА); складність схем підключення до мережі живлення. Запалювання люмінесцентних ламп без спеціальних заходів здійснюється при напрузі, як правило, більшій ніж у мережі живлення. Одним із методів зменшення напруги запалювання є попереднє підігрівання електродів, що полегшує емісію електронів.

Підігрівання електродів здійснюється за допомогою стартерних і без стартерних ПРА. Позначення цих апаратів розшифровується так:

- перша цифра - кількість ламп, що вмикаються апаратом;
- дві перші букви після цифри: УБ - стартерне запалювання, АБ - безстартерне запалювання, ДБ - дросель баластний (для ламп типу ДРЛ, ДРИ);

- третя буква характеризує зсув фаз струму, що споживає апарат: И - індуктивний, Е- ємнісний, К - компенсований;
- дріб після дефіса, чисельник якого вказує на потужність (а для ламп ДРЛ, ДРИ – тип лампи), знаменник – напругу живлення;
- букви після дефіса: А - антистробоскопічний (наявність зсуву фаз між струмом ламп багатолампового апарату); В – вмонтований у світильник, Н - незалежного монтажу; П - із зниженим рівнем шуму і радіоперешкод.

ПРА служать для запалювання ламп, обмеження струму дуго-вого розряду, компенсації коефіцієнта потужності, обмеження стро-боскопічного ефекту.

В однолампових схемах включення застосовують пускорегулювальні апарати типів 1УБИ та 1УБК, що складаються із симетричного дроселя і стартера з конденсатором. Стартер є мініатюрною неоновією лампою, один або два електроди якої виготовлені із біметалевої пластини. Біметалева пластина, виготовлена шляхом спаювання стрічок двох металів із різними коефіцієнтами теплового лінійного розширення, внаслідок чого при нагріванні вона вигинається. При подачі напруги на затискачі ПРА (див. мал. 13.1, а), уся вона виявляється практично прикладеною до електродів стартера і у його колбі виникає тліючий розряд. За рахунок струму, що протікає при цьому, виділяється тепло, яке нагріває рухомий біметалевий електрод і він, пригинаючись, замикається з нерухомим електродом. Струм у колі у цьому разі різко зростає, його величина виявляється достатньою для нагрівання електродів люмінесцентної лампи. Через 1-2 сек. електроди лампи розігріваються до 800-900 °С. Оскільки розряду в цей час у колбі стартера немає, то його електроди охолоджуються і розмикаються. В момент розриву кола у дроселі виникає Е.Р.С. самоіндукції, величина якої пропорційна індуктивності дроселя і швидкості зміни струму в момент розриву. Підвищена напруга (700...1000 В), що утворилась за рахунок Е.Р.С. самоіндукції виявляється прикладеною до електродів лампи, які вже нагріті і готові до запалювання лампи. Між електродами виникає дуговий розряд і лампа починає світитись. Після запалювання лампи її опір стає приблизно рівним опору послідовно підключеного дроселя і напруга на ній понижується приблизно до половини напруги мережі. Ця ж понижена напруга, прикладена до стартера, що підключений паралельно до лампи, і отже, він більше не запалюється.

Конденсатор стартера служить для зменшення радіоперешкод при включенні лампи, збільшення амплітуди імпульсу нап-

руги, а також для стабілізації тліючого розряду у стартері і робочого розряду при горінні лампи.

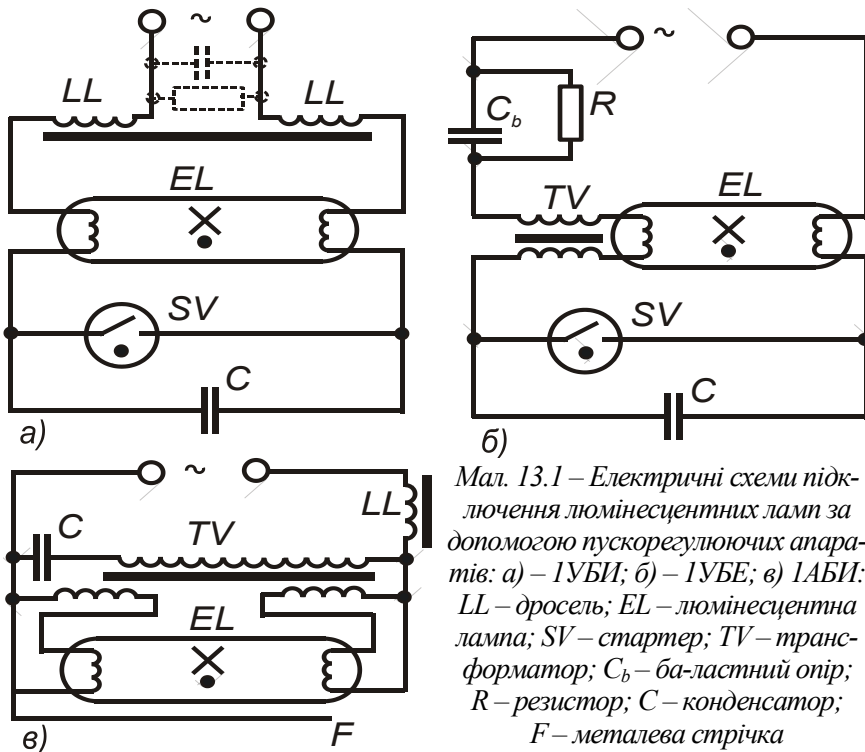
Дросель, як баластний індуктивний опір, обмежує струм лампи при роботі, а також виробляє імпульс напруги при розриві кола стартера, завдяки чому лампа запалюється. Для зменшення радіопешкод, обмотка дроселя розділена на дві симетричні частини.

Застосування в освітлювальних пристроях однолампових стартерних ПРА з низьким коефіцієнтом потужності викликає збільшення реактивного струму, що споживається з мережі, перевантаження мережі і додаткові втрати потужності у ній. Так, зменшення значення $\cos\varphi$ із 1 до 0,5 збільшує струм, що споживається з мережі у 2 рази, а втрати потужності у 4 рази.

Коефіцієнт потужності з індуктивним ПРА завжди менший одиниці, компенсувати індуктивний струм можна за допомогою конденсатора, що підключається паралельно до лампи. Такий конденсатор називається компенсуючим, а ПРА компенсованим (на мал. 13.1, а. він позначений пунктиром). У ПРА типу 1УБК він має ємність 4...6 мкФ, що дає можливість збільшити коефіцієнт потужності до 0,9...0,95, при коефіцієнті потужності ПРА типу 1УБИ рівному 0,5...0,6.

При використанні ємнісного баластного опору в ПРА типу 1УБЕ дросель підключається послідовно з баластним конденсатором (див. мал. 13.1, б). У період запалювання лампи, при замиканні контактів стартера, по колу дросель – конденсатор – електроди лампи протікає струм, величина якого не достатня для підігрівання електродів люмінесцентної лампи до необхідної температури. Оскільки, тривалий строк служби люмінесцентної лампи при великому числі включень можливий тільки за достатнього підігрівання електродів до запалювання, то у таких схемах необхідно використовувати додаткову запалювальну обмотку в колі стартера, але так, щоб вона працювала лише під час попереднього підігрівання електродів лампи. При цьому не має значення чи ця індуктивність виконана у вигляді окремого дроселя, чи спеціальної обмотки на магнітопроводу основного дроселя, яка підключена узгоджено до основної обмотки. Для розряду конденсатора, при відключенні лампи від мережі, застосовується розрядний опір, що підключається паралельно до конденсатора. ПРА з ємнісним баластом працює з ємнісним коефіцієнтом потужності, рівним 0,5, для його компенсації необхідно паралельно ємнісному ПРА підключати нормальний некомпенсований індуктивний ПРА, таким чином загальний коефіцієнт потужності двохлампового пристрою буде

близьким до одиниці. Таке двохлампове з'єднання називається ПРА з розщепленою фазою. Пульсація загального світлового потоку такого пристрою буде значно меншою, оскільки світловий потік ламп про-порційний струму у них, а струми, що проходять через індуктивний ПРА і через ємнісний ПРА, зсунуті по фазі один відносно одного, отже коли в одній лампі буде максимум світлового потоку, то в другій лампі буде мінімум і навпаки.



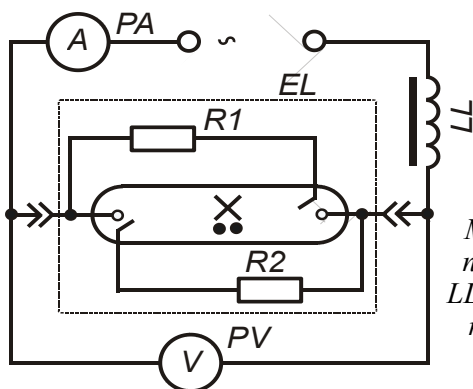
Мал. 13.1 – Електричні схеми підключення люмінесцентних ламп за допомогою пускорегулюючих апаратів: а) – 1УБИ; б) – 1УБЕ; в) 1АБИ: LL – дросель; EL – люмінесцентна лампа; SV – стартер; TV – трансформатор; C_b – ба-ластний опір; R – резистор; C – конденсатор; F – металева стрічка

ПРА зі стартерним запалюванням недостатньо надійні в роботі, оскільки, стартери мають невеликий строк служби і часто виходять із ладу. Безстартерні ПРА типу 1АБИ та 1АБК (див. мал. 13.1, в), за допомогою яких запалювання лампи здійснюється з попереднім підігріванням електродів лампи, складаються звичайно з симетричного дроселя, трансформатора підігрівання із вторинною обмоткою, яка поділена на дві симетричні частини і провідної стрічки або дротинки, що закріплена на лампі і покращує запалювання лампи. При включенні світильника з таким ПРА, напруга на лампу одночасно подається від первинної обмотки трансформатора розігрівання для запалювання і від вторинних обмоток для підігрівання електродів лампи. Для запалювання лампи з попередньо

підігрітими електродами необхідно порівняно меншу напругу, ніж для лампи з холодними електродами. Робочий струм лампи після її запалювання створює спад напруги на дроселі, внаслідок чого напруга на електродах і трансформаторі підігрівання знижується до номінальної величини, при цьому знижується струм нагрівання, який підтримує певну температуру електродів лампи. Безстартерні ПРА більш надійні у роботі і мають більший строк служби, але вони дорожчі стартерних, при тому внаслідок постійного підігрівання електродів лампи під час роботи знижується строк служби самої лампи.

Із газорозрядних ламп високого тиску найбільш розповсюджені у сільськогосподарському виробництві лампи типу ДРЛ – дугова, ртутна, люмінесцентна. Такі лампи в основному застосовуються для загального освітлення високих приміщень (при висоті стелі не меншій 5 м) і зовнішнього освітлення, де не вимагається високої якості кольоропередачі. Принцип дії лампи полягає у використанні дугового розряду у випарах ртуті. Дуговий розряд виникає завдяки імпульсу напруги між електродами, що попередньо підігріті, або холодними які вкриті шаром оксиду. Лампа складається зі скляного балону еліптичної форми, всередині якого розміщений ртутно-кварцовий пальник високого тиску трубчатого форми. На внутрішній поверхні балона нанесено шар люмінофору. Видиме випромінювання ртутного розряду проходить через шар люмінофора, а ультрафіолетове він поглинає і перетворює у видиме випромінювання червоного кольору. Яскравість ламп ДРЛ майже у 10 разів перевищує яскравість люмінесцентних ламп низького тиску. Промисловість виготовляє в основному лампи типу ДРЛ із чотирьохелектродними пальниками, завдяки яким підключення лампи до мережі здійснюється без запалювального пристрою. ПРА для ламп типу ДРЛ відрізняється від ПРА люмінесцентних ламп схемою включення і наявністю вмонтованих у лампу допоміжних запалюючих електродів. Баластний опір (див. мал. 13.2) підключається послідовно до лампи. При включенні лампи виникає місцевий розряд між головним і допоміжним електродами різної полярності, при цьому підігріваються головні електроди та іонізується розрядний проміжок між ними, за рахунок чого проходить запалювання лампи. Завдяки наявності спеціальних обмежувальних опорів, напруга між головними і допоміжними електродами зменшується і при горінні лампи розряд проходить через газ (аргон), а коли лампа нагрівається і ртуть випаровується – через випари ртуті. Спочатку тиск у лампі низький і вона споживає струм, більший за номі-

нальний. Через 5...10 хв. встановлюється номінальний режим горіння лампи. Перед повторним вмиканням лампа повинна охолонути, для цього досить 10 хв. Лампа типу ДРЛ не створює правильної кольоро-передачі, що обмежує її застосування, але вона має великий світловий потік порівняно з іншими типами ламп, стійка до коливань і відхилень напруги, має великий термін експлуатації, її можна також використовувати при достатньо низькій температурі.

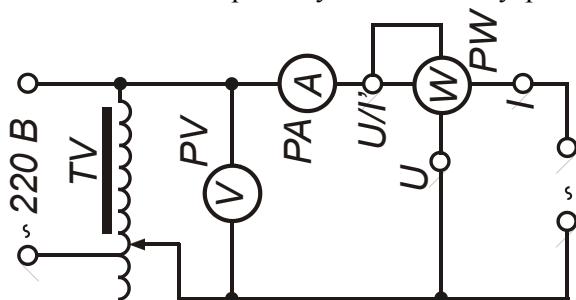


Мал. 13.2 – Електрична схема підключення лампи типу ДРЛ: LL – дросель; EL – люмінесцентна лампа R1, R2 – резистори;

Останнім часом набувають розповсюдження компактні люмінесцентні енергозберігаючі лампи, для запалювання яких використовують спеціальний електронний баласт, який вмонтовують у корпус лампи або виготовляють окремим вузлом. Електронний баласт практично усуває пульсацію світлового потоку названої лампи. Завдяки компактності й наявності цоколя, як у ламп розжарювання, їх можна вкручувати у патрони, розраховані для ламп розжарювання. Порівняно з лампами розжарювання, названі лампи споживають у п'ять разів менше електроенергії при тій же світловій віддачі та кращій кольоропередачі і мають строк служби у 6-8 разів довший.

Металогалогенні лампи типу ДРИ застосовують для освітлення виробничих приміщень, зовнішнього освітлення, а також для доосвічування розсади у теплицях. За будовою вони схожі на лампи ДРЛ, але зовнішня колба не покрита люмінофором. У кварцову трубку вводять суміш йодидів натрію, калію та індію, завдяки чому в 1,5-2 рази збільшується світлова віддача порівняно з лампами ДРЛ при хорошій кольоропередачі. Світлова віддача металогалогенних ламп типу ДРИ (дугова, ртутна з йодидами металів) знаходиться у межах 70-90 лм/Вт. Їх виготовляють потужністю 250, 400, 700, 1000, 2000, 3500 Вт. Середня тривалість горіння залежить від потужності лампи і становить 2000...10000 год.

Більш економічним джерелом світла є *натрієві лампи високого тиску ДНаТ*, в яких розряд проходить у випарах натрію при високому тиску. Такі лампи також використовують для освітлення вулиць та об'єктів, де не вимагається висока якість кольоропередачі. Побудовано лампу подібно до лампи ДРЛ, але зовнішню колбу не покривають із середини люмінофором, а внутрішня газорозрядна трубка виготовляється зі світлопропускнуго полікристалічного окису алюмінію. В останню введено амальгаму натрію та інертний газ під тиском у декілька десятків паскалів. У натрієвих лампах ДНаТ немає ультрафіолетового випромінювання, характерного для розрядів парів ртуті. Вони випромінюють переважно у жовтій, оранжевій та червоній частинах видимого спектра. Строк експлуатації названих ламп сягає до 24 тис. год. при світловій віддачі до 140 лм/Вт. Натрієві лампи потужністю 70, 100, 150, 400 Вт у деяких країнах випускають із колбами, покритими окисом алюмінію, що зменшує яскравість і дозволяє використовувати їх для внутрішнього освітлення.



Мал. 13.3 - Електричне вимірювальне коло

ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Записати технічні дані лампи розжарювання. Для дослідження впливу відхилення напруги на величину струму та світлового потоку лампи розжарювання необхідно зібрати електричне вимірювальне коло відповідно до мал. 13.3, до затискачів 1 і 2 якого підключається лампа розжарювання. Автотрансформатором *TV* задається напруга 0,8; 0,85; 0,9; 0,95; 1,0; 1,05; 1,1 – від номінальної напруги лампи, при цьому в табл. 13.1 записуються значення напруги U і відповідні їм значення сили струму I , освітленості E і потужності P . У цю ж таблицю записуються вказані вище параметри у відносних одиницях: I/I_n , E/E_n , P/P_n – (за номінальні величини необхідно прийняти значення цих параметрів при номінальній напрузі), а також значення повної потужності $S=UI$ і коефіцієнта потужності лампи $\cos \varphi = P/S$.

За результатами вимірів і розрахунків побудувати залежності: $U/U_H = f_1(I/I_H)$ $U/U_H = f_2(P/P_H)$ $U/U_H = f_3(E/E_H)$ на одному малюнку і окремо побудувати вольтамперну характеристику лампи $U = f_4(I)$. Підключити датчик люксоміра до входу осцилографа і змалювати з екрана осцилографа картину пульсації світлового потоку.

- Записати технічні дані люмінесцентних ламп і всіх ПРА на лабораторному стенді. Для визначення напруги запалювання і коефіцієнтів потужності лампи при використанні різних типів ПРА, їх електричні схеми (мал. 13.1, які зібрані на стенді) необхідно підключити до вимірювального електричного кола (мал. 13.3) і за допомогою автотрансформатора, повільно, приблизно 5 В за секунду, (щоб забезпечити можливість прогрівання лампи) збільшувати напругу до запалювання лампи. Встановити номінальну напругу лампи і визначити номінальну потужність і силу струму лампи. Після розігрівання лампи, протягом 3-5 хв., визначити, повільно зменшуючи, напругу, при якій лампа погасне. Дані вимірів і розрахунків записати в таблицю 13.2.

Таблиця 13.1

Результати досліджень характеристик лампи

Тип лампи	№ з/п	Виміри					Розрахунки				
		U/U_n	U	I	P	E	I/I_n	P/P_n	E/E_n	S	$\cos\varphi$
			В	А	Вт	лк				ВА	
	1	0,80									
	2	0,85									
	3	0,90									
	4	0,95									
	5	1,00									
	6	1,05									
	7	1,10									
	8	1,15									

Для кожного типу ПРА за методом, вказаним у пункті 1, замалювати пульсацію світлового потоку. Для одного із ПРА (вказаного викладачем) люмінесцентної лампи дослідити вплив відхилення напруги на величину струму, освітленості і потужності аналогічно до пункту 1, з оформленням такої самої таблиці і побудовою таких самих залежностей.

- Записати технічні дані лампи типу ДРЛ і її ПРА. Для того щоб зняти вольтамперну характеристику лампи, необхідно зібрати електричне коло відповідно до мал. 13.2. Покази вольтметра і амперметра записувати в табл. 13.3, через кожні 20 сек., до тих пір поки, протягом трьох хвилин вони не будуть змінюватись. За

отриманими результатами побудувати залежності $I = f_5(t)$ та $U = f_6(t)$ на одному малюнку і окремо – вольтамперну характеристику $I = f_7(U)$. Відключивши лампу, переконалися, що повторне запалювання лампи можливе, тільки через 5...10 хв., коли лампа охолоне.

Таблиця 13.2

Результати досліджень характеристик люмінесцентних ламп

Тип ПРА	Виміри					Розрахунки	
	$U_{зап}$	U_H	I_H	P_H	$U_{Г}$	$S_H=U_H I_H$	$\cos\varphi=P_H/S_H$
	В	В	А	Вт	В	ВА	
1АБИ							
1УБИ							
1УБЕ							
З розщепленою фазою							

Таблиця 13.3

Результати досліджень процесу розгоряння лампи типу ДРЛ

№ з/п	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$T_{сек}$	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380
U В																			
I А																			

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Для чого необхідні електричні джерела видимого випромінювання?
2. Як побудована і працює лампа розжарювання?
3. Як побудована і працює галогенна лампа розжарювання?
4. Чим обмежується строк служби лампи розжарювання і чому вона має низький світловий ККД?
5. Як побудована газорозрядна люмінесцентна лампа?
6. Яким чином у газорозрядній люмінесцентній лампі електрична енергія перетворюється у потік видимого випромінювання?
7. Що таке люмінофор і як від нього залежить спектральний склад випромінювання лампи?
8. Що відноситься до ПРА у схемах підключення люмінесцентних ламп?
9. Яке призначення дроселя у ПРА люмінесцентної лампи?
10. Яке призначення стартера у ПРА люмінесцентної лампи?
11. Як здійснюється запалювання люмінесцентної лампи?
12. Які переваги мають люмінесцентні лампи порівняно з лампами розжарювання?
13. Як побудована і працює лампа типу ДРЛ, де і чому вона застосовується?
15. Скільки і чому, триває процес розгоряння лампи типу ДРЛ?

16. Чому лампу типу ДРЛ не можна відразу ж після відключення знову включати в роботу?
17. Як побудована і працює металогалогенна лампа типу ДРИ?
18. Як побудована і працює натрієва лампа високого тиску ДНаТ?

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гончар В. Ф., Тищенко Л. П. Електрообладнання тваринницьких підприємств і автоматизація виробничих процесів у тваринництві. -К.: Вища школа, 1986. – 287 с. – С. 41-71.
2. Довідник сільського електрика/ За ред. В. С. Олійника. – К.: “Урожай”, 1982.– 262 с. – С. 168- 195;
3. Филаткин П. А. Электрооборудование животноводческих ферм. – М.: “Агроташ”, 1987. 288 с. – С. 149-162;
4. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок/ Под ред. И. Ф. Кудрявцева. –М.: “Агропромиздат”, 1988. – 480 с. – С. 375-419.

ПРОГРАМА ПОЗААУДИТОРНОЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Вид підготовки	Час, год.
1	За рекомендованою літературою вивчити величини, які характеризують зорове відчуття світлових явищ, з'ясувати зв'язок між основними світлотехнічними величинами	1
2	Вивчити будову, принцип роботи і технічні характеристики штучних джерел світла – електричних ламп розжарювання і газорозрядних ламп	1
3	Підготувати робочий зошит для виконання лабораторної роботи, у який записати: <ul style="list-style-type: none"> - назву та мету роботи; - короткі теоретичні пояснення (конспективно) із необхідними для розрахунків формулами; - вказівки щодо виконання роботи; - таблиці 13.1 – 2 шт. , 13.2, 13.3; - електричні схеми: мал. 13.1; 13.2; 13.3. 	2

ЕЛЕКТРИЧНІ ДЖЕРЕЛА ІНФРАЧЕРВОНОГО ТА
УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Мета роботи: вивчити будову і принцип роботи та дослідити технічні характеристики електричних джерел інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювання

ТЕОРЕТИЧНІ ПОЯСНЕННЯ

Застосування електричних джерел оптичного випромінювання дозволяє інтенсифікувати цілу низку технологічних процесів сільськогосподарського виробництва. Важливою сферою застосування оптичного випромінювання є ультрафіолетове та інфрачервоне опромінення сільськогосподарських продуктів, рослин, тварин, птахів.

Оптичне випромінювання є електромагнітними коливаннями, які у широкому діапазоні частот по різному взаємодіє з навколишнім середовищем. Тому весь діапазон електромагнітних коливань поділений на окремі ділянки, які у сукупності утворюють спектр (див. мал. 14.1). Кожна ділянка має назву відповідно до її дії. Як і будь які хвильові процеси, оптичне випромінювання характеризується такими параметрами: довжиною хвилі – λ , частотою електромагнітних коливань – ν , швидкістю розповсюдження хвилі $c = 3 \cdot 10^8$ м/с: $\lambda = c/\nu$.

Оптична частина спектра є коливаннями із довжиною хвиль від 10 нм до 340 мкм (340000 нм). Це випромінювання широко використовується у сільськогосподарському виробництві. Різна дія оптичного випромінювання при зміні довжини хвилі дозволила поділити його на три характерні ділянки: *ультрафіолетове випромінювання* ($\lambda = 10 \div 380$ нм); *видиме випромінювання* ($\lambda = 380 \div 760$ нм); *інфрачервоне випромінювання* ($\lambda = 760 \div 340$ мкм).

Ультрафіолетове випромінювання поділене на зони: зона А ($\lambda = 315 \div 380$ нм) використовується для люмінесцентного аналізу сільськогосподарських продуктів, оскільки випромінювання цієї зони викликає світіння (люмінесценцію) деяких речовин, що дозволяє робити висновок про їхній стан (хімічний склад, степінь загнивання, спілості та ін.). Зона В ($\lambda = 280 \div 315$ нм). Випромінювання цієї зони створює сильну дію на тварин та рослин і використовується для нормалізації обміну речовин у організмі, оскільки під дією цього випромінювання здійснюється перетворення провітаміну D у вітамін D, який необхідний для нормалізації обміну речовин у організмі тварин. На рослини випромінювання цієї зони діє більшою частиною згубно. Зона С ($\lambda = 200 \div 280$ нм). Випромінювання цієї зони має бактерицидну дію, а отже здатне знищувати

бактерії, що використовується для знезараження води, повітря, посуду, приміщень та ін.. Рослини під дією цього випромінювання швидко гинуть. Вакуумна зона ($\lambda = 10\div 200$ нм). Випромінювання цієї зони розповсюджується тільки у вакуумі, у повітрі швидко затухає і тому у сільському господарстві не використовується.

Видиме випромінювання (світло) ($\lambda = 380\div 760$ нм) застосовується дуже широко у всіх галузях народного господарства. У сільському господарстві світло використовується для створення нормальних умов праці обслуговуючого персоналу – освітлення та для забезпечення технологічних процесів у тваринницьких пташних фермах а також у парниках та теплицях.

Вплив світла на продуктивність тварин визначається тим, що воно разом з іншими факторами середовища значною мірою пов'язане з обміном речовин. Світлове випромінювання, що сприймається оком, подразнює нервові закінчення, ці подразнення передаються нервовими шляхами до центрів найважливіших функцій організму, що розміщені у проміжному мозку та гіпофізі, які впливають на виробіток гормонів, водний баланс організму, вуглеводний обмін, ефективність дії вітамінів А і D, регенерацію крові, але у першу чергу на процеси обміну речовин, що пов'язані з розмноженням. Вирішальним для продуктивності тварин є не тільки інтенсивність світла, але і тривалість світлового періоду, особливо це важливо для овець та птахів.

Рентгенівське випромінювання	Оптичне випромінювання											Ультра короткі радіохвилі		
	Ультрафіолетове випромінювання				Видиме випромінювання						Інфрачервоне випромінювання			
	Вакуумне	С	В	А	Фіолетове	Синє	Голубе	Зелене	Жовте	Оранжеве	Червоне		Ближнє	Середнє
10 нм	200 нм	280 нм	315 нм	380 нм	450 нм	480 нм	510 нм	550 нм	585 нм	620 нм	760 нм	2500 нм	25 мкм	340 мкм

Мал. 14.1 – Спектральний розподіл оптичного випромінювання

Особливе значення оптичне випромінювання має при вирощуванні рослин, оскільки воно є єдиним джерелом енергії, яка у процесі фотосинтезу запасастся у рослинах а потім використовується тваринами та людьми.

Інфрачервоне випромінювання (ІЧ) використовується для обігрівання молодняку тварин і птахів, який у початковий період свого життя особливо залежить від зовнішніх умов. Тварин можна

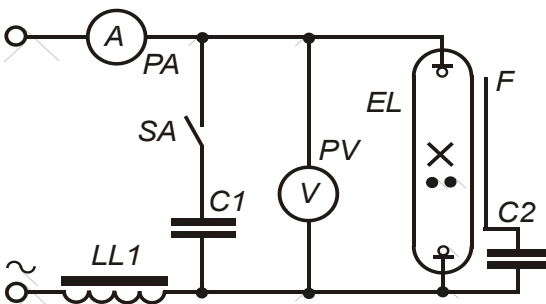
обігрівати інфрачервоним випромінюванням, як найбільш економічним, при порівняно низькій температурі повітря у приміщенні, де вони утримуються. Поглинання ІЧ випромінювання шкірою тварин – складний біологічний процес, пов'язаний із загальною реакцією організму на випромінювання. ІЧ випромінювання з довжиною хвилі близько 1,5 мкм проникає в глибину тканини тварин і тим самим сприяє розширенню кровоносних судин, покращенню кровообігу всього організму і загального обміну речовин і підвищує стійкість тварин до хвороб. Специфічність дії ІЧ випромінювання дозволяє використовувати його з лікувальною метою. У цей же час його дозування ускладнене, оскільки відсутні прості і надійні прилади для контролю доз ІЧ опромінення. ІЧ опромінення вимірюють двома методами. Перший полягає у вимірюванні опроміненості під ІЧ джерелом, другий – у визначенні додаткової температури, якої набуває об'єкт при ІЧ опроміненні за рахунок променевої теплопередачі. Приладів, які повністю відповідають вимогам сіль-ськогосподарського виробництва, поки що немає. ІЧ опроміненість вимірюється за допомогою різних типів пірметрів, що застосовуються в інших галузях народного господарства, а додаткове нагрівання об'єктів ІЧ опромінення – за допомогою різних датчиків температури.

Ефективність ІЧ нагрівання значною мірою залежить від будови, раціонального вибору опромінювача. Електричні ІЧ опромінювачі умовно поділяють на темні і світлі. Темні випромінювачі мають порівняно невисоку температуру – до 700 °С (різні спіралі і ТЕНи). Світлі опромінювачі нагріваються до температури видимого світла, випромінюючи при цьому велику долю короткохвильового випромінювання. До світлих випромінювачів відносять інфрачервоні дзеркальні лампи типу ІКЗ. Для концентрації потоку випромінювання частина колби, що прилягає до цоколя, виконана у вигляді параболи і покрита із середини дзеркальним відбиваючим шаром. Принцип отримання променевої енергії в лампах типу ІКЗ аналогічний принципу роботи ламп розжарювання, але для отримання переважно ІЧ випромінювання, спіраль розігрівається до більш низької температури (близько 2200 °С), що дозволяє збільшити тривалість їх горіння до 5000 годин. Лампи ІКЗ випускають на напругу 127 В і 220 В потужністю 250 Вт та 500 Вт, із прозорим (ІКЗ), темно-червоним (ІКЗК) і синім (ІКЗС) світлофільтром купола лампи. Використання різних світлофільтрів викликане умовами застосування ламп, наприклад, лампи із синім світлофільтром застосовують там, де видиме випромінювання

шкідливе для технологічного процесу або обслуговуючого персоналу.

Ультрафіолетове випромінювання (УФ) використовують для зменшення сонячного голодування усіх живих організмів. Достатнє УФ опромінення сприяє збільшенню продуктивності тварин і птахів, покращує функціонування ендокринних залоз, підвищує імунологічну активність, нормалізує обмінно-вітамінні процеси, збільшує енергію проростання насіння і т.д. Недостатню кількість сонячного УФ випромінювання в осінньо-зимовий період можна компенсувати електричними джерелами УФ випромінювання.

Як джерела УФ випромінювання у сільськогосподарському виробництві використовуються: ртутні лампи високого тиску, еритемні і бактерицидні лампи низького тиску. У сільськогосподарському виробництві найбільш розповсюджені ртутно-кварцові лампи високого тиску типу ДРТ (дугова, ртутна, трубчата). Лампа ДРТ являє собою пряму трубку із кварцового скла, що заповнюється аргоном і невеликою кількістю ртуті. Кварцове скло добре пропускає як ультрафіолетове, так і видиме випромінювання, стійке до дії високої температури і механічних навантажень. У торці лампи впаєні вольфрамові електроди, що оббиті спіраллю із дротинки, яка для полегшення емісії електронів, покрита шаром оксиду. При вмиканні лампи в мережу, між електродами виникає дуговий розряд, під дією якого атоми ртуті збуджуються і випромінюють квант енергії із певною довжиною хвилі. Кварцове скло трубки пропускає видиме і ультрафіолетове проміння. Лампа має лінійний спектр випромінювання. Запалювання лампи типу ДРТ (мал. 14.2) здійснюється короткочасним натиском кнопки S, при цьому через дросель LL і конденсатор C1 протікає струм. При розмиканні контактів кнопки, струм різко зменшується і за рахунок е.р.с. самоіндукції дроселя різко збільшується напруга на електродах лампи, що сприяє її запалюванню. Металева стрічка F, яка підключена через конденсатор C2, забезпечує перерозподіл електричного поля в се-



Мал. 14.2 – Схема дослідження лампи типу ДРТ

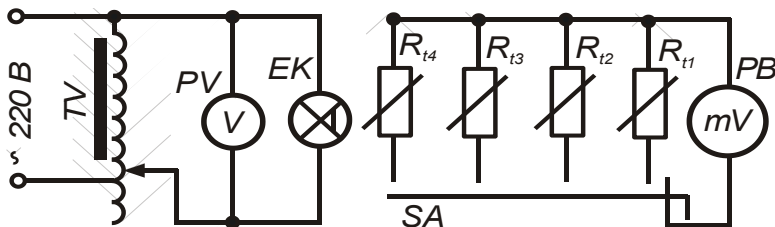
редині лампи, що полегшує запалювання лампи. Період розгоряння лампи 5-7 хв. Протягом цього часу проходить повне випаровування ртуті у трубці і стабілізація електричних і спектральних параметрів лампи. Повторне запалювання лампи можливе лише після її охолодження протягом 10-15 хв., оскільки, в гарячому стані лампа має збільшений опір.

Еритемні і бактерицидні лампи своєю будовою і принципом роботи подібні до люмінесцентних освітлювальних ламп. Еритемні люмінесцентні лампи ЛЕ виготовляються з увіолового скла, що пропускає УФ проміння, зсередини покриті люмінофором, що генерує таке ж випромінювання. Випромінювання еритемної лампи надає як еритемної, так і антирахітної дії. Бактерицидні лампи низького тиску ДБ відрізняються від еритемних лише відсутністю люмінофорного покриття колби. Спектр лампи лінійний. В електричну мережу ці лампи підключаються так само, як і освітлювальні люмінесцентні лампи.

ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Записати технічні дані лампи типу ІКЗ. Для дослідження температурного поля у різних зонах під лампою ІКЗК-250 необхідно зібрати електричне коло відповідно до мал. 14.3. Напругу на лампі встановити рівну номінальній. Панель із датчиками встановити на столі. Лампа встановлюється на найбільшій із вказаних викладачем відстаней і втримується протягом 8 хв., що необхідно для нагрівання датчиків. Після чого за показами приладу *PВ* записати в таблицю 14.1 збільшення температури в усіх точках (для чого за допомогою перемикача *SA* по чергово підключають датчики R_{ij}). Після чого лампу встановлюють на іншу (вказану викладачем) відстань, і знімають дані як вказано вище.

За отриманими даними побудувати залежності $Q = f_i(L)$ для всіх точок виміру, де $Q = \tau - Q_{CP}$; τ – температура в точці виміру, $^{\circ}\text{C}$; L - відстань від лампи до площини обігрівання, мм; Q_{CP} – температура навколишнього середовища, $^{\circ}\text{C}$.



Мал. 14.3 – Схема дослідження лампи типу

Таблиця 14.1

Результати досліджень температурного поля лампи типу ІКЗ

№ з/п	Відстань, L мм	Температура в точках виміру, °С			
		1	2	3	4
1					
2					
3					
4					
5					
6					

2. Записати технічні дані лампи типу ДРТ та її ПРА. Підключити цю лампу до мережі живлення відповідно до схеми на мал. 14.1 Покази вольтметра і амперметра записувати в табл. 14.2 через кожні 20 сек. до тих пір, поки протягом 3 хв. вони не будуть змінюватись.

Таблиця 14.2

Результати досліджень процесу розгоряння лампи типу ДРТ

№ з/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
T сек	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360
U В																			
I А																			

За отриманими даними побудувати залежності $I = f_2(t)$ та $U = f_3(t)$ – на одному малюнку, і окремо вольт-амперну характеристику лампи $U = f_4(I)$ в період розгоряння лампи.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Чим пояснюється життєва необхідність і важливість забезпечення достатньої кількості ультрафіолетового та інфрачервоного опромінення для сільськогосподарських тварин, рослин та птахів?
2. Виходячи з чого і на які ділянки поділено спектри ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання?
3. Де і як застосовуються окремі ділянки спектру ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання?
4. Які одиниці ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання введено у систему ефективних одиниць?
5. Як побудована і працює, а також, де застосовується лампа типу ДРТ?
6. Як побудовані та працюють, а також, де застосовуються еритемні і бактерицидні лампи ЛЕ та ДБ?
7. Як побудована і працює, а також, де застосовується лампа типу ІКЗ?

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок. (Под редакцией И. Ф. Кудрявцева) - М.: "Агропромиздат", 1988. - С. 420 - 436.
2. Довідник сільського електрика (за ред. В. С. Олійника). – К.: Урожай, 1989 - С. 168 - 195.
3. Белехов И. П., Четкин, А. С. Механизация и электрификация животноводства. – М.: Колос, 1984. - С. 200 - 203.
4. Гончар В. Ф., Тищенко Л. П. Электрообладнання тваринницьких підприємств і автоматизація виробничих процесів у тваринництві. – К.: Вища школа, 1986. – С. 71 - 76.
5. Карташов Л. П. и др. Механизация и электрификация животноводства. – М.: Агропромиздат, 1987. – С. 389 - 409.

ПРОГРАМА ПОЗААУДИТОРНОЇ САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ

№ з/п	Вид підготовки	Час, год
1	За рекомендованою літературою вивчити фізіологічну дію ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювань на біологічні об'єкти, використання цих випромінювань у сільськогосподарському виробництві	1
2	Вивчити будову, принцип роботи і схеми відключення штучних джерел ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання	1
3	Підготувати робочий зошит для виконання лабораторної роботи, у який записати: <ul style="list-style-type: none"> - назву та мету роботи; - короткі теоретичні пояснення (конспективно) із необхідними для розрахунків формулами; - вказівки щодо виконання роботи; - таблиці 14.1, 14.2; - електричні схеми: мал. 14.1; 14.2. 	2

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОНАГРІВНИХ ПРИСТРОЇВ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Мета роботи: вивчити будову, принцип дії, технічні характеристики та методи розрахунку електродних та елементних електронагрівних пристроїв сільськогосподарського призначення

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЯСНЕННЯ

У сільськогосподарському виробництві використовують дуже багато теплової енергії. У структурі енергобалансу вона становить понад 65 %, а у тваринництві потреба в тепловій енергії становить 80...90 % усього енергоспоживання. На тваринницьких фермах теплову енергію використовують для підігрівання води, приготування кормів, пастеризації молока, стерилізації молочного посуду, обігрівання тваринницьких приміщень, обробки продукції тваринництва, а також для зоогігієнічних потреб. У птахівництві теплову енергію використовують для інкубації яєць, обігрівання курчат, для підігрівання води, створення необхідного мікроклімату у приміщеннях, переробки птахівницької продукції тощо.

Близько 20 % всієї споживаної сільським господарством електроенергії використовують для одержання теплоти. Застосування електронагрівання для одержання теплової енергії у сільському господарстві вивільнило значну кількість людей, зайнятих раніше на обслуговуванні малопродуктивних паливних установок.

Способи і пристрої перетворення електричної енергії в теплову

Залежно від способу перетворення електричної енергії в теплову розрізняють такі способи електронагрівання: опором, електричною дугою, індукційний, діелектричний, електронний та світловий (лазерний).

Електронагрівання опором. У твердих і рідких провідниках при проходженні по них електричного струму виділяється теплота. Кількість теплоти, яка виділяється, визначають за законом Джоуля - Ленца:

$$Q = I^2 R t, \quad (15.1)$$

де Q – кількість теплоти, Дж; I – сила струму, А;

R – електричний опір, Ом; t – час, с.

Електронагрівання опором може бути *прямим*, коли струм проходить безпосередньо через тіло, що нагрівається, та *побічним*,

коли використовуються спеціальні пристрої для перетворення електричної енергії в теплоту, а потім теплота від них передається тілу.

Провідники електричного струму поділяють на *провідники першого роду* (метали, сплави, графіт), які мають електронну провідність, та *провідники другого роду* (звичайна недистильована вода, молоко, соковиті і вологі корми тощо), які мають іонну провідність.

Пряме електронагрівання опором поділяють на два види: *електроконтактне* – нагрівання металевих тіл та *електродне* – нагрівання провідників другого роду.

При прямому електродному нагріванні матеріал (вода, вологі корми тощо) вміщують між електродами, на які подають напругу. Матеріал, через який проходить струм, нагрівається. Пряме електродне нагрівання здійснюють тільки змінним струмом, бо постійний струм спричиняє електроліз матеріалу і псування його, а при нагріванні води може призвести до вибуху внаслідок виділення гримучого газу.

Нагрівання електричною дугою. Перетворення електричної енергії в теплоту відбувається в електричній дузі, що виникає між електродами в газовому середовищі. На електроди подають напругу. Потім на мить торкаються одним електродом іншого для запалювання електричної дуги і повільно розводять електроди на певну відстань. Унаслідок іонізації газове середовище між електродами стає електропровідним. Пряме нагрівання електричною дугою широко застосовується в електрозварювальних установках.

Електронне електронагрівання відбувається при зустрічі потоку електронів, прискорених в електричному полі, з тілом, яке потрібно нагріти. Електронне електронагрівання застосовують у промисловості для зварювання дрібних деталей та виплавлення надчистих металів.

Світлове (лазерне) електронагрівання відбувається під дією випромінювання оптичних квантових генераторів (лазерів). Енергія пучка когерентних оптичних променів при зустрічі з поверхнею тіла, що нагрівається, перетворюється в тепло. Лазери використовують для зварювання мікродеталей, при монтажі радіосхем, проведенні операцій та для інших цілей.

Індуктивне нагрівання металів. Якщо провідник помістити в змінне магнітне поле, то він нагріватиметься струмами, які наводяться в ньому, за законами електромагнітної індукції. Інтенсивне нагрівання буває в полях великої напруженості і високої частоти. Ці поля утворюються в спеціальних установках, які називають індукторами. Індуктор – первинна обмотка повітряного трансформатора, вторинною обмоткою якого є тіло, що нагрівається. Конструктивно

найпростіший індуктор – це ізольований провідник, вміщений у середину металевої труби. Провідник може бути скручений у спіраль.

Індукційні установки поділяють на установки *низької* (промислової) частоти (50 Гц); установки *середньої* частоти (150...10000 Гц) та *високої* частоти (від 60 кГц до 100 МГц). Чим більша частота струму індуктора, тим на меншу глибину проникають струми в деталь. Тому струми високої частоти використовують для поверхневого нагрівання.

Інфрачервоне нагрівання. Інфрачервоні промені використовують у сільськогосподарському виробництві для обігрівання молодняку тварин та птиці, для сушіння сільськогосподарських продуктів і лакованих поверхонь та для дезинсекції. Вони проникають в органічну речовину на деяку глибину, і нагрівання речовини відбувається відразу на всій глибині проникання променів. Інфрачервоні промені можна досить точно сфокусувати на певний об'єкт або його частину за допомогою відбивачів і екранів. При цьому можна досягти дуже високої інтенсивності нагрівання з високим енергетичним коефіцієнтом корисної дії. При температурах, вищих за 800 °К, інфрачервоні промені дають змогу передавати значно більші потужності порівняно з конвекційним і контактним способами нагрівання. Особливо високий результат досягається за максимальної відповідності довжини хвилі інфрачервоного випромінювання поглинальній здатності речовини. Підбираючи спектр випромінювання відповідно до оптичних властивостей окремих складових неоднорідного продукту, можна здійснити селективне нагрівання. Простим прикладом селективного нагрівання є опромінювання зерна інфрачервоними променями для дезинсекції і сушіння. Інфрачервоні промені інтенсивно поглинаються водою. У шкідниках та їх личинках міститься вологи значно більше, ніж у зерні. Тому при опромінюванні зерна інфрачервоними променями з довжиною хвилі 2,7...3,7 мкм найінтенсивніше нагріваються шкідники, потім вологе зерно і значно менше сухе зерно. Цим досягають потрібної для сушіння і дезинсекції зерна селективності нагрівання.

Діелектричне нагрівання. Під впливом електричного поля в матеріалах з поганою електропровідністю заряди, зв'язані між молекулярними силами, орієнтуються або зміщуються в напрямі електричного поля. Ці заряди називають зв'язаними на відміну від вільних зарядів, які утворюють струм провідності. Зміщення зв'язаних зарядів під дією електричного поля називають поляризацією. Якщо електричне поле змінне, то відбувається безперервне зміщення заря-

дів. Енергія, яка витрачається на поляризацію молекул не провідникових матеріалів, виділяється у вигляді теплоти.

При нагріванні в полі конденсатора матеріалів з поганою електричною провідністю теплота виділяється одночасно по всьому об'єму матеріалу. При цьому швидке нагрівання внутрішніх шарів матеріалу призводить до утворення градієнтів температури і тиску, направлених до зовнішньої поверхні тіла. Це сприяє швидкому видаленню надлишкової вологості. Тому високочастотне сушіння сільськогосподарських продуктів – це дуже прогресивний і перспективний метод сушіння. Електрична енергія перетворюється в теплоту безпосередньо. При високочастотному нагріванні можна досягти високої концентрації потужності в одиниці об'єму.

У сільському господарстві діелектричне нагрівання може бути широкого застосування для сушіння зерна, овочів, фруктів, дезинсекції зерна, пастеризації і стерилізації молока, стерилізації овочів і фруктів у банках при консервуванні тощо. Інтенсивне нагрівання діелектриків можливе лише в електричному полі високої частоти (від 0,5 до 100 МГц). Тому для діелектричного нагрівання застосовують лампові генератори. До недоліків діелектричного нагрівання слід віднести складність і високу вартість обладнання, необхідність висококваліфікованого обслуговування. Тому діелектричне нагрівання слід застосовувати насамперед там, де воно призводить до значного зростання продуктивності праці та до підвищення якості і збільшення виходу продукції.

Електричні нагрівні пристрої призначені для прямого перетворення електричної енергії в теплову і є основним вузлом будь-якого електронагрівного пристрою. В пристроях побічного нагрівання основною частиною є *нагрівний елемент*.

Матеріали для нагрівних елементів. Нагрівні елементи працюють у дуже важких температурних умовах. Стійкість нагрівного елемента проти високої температури визначає строк служби електричного нагрівника. Тому до матеріалів, з яких виготовляють нагрівні елементи, ставлять низку вимог. Основні з них такі: 1) здатність витримувати механічні навантаження від власної маси при високих температурах; 2) стійкість проти окислення при високих температурах, яке сприяє зменшенню поперечного перерізу і збільшенню опору нагрівного дроту; 3) високий питомий опір, збільшення якого сприяє зменшенню маси нагрівного дроту і габаритів електронагрівника; 4) низький температурний коефіцієнт розширення, що забезпечує при підвищенні температури незначне збільшення опору; 5) висока температура плавлення (на 150...300°C вища за

робочу температуру); 6) добра оброблюваність; 7) невисока вартість. Найбільше ці вимоги задовольняють спеціальні хромонікелеві сплави (ніхроми), залізохромоалюмінієві сплави та неметалеві нагрівники (графітні, вугільні, карборундові, карбідні тощо). Неметалеві нагрівні елементи застосовуються у високотемпературних установках (до 1300 °С).

Ніхроми – це сплави нікелю, хрому і заліза з добавкою марганцю. Бувають подвійні і потрійні ніхроми. Подвійні ніхроми – найбільш високоякісні і дорогі сплави для нагрівальних опорів. Вони містять близько 20 % хрому і 80 % нікелю (X20H80-H, X20H80T). Потрійні сплави мають близько 15 % хрому, 60 % нікелю та 25 % заліза (X15H60-H). Серед залізохромоалюмінієвих сплавів найбільше використовують фехраль (X13Ю4), який складається з 13 % хрому, 83 % заліза і 4 % алюмінію. В установках з невисокою температурою нагрівання застосовують сплав константан, який містить близько 40 % нікелю і 60 % міді. Для виготовлення нагрівальних елементів ці матеріали використовують у вигляді дроту або стрічки певного перерізу.

У сільськогосподарському виробництві при робочих температурах до 300...350 °С широко використовують для нагрівальних елементів сталевий оцинкований дріт, який є дешевим і доступним матеріалом. Проте нагрівні елементи зі сталевого оцинкованого дроту мають такі недоліки: 1) великий температурний коефіцієнт опору; 2) значно піддаються окисленню та іржавінню; 3) несталість електричних властивостей навіть у межах однієї марки дроту, що утруднює розрахунок нагрівних елементів. Нагрівні елементи, виготовлені зі сталевого оцинкованого дроту, використовують у сільському господарстві для обігрівання ґрунту і повітря в парниках і теплицях та для обігрівання підлоги у тваринницьких приміщеннях.

Ізолюють нагрівні елементи спеціальними матеріалами, які крім електроізоляційних властивостей мають високу теплопровідність, що забезпечує мінімальний перепад температури між нагрівним опором і робочою поверхнею елемента. Високі ізоляційні якості (опір ізоляції і діелектрична проникність) ці матеріали повинні мати як у холодному стані, так і при високій робочій температурі та підвищеній вологості.

Такі властивості має периклаз – плавлений окисел магнію. Периклаз має питомий об'ємний опір ізоляції при температурі 600 °С не менш як $5 \cdot 10^7$ Ом см, діелектричну проникність при цій же температурі не менш як $1,2 \text{ кВ} \cdot \text{мм}^{-1}$. Він ні в холодному, ні в нагрітому стані не вступає у сполуку з металами, водою та повітрям.

Ізолюють електронагрівні елементи азбестом, слюдою, порцеляною і кварцовим піском. Для ізоляції відкритих нагрівальних елементів використовують фасонну кераміку, яка одночасно може бути й каркасом для нагрівного опору.

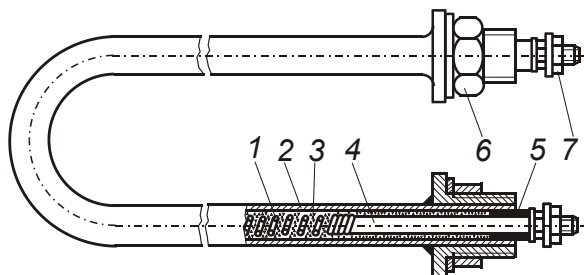
При електродному нагріванні велике значення мають матеріали, з яких виготовлено електроди. Залізні електроди застосовують лише при нагріванні води для технічних цілей. В установках для нагрівання рідких кормів, запарювання соломи та нагрівання води не для технічних цілей використовують електроди з неіржавіючої сталі, графітні та з титанових сплавів. Забороняється використовувати для виготовлення електродів мідь, оцинковане залізо, алюміній, бо електроди з цих матеріалів швидко окислюються, спричиняючи забруднення рідини, що нагрівається, а в окремих випадках можуть призвести до утворення гримучої суміші.

У *плівкових обігрівниках* нагрівні елементи виготовляють з вуглеграфітної струмопровідної тканини, сажонаповненої гуми, метало-наповнених склоемалей, склоцементів та інших струмопровідних плівок.

Будова нагрівних елементів. Електронагрівні елементи залежно від умов експлуатації, призначення та інших факторів виготовляють *відкритими, закритими і герметичними*. *Відкриті* електронагрівні елементи віддають тепло матеріалу, що нагрівається, шляхом конвекції та випромінювання інфрачервоних променів. У *закритих* нагрівних елементах високоомний опір вміщують у захисну оболонку, яка захищає його від механічних пошкоджень, але не перешкоджає доступу повітря. *Герметичні* електронагрівні елементи - це опір, вміщений у масу з ізоляційного матеріалу. Найчастіше вони складаються з металевої трубки, усередині якої в ізоляційну масу запресована спіраль з ніхромового або фехралевого дроту. За рахунок герметизації виводів повітря до спіралі не надходить. Герметичні електронагрівні елементи віддають тепло матеріалу, що нагрівається в основному внаслідок теплопровідності трубки і заповнювача.

Герметичні електронагрівні елементи мають ряд переваг над відкритими і закритими елементами, а саме: 1) не окислюються і не забруднюються, що значно збільшує строк їх використання; 2) захищені від механічних пошкоджень і нечутливі до струсу; 3) електробезпечні для людей і тварин; 4) передають теплоту без різких перепадів температури; 5) універсальні, що дає можливість їх замінювати.

Найбільшого поширення в сільському господарстві набули трубчаті електронагрівники (ТЕНи), їх використовують у водонагрівниках, електрокалориферах, установках нагрівання променями тощо. Трубчатий нагрівник типу ТЕН (мал. 15.1) складається з ніхромової спіралі 1, металеві трубки 2, наповнювача 3, вивідних шпильок 4, ущільнювальних втулок 5 та гайки 6 для кріплення нагрівника. Наповнювач – плавлений окис магнію (периклаз) - надійно ізолює спіраль від металеві трубки і добре проводить тепло. Спіраль, запресована в периклаз, майже не окислюється, що забезпечує при правильному виборі та експлуатації нагрівника строк експлуатації до 10000 год.



Мал. 15.1 – Трубчатий електронагрівний елемент типу ТЕН:
 1 – ніхромова спіраль; 2 – металева трубка; 3 – наповнювач;
 4 – шпилька; 5 – ущільнювальна втулка; 6 – гайка; 7 - вивід

Трубки нагрівників виготовляють із звичайної та неіржавіючої сталі і латуні. ТЕНи з трубками із звичайної сталі використовують для нагрівання повітря, а з трубками із неіржавіючої сталі та латуні - для нагрівання води, масел тощо. Трубчаті нагрівники повинні працювати тільки в тому середовищі, для якого вони призначені. Якщо трубчатий нагрівник призначений для роботи в рідкому середовищі, то всю його активну частину потрібно обов'язково занурити в рідину. Нагрівники не повинні торкатись один одного. Виводи нагрівників потрібно ізолювати від теплового випромінювання нагрітого агрегату, вони повинні добре омиватись холодним повітрям.

ТЕНи виготовляють на номінальну напругу 12, 24, 36, 48, 55, 60, 127, 220, 380 В; на номінальні потужності від 0,05 до 20 кВт; із зовнішніми діаметрами трубок 7; 9; 12,5; 15 мм і довжиною від 250 до 6300 мм в одно- або трьохелементному виконанні.

Нагрівні елементи можуть мати керамічну ізоляцію. Так, в електронагрівниках серії УАП сільськогосподарського призначення використовують розбірні електронагрівні елементи закритого типу з керамічною ізоляцією типу РЕН-2/220 і РЕН-6/380. Такий нагрівний елемент - це металева труба діаметром 83 мм і товщиною

3 мм, усе-редині якої в 12-канальному ізоляторі розміщена нагрівальна спіраль. Усередині ізолятора міститься труба діаметром 33 мм і товщиною 3 мм, яка з внутрішнього кінця наглухо заварена, а з зовнішнього з'єднана з зовнішньою трубою, і утворює герметичну трубчасту оболонку. Щоб поліпшити тепловіддачу, спіраль засипають кварцовим піском. Наявність внутрішньої порожнини поліпшує температурні умови роботи спіралі і керамічної ізоляції. Така конструкція нагрівного пристрою дає можливість багаторазово використовувати трубчасту оболонку, замінюючи спіралі, які найчастіше виходять з ладу.

Для електронагрівників невеликої потужності (наприклад, у деяких брудерах) застосовують герметичні нагрівні елементи без металеві оболонки. До них належать дрові трубочасті емальовані резистори типу ПЗ. Пристрої мають трубчастий керамічний каркас, на який намотано константановий або ніхромовий дріт, зверху покритий запобіжним шаром емалі.

Для електрообігрівання повітря й ґрунту в парниках і теплицях та для електрообігрівання підлог, коли потрібно мати невисоку температуру нагрівання (до 40...50°C), використовують нагрівні проводи. Промисловість випускає нагрівні проводи типів ПОСХВ, ПОСХП та ПОСХВТ – провід обігрівальний сільськогосподарський з полівінілхлоридною (В), поліетиленовою (П) або полівінілхлоридною термостійкою (ВТ) ізоляцією. Нагрівні проводи мають струмоведучу жилу зі сталевого оцинкованого дроту діаметром 1,1 мм у проводів ПОСХВ і ПОСХП та 1,4 мм у ПОСХВТ. Максимальна допустима температура нагрівання проводів ПОСХВ і ПОСХП становить 70 °С, а ПОСХВ – 105 °С. Питоме навантаження при допустимій температурі поверхні проводу при прокладанні проводів у ґрунті становить 10...12 Вт·м⁻¹ для проводів ПОСХВ та ПОСХП і 22...23 Вт·м⁻¹ для проводів ПОСХВТ.

Плівкові обігрівачі з нагрівними елементами на основі резистивних плівок мають корпус із листової сталі, покритий електроізоляційною емаллю, на яку методом пневматичного розпилювання нанесено пастоподібну масу композиційного резистивного матеріалу. Зверху електропровідна плівка покривається термостійким електроізоляційним лаком, органічною емаллю або епоксидною смолою.

Тепловий та електричний розрахунок електронагрівних установок. При тепловому розрахунку електронагрівних установок визначають втрати тепла на нагрівання, плавлення і випаровування, втрати тепла в зовнішнє середовище, тепловий коефіцієнт корисної дії, загальну потужність установки та її конструктивні параметри.

При електричному розрахунку вибирають напругу і частоту струму, спосіб нагрівання та визначають основні геометричні розміри нагрівного пристрою. Встановлену потужність електронагрівної установки, кВт, визначають за формулами:

- при нагріванні матеріалів

$$P = \frac{K_3 GC(\theta_2 - \theta_1)}{3600\eta}; \quad (15.2)$$

- при плавленні і випаровуванні

$$P = \frac{K_3 GC[(\theta_2 - \theta_1) + a]}{3600\eta}, \quad (15.3)$$

де G - продуктивність установки, кг·год⁻¹, м³·год⁻¹ і т. д.; C - середня за період нагрівання питома теплоємність тіла, кДж·кг⁻¹·град⁻¹; кДж·м⁻³·град⁻¹; θ_1 і θ_2 - початкова і кінцева температура тіла, град; K_3 - коефіцієнт запасу, що враховує старіння нагрівальних елементів і можливе зниження електричної напруги (повинен становити 1,1...1,3); a - питома теплота фазового перетворення (питома теплота плавлення, випаровування), кДж·кг⁻¹; η - коефіцієнт корисної дії електронагрівної установки (к. к. д), який включає в себе електричний к. к. д. (η_e) і тепловий к. к. д. (η_T).

Наближено можна прийняти $\eta = 0,9...0,95$ для добре теплоізольованих установок безперервної дії і $\eta = 0,7...0,8$ - для установок періодичної дії та неізольованих. Геометричні розміри електронагрівних установок визначають, розв'язуючи рівняння, що характеризують електронагрівну установку як джерело теплоти і як приймач електричного струму.

Вибір трубчатих нагрівних елементів проводять за розрахунковою потужністю, яку визначають за формулами (15.2) або (15.3) та за допустимим питомим навантаженням поверхні трубки. Допустимі питомі навантаження на поверхню ТЕНів наведено в табл. 15.1. Потрібну активну поверхню нагрівників визначають за формулою:

$$S = P/(10\sigma_D), \quad (15.4)$$

де P - потужність нагрівної установки, кВт; σ_D - допустиме питома навантаження на поверхню трубки, Вт·см⁻²; S - активна поверхня нагрівника, м².

Потім з каталогу вибирають трубчатий нагрівний елемент, який відповідає заданим умовам роботи, і визначають його активну поверхню (S_I) за формулою:

$$S_I = \pi dl \cdot 10^{-3}, \quad (15.5)$$

де d – діаметр трубки, мм; l – активна довжина одного трубчатого нагрівного елемента, м.

Потрібну кількість нагрівників визначають за формулою:
 $n = S/S_1$.

Розрахунок нагрівних елементів за робочим струмом і таблицями навантаження. Цим методом часто користуються на практиці. Для розрахунку нагрівних елементів використовують експериментальні табличні або графічні залежності між навантаженням струмом, температурою і перерізом дроту нагрівного елемента. Ці залежності наводяться в довідниках для дротів, які підвішені горизонтально у спокійному повітрі при температурі 20 °С і вільно віддають тепло. Для дротів з ніхрому ці дані наведено в табл. 15.2. При переході від умов роботи, для яких складено таблицю 15.2, до реальних вводять поправочні коефіцієнти монтажу та середовища (див. табл. 15.3).

Таблиця 15.1

Допустимі навантаження на ТЕНи

Середовище, що нагрівається	Характер нагрівання	Матеріал трубки	Допустиме питоме навантаження, Вт·см ⁻²
Вода	Нагрівання, кип'ятіння і випаровування	Латунь, сталь неіржавіюча X18H10T	9,0...11,0
Повітря	Нагрівання у спокійному повітрі до температури на поверхні ТЕНів: - 500 °С - понад 500 °С	Сталі 10 і 20, сталь неіржавіюча X18H10T	1,2...1,8 2,3...5,0
Жири харчові, мінеральне масло	Нагрівання у ванні	Сталі 10 і 20	2,3...3,0
Молоко	Нагрівання у ванні	Сталь неіржавіюча X18H10T	1,5...2,0
Побутові плити	ТЕНи залиті у метал електроконфорки	Сталі 10 і 20	5,0...7,0
Промєневе обігрівання тварин та птахів	У тваринницькому приміщенні	Сталь неіржавіюча X18H10T	5,0...6,0

Розрахунок ведуть у такій послідовності. За формулами (15.2) або (15.3) визначають потужність електронагрівної установки. Потім задаються даними про напругу, схему з'єднань і кількість паралельних секцій у кожній фазі. Нагрівні елементи залежно від напруги електромережі з'єднують послідовно або паралельно, на “зірку” або “трикутник”. При потужності нагрівних пристроїв понад 1 кВт, їх виконують трифазними. При з'єднанні нагрівних елементів на “зірку” напруга на кожній секції буде фазною, а при з'єднанні на “трикутник” – лінійною. При цьому на кожній фазі може бути одна або кілька паралельних секцій.

Менші значення коефіцієнта монтажу беруть для малих діаметрів дроту. Коефіцієнт середовища K_C має становити: 1,1...1,5 при розміщенні нагрівного пристрою в повітряному потоці; 2,5 - у воді і 3...3,5 - у водному потоці.

Таблиця 15.2

Навантаження ніхромового дроту, підвішеного горизонтально в спокійному повітрі при температурі 20 °С

Діаметр дроту, мм	Переріз, мм	Допустиме навантаження (А) при розрахунковій температурі, t_p , °С					
		200	400	600	700	800	900
0,1	0,00785	0,1	0,47	0,63	0,72	0,8	0,9
0,2	0,0314	0,65	1,03	1,4	1,65	1,82	2
0,3	0,085	1,05	1,63	2,27	2,7	3,05	3,4
0,4	0,126	1,5	2,34	3,3	3,85	4,4	5
0,5	0,195	2	3,15	4,5	5,2	5,9	6,75
0,6	0,342	2,52	4	5,7	6,5	7,5	8,5
0,7	0,385	3,1	4,8	6,95	7,8	9,1	10,3
0,8	0,503	3,7	5,7	8,15	9,15	10,8	12,3
0,9	0,636	4,25	6,7	9,35	10,45	12,3	14,5
1	0,785	4,85	7,7	10,8	12,1	14,3	16,8
1,1	0,95	5,4	8,7	12,4	13,9	16,5	19,1
1,5	1,77	7,9	13,2	19,2	22,4	25,7	30
2	3,14	11,7	19,6	28,7	33,8	39,5	47
2,5	4,91	16,6	27,5	40	46,6	57,5	66,5
3	7,07	22,3	37,5	54,5	64	77	88
4	12,6	37	60	80	93	110	129

Робочий струм нагрівного пристрою визначають за формулами:

- для однофазних установок:

$$I = P \cdot 10^3 / U_n ; \quad (15.6)$$

- для трифазних установок

$$I = P \cdot 10^3 / \sqrt{3}Un ; \quad (15.7)$$

де P – потужність установки, кВт; U – напруга, В; n – кількість паралельних секцій в одній фазі.

За таблицею вибирають робочу температуру нагрівного елемента. Розрахункову температуру дроту (t_p) визначають, враховуючи коефіцієнти монтажу і середовища:

$$t_p = \frac{t_D}{K_M K_C}, \quad (15.8)$$

де K_M і K_C – коефіцієнти монтажу і середовища.

Таблиця 15.3

Значення поправочного коефіцієнта монтажу K_M залежно від конструктивного виконання нагрівника

Дріт при горизонтальному розміщенні у спокійному повітрі	1
Дротяна спіраль без теплової ізоляції у спокійному повітрі	0,8...0,85
Дріт, намотаний на вогнестійкий каркас, у спокійному повітрі	0,6...0,7
Нагрівальний опір, розміщений між двома шарами теплової ізоляції	0,5
Нагрівні опори з доброю тепловою ізоляцією (трубчасті електронагрівники, електронагрівники ґрунту, підлоги)	0,3...0,4

Вибрана температура дроту навіть за найнесприятливіших умов не повинна перевищувати максимально допустиме значення температури для даного матеріалу дроту.

Аналіз формули (15.8) показує, що коефіцієнт монтажу враховує погіршення тепловіддачі від нагрівного дроту, що призводить до підвищення температури дроту порівняно з даними табл. 15.2. Коефіцієнт середовища враховує поліпшення тепловіддачі завдяки впливу зовнішнього середовища, що викликає зниження температури дроту.

За робочим струмом I та розрахунковою температурою t_p обирають у табл. 15.2 діаметр і поперечний переріз дроту.

Довжину дроту, м, однієї секції визначають за формулою:

$$l = U_\phi^2 S / (10^3 P_C \rho_t); \quad (15.9)$$

де U_ϕ – фазна напруга, В; P_C – потужність однієї секції, кВт; S – площа поперечного перерізу, мм²; ρ_t – питомий опір при розрахунковій температурі, Ом·м;

$$\rho_t = \rho_{20} [1 + \alpha(t - 20)], \quad (15.10)$$

де ρ_{20} – питомий опір при температурі 20 °С, Ом·м; α – температурний коефіцієнт опору, град⁻¹; t – розрахункова температура, °С.

Розрахунок електродних нагрівників. Електродні нагрівники вико-ристовують для нагрівання матеріалів, які проводять електричний струм, в основному води і ґрунту, та для запарювання соломи. Вони складаються з системи електродів для підведення струму до матеріалу, що нагрівається. Нагрівним елементом є безпосередньо цей ма-теріал. Електродні нагрівники можуть бути однофазними і трифазни-ми. Найпоширеніші системи електродних нагрівників зображено на мал. 15.2. Розрахунок електродних нагрівників – це в основному вибір конструктивного виконання та визначення площі електродів і відстані між ними. Спочатку обирають конструктивне виконання нагрівника, потім за формулою 15.2 визначають його потужність.

Розміри електродів залежать від напруженості поля між електродами і максимально допустимої густини струму на електродах. Щоб запобігти розкладанню води й утворенню гримучого газу, максимальна густина струму на електродах наприкінці періоду нагрівання не повинна перевищувати $2 \text{ А}\cdot\text{см}^{-2}$ при нагріванні води циліндричними електродами і $0,5 \text{ А}\cdot\text{см}^{-2}$ при нагріванні плоскими електродами. Максимальна напруженість поля між електродами E_d для води $125\dots250 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$.

Відстань між електродами:

$$l = U/E_d . \quad (15.11)$$

Відстань між електродами повинна бути не меншою 1,5 см.

Потужність трифазного нагрівника P (кВт) незалежно від схеми з'єднань електродів:

$$P = (3U_\phi^2 \cdot 10^{-3})/R_\phi , \quad (15.12)$$

де U_ϕ – фазна напруга, В; R_ϕ – опір однієї фази, Ом.

При нагріванні води зростає швидкість руху іонів-носіїв електричних зарядів, що зумовлює зменшення опору, отже, опір води змінюється. Тому під час розрахунку беруть його середнє значення, яке визначають за формулою:

$$R_{ic} = (K_\Gamma \rho_{ic})/h , \quad (15.13)$$

де h – висота електродів, см; ρ_{ic} – середній питомий опір води за період нагрівання; Ом·см; K_Γ – геометричний коефіцієнт.

Питомий опір води при температурі t :

$$\rho_t = (40\rho_{20})/(20+t) . \quad (15.14)$$

Середня температура за період нагрівання:

$$t_c = 0,5(t_1 + t_2) ,$$

де t_1 – температура води до нагрівання, град; t_2 – температура води

наприкінці нагрівання, град. Середнє значення питомого опору за період нагрівання:

$$\rho_{tc} = (40\rho_{20}) / (20 + t_c)$$

Геометричний коефіцієнт для електродних систем (мал. 15.2) визначають за формулами:

- для схем а) і з):

$$K_r = l/b \quad (15.15)$$

- для схем б) і д):

$$K_r = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{D}{d} \quad (15.16)$$

- для схеми в):

$$K_r = l / [(n-1)b] \quad (15.17)$$

де n – кількість пластин; d і D – відповідно діаметри електрода і анти електрода.

Висота електрода може бути визначеною за формулою:

$$h = \frac{3,62 K_3 G C \rho_{20} K_r (t_2 - t_1)}{U_\phi^2 \eta (20 + t_c)}$$

Розрахункову площу електродів перевіряють за максимальною густиною струму. Для цього визначають потужність однієї фази наприкінці нагрівання води $P_{M\phi}$ за формулою:

$$P_{M\phi} = \frac{U_\phi^2 h (20 + t_{20}) I 10^{-3}}{40 K_r \rho_{20}}$$

Максимальна густина струму на електродах

$$J = \frac{K_H P_{M\phi} I 10^3}{U_\phi S},$$

де S – активна поверхня електрода однієї фази, см²; K_H - коефіцієнт, що враховує нерівномірність густини струму на поверхні електродів (1,1...1,4).

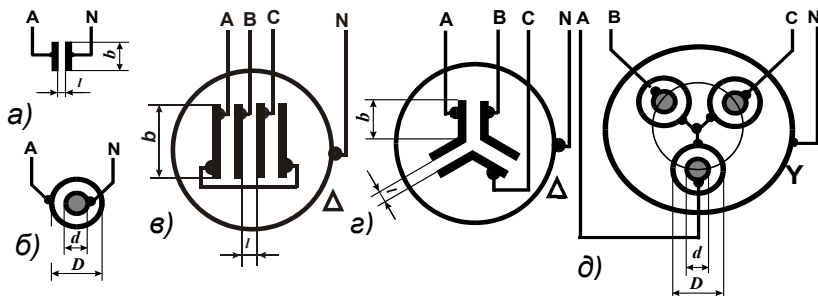
Максимальна густина струму повинна бути меншою від допустимої.

Особливості розрахунку сталевих нагрівальних елементів.

Розрахунок нагрівних елементів, виготовлених із сталевого дроту, викликає труднощі через нестандартність електричних характеристик сталі, які залежать від термічної та механічної обробки і можуть на 15...20 % відрізнятись від середніх значень. Тому розрахунок сталевих нагрівних елементів можна виконати тільки набли-

жено з точністю $\pm 20\%$. Щоб підвищити точність розрахунку, потрібно експериментально визначити питомий опір сталевго дроту, з якого будуть виготовлені нагрівні елементи.

Сталевий дріт має низький питомий опір $\rho_{20} = (0,11 \dots 0,15) \cdot 10^{-4}$ Ом·см і високий температурний коефіцієнт опору $\alpha = 0,004 \dots 0,006$



Мал. 15.2 – Схеми електродних систем електроводонагрівачів: а) – однофазна із плоскими електродами; б) – однофазна із циліндричними коаксіальними електродами; в) – трифазна із плоскими електродами (трикутник); г) – трифазна із пластинчастими вигнутими електродами (трикутник); д) – трифазна із коаксіальними електродами (зірка);

град⁻¹, тому сталеві нагрівні елементи матимуть більші розміри, ніж нагрівники із спеціальних сплавів. Унаслідок високого температурного коефіцієнта опору сталеві нагрівні елементи при вмиканні в електричну мережу мають великі пускові струми. Допустима температура нагрівання сталевго дроту 300...350 °С, активний опір залежить від його температури і струму навантаження, що проходить по ньому.

Відношення опору сталевго провідника змінному струму певної частоти до опору постійному струму називають коефіцієнтом поверхневого ефекту. Для дроту діаметром $d = 1 \dots 6$ мм при частоті струму 50 Гц і питомому навантаженні $\Delta P = 20 \dots 100$ Вт·м⁻¹ можна вважати, що коефіцієнт поверхневого ефекту залежить тільки від діаметра дроту, і визначити його за емпіричною формулою:

$$K_{II} = 1 + 0,0176d^{2,2},$$

де d – діаметр дроту, мм.

Повний опір сталевго дроту можна визначити за формулою:

$$Z = K_{II}R / \cos \varphi,$$

де R – опір дроту постійному струму, Ом; $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності, який для вказаних вище (при визначенні коефіцієнта поверхневого ефекту K_{II}) умов можна прийняти 0,86. Струм та активна потужність нагрівника:

$$I = U / Z = U \cos \varphi / (K_{II}R);$$

$$P = U^2 \cos \varphi / (K_{II} R).$$

Знаючи K_{II} і $\cos \varphi$, можна вибрати діаметр дроту, а довжину його визначити за формулою:

$$L = \sqrt[3]{10^{-3} P U^2 \cos^2 \varphi / (4\pi \rho_t K_{II} W^2)},$$

де t – температура дроту, град; t_0 – температура зовнішньої поверхні матеріалу, що нагрівається, град; ρ_t – питомий опір дроту при температурі t , Ом·см; P і U – відповідно активна потужність та напруга, на яку розрахований нагрівник; W – питома поверхнева потужність, Вт·м⁻².

Способи регулювання потужності і температури електронагрівних установок. Потужність однієї фази електронагрівної установки:

$$P = UI = U^2 / R.$$

Отже, потужність електронагрівної установки можна регулювати, змінюючи напругу живлення або опір нагрівних елементів. На практиці регулюють потужність електронагрівних установок зміною опору нагрівних елементів. Для цього нагрівні елементи кожної фази ділять на ряд секцій, які потім вмикають між собою паралельно, послідовно або паралельно-послідовно. Таке перемикавання секцій нагрівного опору дає змогу досить просто здійснювати ступінчате регулювання потужності електронагрівника, а отже, і температурного режиму електронагрівної установки. Недоліком цього способу регулювання потужності електронагрівника є значне збільшення кількості комутаційних апаратів. Регулювання температурного режиму часто здійснюють при постійній потужності нагрівної установки, періодично вмикаючи і вимикаючи нагрівні елементи. У сільськогосподарському виробництві регулюють потужність електронагрівних установок зміною напруги різними способами. Одним із них є перемикавання нагрівних елементів з фазної на лінійну напругу і навпаки (в однофазних установках) та перемикавання з'єднання нагрівних елементів з зірки на трикутник і навпаки (у трифазних установках). Для зміни напруги можна використати автотрансформатор, проте через значне збільшення вартості електронагрівної установки цей спосіб регулювання потужності не знайшов широкого застосування в сільськогосподарському виробництві.

Перспективним способом плавного регулювання потужності електронагрівних установок зміною напруги є застосування пристроїв, виконаних на тиристорах. Змінюючи кут запалення тиристора, можна плавно регулювати ефективне значення напруги на нагрівальних елементах. При цьому потужність електронагрівника

можна регулювати в широких межах або зовсім вимикати його, не застосовуючи контактну апаратуру.

Потужність електродних водонагрівачів регулюють, перекриваючи шлях проходження струму між електродами за допомогою ізоляційних труб або пластин. Температурний режим під брудерами регулюють зміною висоти підвішування брудера та вмиканням і вимиканням нагрівних елементів. Температуру води в проточних водонагрівниках можна регулювати зміною подачі води, а температуру повітря в електрокалориферах – зміною продуктивності вентилятора.

Компресійні та термоелектричні теплові насоси. У сільському господарстві часто виникає потреба одні продукти нагрівати, а інші охолоджувати. “Перекачувати” тепло від одних продуктів до інших з невеликою затратаю електричної енергії можуть компресійні теплові насоси. Працюють вони подібно до холодильних машин. Тепловий насос можна використати на тваринницькій фермі для одночасного нагрівання води і охолодження молока. У таких пристроях компресор подає газоподібний фреон з температурою 80...90 °С в конденсатор-теплообмінник, де фреон, віддаючи тепло воді, охолоджується і перетворюється в рідину. Далі фреон надходить у ви-парник, занурений в розсіл. Під час випаровування фреон охолоджує розсіл. Холодний розсіл насосом подається в охолоджувач молока. Із випарника газоподібний фреон знову надходить у компресор, і далі його рух повторюється.

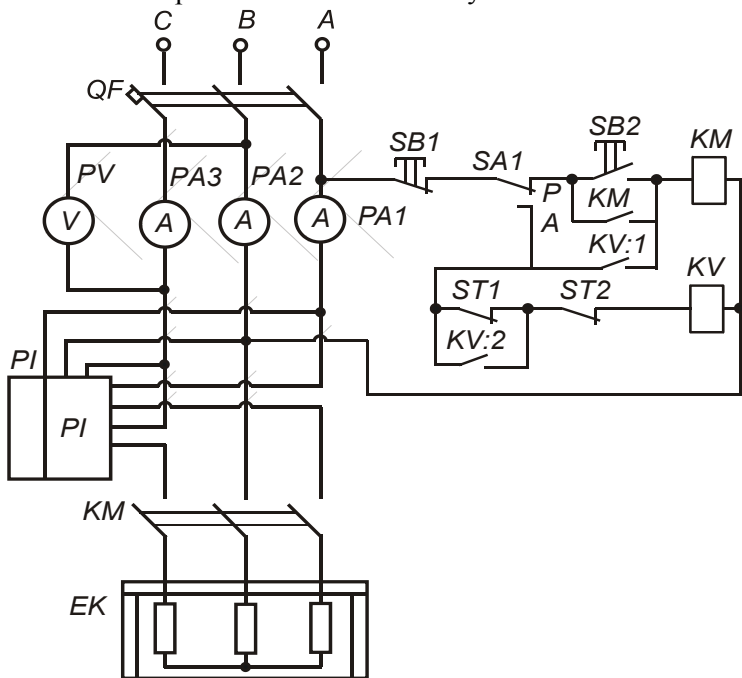
Дуже перспективним у тваринництві є застосування напівпровідникових теплових насосів. Принцип їх дії оснований на явищі, яке в 1834 р. відкрив французький фізик Пельтьє. Суть цього явища полягає в тому, що при пропусканні постійного струму через напівпровідник на одному з його спаїв теплота виділяється, а на іншому - поглинається. Можна так з'єднати напівпровідникові термоелементи, що з однієї сторони тепло поглинатиметься, а з іншої - виділятиметься. Після зміни напрямку протікання струму тепла сторона стане холодною, а холодна теплою. Тому напівпровідникові теплові насоси можна використовувати зимою для опалення приміщень, а літом для кондиціювання повітря. Напівпровідникові теплові насоси мають високий коефіцієнт корисної дії.

ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитись із будовою та принципом дії електронагрівних елементів і водонагрівачів, що знаходяться на лабораторному стенді.

2. Вивчити роботу електричної схеми керування електричним водонагрівачем (див. мал. 15.3) у режимах підігрівача (перемикач **SA1** у положенні **P**) та термоса (перемикач **SA1** в положенні **A**). Температуру води заміряють термометром або з допомогою термосигналізатора ТКП-160Сг-УХЛ, що являє собою паровий манометричний дистанційний термометр із електроконтактним пристроєм.

Схема працює таким чином. При ручному керуванні перемикач **SA1** встановлюють у положення **P**, включають автоматичний вимикач **SQ1** і натискають на кнопку **SB2**. При цьому струм надходить на котушку магнітного пускача **KM1**, він спрацьовує і головними контактами подає струм на водонагрівач, а блокуючі контакти **KM1:1** шунтують кнопку **SB2**. Нагрівання води закінчиться при натисканні на кнопку **SB1**.



Мал. 15.3 – Електрична схема дослідження електроводонагрівача

При автоматичному керуванні (коли перемикач **SA1** знаходиться в положенні **A**) температура води підтримується у заданому термосигналізатором ТКП-160Сг-УХЛ інтервалі (наприклад 80...90 °С). При вмиканні автоматичного вимикача **SQ1** струм надходить на котушку проміжного реле **KV1**, воно спрацьовує і своїми контактами подає струм на котушку магнітного пускача **KM1**, який також спрацьовує і головними контактами подає

струм на водонагрівач, вода у ньому починає нагріватись. При температурі води 80 °С контакт **SK1** розмикається, але електричне коло котушки реле **KV1** не розривається, оскільки контакт **SK1** заблокований контактом **KV1:2** і вода продовжує нагріватись. При температурі води 90°С контакт **SK2** розмикається, відключаючи реле **KV1** та магнітний пускач **KM1**, який вимикає водонагрівач і вода починає охолоджуватись. При температурі води нижче 90 °С контакт **SK2** замикається, але магнітний пускач **KM1** не вмикається, оскільки залишаються розімкнутими контакти **SK1** та **KV1:2** і струм на котушку реле **KV1** не надходить. І тільки при температурі води 80 °С, коли контакт **SK1** замикається, струм проходить по котушці реле **KV1**, замикаються його контакти **KV1:1** та **KV1:2** і магнітний пускач **KM1** спрацьовує, вимикаючи водонагрівач. Вода знову починає нагріватись.

3. Дослідити технологічні характеристики роботи електроводонагрівача. Заливають у водонагрівач воду заданої маси і досліджують процес її нагрівання. Для чого ставлять перемикач **SA1** в положення **P**, вмикають автоматичний вимикач **SQ1** і натискають на кнопку **SB2**. Через кожні 3 хв. нагрівання записують у табл. 15.4 покази термосигналізатора ТКП-160Сг-УХЛ, амперметрів, вольтметра та трифазного лічильника електричної енергії. За отриманими результатами побудувати залежності $P = f(t)$ та $\theta = f(t)$.

Таблиця 15.4

Результати вимірів при нагріванні води

<i>t</i>	хв.	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	
θ	°С																						
<i>I</i>	А																						
<i>U</i>	В																						
<i>P</i>	Вт																						
<i>W</i>	кВт·г																						

4. За кривою зміни потужності, методом графічного інтегрування визначити кількість енергії, необхідної для нагрівання води від початкової до кінцевої температури:

$$W_P = S_W \mu_t \mu_P,$$

де S_W – площа, в см², що обмежена кривою зміни потужності при нагріванні води від початкової θ_{II} до кінцевої θ_K температури та віссю абсцис; μ_t – масштаб по осі часу, с/см; μ_P – масштаб по осі потужності, Вт/см.

5. Визначити коефіцієнт корисної дії водонагрівача:

$$\eta = (Cm(\theta_K - \theta_{II})/W),$$

де C – питома теплоємність води, $C = 4,19$ кДж·кг⁻¹·град⁻¹;

m – маса води, що нагрівається, кг.

6. Визначити питома споживання електроенергії, кВт·г/кг, на нагрівання води: $A = W/m$.

7. Дослідити технологічні характеристики роботи електроводонагрівача в автоматичному режимі “Термос”. Заливають у водонагрівач воду заданої маси і досліджують процес її нагрівання. Для чого ставлять перемикач SA1 у положення А і вмикають автоматичний вимикач QF. Записати у табл. 15.5 покази термосигналізатора ТКП-160Сг-УХЛ перед відключенням і в момент його повторного включення, а також визначити час паузи.

Таблиця 15.5

Заміри роботи електроводонагрівача в автоматичному режимі

Температура відключення електронагрівача, °С	Температура повторного включення електронагрівача, °С	Час паузи, хв.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які переваги та недоліки електричних нагрівних пристроїв?
2. Які переваги та недоліки електродного способу нагрівання води?
3. Чому змінюється струм під час роботи непроточного електродного водонагрівача?
4. З якого матеріалу повинні виготовлятися електроди нагрівачів питної води?
5. Чи залежить ККД електроводонагрівачів від тривалості нагрівання?
6. Як визначити загальну кількість теплоти, що необхідна для нагрівання води, і чи залежить вона від часу?
7. Як побудовані та працюють трубчаті нагрівні елементи?
8. Чому електричні водонагрівачі під'єднують до водопровідної мережі через гумові патрубки?

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Колесов Л. В. Основы автоматизации. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Колос, 1984. – 288 с. (С. 50-54);
2. Автоматизация и автоматизация производственных процессов/ И.И. Мартиненко, Б. Л. Головинский, Р. Д. Проценко, Т. Ф. Резниченко. – М.: Агропромиздат, 1985. – 335с. (С. 125-128);
3. Автоматизация сельскохозяйственного производства/ В. В. Коцур, В. М. Писаренко, Ю. Л. Козлов, Е. И. Ласточкин. – К.:

Урожай, 1988. – 168 с. (С. 59 – 61);

4. Автоматика и автоматизация мобильных сельскохозяйственных машин. Носов Г. Р., Кондратец В. А., Сакало Л. Г. и др. – К.: Вища школа, 1984. – 248 с. (С. 228-231).

ПОРЯДОК ПОЗААУДИТОРНОЇ САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ

№ з/п	Вид підготовки	Час, год
1	За рекомендованою літературою вивчити галузі застосування електронагрівних пристроїв у сільськогосподарському виробництві та способи перетворення електричної енергії у теплову	1
2	Вивчити будову, принцип роботи і методи розрахунку електродних та елементних електронагрівачів води, і сталених нагрівних елементів, а також методи регулювання їх потужності та температурного режиму електронагрівачів	1
3	Підготувати робочий зошит для виконання лабораторної роботи, у який записати: <ul style="list-style-type: none">- назву та мету роботи;- короткі теоретичні пояснення (конспективно) із необхідними для розрахунків формулами;- вказівки щодо виконання роботи;- таблиці 15.4, 15.5;- електричні схеми: мал. 15.3.	2

ЗМІСТ

Порядок виконання лабораторних робіт	3
Правила техніки безпеки при роботі в лабораторії	4
Правила зображення схем автоматизованого електроприводу	6
МОДУЛЬ № 1	13
Лабораторна робота № 1. Електричні апарати керування	13
Лабораторна робота № 2. Дослідження апаратів захисту електроспоживачів	24
Лабораторна робота № 3. Дослідження двигуна постійного струму змішаного збудження	35
Лабораторна робота № 4. Дослідження асинхронного коротко замкнутого двигуна	56
Лабораторна робота № 5. Дослідження роботи трифазного асинхронного двигуна в однофазному режимі	77
Лабораторна робота № 6. Дослідження нагрівання електродвигуна	87
Лабораторна робота № 7. Підвищення коефіцієнта потужності споживачів електричної енергії	93
МОДУЛЬ № 2	101
Лабораторна робота № 8. Дослідження схем гальмування асинхронних електродвигунів	101
Лабораторна робота № 9. Дослідження роботи автоматизованих насосних пристроїв	108
Лабораторна робота № 10. Дослідження електропривода вентиляторного пристрою	124
Лабораторна робота № 11. Дослідження електропривода свердлильного станка	136
Лабораторна робота № 12. Дослідження електропривода ручних електричних машин та джерел їх живлення	141
Лабораторна робота № 13. Електричні джерела видимого випромінювання	151
Лабораторна робота № 14. Електричні джерела інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювання	163
Лабораторна робота № 15. Дослідження електронагрівних пристроїв сільськогосподарського призначення	170