

ЛІТЕРАТУРА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

Кафедра електричної інженерії



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

З КУРСУ

Основи електроприводу

для здобувачів вищої освіти
за ОПШ Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка
першого рівня вищої освіти

ID 823

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНА

Тернопіль 2024

Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу « Основи електроприводу» для здобувачів першого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Уклад.: Андрійчук В.А, Філюк Я.О. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2024. – 49 с.

Укладач: д.т.н. проф. Андрійчук В.А., к.т.н., ст.в. Філюк Я.О.,

Рецензент: к.т.н., доцент Костик Л.М.

Методичні вказівки розглянуто і затверджено на засіданні кафедри електричної інженерії
Протокол № 10 від 17.04.2024 р.

Схвалено методичною радою ФПТ Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.
Протокол № 8 від 09.05.2024 р.

Зміст

Лабораторна робота № 1	4
Лабораторна робота № 2	12
Лабораторна робота № 3	21
Лабораторна робота № 4	30
Лабораторна робота № 5	40
ЛІТЕРАТУРА	49

Лабораторна робота №1

Дослідження електромеханічних характеристик електродвигуна постійного струму з паралельним збудженням.

Мета роботи: ознайомитися з будовою і конструкцією двигуна, апаратами пуску і захисту двигуна, способом реверсування двигуна, його технічними (паспортними) даними, дослідити регульовальну, частотну та робочі характеристики двигуна.

Основні теоретичні відомості

Математичний опис електродвигуна постійного струму з незалежним збудженням детально розглядається у лекційному матеріалі "Основи електропривода". Рівняння механічної й електромеханічної характеристик, які характеризують двигун як об'єкт регулювання в усталеному режимі можна отримати з наступних рівнянь:

$$U_{\text{я}} = I_{\text{я}} R_{\text{я}} + E, \quad (1.1)$$

$$M = M_0, \quad (1.2)$$

де $E = c\Omega$ - ЕРС електродвигуна;

$M = cI_{\text{я}}$ - обертовий момент двигуна;

M_0 момент опору навантаження;

Ω - частота обертання, рад/с;

$c = K\Phi$ коефіцієнт зворотного зв'язку за ЕРС двигуна.

Після підстановки $E = K\Phi\Omega$ у рівняння (1.1) отримаємо

$$\Omega = \frac{U_{\text{я}}}{K\Phi} - \frac{I_{\text{я}} R_{\text{я}}}{K\Phi}, \quad (1.3)$$

Врахувавши $M = cI_{\text{я}}$, отримаємо

$$\Omega = \frac{U_{я}}{c} - \frac{R_{я}M}{c^2} \quad (1.4)$$

Вираз (1.3) носить назву рівняння *електромеханічної характеристики*, а (1.4) *механічної характеристики*. З рівняння (1.3) видно, що частота обертання Ω двигуна постійного струму (ДПС) залежить від моменту навантаження ($M=M_0$), а регулювати її можна зміною напруги на якорі $U_{я}$, зміною потоку збудження Φ і зміною опору в колі якоря $R_{я}$, вмикаючи у коло якоря реостат. Механічні характеристики кожного способу регулювання зображені на рисунку 1.1.

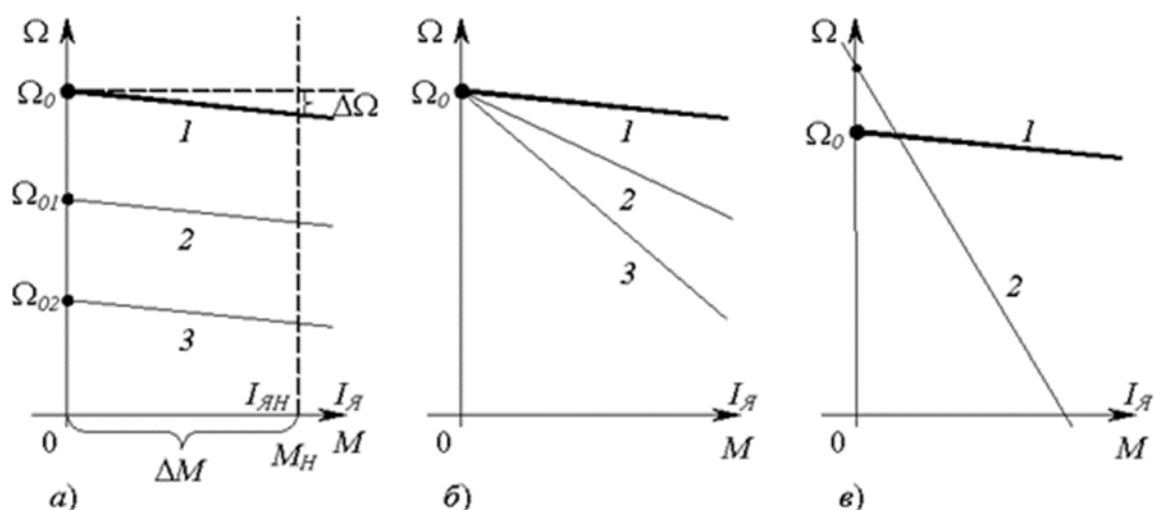


Рис. 1.1 Характеристики ДПС за різних способів керування: а) при регулюванні напругою на обмотці якоря; б) при регулюванні реостатом, ввімкненим послідовно з обмоткою якоря; в) при регулюванні потоку збудження

Характеристику 1, отриману при номінальній напрузі $U_{я} = U_n$ і номінальному потоці Φ_n збудження називають *природною*. Характеристики 2 і 3 на рис. 1.1 а) отримують зміною напруги живлення якоря. Ці характеристики називають *штучними* або *регульовальними за напругою*. Для роботи за цими характеристиками живлення двигуна необхідно здійснювати від регульованого випрямляча тиристорного перетворювача напруги. Цей спосіб регулювання є найкращим для реалізації у системах автоматичного регулювання, тому його застосовують у серійних комплектних електроприводах.

Характеристики 2 і 3 на рис.1.1.б) отримують регулюванням опору в колі якоря. Цей спосіб не застосовують для автоматичного регулювання частоти, його використовують для обмеження пускового струму двигуна. При опорі реостата рівному нулю струм I_a визначається механічним навантаженням на валу двигуна. Відповідно до (1.1) в момент пуску двигуна $E=0$ і до обмотки прикладена повна напруга U_a . Тому пусковий струм у 5-7 разів перевищує номінальний. Це призводить до спаду напруги мережі. Для обмеження струму послідовно з обмоткою якоря вмикають реостат. Реостат вмикають на час пуску і розгону, а коли двигун досягне заданої швидкості, реостат автоматично вимикається. При опорі реостата рівному нулю отримуємо природну характеристику I. Якщо опір реостата не дорівнює нулю, отримуємо штучні *реостатні* характеристики.

Характеристику 2 на рис.1.1.в) отримують регулюванням потоку збудження Φ тоді, коли необхідно регулювати частоту обертання у зоні II. Електродвигун постійного струму з незалежним збудженням має дві зони регулювання, зображені на рис. 1.2 . У зоні I двигун регулюється з номінальним моментом навантаження при номінальному струмі якоря.

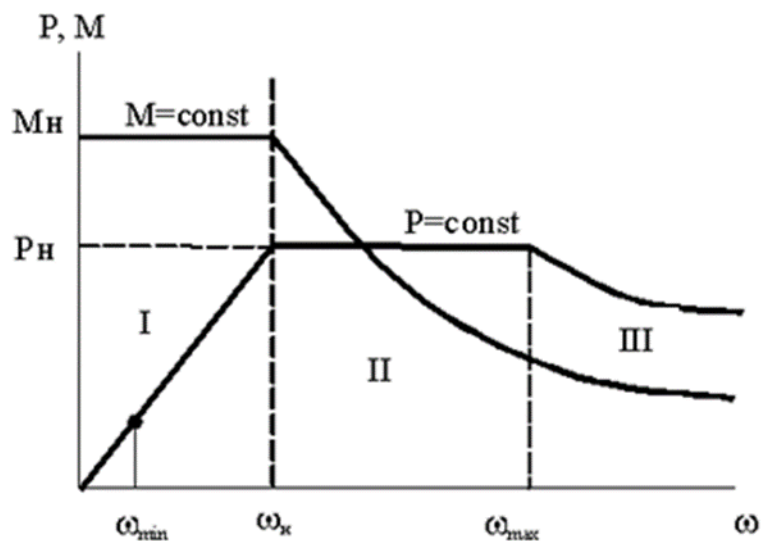


Рис. 1.2 Залежність потужності і моменту ДПС від частоти обертання

При цьому частоту регулюють від Ω_{min} до Ω_n зміною напруги на якорі. У цій зоні регулювання момент має постійне номінальне значення $M=M_n$, а потужність на валу двигуна змінюється за рахунок зміни частоти обертання. В зоні II частоту

регулюють від Ω_n до Ω_{max} зміною потоку збудження від Φ_n до $0,5\Phi_n$ при $U_a = U_n$. При цьому потужність не змінюється і зберігає постійне значення $P = P_n$ за рахунок того, що швидкість зростає, а момент спадає, а добуток $P = M\Omega = const$. Зона III є неробочою, але іноді регулювання в цій зоні використовують для допоміжних операцій, для виконання яких достатнім є знижений момент двигуна (наприклад, зворотний хід приводу подачі верстата). Регулювання у двох зонах застосовують у електроприводах металообробних верстатів для розширення діапазону регулювання. Такі електроприводи називають *двононними*. В епоху широкого засвоєння електроприводів з числовим програмним керуванням (ЧПК) в СРСР виготовляли двононні електроприводи верстатної серії ЕПУ1-2Д.

Опис лабораторної установки

Структурну схему дослідної установки зображено на рис. 1.3, до її складу входять: M – двигун постійного струму; G – генератор постійного струму, T –



Рис. 1.3

тахометр. Механічний зв'язок двигуна з генератором забезпечується ремінною передачею, а тахометр кріпиться на валу електродвигуна.

Двигун постійного струму паралельного збудження типу 2ПН100МУХЛ4, його паспортні дані: потужність - $0,75\text{кВт}$, напруга - 220В , мінімальна частота обертання - 1500 об/хв , максимальна частота обертання - 3500 об/хв , коефіцієнт корисної дії - $71,5\%$.

Генератор постійного струму незалежного збудження 2ПН100МУХЛ4, його паспортні дані: потужність - $0,85\text{кВт}$, напруга - 220В , частота обертання - 2300 об/хв , коефіцієнт корисної дії - 78% .

Тахометр складається з давача та індикатора. Давач – синхронний трифазний генератор з випрямленням змінної напруги в постійну. Індикатор –

мультиметр Ц4300, положення органів керування: $\langle - \sim \rangle$ постійна, $\langle U I R \rangle$ напруга, $\langle 200 V \rangle$ межа вимірювання.

Порядок виконання роботи.

1. Зібрати електричне коло для дослідження двигуна за схемою (рис. 1.4), до його складу входять: QF_1 - вимикач з автоматичною відсічкою максимального струму; R_n - пусковий реостат ППС - 91 Ом, 1 А; R_p - реостат ПП - 407 Ом, 0,6 А; PV_1 - вольтметр М367; $PA_я$, $PA_з$ - амперметр типу Э358.

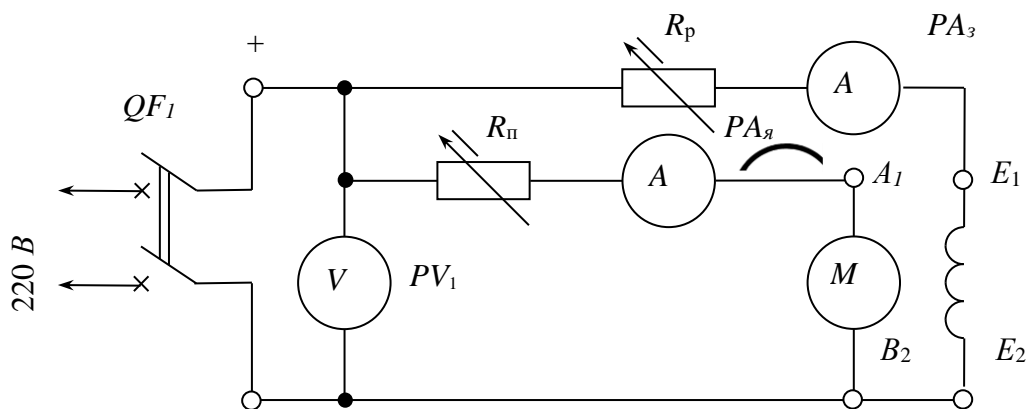


Рис. 1.4.

Перед пуском двигуна необхідно переконатися, що опір пускового реостата R_n є максимальним (повністю введений), а опір регульовального реостата R_p - є мінімальним (повністю виведений). Двигун запускають шляхом плавного зменшення опору пускового реостата до нуля (повністю виводять).

Механічним навантаженням двигуна є генератор, схема включення якого приведена на рис. 1.5. Елементи схеми: Q - вимикач з автоматичною відсічкою максимального струму; $R_з$ - потенціометр збудження ППС430 Ом; $R_{нав}$ - опір навантаження ППС330 Ом; $PA_з$ - амперметр Э358; PV_2 - вольтметр М362.

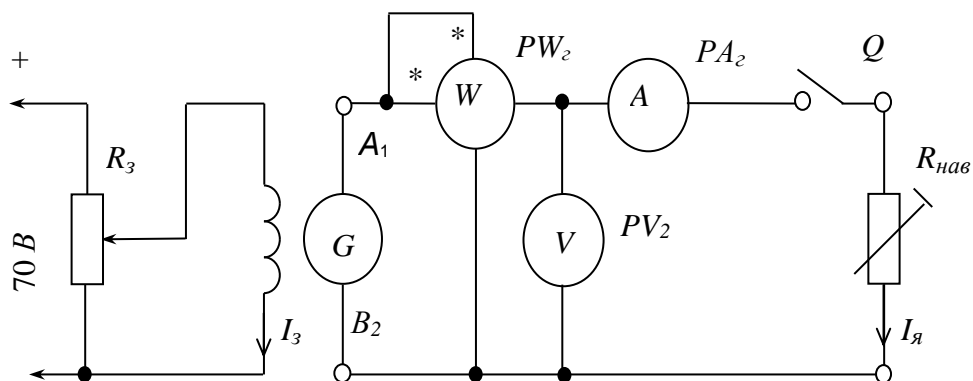


Рис. 1.5

2. Зняти частотну характеристику двигуна $n(I_3)$ - залежність частоти обертання від струму збудження при відсутності моменту на валу двигуна ($M = 0$), тобто в режимі холостого ходу (вимикач Q розімкнутий). Для цього необхідно встановити максимальний струм збудження двигуна за допомогою реостата R_p , а потім плавно зменшувати його до значення, при якому частота обертання збільшиться до $n = 3500$ об/хв. Результати вимірювань занести в табл. 1.1.

Табл. 1.1

№/п							
I_3, A							
$n, об/хв$							

3. Зняти електромеханічну характеристику двигуна $n(I_я)$ - залежність частоти обертання від струму якоря. Для цього спочатку необхідно встановити частоту обертання двигуна 3000 об/хв в режимі холостого ходу (вимикач Q генератора розімкнутий) змінюючи струм збудження двигуна за допомогою реостата R_p . Перша точка характеристики відповідає режиму холостого ходу двигуна ($M = 0$). Після цього ввімкнути навантаження двигуна (вимикач Q) і зняти решта точок цієї характеристики, плавно змінюючи навантаження двигуна $I_я$ до значення, при якому струм якоря двигуна $I_я \approx 1,15 I_{яном}$ (збільшуючи струм збудження генератора за допомогою реостата R_p). Результати вимірювань занести

в табл. 1.2

Табл. 1.2

№/п							
$I_{я}, A$							
$n, об/хв$							

4. Зняти регулювальну характеристику двигуна $I_3(I_{я})$ - залежність струму збудження від струму якоря при сталій частоті обертання $n = 3000 об/хв$. Для цього плавно змінюють струм якоря двигуна шляхом збільшення струму збудження генератора (реостатом R_3). Для кожного значення струму якоря $I_{я}$ встановлюють сталу частоту обертання $n = 3000 об/хв$ шляхом зміни струму збудження двигуна I_3 (реостатом R_p). Результати вимірювань занести в табл. 1.3.

Табл. 1.3

п/н							
I_3, A							
$I_{я}, A$							

5. За отриманими експериментально даними побудувати частотну $n(I_3)$, електромеханічну $n(I_{я})$, регулювальну $I_3(I_{я})$ характеристики двигуна.

Контрольні запитання

1. Чим відрізняється двигун з незалежним збудженням від двигуна з паралельним збудженням?
2. Як впливає на жорсткість механічних характеристик опір в колі якоря двигуна?
3. Який вид приймає механічна характеристика рушійного режиму при зменшенні струму збудження?

4. Яким чином здійснюється розрахунок механічних характеристик при струмі збудження, відмінному від номінального?
5. Чому не можна послаблювати потік збудження при моменті на валу двигуна, близькому до номінального?
6. Як можна змінити напрям обертання двигуна постійного струму з незалежним збудженням?
7. Що називається природною механічною характеристикою?
8. Чим визначається робоча точка на механічній характеристиці?
9. Яким чином здійснюється запуск двигуна з паралельним збудженням?
10. Як розрахувати опір якорного кола двигуна з паралельним збудженням за паспортними даними?
11. Перерахуйте способи регулювання частоти обертання двигунів паралельного збудження.

Лабораторна робота №2

Дослідження електромеханічних характеристик і ККД трифазного асинхронного електродвигуна з короткозамкнутим ротором при регулюванні напругою

Мета роботи: Ознайомитися з будовою трифазного асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором, дослідити робочі характеристики асинхронного трифазного двигуна від навантаження.

Основні теоретичні відомості

Асинхронний двигун трифазного струму це електрична машина, що служить для перетворення електричної енергії трифазного струму в механічну (рис. 2.1). Двигун має дві основні частини: нерухому - статор і рухому - ротор. Статор складається з корпусу 1 (рис. 2.1, а), що є основою для всього двигуна. У корпус вмонтовано осердя статора 2, що представляє собою порожній циліндр, зібраний з пластин електротехнічної сталі, ізолюваних одна від другої шаром лаку. На внутрішній поверхні статора містяться пази, в які укладаються три фазні обмотки змінного струму. Кожна фазна обмотка складається з однієї або декількох котушкових груп, які з'єднані послідовно. Фазні обмотки з'єднують між собою зіркою або трикутником. Осердя ротора 3 являє собою циліндр, зібраний так само як і осердя статора, з окремих пластин електротехнічної сталі, з пазами на зовнішній поверхні для обмотки ротора. Обмотки ротора бувають двох видів - короткозамкнені (рис. 2.1,б) і фазні (рис. 2.1,в). Відповідно до цього розрізняють асинхронні двигуни з короткозамкненим і фазним ротором.

Короткозамкнена обмотка складається із мідних або алюмінієвих стержнів 1, розташованих у пазах, і замикаючих кілець 2. Фазну обмотку ротора виконують так само, як і обмотку статора. Вона завжди з'єднується зіркою. Початки фаз обмотки приєднують до контактних кілець 1. Кільця ізолювані один від одного, а

також від валу двигуна. До кілець притискаються пружинами металлографітні щітки 2. За допомогою контактних кілець і щіток у коло ротора приєднується пусковий резистор R_p (рис. 2.1,в). Він призначений для збільшення пускового моменту й одночасно для зменшення пускового струму.

В основу принципу роботи асинхронного двигуна покладено закон електромагнітної індукції. Фазні обмотки статора підключаються до трифазної мережі. Струми обмоток статора збуджують обертове магнітне поле. Частота обертання магнітного поля n_1 залежить від частоти напруги живлення f_1 і кількості пар полюсів двигуна p : $n_1 = (60 f_1) / p =$. Це поле наводить ЕРС в замкненій обмотці ротора. В результаті взаємодії струму обмотки ротора, що виникає під дією цієї ЕРС, з обертовим магнітним полем з'являється сила (на підставі закону Ампера), що діє на провідники обмотки ротора. Ця сила створює обертовий момент за напрямом обертання магнітного поля і ротор починає обертатися з частотою меншою , чим частота обертання поля статора.

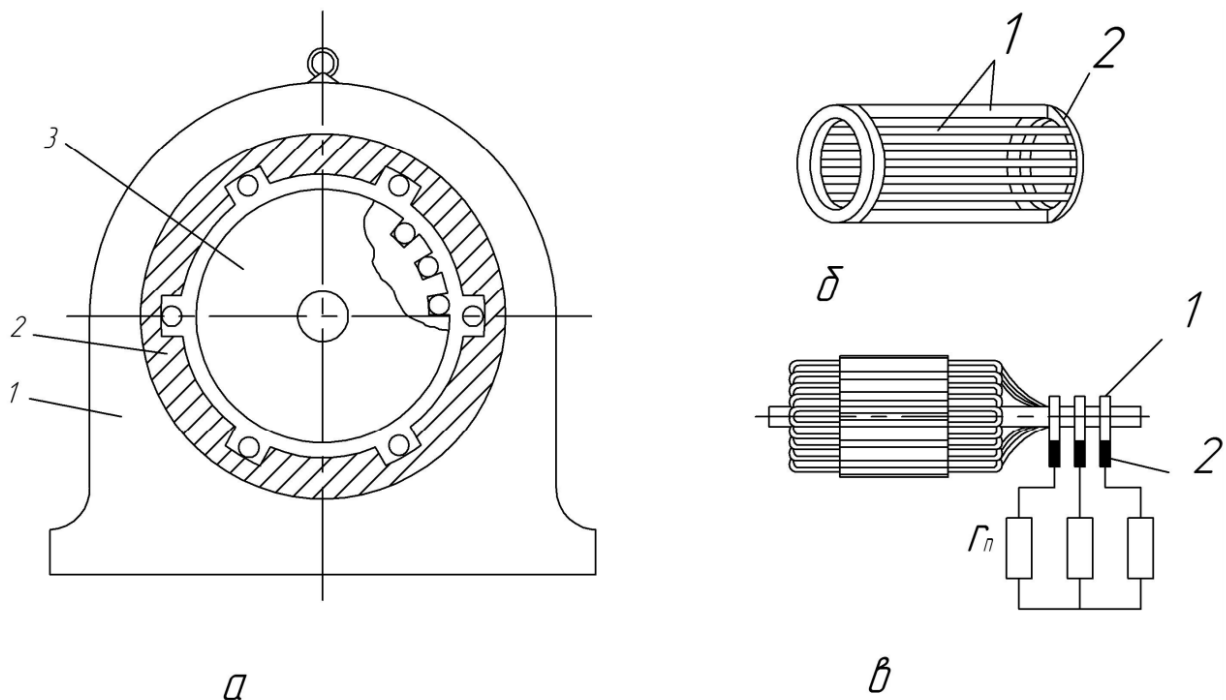


Рис 2.1 - Будова трифазного асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором

У сучасній енергетиці асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором використовують як у регульованому, так і у нерегульованому електроприводі, але переважно у нерегульованому. АД-КЗ технологічні у виготовленні, прості та надійні в експлуатації, бо не мають колекторно-щіткового вузла. Вони мають меншу у 1,5...2 рази, ніж двигуни постійного, струму питому матеріалоемність. Завдяки цим перевагам асинхронний електропривод є основним видом електропривода. Недоліком АД є те, що він складний для керування. Але з розвитком напівпровідникової перетворювальної техніки цей недолік став не суттєвим і нині АД є найперспективнішим електродвигуном як для нерегульованого, так і для регульованого енергозберігаючого електроприводу.

Асинхронні двигуни потужністю від 0,18 кВт і більше виготовляють як трифазні. Будова і принцип дії трифазного АД розглянуто у посібниках, математичну модель АД як об'єкта керування отримаємо зі схеми заміщення, зображеної на рис. 2.2.

Згідно зі схемою заміщення зведений струм ротора відповідає виразу (2.1). Обертовий момент двигуна M визначаємо з рівняння балансу втрат.

$$I_2' = \frac{U \phi}{\sqrt{(R_1 + R_2'/s)^2 + (x_1 + x_2')^2}} \quad (2.1)$$

Електромагнітна потужність, яка передається від статора ротору, $P_1 = M\omega_0$. Ця потужність складається з двох частин: основної, еквівалентної механічній потужності на валу ротора $P = M\Omega$ і потужності втрат на нагрівання обмотки, яка дорівнює

$$P_1 - P = M\omega_0 - M\Omega = M(\omega_0 - \Omega) = M\omega_0 s$$

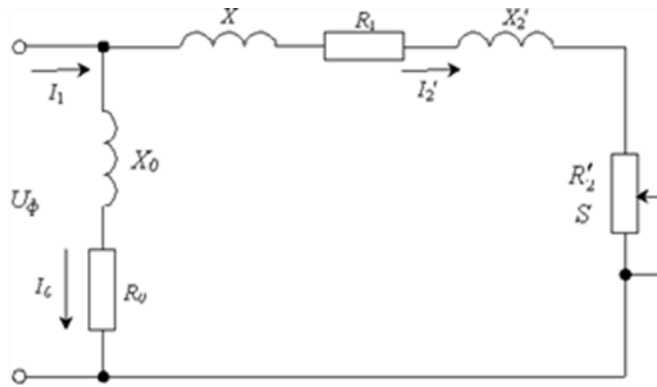


Рис 2.2 - Схема заміщення АД (одна фаза)

Водночас потужність втрат на нагрівання пропорційна квадрату струму ротора

$$M \omega_0 s = 3(I_2')^2 R_2' \quad (2.2)$$

Враховуючи (2.1), отримаємо

$$M = \frac{3U_\phi^2 R_2'}{\omega_0 \cdot s [(R_1 + R_2'/s)^2 + (x_1 + x_2')^2]} \quad (2.3)$$

Це рівняння є рівнянням механічної характеристики АД. Воно показує від яких конструктивних і режимних параметрів залежить електромагнітний момент на валу двигуна і як він змінюється у залежності від ковзання та від напруги живлення.

Якщо побудувати графік функції $M = f(s)$, змінюючи s у межах від 1 до 0 і від 0 до 1, то отримаємо криву, зображену на рис. 2.3. Крива має два екстремуми, в яких $M = M_{max}$, один у режимі двигуна, другий у режимі генератора. Прирівнявши $dM/ds = 0$, можна знайти критичну точку на характеристиці, в якій $s = s_k$, $M = M_{max} = M_k$, а також знайти аналітичне вираження s_k і M_k .

$$s_k = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (x_1 + x_2')^2}} \quad (2.4)$$

$$M_{\kappa} = \frac{3U_{\phi}^2}{2\omega_0[R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + (x_1 + x_2)^2}]}, \quad (2.5)$$

де + у режимі двигуна, у генераторному режимі.

Якщо (2.3) поділити на (2.5), то отримаємо

$$M = \frac{2M_{\kappa}(1 + as_{\kappa})}{s/s_{\kappa} + \frac{s_{\kappa}}{s} + 2as_{\kappa}}, \quad (2.6)$$

де $a = \frac{R_1}{R_2}$.

Після відповідного перетворення (2.6) приймає вигляд

$$M = \frac{2M_{\kappa}(1 + as_{\kappa})s}{s^2/s_{\kappa} + 2as_{\kappa} \cdot s + s_{\kappa}}, \quad (2.7)$$

У такій формі це рівняння є *математичною моделлю АД*.

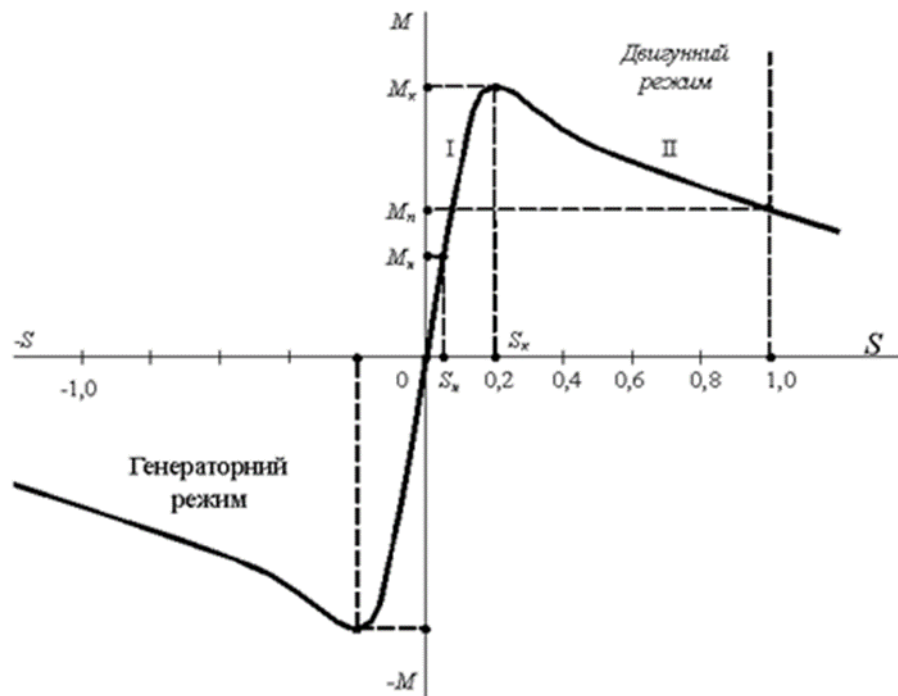


Рис 2.3 - Механічна характеристика АД

Опис лабораторної установки

Функціональну схему дослідної установки зображено на рис. 2.4. До її складу входять: M – двигун, G – генератор і T – тахометр. Двигун і генератор



Рис. 2.4.

виконано в одному корпусі й вони мають спільний вал, на якому закріплено тахогенератор.

Двигун 4А80А4УЗ – асинхронний трифазний з короткозамкнутим ротором. Його синхронна частота 1500 об/хв , потужність $1,1 \text{ кВт}$, ковзання $6,7\%$, коефіцієнт корисної дії $75,5\%$, коефіцієнт потужності $0,81$, перевантажувальна здатність $\lambda = 2,2$, кратність пускового моменту $\gamma = 2,2$, кратність пускового струму $\beta = 6,5$.

Генератор 2ЛН100МУХЛ4 – постійного струму незалежного збудження. Його потужність $0,75 \text{ кВт}$, напруга 110 В , частота обертання 1500 об/хв , коефіцієнт корисної дії 71% .

Тахометр складається з давача та індикатора. Давач – синхронний трифазний генератор з випрямлячем. Індикатор $\text{Щ}4300$, положення органів керування: $\langle - \sim \rangle$ – постійна, $\langle U I R \rangle$ – напруга, $\langle 200 \text{ В} \rangle$ – межа вимірювання.

Порядок виконання роботи

1. Зібрати електричне коло для дослідження двигуна за схемою (рис. 2.5). Елементи схеми: QF – вимикач з автоматичною відсічкою максимального струму; SB – кнопковий вимикач; KM – контактор; LL – реактор; KT – реле часу.

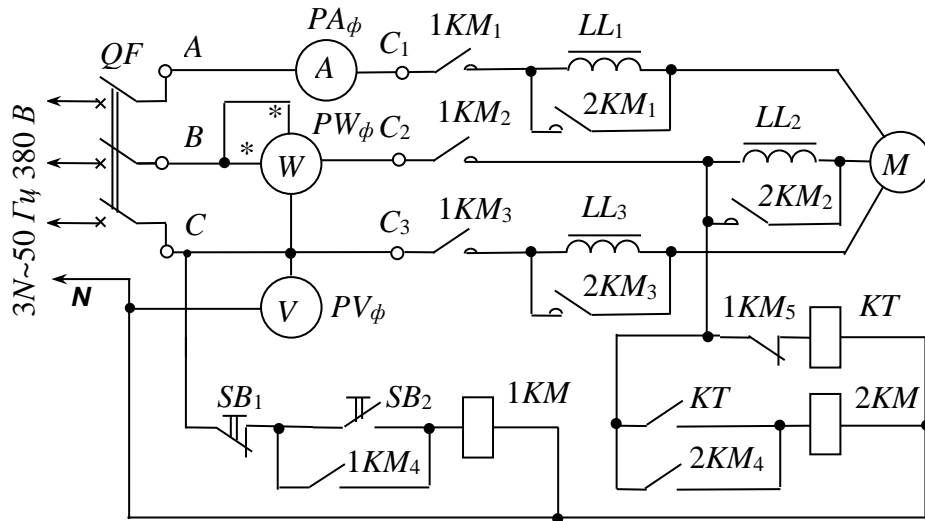


Рис. 2.5

Двигун запускається натисканням кнопки SB_2 (пуск). Під час пуску двигуна на обмотку статора через реактори LL подається знижена напруга для зменшення пускового струму. Після спрацювання реле часу KT із затримкою $0 < t < 20$ с реактор LL закорочується. При натисканні кнопки SB_1 (стоп) двигун зупиняється (режим самогальмування).

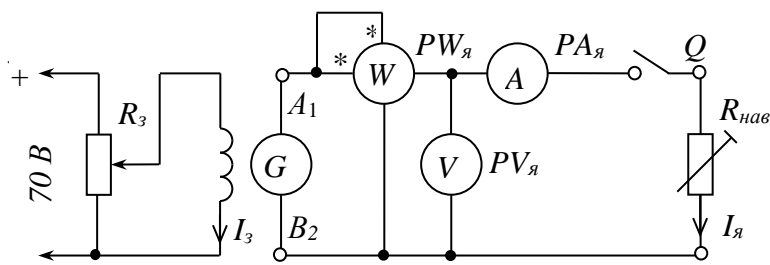


Рис. 2.6.

Механічним навантаженням двигуна є генератор, схему якого зображено на рис. 2.6. Елементи цього кола: $R_з$ – потенціометр збудження РПС1470 Ом – змінює струм збудження; Q – ручний вимикач навантаження – забезпечує холостий хід генератора; $R_{нав}$ – опір навантаження РПС17 Ом; $PA_Г$ – амперметр Э538; $PV_Г$ – вольтметр; $PW_Г$ – ватметр Д5094. Потужність генератора $P_я$ регулюється опором $R_з$.

2. Дослідити робочі характеристики двигуна. Зняти залежності струму якоря генератора $I_{я}$, струму фази двигуна I_{ϕ} , потужності двигуна P_{ϕ} , частоти обертання двигуна n від потужності генератора $P_{я}$, змінюючи опір збудження генератора реостатом $R_{з}$ таким чином, щоб його потужність змінювалася в діапазоні $0 \div 250 \text{ Вт}$. Результати вимірювань записати в табл. 2.1

Таблиця. 2.1

Вимірювання							Обчислення			
№	$P_{я}$	$I_{я}$	U_{ϕ}	I_{ϕ}	P_{ϕ}	n	P_2	M	η	$\cos\varphi$
	<i>Вт</i>	<i>А</i>	<i>В</i>	<i>А</i>	<i>Вт</i>	<i>об/хв</i>	<i>Вт</i>	<i>Н м</i>	<i>%</i>	

3. За отриманими результатами обчислити потужність генератора $P_2 = (P_{я} + R_{я}I_{я}^2) / \eta_{Г}$, де $R_{я} = 7 \text{ Ом}$, $\eta_{Г} = 0,71$, момент на валу $M = 9.55 P_2 / n$, коефіцієнт корисної дії $\eta = P_2 / (3P_{\phi})$, коефіцієнт потужності $\cos\varphi = P_{\phi} / (U_{\phi} I_{\phi})$. Результати обчислень записати в таблицю 2.1.

4. Побудувати графіки робочих характеристик окремо для двигуна як елемента електричного кола – $I_{\phi}(P_2)$, $\eta(P_2)$, $\cos\varphi(P_2)$ та для двигуна як елемента електричного привода – $M(P_2)$, $n(P_2)$.

Контрольні запитання

1. Пристрій асинхронного двигуна і принцип його дії.
2. Від чого залежить швидкість обертання магнітного поля статора?

3. Поясніть, чому ротор асинхронного двигуна не може обертатися синхронно з магнітним полем статора?
4. Що називається ковзанням?
5. Чому у момент пуску струм статора найбільший?
6. Які способи зниження пускового струму?
7. Від яких параметрів залежить момент обертання двигуна?
8. Як зміниться момент двигуна, що обертає, якщо напруга в мережі знизиться на 10%?
9. Що таке критичне ковзання?
10. Пояснити механічну характеристику двигуна.
11. Які способи регулювання частоти обертання двигуна?
12. Пояснити робочі характеристики двигуна.
13. Пояснити будову та принцип дії асинхронного двигуна?
14. Від чого залежить частота обертання магнітного поля статора?
15. Як змінити напрям обертання трифазного асинхронного двигуна?

Лабораторна робота №3

Дослідження енергетичних характеристик і коефіцієнта потужності трифазного асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором в системі генератор-двигун

Мета роботи: Ознайомитися з будовою трифазного асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором, апаратами пуску, дослідити залежність коефіцієнта потужності асинхронного трифазного двигуна від навантаження. Ознайомитись з основними способами підвищення коефіцієнта потужності в електричних колах

Основні теоретичні відомості

Розглянемо деякі положення і визначення до поняття "реактивна потужність". Нехай приймач електричної енергії приєднано до джерела синусоїдальної напруги $U = \sqrt{2}U \sin \omega t$. Він споживає синусоїдальний струм $i = \sqrt{2}I \sin(\omega t - \varphi)$, зсунутий за фазою відносно напруги на кут φ .

Значення миттєвої потужності на затискачах визначається виразом :

$$P = Ui = 2UI \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - \varphi) = UI \cos \varphi - UI \cos(2\omega t - \varphi) \quad (3.1)$$

Середнє значення миттєвої потужності P за період напруги живлення T повністю визначається першим доданком.

$$P = \frac{1}{T_0} \int_0^T [UI \cos \omega t - UI \cos(2\omega t - \varphi)] dt = UI \cos \varphi + 0$$

Ця величина, яка називається активною потужністю, характеризує енергію, що виділяється в одиницю часу на виробництво корисної роботи, наприклад, у вигляді тепла в приймачі і активним опором R :

$$P = UI \cos \varphi = RI^2$$

Середнє значення він другого доданка миттєвої потужності (13.1) за час T дорівнює нулю, тобто на її утворення не вимагається будь-яких матеріальних

витрат і тому вона не може здійснювати корисну роботу. Її присутність вказує, що між приймачам і джерелом відбувається обмін енергією. А це можливо лише в тому випадку, якщо в електричному колі існують особливі, так звані реактивні елементи, здатні накопичувати і віддавати електромагнітну енергію - ємнісний та індуктивний. Повна потужність на затискачах приймача в комплексній формі:

$$S = UI = UIe^{j\varphi} = UI \cos \varphi + jUI \sin \varphi \quad (3.2)$$

де U - комплекс напруги; I -спряжений комплекс струму.

Величина $UI \sin \varphi$ називається реактивною потужністю і характеризує обмін енергією між джерелом і приймачем, а $\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності.

Прийнято вважати, що якщо струм, який споживається, відстає за фазою від напруги (індуктивний характер навантаження), то реактивна потужність має позитивний знак а якщо струм випереджає напругу (ємнісний характер навантаження) реактивна потужність має від'ємний знак.

З рівняння (3.2) маємо:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}; \quad \frac{P}{Q} = \operatorname{tg} \varphi; \quad \frac{P}{S} = \cos \varphi; \quad (3.3)$$

$$P = S \cos \varphi; \quad Q = S \sin \varphi$$

Основні споживачі реактивної потужності на промислових підприємствах — асинхронні двигуни (60... 65% загального споживання), трансформатори (20... 25%), вентильні перетворювачі, реактори, повітряні електричні мережі і інші приймачі (10%).

Передача значної реактивної потужності по лініях і через трансформатори не вигідна з таких основних причин:

1. Виникають додаткові втрати активної потужності й енергії в усіх елементах електропостачання (генераторах, трансформаторах, ЛЕП), зумовлені завантаженням їх реактивною потужністю. Так, при передачі активної P та реактивної Q потужності через елемент системи електропостачання з опором R втрати активної потужності становлять

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \frac{P^2}{U^2} R + \frac{Q^2}{U^2} R = \Delta P_0 + \Delta P_p \quad (3.4)$$

Додаткові втрати активної потужності ΔP_p викликані проходженням реактивної потужності Q , пропорційні її квадрату.

2. Завантаження реактивною потужністю ліній електропередач і трансформаторів зменшує їх пропускну здатність і потребує збільшення перерізу проводу повітряних і кабельних ліній, збільшення номінальної потужності і кількості трансформаторів підстанцій і т.п.

У зв'язку з цим реактивна потужність, яка споживається для кожного підприємства, суворо нормується енергосистемою. Оскільки основними споживачами реактивної потужності є асинхронні двигуни то розглянемо режими їх роботи.

При вмиканні двигуна в мережу з напругою U він буде споживати струм I який відстає від прикладеної напруги на кут φ . Активна потужність P , яка споживається, і активна складова струму $I_a = I \cos \varphi$ визначається величиною навантаження. Реактивна потужність Q , реактивна складова струму $I_p = I \sin \varphi$ визначаються конструктивними особливостями двигуна та прикладеною напругою і практично не залежать від навантаження.

В режимі х.х. коли активна потужність незначна, коефіцієнт потужності також буде відносно невеликим. Із збільшенням навантаження на валу двигуна збільшуються P і I_a , а Q і I_p практично не змінюються. що призводить до збільшення коефіцієнта потужності двигуна. Навантаження двигуна приводить до зменшення I_a , а отже, до збільшення кута φ і зменшення коефіцієнта потужності. При номінальному навантаженні асинхронні двигуни мають $\cos \varphi$ в межах 0.7... 0.9.

Таким чином, асинхронні двигуни завантажують генератори електричних станцій і мережу живлення реактивною потужністю, що є суттєвим недоліком двигунів.

Збільшення коефіцієнта потужності асинхронних двигунів може бути досягнуто дійсними і штучними методами.

До перших відносяться:

- обмеження часу роботи двигунів на х.х.;
- заміна малонавантажених асинхронних двигунів двигунами меншої потужності;
- завантаження двигунів до їх номінальної потужності;
- зниження напруги двигунів, що систематично працюють з малим навантаженням.

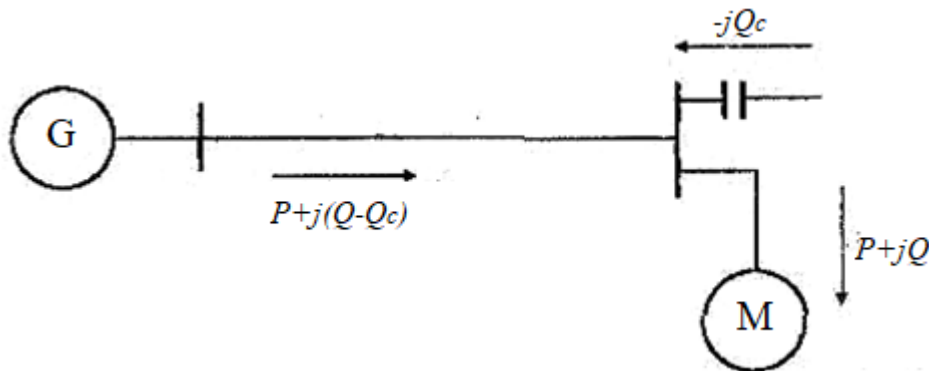


Рис.3.1

Використання всіх перерахованих заходів дає змогу збільшити коефіцієнт потужності до значень 0,8... 0,85. Подальше збільшення коефіцієнт потужності може бути досягнуто штучним шляхом за допомогою компенсувальних пристроїв – батареї статичних конденсаторів або синхронних компенсаторів, які є джерелами реактивної потужності. В цьому випадку мережа живлення частково ($\cos \varphi < 1$) або повністю ($\cos \varphi = 1$) розвантажується від реактивної потужності (рис. 3.1) $Q_{\text{дв}} = Q - Q_c$, що в решті решт призводить до зменшення втрат активної потужності та електроенергії від протікання реактивних струмів.

На промислових підприємствах штучне підвищення коефіцієнта потужності в більшості випадків здійснюється за допомогою статичних, батарей конденсаторів. В залежності від напруги електричної мережі і номінальної напруги батарей статичних конденсаторів вони можуть бути включені зіркою або трикутником.

При включенні батарей трикутником ємність однієї фази можна визначити таким чином:

$$C = \frac{P}{\sqrt{3}\omega U^2} (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2)$$

де P - зшивна потужність двигуна; U - лінійна напруга мережі; φ_1 і φ_2 - відповідно кут між векторами струму і напруги до і після компенсації. φ

Залежність $\cos \varphi_1$ до компенсації і $\cos \varphi_2$ після компенсації від навантаження показано на рис. 3.2

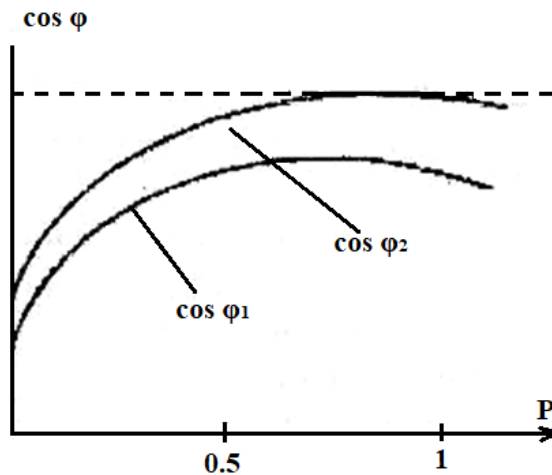


Рис. 3.2

Опис лабораторної установки

До складу установки входять двигун, генератор, електричні апарати та вимірювальні прилади. Механічний зв'язок двигуна та генератора забезпечується пасовою передачею (рис. 3.3).



Рис. 3.3

M – асинхронний трифазний двигун з короткозамкнутим ротором типу 4АС80А4УЗ. Паспортні дані двигуна: синхронна частота обертання, 1500об/хв, потужність 1,1кВт, ковзання 6.7%, коефіцієнт корисної дії 75%, коефіцієнт потужності 0,82, перевантажувальна здатність $\lambda = 2.2$, кратність пускового моменту $\gamma = 2$, $\beta = 6.5$, кратність пускового струму $\beta = 6.5$.

G – генератор незалежного збудження типу 2ПН100МУХЛ4 служить

еквівалентом механічного навантаження. Паспортні дані генератора: потужність 1.1 кВт , напруга 220 В , мінімальна частота обертання 1500 об/хв , максимальна частота обертання 4000 об/хв , коефіцієнт корисної дії 74% , номінальний струм 4.35 А .

Електричне коло для дослідження коефіцієнта потужності складають за схемою, що на рис. 3.4.

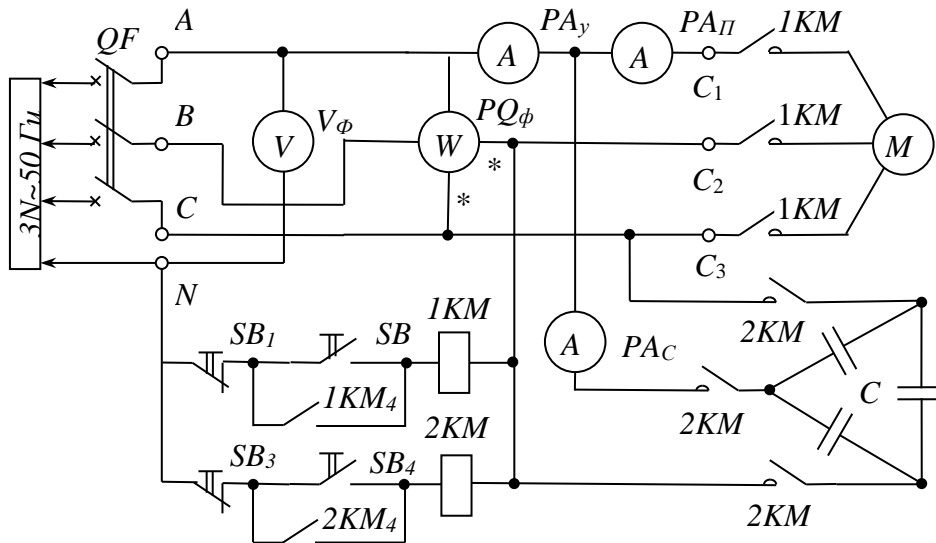


Рис.3.4

Елементи цієї схеми:

QF – вимикач з автоматичною відсічкою максимального струму, вмикає напругу на стенд;

SB_1 – вимикач кнопковий, замикає коло магнітного пускача $1KM$;

$1KM$, – контактор своїми контактами під'єднує двигун до напруги трифазної електричної мережі;

SB_2 – вимикач кнопковий, розмикає коло контактора $1KM$, який своїми контактами знімає напругу живлення двигуна;

SB_3 – вимикач кнопковий, замикає коло контактора $2KM$;

$2KM$ – контактор своїми контактами під'єднує батарею конденсаторів до напруги трифазної мережі;

SB_4 – вимикач кнопковий, розмикає коло контактора $2KM$, який своїми

контактами знімає напругу живлення батареї конденсаторів;

PQ_ϕ – ватметри типу Д5094, клас точності 0,5, межі вимірювання 30/ 600 В, 2,5/5,0 А;

$PA_{\text{У}}$ – , $PA_{\text{П}}$ – амперметри типу Э34, клас точності 1,0, межі вимірювання 1,5/15 А;

$PA_{\text{С}}$ – амперметр типу Э537, клас точності 0,5, межі вимірювання 0,5/1,0 А;

V_ϕ – вольтметр типу Э30, клас точності 1,5, межа вимірювання 450 В;

C – батарея конденсаторів.

Генератор постійного струму з незалежним збудженням, схему якого зображено на рис. 3.5, є еквівалентом механічного навантаження двигуна.

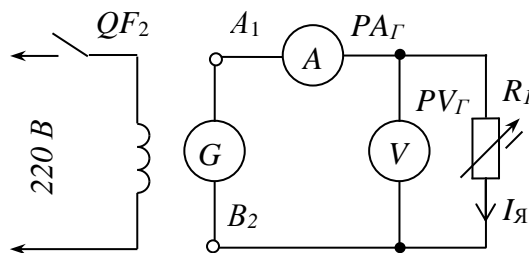


Рис.3.5

QF_2 – вимикач з автоматичною відсічкою по максимальному струму;

$PA_{\text{Г}}$ – амперметр типу Э538, класу точності 0,5, межі вимірювання 2,5/5,0 А;

$PV_{\text{Г}}$ – вольтметр типу Э545, клас точності 1,5, межі вимірювання 75/ 600 В;

R_1 – опір змінний з плавним регулюванням типу РПС 400 Ом.

Порядок виконання роботи

1.Скласти електричне коло за схемою (рис. 3.2) і запустити двигун. Дослідити залежність коефіцієнта потужності асинхронного трифазного двигуна від навантаження. Результати вимірювань записати в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Вимірювання					Обчислення					
П/Н	U_{ϕ}	I_y	Q_{ϕ}	U_G	I_G	S_{ϕ}	P_{ϕ}	P_2	$\cos\phi_{СП}$	$\eta_{СП},\%$
	B	A	$ВАр$	B	A	$ВА$	$Вт$	$Вт$		

2. Дослідити залежність коефіцієнта потужності установки при мінімальному і номінальному навантаженнях двигуна. Результати вимірювань записати в табл. 3.2

Таблиця 3.2

Вимірювання							Обчислення				
П/Н	U_{ϕ}	I_y	I_{Π}	I_C	Q_{ϕ}	U_G	I_G	S_{ϕ}	P_2	$\cos\phi_y$	$\cos\phi_{СП}$
	B	A	A	A	$ВАр$	B	A	$ВА$	$Вт$		

3. Опрацювати результати проведених досліджень:

а) за даними вимірювань табл.3.2 визначити та записати в цю ж таблицю:

$$S_{\phi} = U_{\phi} I_{\Pi}, \quad P_{\phi} = \sqrt{S_{\phi}^2 - Q_{\phi}^2}, \quad \text{коефіцієнт потужності споживача } \cos\phi_{СП} = P_{\phi} / S_{\phi},$$

потужність генератора $P_2 = U_G I_G / \eta_G$, де $\eta_G = 0,75$; коефіцієнт корисної дії

споживача $\eta_{СП} = P_2 / 3P_{\phi}$, коефіцієнт потужності установки $\cos\phi_y = P_{\phi} / (U_{\phi} I_y)$

б) побудувати графік залежності коефіцієнта потужності від навантаження;

в) за даними табл.3.2 визначити коефіцієнти потужності споживача й

установки, проаналізувати зміни, що відбулися в результаті компенсації реактивної потужності.

Контрольні запитання

1. Що таке реактивна потужність і які процеси в електричних системах вона характеризує ?
2. Якими показниками характеризується робота електричних приймачів при активно-індуктивному характері навантаження ?
3. З яких міркувань визначається ступінь доцільності компенсації реактивної потужності ?
4. Чим поясниш відносно низьке значення коефіцієнта потужності в асинхронних двигунах ? Чому $\cos \varphi$ в асинхронних двигунах менший, ніж у трансформаторів ?
5. Чому включення батареї конденсаторів дає можливість штучно підвищити коефіцієнт потужності установки ?
6. Чим пояснюється низьке значення коефіцієнта потужності при роботі двигуна на Х.Х. ?
7. Як впливає значення повітряного зазору на коефіцієнт потужності ?
8. Чому зі збільшенням навантаження двигуна збільшується коефіцієнт потужності ?

Лабораторна робота №4

Дослідження гальмівних режимів асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором.

Мета роботи. Ознайомитися з обладнанням дослідної установки та будовою електричних апаратів. Розібратися з типовою схемою автоматичного керування двигуном функції часу. Отримати навички в зборці та наладці.

Основні теоретичні відомості

Керування електроприводом – це комплекс дій, які забезпечують пуск, зупинку, гальмування, реверсування, регулювання і стабілізацію швидкості, здійснення заданого режиму роботи привода, сигналізацію про стан окремих його ланок, захист від ненормальних режимів роботи і аварій тощо. Залежно від участі в цих діях людини (оператора) розрізняють два способи керування: неавтоматичне (ручне) та автоматичне.

Неавтоматичним (ручним) називають керування, при якому оператор бере безпосередню участь як у створенні початкового керуючого імпульсу, так і в усіх наступних операціях по керуванню електроприводом (наприклад, комутація електричних кіл привода за допомогою рубильників і перемикачів, пакетних вимикачів і перемикачів та інших апаратів ручного керування).

Автоматичним вважають таке керування, при якому основні операції керування здійснюються без участі оператора. Його роль зводиться лише до подачі команд і контролю за їх виконанням. Часто і самі ці команди подаються різними автоматичними пристроями.

Автоматичне керування електроприводами дає можливість підвищити продуктивність робочих машин, зменшити витрати електроенергії на виробництво одиниці сільськогосподарської продукції, значно знизити затрати і підвищити продуктивність праці обслуговуючого персоналу. При автоматичному керуванні створюються найсприятливіші умови для контролю за ходом технологічного

процесу і забезпечення оптимального режиму роботи обладнання.

Під **системою автоматичного керування електропривода** розуміють сукупність механічних, електромеханічних, напівпровідникових та інших елементів, за допомогою яких здійснюється керування. Система автоматичного керування може бути розімкненою або замкненою.

Розімкненою називають таку систему автоматичного керування, при якій із зміною збурюючої дії (наприклад, навантаження на валу двигуна) змінюється раніше заданий режим роботи електропривода і відновлення цього режиму без втручання оператора неможливе.

Замкненою називають систему автоматичного керування, при якій із зміною збурюючої дії заданий режим роботи електропривода не змінюється. Заданий режим підтримується керуючими діями, що створюються за допомогою засобів зворотного зв'язку.

У сільськогосподарському виробництві в основному використовують розімкнені системи автоматичного керування

Принципи автоматичного керування електроприводами

Пуск електродвигуна **М** здійснюємо наступним чином (рис.4.1):

- вмикаємо автоматичний вимикач **QF**;
- натискаємо кнопку «Пуск» **SB2**, при цьому струм надходить на котушку електромагнітного пускача **KM**, яка намагнічується і замикає силові контакти пускача **KM** силового кола та допоміжні контакти **KM** кола керування;
- електродвигун починає працювати;
- для зупинки електродвигуна натискаємо кнопку «Стоп» **SB1**;
- коло керування захищене від коротких замикань запобіжником **FU**, від перевантажень – контактами теплового реле **KK1** та **KK2**;
- силове коло від коротких замикань та перевантажень захищене автоматичним вимикачем **QF**.

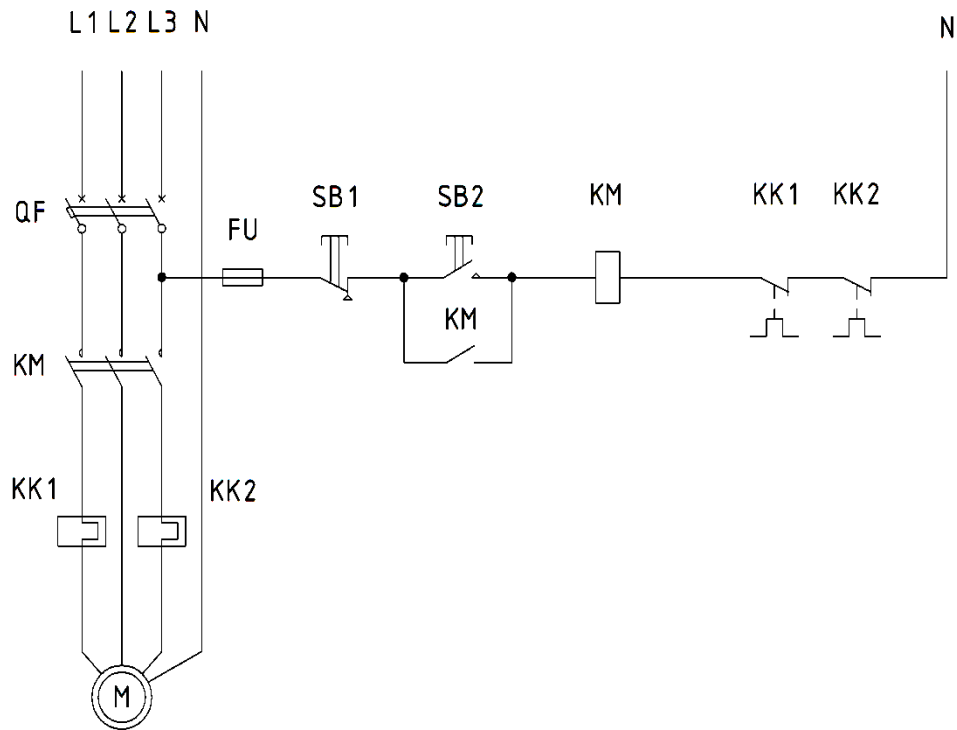


Рис.4.1 - Схема електрична принципова керування пуском асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором

Для реверсування електродвигуна (можливості обертання валу двигуна у зворотньому напрямку) паралельно до електромагнітного пускача **КМ1** підключаємо пускач **КМ2**, замінюючи при цьому будь-які 2 фази (рис.4.2).

Для реверсування двигуна натискаємо кнопку «Пуск» **SB2**, вал двигуна починає обертатися у зворотньому напрямку. Комутація здійснюється через електромагнітний пускач **КМ2**.

В умовах сільськогосподарського виробництва здебільшого автоматизують керування пуску і гальмування асинхронних електродвигунів.

При пуску і гальмуванні з часом змінюються значення струмів у колах статора і ротора, обертаючий момент, швидкість обертання та інші параметри двигуна. Підтримувати величину цих параметрів в заданих межах можна відповідним перемиканням електричних кіл, зміною опорів пускових і гальмівних резисторів, регулюванням напруги та іншими способами. Керування пуском і

гальмуванням асинхронних двигунів переважно здійснюється у функції часу, струму або швидкості.

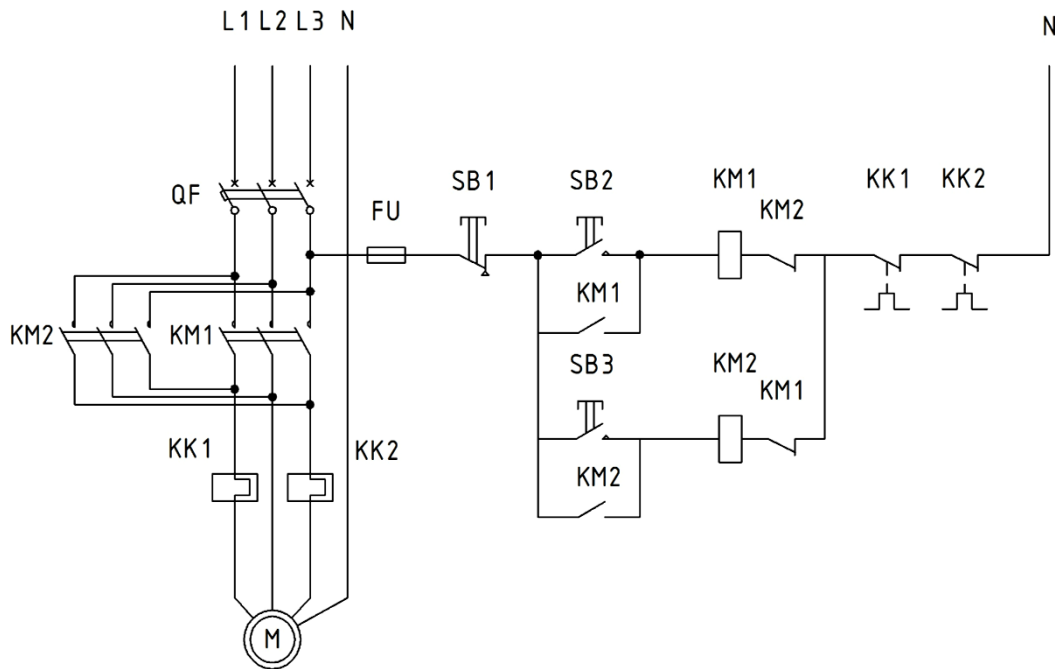


Рис. 4.2 - Схема електрична принципова реверсування асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором

Керування у функції часу полягає в тому, що перемикання електричних кіл, зміну опору пускових і гальмівних резисторів, підвищення або зниження напруги здійснюється в певний час, коли параметри двигуна (струм, момент, швидкість та інші) досягають заданих значень. Час контролюється за допомогою реле часу з відповідними відтермінованими відстрочками часу. Керування у функції часу можливе для усіх типів двигунів і на практиці найбільш поширене.

Керування пуском асинхронного двигуна з фазним ротором у функції часу (рис.4.3) здійснюють так. Натисканням на кнопку «Пуск» **SB2** подають напругу на котушку лінійного контактора **KM1**. Він спрацьовує і своїми головними замикачами контактами вмикає обмотку статора двигуна в електричну мережу, а допоміжним замикаючим контактом закорочує кнопку **SB2** і подає напругу на котушку реле часу **KT1**. Двигун розганяється при ввімкненому в коло ротора

блоці пускових резисторів **R1...R6**. Реле часу **КТ1** спрацьовує і своїм замикаючим контактом з відершкою часу подає напругу на котушки контактора прискорення **КМ2** та реле часу **КТ2**, внаслідок чого вони спрацьовують. При спрацюванні контактора **КМ2** замикаються його головні замикаючі контактори і закорочують перший ступінь блока резисторів **R1...R3**. Двигун продовжує розганятися при зменшеному опорі роторного кола. При спрацюванні реле **КТ2** з відершкою часу подається напруга на котушку контактора **КМ3** на саможивлення, а допоміжним розмикаючим контактом розмикає кола котушок контактора **КМ2** та реле **КТ1** і **КТ2**, позбавляючи їх живлення. Далі двигун розганяється при повністю замороченому блоці резисторів **R1...R6** до швидкості, що відповідає навантаженню на його валу.

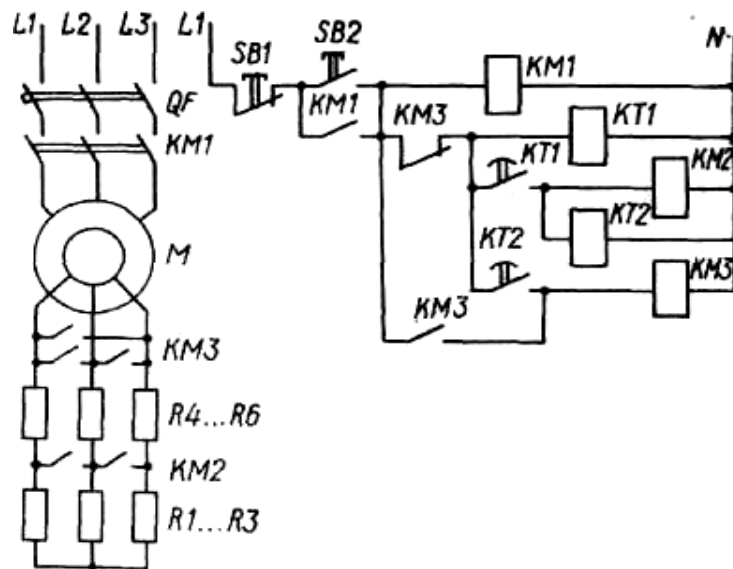


Рис. 4.3 - Схема електрична принципова керування пуском асинхронного двигуна з фазним ротором у функції часу

Запуск і автоматичне гальмування противмиканням асинхронного двигуна можна здійснити, використовуючи схему приведену на рис. 4.4. У ній використовується два контактори: лінійний **КМВ** і гальмівний **КМБ**, проміжне реле **КВ**, реле контролю швидкості **ВР**, 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.

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

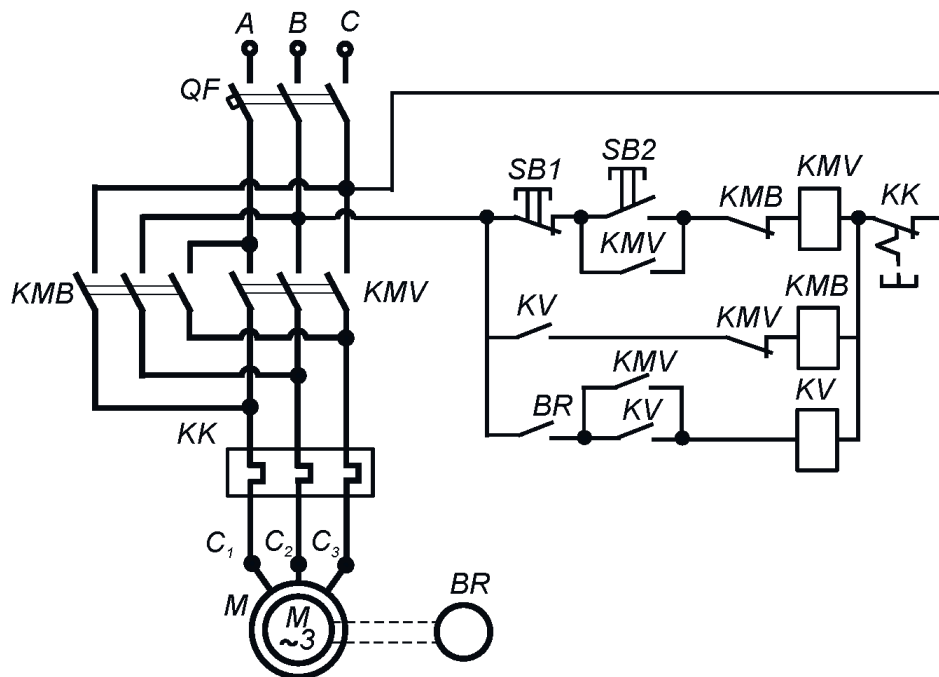


Рис. 4.4 - Схема керування асинхронним електродвигуном з автоматичним гальмуванням противмиканням

При натисканні на кнопку "Стоп" контактор КМВ вимикається, його розмикаючий блок-контакт у колі котушки контактора КМВ, під дією пружин замикається, контактор КМВ спрацьовує і 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 і вимикає контактор КМВ. На цьому гальмування завершується.

Опис дослідної установки.

До складу дослідної установки входять: двигун, контактори, реле часу. Дослідна установка живиться від мережі змінного трифазного струму промислової частоти через вимикач QF_1 .

Структурна схема живлення дослідної установки подана на рис. 4.5

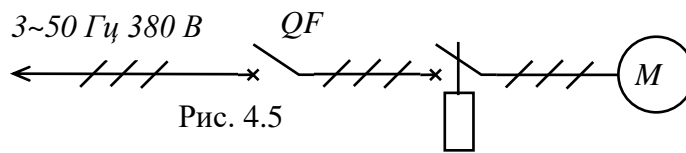


Рис. 4.5

QF - вимикач з автоматичною відсічкою максимального струму; розриває живлення установки при короткому замиканні (електромагнітний захист).

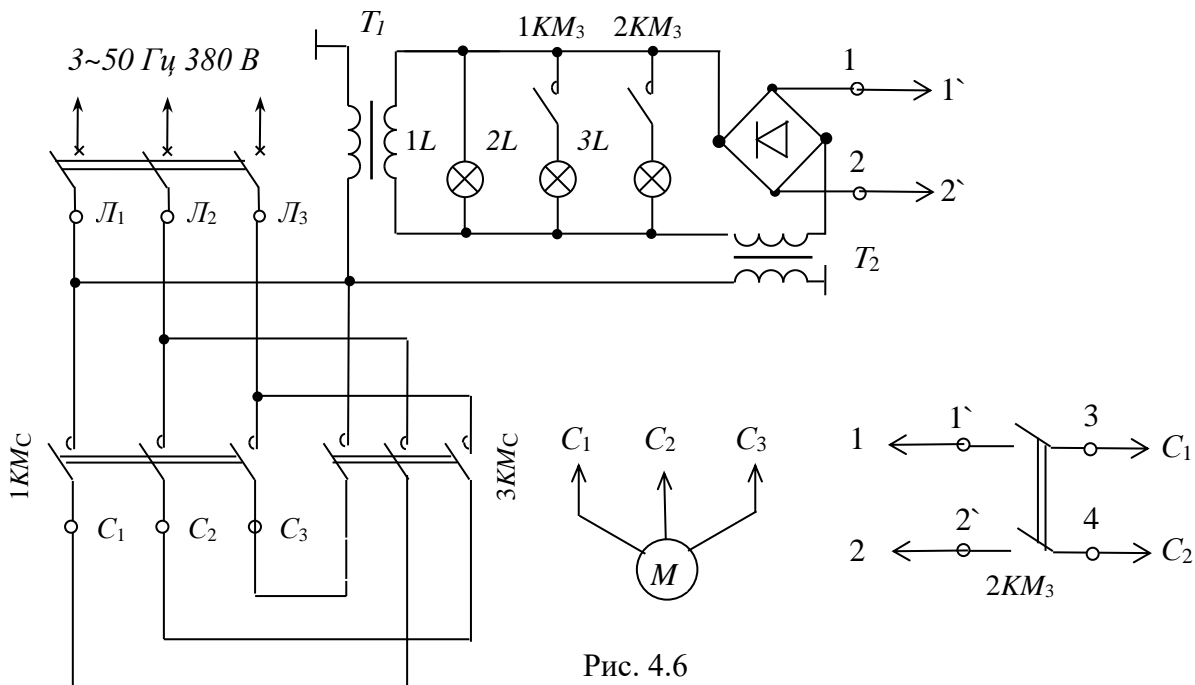
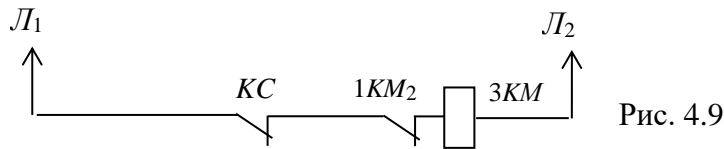


Рис. 4.6

M - асинхронний трифазний двигун з короткозамкнутим ротором.

Зібрати схему живлення двигуна рис. 4.6

Розібрати схему рис. 4.8 і зібрати схему керування електромагнітного гальмування двигуна рис. 4.9.



Включити двигун. Електромагнітне гальмування двигуна здійснюється при натисканні кнопки SB_2 , яка розмикає коло живлення обмотки контактора $1KM$, силові контакти якого $1KM_C$ від'єднують обмотку статора трифазної мережі з прямою послідовністю чергування фаз (ABC). Контакти $1KM_2$ замикаються і спрацьовує контактор $3KM$, який силовими контактами $3KM_C$ під'єднує обмотку статора до трифазної мережі з оберненою послідовністю чергування фаз (BCA). Після зупинки ротора двигуна реле контролю швидкості розриває коло живлення $3KM$, а його силові контакти $3KM_C$ від'єднують обмотку статора до трифазної мережі.

Захист і сигналізація

Електричний захист схеми керування. Перехресне з'єднання розмикаючих контактів $1KM_2$ $2KM_2$ в колах обмоток контакторів $2KM$ і $1KM$ блокують можливість ввімкнення одного контактора при ввімкненому другому, тобто їх одночасна робота неможлива. Індикатор $1L$ - сигналізує подачу напруги на стенд. Індикатор $2L$ - сигналізує процес роботи двигуна. Індикатор $3L$ - сигналізує процес гальмування двигуна.

Контрольні запитання

1. Перерахувати апарати, які застосовують для ручного керування електроприводами?
2. Перерахувати апарати, які застосовують для дистанційного керування електроприводами з одного або декількох постів керування?

3. Поясніть будову та принцип дії контактора?
4. Поясніть будову та принцип дії магнітного пускача?
5. Назвіть різницю між контактором і магнітним пускачем?
6. Як здійснюється блокування в реверсивних магнітних пускачах?
7. Як здійснюється –«саможивлення» втягувальних катушок пускача?
8. Пояснити принципову відміну між ручною і автоматичною системою керування електроприводами?
9. Назвати якими апаратами здійснюється захист електроприводів від струмів короткого замикання.
10. Якими апаратами здійснюється захист електроприводів від навантаження?

Лабораторна робота №5

Дослідження електромеханічних характеристик трифазного асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором при частотному регулюванні

Мета роботи. Ознайомитися з обладнанням дослідної установки та з будовою трифазного асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором. Дослідити можливості частотного регулювання асинхронного двигуна

Основні теоретичні відомості

Частотне регулювання кутової швидкості обертання електроприводу з асинхронним двигуном в даний час широко застосовується, тому що дозволяє в широкому інтервалі плавно змінювати обороти ротора як вище, так і нижче номінальних значень. Частотні перетворювачі є сучасними, високотехнологічними пристроями, що володіють великим діапазоном регулювання, що мають великий набір функцій для керування асинхронними двигунами. Плавний пуск асинхронного електродвигуна U завданнях, де не потрібно регулювання швидкості електродвигуна під час роботи для зменшення пускових струмів використовується пристрій плавного пуску. Пристрій плавного пуску захищає асинхронний електродвигун від пошкоджень викликаних різким збільшенням споживаної енергії під час пуску шляхом обмеження пускових струмів. Пристрій плавного пуску дозволяє забезпечити плавний розгін і гальмування асинхронного електродвигуна. Пристрій плавного пуску дешевше і компактніше частотного перетворювачі. Застосовується там, де регулювання швидкості обертання і моменту потрібно тільки при запуску.

Частотне керування асинхронним електродвигуном Для регулювання швидкості обертання і моменту асинхронного двигуна використовують частотний перетворювач. Принцип дії частотного перетворювача заснований на зміні частоти

і напруги змінного струму. Використання частотного перетворювача дозволяє: – зменшити енергоспоживання електродвигуна; – управляти швидкістю обертання електродвигуна (плавний запуск і зупинка, регулювання швидкості під час роботи); – уникнути перевантажень електродвигуна і тим самим збільшити його термін служби. Залежно від функціоналу частотні перетворювачі реалізують такі методи регулювання асинхронним електродвигуном: – скалярний керування; – векторне керування. Частотні перетворювачі по напрузі живлення підрозділяються на однофазні та трифазні, а по конструктивному виконанню на електромашинні і статичні. В електромашинних перетворювачах змінна частоти виходить за рахунок використання звичайних або спеціальних електричних машин. У статичних частотних перетворювачів зміна частоти струму живлення досягається за рахунок застосування електричних елементів, що не рухаються (рис. 5.1, 5.2).

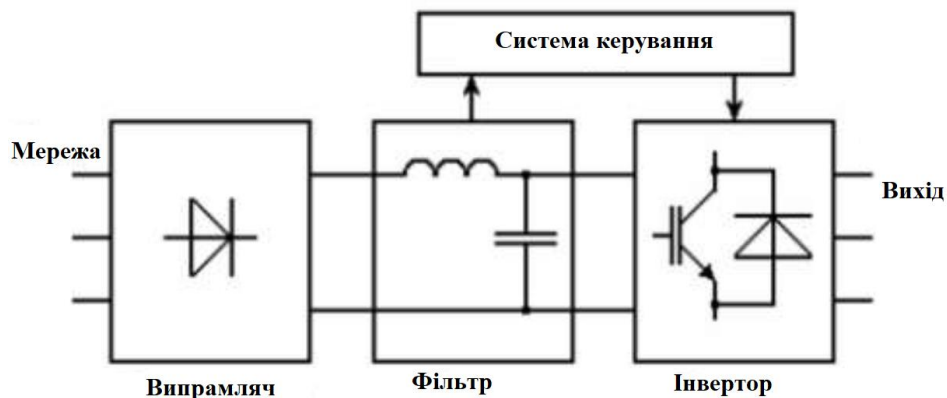


Рис. 5.1. Схема частотного перетворювача асинхронного двигуна

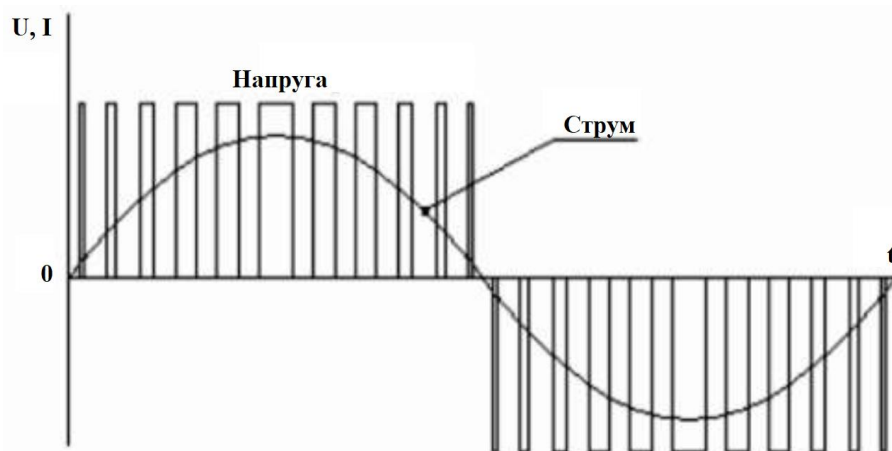


Рис. 5.2. Вихідний сигнал перетворювача частоти

Перетворювачі частоти для однофазної мережі дозволяють забезпечити електропривод виробничого обладнання потужністю до 7,5 кВт. Особливістю конструкції сучасних однофазних перетворювачів є те, що на вході є одна фаза з напругою 220 В, а на виході - три фази з тим же значенням напруги, що дозволяє підключати до пристрою трифазні електродвигуни без застосування конденсаторів. Перетворювачі частоти з живленням від трифазної мережі 380 В випускаються в діапазоні потужностей від 0,75 до 630 кВт. Залежно від величини потужності пристрою виготовляються в полімерних комбінованих і металевих корпусах. Найпопулярнішою стратегією керування асинхронними електродвигунами є векторне керування. В даний час більшість частотних перетворювачів реалізують векторне керування або навіть векторне керування без датчиків (цей тренд зустрічається в частотних перетворювачах, що спочатку реалізують скалярне керування та не мають клем для підключення датчика швидкості). Виходячи з виду навантаження на виході, перетворювачі частоти поділяються за типом виконання: – для насосного та вентиляторного приводу; – для загальнопромислового електропривода; – що експлуатується в складі електродвигунів, що працюють з перевантаженням. Сучасні перетворювачі частоти мають різноманітний набір функціональних особливостей, наприклад, мають ручне і автоматичне керування швидкістю і напрямком обертання двигуна, а також вбудований потенціометр на панелі керування. Наділені можливістю регулювання діапазону вихідних частот від 0 до 800 Гц. Перетворювачі здатні виконувати автоматичне керування асинхронним двигуном за сигналами з периферійних датчиків і приводити в дію електропривод по заданому алгоритму. Підтримувати функції автоматичного відновлення режиму роботи при короткочасному перериванні живлення. Виконувати керування перехідними процесами з віддаленого пульта і здійснювати захист електродвигунів від перевантажень.

Для застосування у регульованому електроприводі асинхронних двигунів з КЗ-ротором необхідно, щоб регульовальні характеристики в широкому діапазоні

регулювання наближалися до абсолютно жорстких, а двигун при регулюванні частоти зберігав переважувальну здатність, тобто щоб момент на валу двигуна при регулюванні частоти не змінювався. Цю умову математично можна записати виразом

$$\lambda = M_k / M_{\text{ном}} = \text{const} \quad (5.1)$$

Сенс частотного регулювання АД-КЗ можна пояснити, розглядаючи його в математичному і фізичному аспектах. Аналізуючи вирази

$$M_k = \frac{3U_\phi^2}{2\omega_0 [R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + (x_1 + x_2)^2}]}, \quad (5.2)$$

і

$$M = \frac{2M_k(1 + as_k)}{s/s_k + \frac{s_k}{s} + 2as_k}, \quad (5.3)$$

з лабораторної роботи 3 бачимо, що M залежить від M_k , а $M_k = (U/f)^2$.

У (5.3) треба врахувати, що

$$x_1 + x_2' \equiv \omega_0 \equiv 2\pi f.$$

Отже, наближено можна вважати, що знаменник пропорційний частоті струму в квадраті. Якщо одночасно змінювати U і f так, щоб дотримуватись умови

$$U/f = \text{const},$$

то за виразом (5.3) отримаємо

$$M_k = \text{const}. \quad (5.4)$$

У фізичному аспекті напруга, частота і магнітний потік статора пов'язані між собою залежністю

$$U_\phi E_\phi = 4,44N_1\Phi_m f, \quad (5.5)$$

де N_1 число витків обмотки статора.

Якщо регулювати частоту струму f при $U_\phi = const$, то при зменшенні частоти повинен зростати потік Φ_m . Це призведе до насичення магнітної системи, зростання втрат на гістерезис і вихрові струми.

При регулюванні частоти у бік її зростання магнітний потік буде зменшуватись, а це призведе до зменшення моменту на валу, тобто до втрати навантажувальної здатності. Отже, якщо записати (5) у відносних одиницях, то отримаємо

$$\Phi_* = U_* / f_* = const, \quad (5.6)$$

де підрядковий індекс * означає, що $\Phi_* = \Phi / \Phi_H$; $U_* = U / U_H$; $f_* = f / f_H$.

Отже, сенс частотного регулювання полягає у тому, що при зміні частоти струму необхідно змінювати напругу підтримуючи стабільним значення вектора потоку. Таке регулювання ще називають векторним.

Опис дослідної установки.

До складу установки входять двигун, генератор, електричні апарати та вимірювальні прилади. Механічний зв'язок двигуна та генератора забезпечується



пасовою передачею (рис. 5.3).

M – асинхронний трифазний двигун з короткозамкнутим ротором типу 4AC80A4УЗ. Паспортні дані двигуна: синхронна частота обертання, 1500 об/хв, потужність 1,1 кВт, ковзання 6.7%, коефіцієнт корисної дії 75%, коефіцієнт потужності 0,82, перевантажувальна здатність $\lambda = 2.2$, кратність пускового моменту $\gamma = 2$, $\beta = 6.5$, кратність пускового струму $\beta = 6.5$.

G – генератор незалежного збудження типу 2ПН100МУХЛ4 служить еквівалентом механічного навантаження. Паспортні дані генератора: потужність

1.1 кВт, напруга 220 В, мінімальна частота обертання 1500 об/хв, максимальна частота обертання 4000 об/хв, коефіцієнт корисної дії 74%, номінальний струм 4.35 А.

Електричне коло для дослідження коефіцієнта потужності складають за

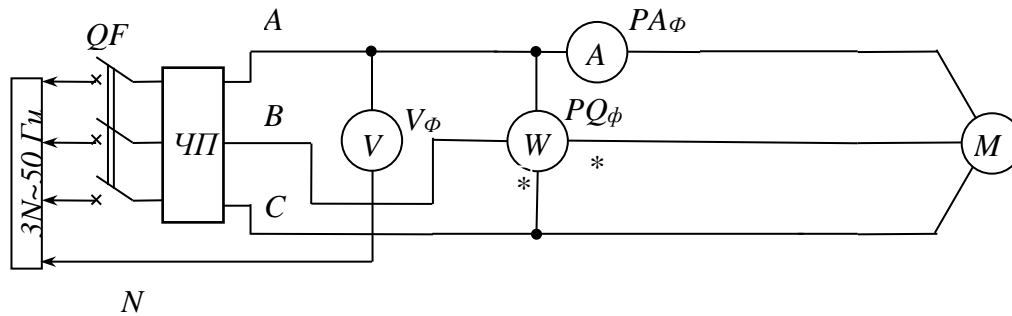


Рис.5.4

схемою, що на рис. 5.4.

Елементи цієї схеми:

QF – вимикач з автоматичною відсічкою максимального струму, вмикає напругу на стенд;

PQ_{ϕ} – ватметри типу Д5094, клас точності 0,5, межі вимірювання 30/ 600 В, 2,5/5,0 А;

PA_{ϕ} – амперметри типу Э34, клас точності 1,0, межі вимірювання 1,5/15 А;

V_{ϕ} – вольтметр типу Э30, клас точності 1.5, межа вимірювання 450 В;

Генератор постійного струму з незалежним збудженням, схему якого зображено на рис. 5.5, є еквівалентом механічного навантаження двигуна.

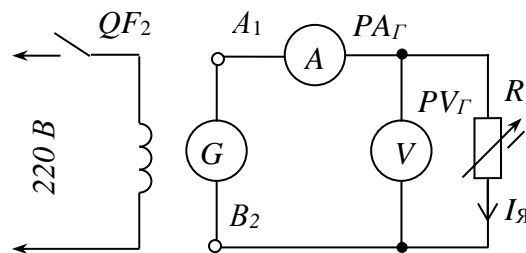


Рис.5.5

QF_2 – вимикач з автоматичною відсічкою по максимальному струму;

PA_{Γ} – амперметр типу Э538, класу точності 0.5, межі вимірювання 2.5/5.0 А;

PV_{Γ} – вольтметр типу Э545, клас точності 1.5, межі вимірювання 75/ 600 В;

R_1 – опір змінний з плавним регулюванням типу РПС 400 Ом.



Рис. 5.6. Зовнішній вигляд лабораторного стенда

Порядок виконання роботи

1.Скласти електричне коло за схемою (рис. 5.2) і запустити двигун. Дослідити робочі характеристики двигуна при частоті 30, 40, 50, 60 Гц. Зняти залежності струму якоря генератора I_{Γ} , струму фази двигуна I_{ϕ} , реактивної потужності двигуна Q_{ϕ} , частоти обертання двигуна n , змінюючи струм генератора в діапазоні $0 \leq I_{\Gamma} \leq 4,5$ А. Результати вимірювань записати в табл. 5.1

Таблиця. 5.1

Вимірювання							Обчислення				
№	U_{Γ}	I_{Γ}	U_{ϕ}	I_{ϕ}	Q_{ϕ}	n	P_{ϕ}	P_2	M	η	$\cos\varphi$
	B	A	B	A	$ВАр$	$об/хв$	$Вт$	$Вт$	$Нм$	$\%$	
30 Гц											
1											
n											
40 Гц											
1											
n											
50 Гц											
1											
n											
60 Гц											
1											
n											

2. За отриманими результатами обчислити та записати в цю ж таблицю: потужність двигуна $P_{\phi} = \sqrt{S_{\phi}^2 - Q_{\phi}^2}$, $S_{\phi} = U_{\phi} I_{\phi}$, потужність генератора $P_2 = U_{\Gamma} I_{\Gamma} / \eta_{\Gamma}$, де $\eta_{\Gamma} = 0,75$, момент на валу $M = 9.55 P_2 / n$, коефіцієнт корисної дії $\eta = P_2 / (3P_{\phi})$, коефіцієнт потужності $\cos\varphi = P_{\phi} / (U_{\phi} I_{\phi})$. Результати обчислень записати в таблицю 2.1.

3. Побудувати графіки робочих характеристик окремо для двигуна як елемента електричного кола – $I_{\phi}(P_2)$, $\eta(P_2)$, $\cos\varphi(P_2)$ та для двигуна як елемента електричного привода – $M(P_2)$, $n(P_2)$.

Контрольні запитання

1. Пояснити конструкцію асинхронного двигуна?
2. Що називають жорсткістю механічних характеристик?
3. Обґрунтувати, чому при зменшенні частоти необхідно зменшувати величину напруги змінною струму?
4. Пояснити фізичний зміст індуктивного опору двигуна.
5. Пояснити принцип роботи транзисторного перетворювача частоти.
6. Обґрунтувати, чому швидкість ротора завжди менше швидкості обертального магнітного поля?
7. Чому при збільшенні навантаження на валу швидкість двигуна зменшується?
8. Поясніть принцип частотного регулювання асинхронного двигуна?
9. Що мається на увазі під плавним пуском асинхронного електродвигуна? Чим він відрізняється від частотного керування?
10. Чого можна досягти використовуючи частотне регулювання асинхронного двигуна?
11. Поясніть раціональний закон регулювання напруги при частотному регулюванні асинхронного двигуна.
12. Від яких величин залежить частота обертання валу асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором?
13. Як частота струму з мережі живлення впливає на частоту обертання валу асинхронного двигуна?

ЛІТЕРАТУРА

1. Решетник В. Конспект лекцій з дисципліни «Основи електроприводу» для студентів денної і заочної форм навчання напряму 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка” // ТНТУ ім. І. Пулюя. - Тернопіль: 2017. - 151с
2. Савченко П.І., Лавріненко О.Ю. Основи електроприводу: підручник / Савченко П.І., Лавріненко О.Ю., Синявський О.Ю., Войтюк В.В., Савченко І.М., Голодний І.М. – К.: Видавництво Ліра-К, 2017 – 524 с.
3. Василега, П.О. Електропривод робочих машин: навчальний посібник / П.О. Василега, Д.В. Муріков. - Суми: Університетська книга, 2019. - 228 с.
4. Павленко Т. П. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів. Конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка) / Т. П. Павленко, О. В. Донець, О. М. Петренко ; Харків. нац. ун-т міськ. госпва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018.
5. Лисиченко М.Л., Савченко П.І., Тищенко О.К., Гузенко В.В. Електропривод. Посібник до виконання лабораторних та практичних занять – Харків: Факт, 2015. – 270 с.
6. Решетник В. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Основи електроприводу» для студентів денної і заочної форм навчання напряму 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка” / Віктор Решетник, Тетяна Концограда // ТНТУ ім. І. Пулюя. - Тернопіль: 2017. – 54 с.
7. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи / За ред. М.Г. Поповича. – К.: Либідь, 2005. – 672 с.
8. Пижов В.М., Красношарпа Н.Д., Островерхов М.Я. Електропривод: Механіка електроприводу. Електромеханічне перетворення енергії та електромеханічні властивості двигунів постійного струму. / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.:В.М. Пижов, Н.Д. Красношарпа, М.Я. Островерхов. – К.: КПІ ім. Ігоря –Сікорського, 2019. – 198 с.