

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**  
з дисципліни

**«ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНЕ ТА**  
**ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ»**

*(для студентів усіх форм навчання  
напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка»)*

**Харків**  
**ХНУМГ**  
**2013**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Підйомно-транспортне та технологічне обладнання» (для студентів усіх форм навчання напрямку підготовки 6.050702 «Електромеханіка») / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: В. М. Фатєєв, В. М. Шавкун. – Х.: ХНУМГ, 2013. – 51 с.

Укладачі: В. М. Фатєєв,  
В. М. Шавкун

Рецензент: доц. М. І. Шпіка

Рекомендовано кафедрою Електричного транспорту,  
протокол № 5 від 23.11.2010 р.

## **ПРАВИЛА ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

Перед виконанням кожної з лабораторних робіт студенти повинні:

- 1) повторити теоретичний матеріал з даної теми, або прочитати самостійно по підручнику, якщо лекції по цій темі ще не проводились;
- 2) ознайомитись з програмою роботи та підготувати таблиці для відповідних дослідів.

Студенти, що прийшли на заняття непідготовленими або не склали звіт про попередню роботу, до виконання наступної роботи не допускаються.

Після закінчення роботи викладач перевіряє результати експериментів і робить відмітку в своєму журналі про виконання роботи.

У звіті про роботу приводяться:

- 1) найменування і мета роботи;
- 2) електричні схеми дослідів накреслені олівцем або приведені у формі ксерокопії;
- 3) таблиці з результатами експериментів та розрахунків.

При виконанні лабораторних робіт студенти повинні дотримуватись наступних правил техніки безпеки:

1. Перед складенням схеми необхідно переконатись, що всі вимикачі живлення стенда вимкнені.

2. Вмикати вимикачі живлення можна після перевірки схеми викладачем і в його присутності.

3. В процесі виконання роботи не торкатися металевих неізольованих частин схеми.

4. Не робити змін в схемі і не усувати будь-яких несправностей схеми при ввімкнених вимикачах живлення.

5. При появі будь-якої несправності в схемі, негайно вимкнути вимикач і сповістити про це викладача.

6. У випадку враження будь-кого електричним струмом негайно вимкнути всі вимикачі живлення і викликати викладача.

## **ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ВАНТАЖОТРАНСПОРТНИХ МАШИН**

Для технологічних установок циклічної дії загальним є характер технологічного процесу, що складається з ряду повторюваних однотипних циклів [1]. Кожний із циклів включає операцію завантаження робочого органу, переміщення його з вихідної точки в пункт призначення й розвантаження. Незважаючи на істотні конструктивні особливості різних установок циклічної дії, виконання названих операцій забезпечується однотипними за основним призначенням, принципом дії й виконуваними функціями механізмами: піднімальними й тяговими лебідками, механізмами пересування й повороту. У свою чергу ці механізми при будь-якому конструктивному виконанні пред'являють до системи електроприводу ряд загальних вимог. Найпоширенішим прикладом такої установки є мостовий кран. На рис. 1 наведена його конструктивна схема. Сталева конструкція моста крана 1 опирається

на ходові візки й за допомогою механізму пересування 3 може переміщатися по підкранових коліях 2, закріплених над площею, яка обслуговується, на стаціонарних опорах. Уздовж моста крана прокладені рейки, по яких переміщується візок 4 із установленими на ньому механізмом пересування й піднімальною лебідкою, що здійснює підйом і спуск вантажів. Таким чином, основними механізмами мостового крана є: механізм пересування моста, механізм пересування лебідки й піднімальна лебідка. Кожний з основних механізмів оснащений індивідуальним електроприводом. Аналогічні основні механізми й електроприводи мають козлові крани, перевантажувальні мости, будівельні баштові крани й ін.

Піднімальні крани, як і інші технологічні установки циклічної дії, мають автоматизований робочий цикл, тобто всі складові циклу виконуються за командами оператора. У цьому випадку основною технологічною вимогою, що впливає на вибір системи електроприводу, є вимога до діапазону регулювання швидкості  $D$ , зумовленому відношенням робочої швидкості до мінімально необхідної за умовами технології. Для механізмів підйому крана мінімальна швидкість визначається умовами м'якої установки вантажу в призначене місце, а для механізмів пересування й повороту – необхідністю точної зупинки. На низькій швидкості необхідна точність зупинки досягається при меншому числі повторних включень привода. Крім цього, з урахуванням масовості застосування й тяжких умов роботи, системи електроприводу технологічних установок циклічної дії повинні бути прості й надійні в експлуатації. Для більшості з них задовільна керованість механізмів забезпечується при діапазоні  $D = 2 \dots 3$ . Тому найбільше поширення в системах таких електроприводів одержав асинхронний двигун з фазним ротором, швидкість якого регулюється перемиканням опорів у колі ротора.

При більш високих вимогах до діапазону регулювання швидкості й плавності перехідних процесів, застосовуються електроприводи із двигунами постійного струму. Регулювання швидкості двигунів здійснюється як перемиканням додаткових опорів у якірному колі, так і у системі «керований перетворювач - двигун».

Електропостачання приводів технологічних установок циклічної дії здійснюється напругою 380 В змінного струму, 220 В постійного струму. Поряд із цим, електроустаткування може виготовлятися й на інші напруги, але не вищі 440 й 500 В, постійного і змінного струму відповідно. Живлення електрообладнання робочих органів, що поступально переміщуються, виконується за допомогою ковзних струмознімачів від твердих контактних проводів – троліїв, прокладених на ізоляторах уздовж шляхів переміщення установок. Для малопотужних установок (кран-балки, електроталі й т.п.), а також у випадках, коли наявність контактного струмопроводу неприпустима, наприклад, у вибухонебезпечних приміщеннях, застосовується струмопровід гнучким шланговим кабелем. Аналогічно здійснюється живлення установок, які працюють на відкритому повітрі. Для передачі електроенергії з опорної частини на рухому платформу використовують кільцеві струмоприймачі.

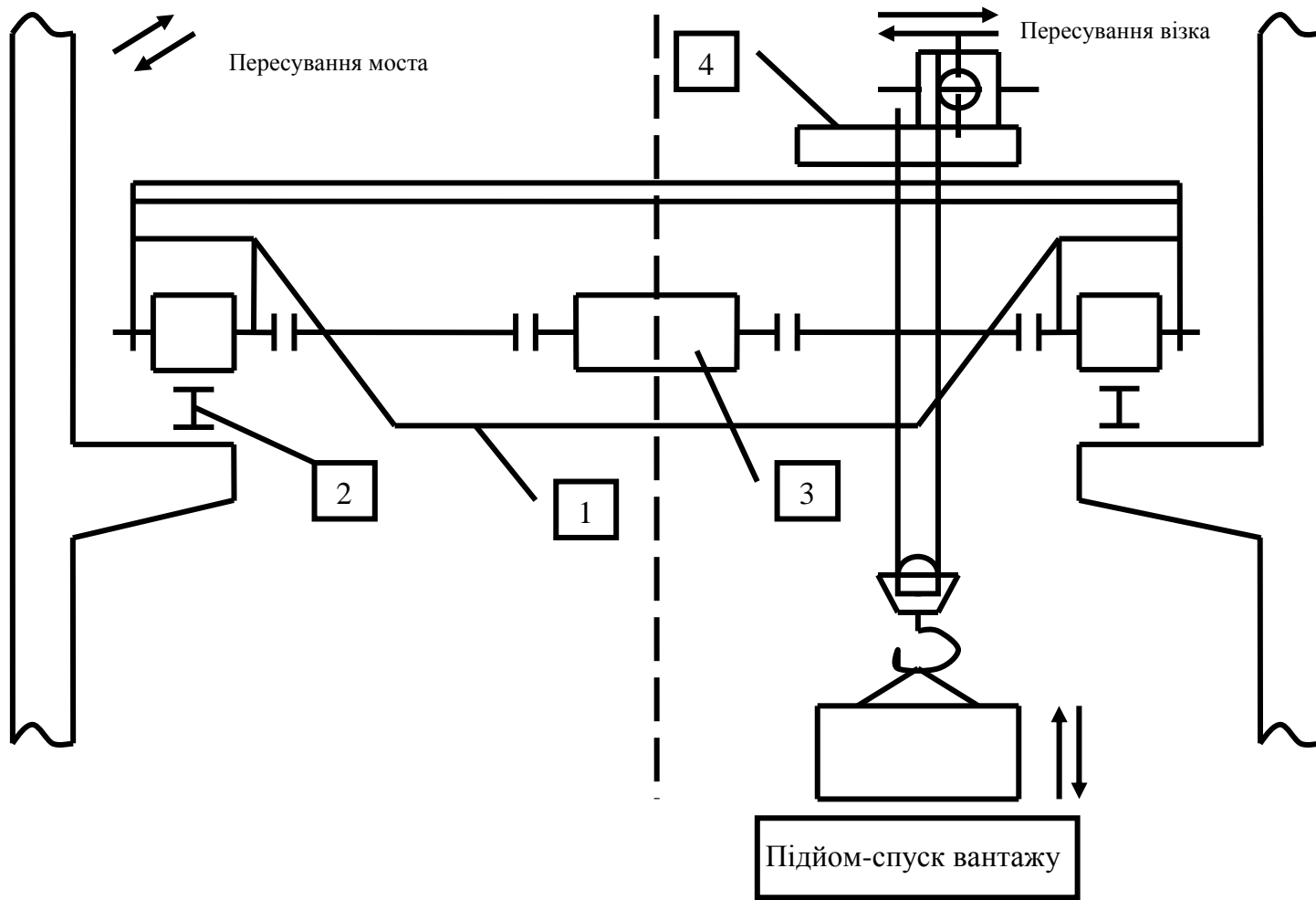


Рис. 1 – Конструктивна схема мостового крану

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

### ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ ВАНТАЖОПІДЙОМНОГО КРАНУ

**1.1. Мета роботи** – засвоїти принцип дії схеми керування та методи перевірки механічних характеристик асинхронного електроприводу механізму підйому.

**1.2. Загальні положення. Механічні характеристики асинхронних двигунів.**

Асинхронні двигуни (АД) – найпоширеніший вид двигунів, оскільки вони більш прості і надійні в експлуатації, при рівній потужності мають меншу масу, габарити і вартість порівняно з ДПС. Схеми включення АД приведені на рис. 1.1.

До недавнього часу АД з к.з. ротором застосовувалися в нерегульованих електроприводах. Проте з появою перетворювачів частоти напруги, що живить обмотки статорів АД, двигуни з к.з. ротором почали використовуватися в регульованих електроприводах. В даний час в перетворювачах частоти застосовуються силові транзистори і програмовані контролери. Спосіб регулювання швидкості одержав назву частотного і його вдосконалення є найважливішим напрямом в розвитку електроприводу.

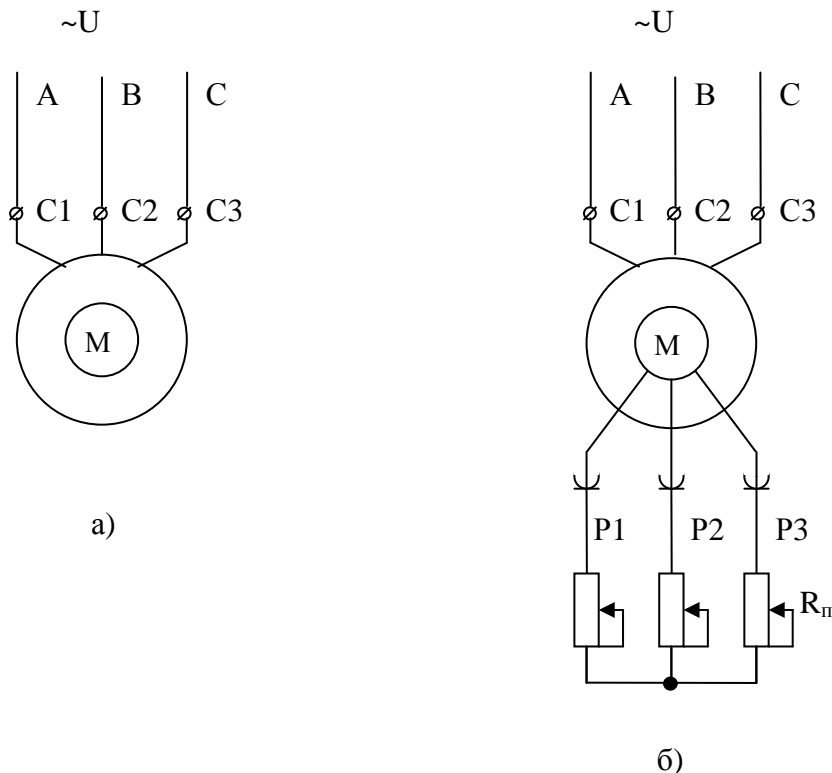


Рис. 1.1 – а) схема включення АД з к.з. ротором;  
б) схема включення АД з фазним ротором

Рівняння для механічної характеристики АД може бути одержано на підставі схеми заміщення АД. Якщо в цій схемі нехтувати активним опором статора, то вираз для механічної характеристики матиме вигляд:

$$M = \frac{2M_k}{S/S_k + S_k/S},$$

де  $M_k = \frac{3U_\phi^2}{2\omega_0 x_k}$ .

Тут  $M_k$  – критичний момент;  $S_k$  – відповідне йому критичне ковзання;  $U_\phi$  – діюче значення фазної напруги мережі;  $\omega_0 = 2\pi f/p$  – кутова швидкість магнітного поля АД, що обертається (синхронна швидкість);  $f$  – частота живлячої напруги;  $p$  – число пар полюсів АД;  $x_k$  – індуктивний фазний опір короткого замикання (визначається з схеми заміщення);  $S = (\omega_0 - \omega)/\omega_0$  – ковзання (швидкість ротора щодо швидкості поля, що обертається).

Механічна характеристика АД з к.з. ротором приведена на рис. 1.2.

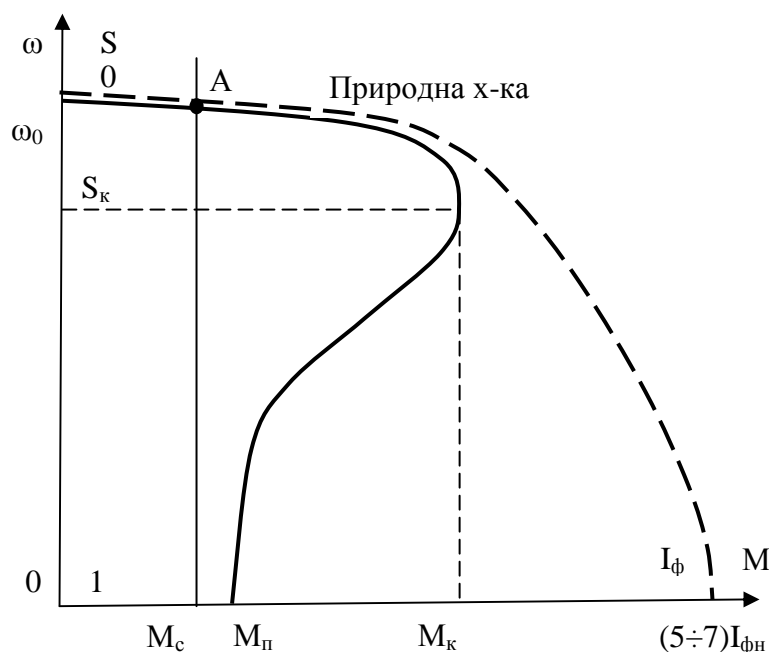


Рис. 1.2 – Механічна характеристика АД з к.з. ротором

На ній можна виділити три характерні крапки. Координати першої крапки ( $S = 0$ ;  $\omega = \omega_0$ ;  $M = 0$ ). Вона відповідає режиму ідеального холостого ходу, коли швидкість ротора рівна швидкості магнітного поля, що обертається. Координати другої крапки ( $S = S_k$ ;  $M = M_k$ ). Двигун працює з максимальним моментом. При  $M_c > M_k$  ротор двигуна буде примусово зупинений, що для двигуна є режимом короткого замикання. Тому обертаючий момент двигуна в цій крапці і називається критичним  $M_k$ . Координати третьої крапки ( $S = 1$ ;  $\omega = 0$ ;  $M = M_п$ ). В цій крапці двигун працює в режимі пуску: швидкість ротора  $\omega = 0$  і на нерухомий ротор діє

пусковий момент  $M_{\text{п}}$ . Ділянка механічної характеристики, розташована між першою і другою характерними крапками, називається робочою ділянкою. На ньому двигун працює в сталому режимі. У АД з к.з. ротором при виконанні умов  $U = U_{\text{н}}$  і  $f = f_{\text{н}}$  механічна характеристика називається природною. В цьому випадку на робочій ділянці характеристики розташована крапка, відповідна номінальному режиму роботи двигуна і має координати  $(S_{\text{н}}; \omega_{\text{н}}; M_{\text{н}})$ .

Електромеханічна характеристика АД  $\omega = f(I_{\text{ф}})$ , яка на рис. 1.2 зображена штриховою лінією, на відміну від електромеханічної характеристики ДПС, співпадає з механічною характеристикою тільки на її робочій ділянці. Це пояснюється тим, під час пуску через частоту е.д.с., що змінюється в обмотці ротора  $E_2$  змінюється частота струму і співвідношення індуктивного і активного опорів обмотки: на початку пуску частота струму велика і індуктивний опір більше активного; із збільшенням швидкості обертання ротора  $\omega$  частота струму ротора, а значить і індуктивний опір його обмотки, зменшується. Тому пусковий струм АД в режимі прямого пуску в 5÷7 разів перевищує номінальне значення  $I_{\text{фн}}$ , а пусковий момент  $M_{\text{п}}$  рівний номінальному  $M_{\text{н}}$ . У відмінності від ДПС, де при пуску необхідно обмежувати пусковий струм і пусковий момент, при пуску АД пусковий струм необхідно обмежувати, а пусковий момент збільшувати. Остання обставина найбільш важлива, оскільки ДПС з незалежним збудженням запускається при  $M_{\text{с}} < 2,5M_{\text{н}}$ , ДПС з послідовним збудженням при  $M_{\text{с}} < 5M_{\text{н}}$ , а АД при роботі на природній характеристиці при  $M_{\text{с}} < M_{\text{н}}$ .

У АД з к.з. ротором збільшення  $M_{\text{п}}$  забезпечується спеціальною конструкцією обмотки ротора. Паз для обмотки ротора роблять глибоким, а саму обмотку розташовують в два шари. При пуску двигуна частота  $E_2$  і струми ротора великі, що приводить до появи ефекту витіснення струму – струм протікає тільки у верхньому шарі обмотки. Тому збільшується опір обмотки і пусковий момент двигуна  $M_{\text{п}}$ . Його величина може досягати  $1,5M_{\text{н}}$ .

У АД з фазним ротором збільшення  $M_{\text{п}}$  забезпечується за рахунок зміни його механічної характеристики. Якщо опір  $R_{\text{п}}$ , включений в ланцюг протікання струму ротора, рівно нулю – двигун працює на природній характеристиці і  $M_{\text{п}} = M_{\text{н}}$ . При  $R_{\text{п}} > 0$  збільшується сумарний активний опір фази ротора  $R_2'$ . Критичне ж ковзання  $S_{\text{к}}$  у міру збільшення  $R_2'$  теж збільшується. Внаслідок цього у АД з фазним ротором введення  $R_{\text{п}}$  в ланцюг протікання струму ротора приводить до зсуву  $M_{\text{к}}$  у бік великих ковзань. При  $S_{\text{к}} = 1$   $M_{\text{п}} = M_{\text{к}}$ . Механічні характеристики АД з фазним ротором при  $R_{\text{п}} > 0$  називаються штучними або реостатними. Вони приведені на рис. 1.3.



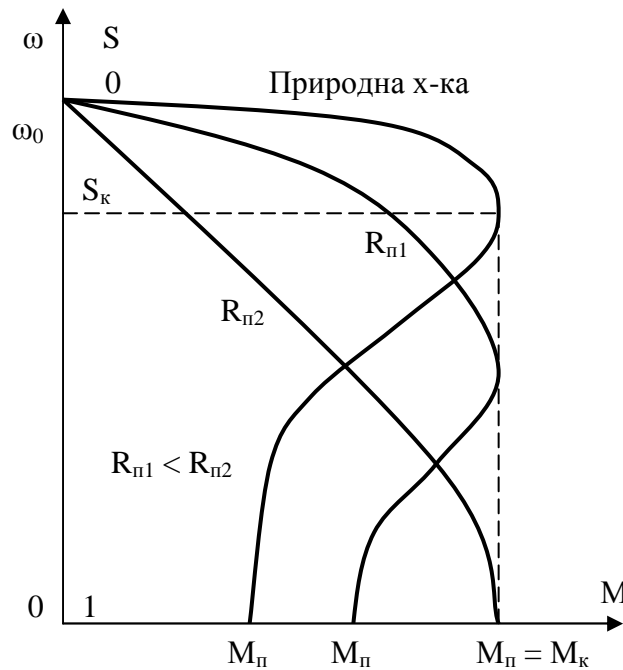


Рис. 1.3 – Механічні характеристики АД з фазним ротором

Асинхронний двигун з к.з. ротором запуститься при  $M_{\text{п}} > M_{\text{с}}$  і працюватиме в крапці А (див. рис. 1.2). Після цього момент опору  $M_{\text{с}}$  можна збільшувати до  $M_{\text{к}}$ . АД, як і двигуни постійного струму, при збільшенні  $M_{\text{с}}$  буде автоматично, без втручання ззовні, знижувати швидкість  $\omega$  і збільшувати обертаючий момент  $M$  до тих пір, поки  $M$  і  $M_{\text{с}}$  не порівняються по величині, тобто із сталого режиму з більшою швидкістю переходить в сталий режим з меншою швидкістю. При зменшенні  $M_{\text{с}}$  спостерігатиметься зворотнє – двигун із сталого режиму з меншою швидкістю автоматично переходить в сталий режим з більшою швидкістю. Робоча ділянка механічної характеристики АД аналогічна механічній характеристиці ДПС з незалежним збудженням – пряма лінія, нахилена до осі абсцис.

Такими властивостями АД володіє завдяки е.д.с.  $E_2$ , яка наводиться магнітним полем статора, що обертається, в обмотці ротора. При  $M_{\text{с}} > M$  динамічний момент  $M_{\text{д}} < 0$  і швидкість ротора  $\omega$  зменшується. Магнітне поле статора, що обертається з постійною швидкістю  $\omega_0$  (синхронною швидкістю) перетинатиме обмотку ротора з великою частотою. Тому збільшуватиметься  $E_2$ , струм в обмотці ротора, сила Ампера, діюча на її витки, а значить і обертаючий момент  $M$ .

Перевантажувальна здатність АД по моменту визначається відношенням критичного моменту  $M_{\text{к}}$  до моменту номінальному  $M_{\text{н}}$ . Для звичайних АД з к.з. ротором  $M_{\text{к}}/M_{\text{н}} = 1,7$ , з фазним ротором  $M_{\text{к}}/M_{\text{н}} = 1,8$ . Для спеціальних кранів АД з к.з. ротором типа МТК і фазним ротором типа МТФ відношення  $M_{\text{к}}/M_{\text{н}} = 2,3 \div 3,4$ .

Асинхронний двигун, як і двигун постійного струму з незалежним збудженням, може працювати у всіх трьох режимах електричного гальмування.

**Рекуперативне гальмування.** Повернення енергії в мережу можливе при швидкості ротора  $\omega$  вище синхронній швидкості  $\omega_0$ . У міру наближення  $\omega$  до  $\omega_0$  зменшується величина  $E_2$ , струм в обмотці ротора і обертаючий момент двигуна  $M$ . Збільшення  $\omega$  до значень, великих  $\omega_0$  можливе під впливом  $M_{\text{с}}$ , сприяючого

обертанню двигуна. В даному випадку АД працює як генератор, включений паралельно з мережею: занесену в елементах механічної частини електроприводу, що рухаються, механічну енергію він перетворить в електричну і повертає її в мережу. Застосовується режим рекуперативного гальмування в електроприводах підйомних лебідок різних вантажопідйомних машин. Реверсивна схема включення АД з фазним ротором приведена на рис. 1.4а, а відповідні їй характеристики АД для режиму рекуперативного гальмування – на рис. 1.4б.

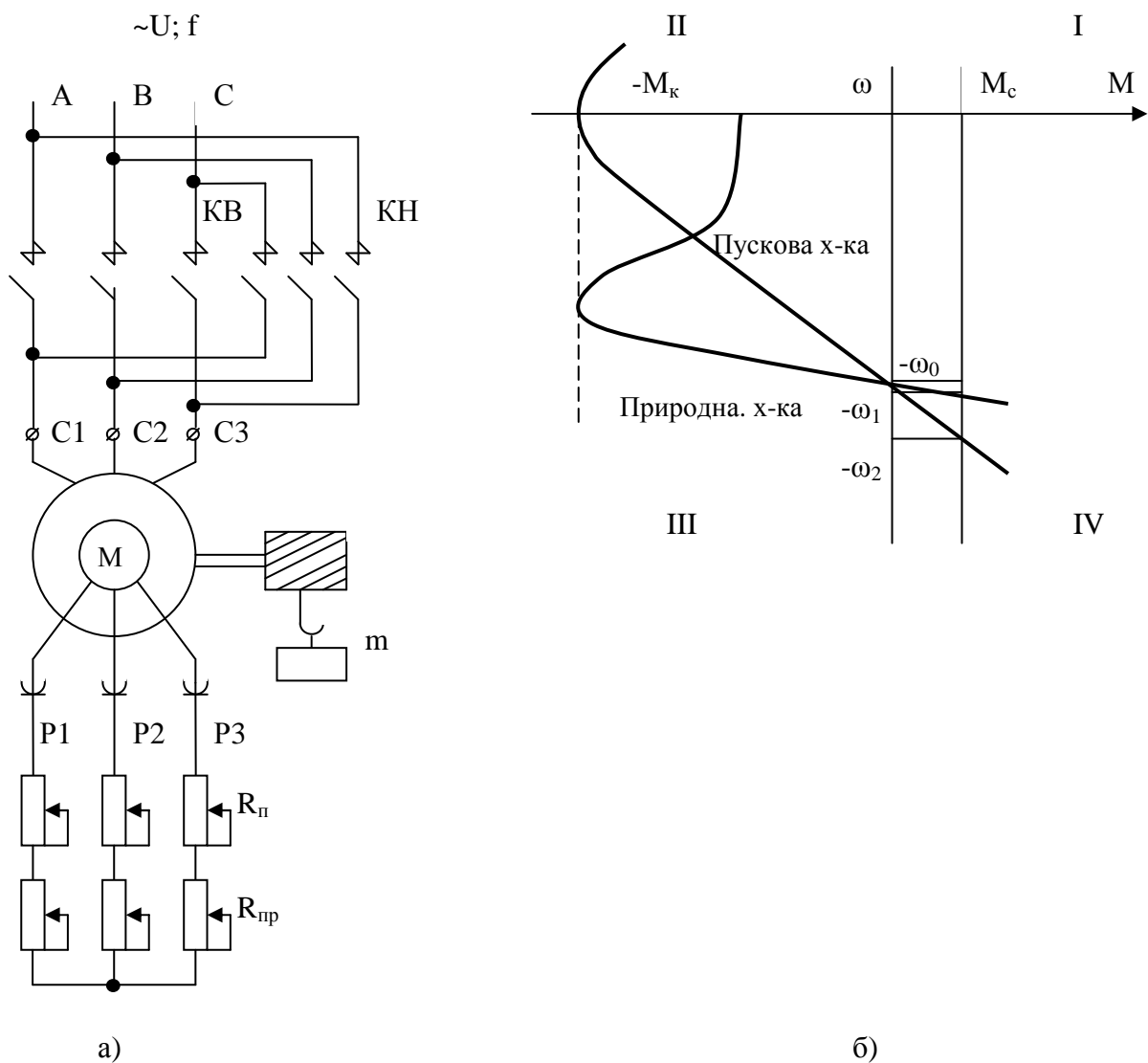


Рис. 1.4 – а) реверсивна схема включення АД з фазним ротором;  
 б) механічні характеристики АД з фазним ротором в режимі рекуперативного гальмування

Реверсувати АД, на відміну від ДПС, можна тільки одним способом – зміною порядку чергування фаз напруги, що живить обмотки статорів двигуна. Для цього використовують два трьохполюсні контактори (в електроприводах малої і середньої потужності – магнітних пускача), конструкція яких має механічне блокування, що виключає можливість одночасного спрацьовування контакторів. На рис. 1.4а

показані головні контакти контакторів напряму КВ (вперед або ввєрх) і КН (назад або вниз).

При замкнєтих КВ обмотки статорів АД підключені до мережі з прямим порядком чергування фаз – виведення  $C_1$  обмоток статорів до напруги фази А, виведення  $C_2$  – фази В і виведення  $C_3$  – фази С. Обертаюче магнітне поле і ротор двигуна обертаються в напрямі «вперед».

При розімкнєтих КВ і замкнєтих КН виведення  $C_1$  буде підключено до напруги фази С, виведення  $C_2$  залишиться підключеним до напруги фази В, а виведення  $C_3$  буде підключено до напруги фази А. Прямий порядок чергування фаз (А, В, С) змінюється на зворотний (С, В, А). В результаті цього змінюється напрям обертання поля і ротора двигуна.

Піднятий вантаж створює активний момент опору  $M_c$ , напрям якого не змінюється при зміні напрямі обертання двигуна (див. рис. 1.4б). Тому при замиканні КН і включенні двигуна у напрямі опускання вантажу ротор двигуна розкручуватимуть як обертаючий момент опору  $M_c$ . Рівняння руху електроприводу матиме вигляд:

$$+ M + M_c = J \frac{d\omega}{dt}.$$

Швидкість обертання двигуна, а значить і швидкість опускання вантажу, збільшуватиметься. При  $\omega = \omega_0$  обертаючий момент  $M = 0$  і рівняння руху матиме вигляд:

$$M_c = J \frac{d\omega}{dt}.$$

Швидкість двигуна ростиме під дією активного  $M_c$ . Коли швидкість ротора перевищить швидкість поля ( $\omega > \omega_0$ ), що обертається, момент двигуна змінить напрям і стане гальмівним, а рівняння руху електроприводу матиме вигляд:

$$- M + M_c = J \frac{d\omega}{dt}.$$

Оскільки схема включення двигуна не змінюється, механічні характеристики АД для режиму рекуперативного гальмування (як і для ДПС з незалежним збудженням) виходять продовженням характеристик для рухового режиму в третьому квадранті в четвертий.

Із збільшенням швидкості двигуна ростиме величина гальмівного моменту  $M$ . При роботі двигуна на природній характеристиці  $M$  стане рівним  $M_c$  при швидкості  $(-\omega_1)$  і двигун перейде в сталий режим роботи. Вантаж опускатиметься з постійною швидкістю. На реостатних характеристиках швидкість сталого режиму буде більше –  $(-\omega_2)$  на пусковій характеристиці.

Гальмування противовмиканням, як і для ДПС з незалежним збудженням, здійснюється у тому випадку, коли обмотки двигуна включені для одного напрямі обертання, а ротор двигуна під впливом сил інерції або активного моменту опору обертається в протилежну сторону – проти включення.

Припустимо, що на рис. 1.4а замкнуті контакти КВ, а  $R_{п}$  і  $R_{пр}$  були зашунтовані. Обмотки статорів підключені до напруги мережі з прямим порядком чергування фаз.

Розмикаються контакти КВ і замикаються КН. Працюючий двигун включається на протилежний напрям. Обмотки статорів двигуна підключаються до мережі із зворотним порядком чергування фаз. Змінюється напрям обертання магнітного поля статора, а ротор двигуна під дією інерційних сил зберігає напрям обертання – обертається проти включення. Змінює напрям обертаючий момент двигуна, тобто він стає гальмівним.

Оскільки ротор двигуна обертається назустріч полю, частота, з якою поле, що обертається, перетинає обмотку ротора, в два рази перевищує частоту при пуску (ротор нерухомий, а поле обертається з синхронною швидкістю  $\omega_0$ ). Що наводиться в обмотці ротора е.д.с.  $E_2$  в два рази перевищує номінальну е.д.с.  $E_{2н}$ , що наводиться в обмотці ротора при пуску. Тому для обмеження струму в ланцюг ротора необхідно окрім пускового опору  $R_{п}$  включати опір протиповмиканням  $R_{пр}$ . Механічні характеристики двигуна, відповідні схемі включення на рис. 1.4а, приведені на рис. 1.5. При замкнутих КВ і зашунтованих  $R_{п}$  і  $R_{пр}$  двигун працював на природній характеристиці в точці А. Після розмикання КВ, включення в ланцюг ротора  $R_{п} + R_{пр}$  і замикання КН двигун з точки А переходить в точку В на характеристиці гальмування протиповмиканням. Під дією гальмівного моменту швидкість двигуна знижуватиметься. Якщо двигун гальмується для зупинки, то в точці С при  $\omega = 0$  необхідно розімкнути КН.

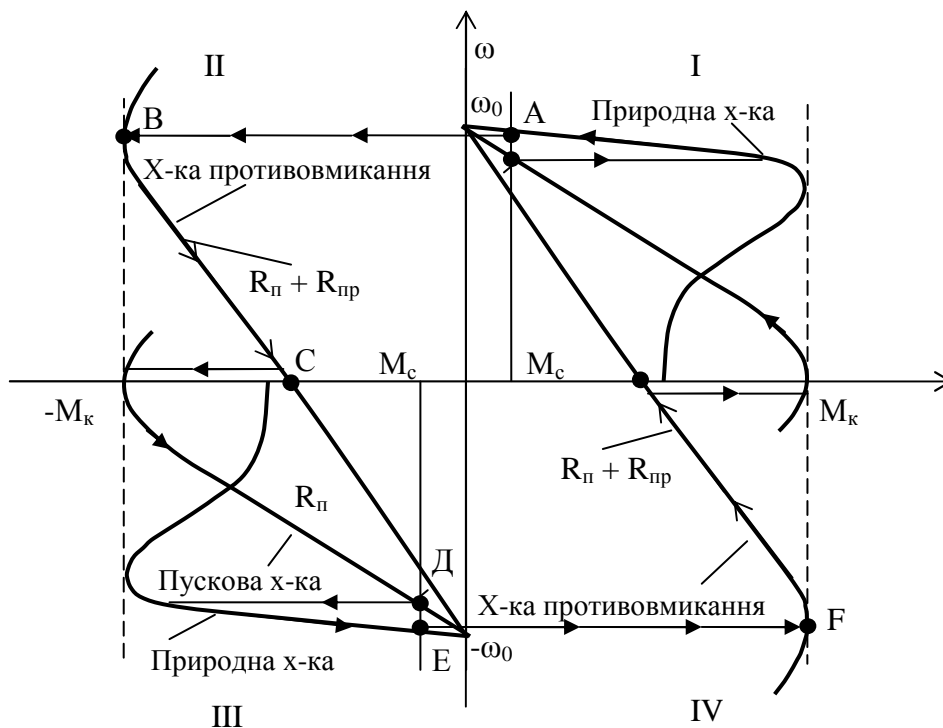


Рис. 1.5 – Механічні характеристики АД з фазним ротором в режимі гальмування протиповмиканням

Якщо ж після зупинки починається розгін в протилежному напрямі, то при швидкості близької до нуля необхідно зашунтирувати  $R_{пр}$  і перекласти двигун на граничну пускову характеристику. На цій характеристиці двигун закінчить гальмування і зразу ж почне розгін в протилежному напрямі з максимальним прискоренням. В третьому квадранті він може працювати в сталому режимі в крапці Д на пусковій характеристиці або в крапці Е на природній. Якщо розімкнути КН, включити в ланцюг ротора  $R_{п} + R_{пр}$  і замкнути КВ двигун з крапки Е перейде в крапку F на характеристиці противовмикання в четвертому квадранті. Процес гальмування і розгін проходять аналогічно.

В електроприводах з активним  $M_c$ , наприклад, в електроприводі підйомної лебідки, де активний  $M_c$  створює вантаж масою  $m$ , підвішений на крюку, режим гальмування противовмикання можна одержати за рахунок зміни механічної характеристики двигуна. Схема включення двигуна приведена на рис. 1.4а, а механічні характеристики двигуна на рис. 1.6.

Припустимо, що замкнуті КВ і зашунтовані  $R_{п}$  і  $R_{пр}$ . Двигун із швидкістю  $\omega_1$  працює у напрямі підйому на природній характеристиці в крапці А.

При введенні в ланцюг ротора пускового реостата  $R_{п}$  двигун перейде на граничну пускову характеристику і працюватиме в крапці В із швидкістю  $\omega_2$ . С введенням  $R_{пр}$  нахил характеристики збільшуватиметься, а швидкість руху зменшуватиметься ( $\omega = \omega_3$  при  $R_{пр} = R_{пр1}$ ).

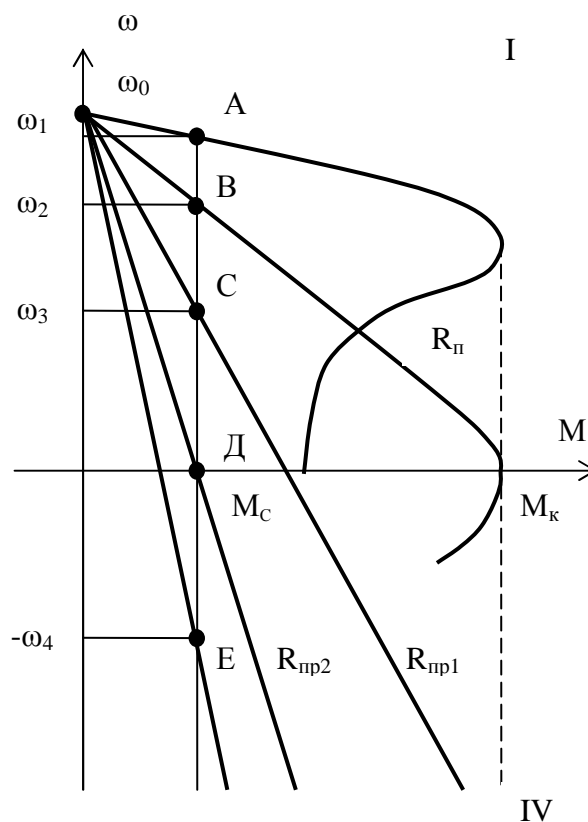


Рис. 1.6 – Механічні характеристики АД з фазним ротором в режимі гальмування противовмикання при активному  $M_c$

Можна так підібрати величину  $R_{пр}$ , що  $M$  буде рівний  $M_c$  при швидкості двигуна  $\omega$ , рівній нулю. На рис. 1.6 цьому випадку відповідає крапка Д при  $R_{пр} = R_{пр2}$ . Двигун зупиняється і вантаж, що піднімається, утримується в підвішеному стані за рахунок обертаючого моменту двигуна  $M$ . При  $R_{пр} = R_{пр3}$  момент двигуна  $M$  стане менше  $M_c$ . Піднятий вантаж почне опускатися і двигун, включений для роботи на підйом, під дією активного  $M_c$  обертатиметься у напрямі опускання – проти включення. Момент двигуна стає гальмівним. Із збільшенням швидкості опускання вантажу він збільшуватиметься. При  $\omega = -\omega_4$  (крапка Е на рис. 1.6) величина гальмівного моменту двигуна  $M$  стане рівній величині активного  $M_c$ . Двигун перейде в сталий режим роботи і збільшення швидкості опускання вантажу припиниться. Такий режим гальмування широко використовується в електроприводах підйомних лебідок, оскільки він дозволяє одержати дуже низькі «посадочні» швидкості двигуна і встановлювати вантаж в необхідному місці без удару.

При гальмуванні противовмиканням АД працює в режимі генератора, включеного послідовно з мережею. Він перетворює механічну енергію в електричну, а також споживає електричну енергію з мережі. Вся електроенергія виділяється у вигляді тепла в двигуні і на опорах, включених в ланцюзі протікання струму ротора. Тому гальмування противовмиканням не економічне з погляду витрат енергії, проте в порівнянні з іншими видами воно забезпечує мінімальний час гальмування.

**Динамічне гальмування** здійснюється при відключенні обмоток статора від мережі змінного струму і підключенні двох з них до мережі постійного струму. Схема включення двигуна приведена на рис. 1.7а, механічні характеристики – на рис. 1.7б.

При замкнутих КЛ і розімкнених КДТ і зашунтированном  $R_{дт}$  двигун працює в першому квадранті на природній характеристиці в крапці А.

При розмиканні КЛ і замиканні КДТ виведення  $C_2$  і  $C_3$  обмоток статорів підключається до мережі постійного струму. Постійний струм, протікаючи до обмотки статора, утворює нерухоме магнітне поле. В обмотці ротора, що обертається, наводиться е.д.с., під дією якої протікає змінний струм. Створюване цим струмом поле нерухоме щодо статора. Гальмівний момент виникає в результаті взаємодії сумарного магнітного потоку із струмом ротора.

Двигун з крапки А перейде в крапку В на одній з характеристик динамічного гальмування, які розташовані в другому квадранті. Вони проходять через початок координат, оскільки при  $\omega = 0$  е.д.с. ротора, струм ротора і гальмівний момент двигуна теж будуть рівні нулю.

В режимі динамічного гальмування двигун працює як автономний генератор. Механічну енергію, запасену в елементах механічної частини, що рухаються, він перетворює в електричну і витрачає її на нагрів обмоток і додаткових опорів в ланцюзі ротора.

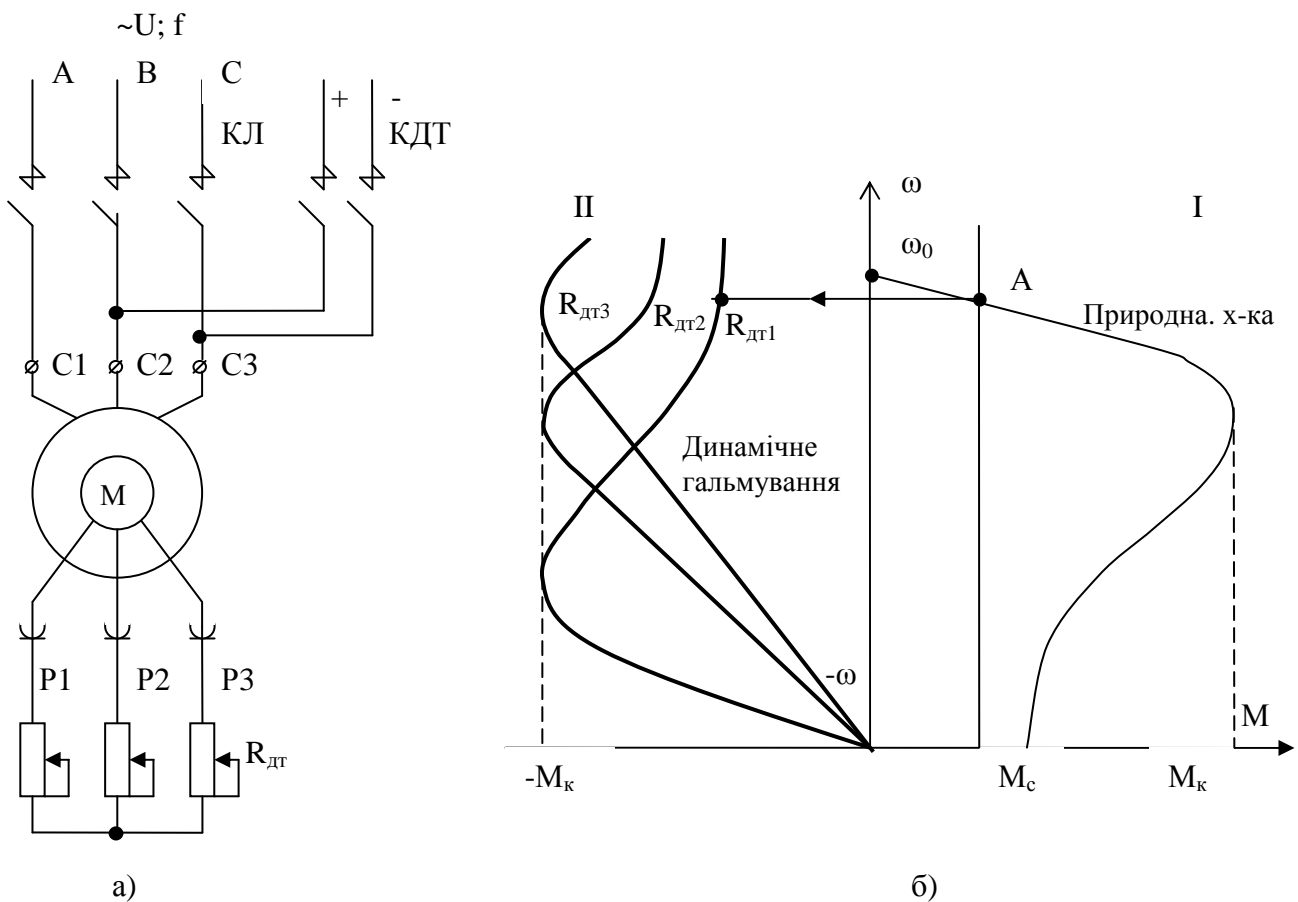


Рис. 1.7 – а) схема включення АД з фазним ротором в режимі динамічного гальмування;  
 б) механічні характеристики АД з фазним ротором в режимі динамічного гальмування

### 1.3. Характеристика схеми керування.

Принципова схема асинхронного електроприводу наведена на рис. 1.8. Вона складається із двох стендів, на одному з яких досліджуються механічні характеристики й схема управління електроприводу механізму підйому, а на іншому – механічні характеристики й схема управління електроприводу переміщення крана.

Живлення всіх електроприводів крану здійснюється через захисну кранову панель змінного струму ПЗКБ-250. Панель містить загальний для всіх електроприводів крана рубильник В1 і лінійний контактор КЛ, пакетний вимикач ПП1, дві основи для установки на кожній по чотири магнітних реле максимального струму. Це дозволяє реалізувати різні варіанти схем включення захисту. На рис. 1.8 наведений варіант, при якому котушки реле 1РМ...6РМ ввімкнені у дві фази кожного двигуна, а реле РМО є загальним. Якорі всіх реле можуть діяти на дві загальні скоби, що розмикають допоміжні контакти РМ1 і РМ2, які у свою чергу, відключають коло живлення котушки КЛ. Влаштування панелей ПЗКБ інших типів, а також можливі схеми включення котушок реле максимального струму наведені в [2, 3].

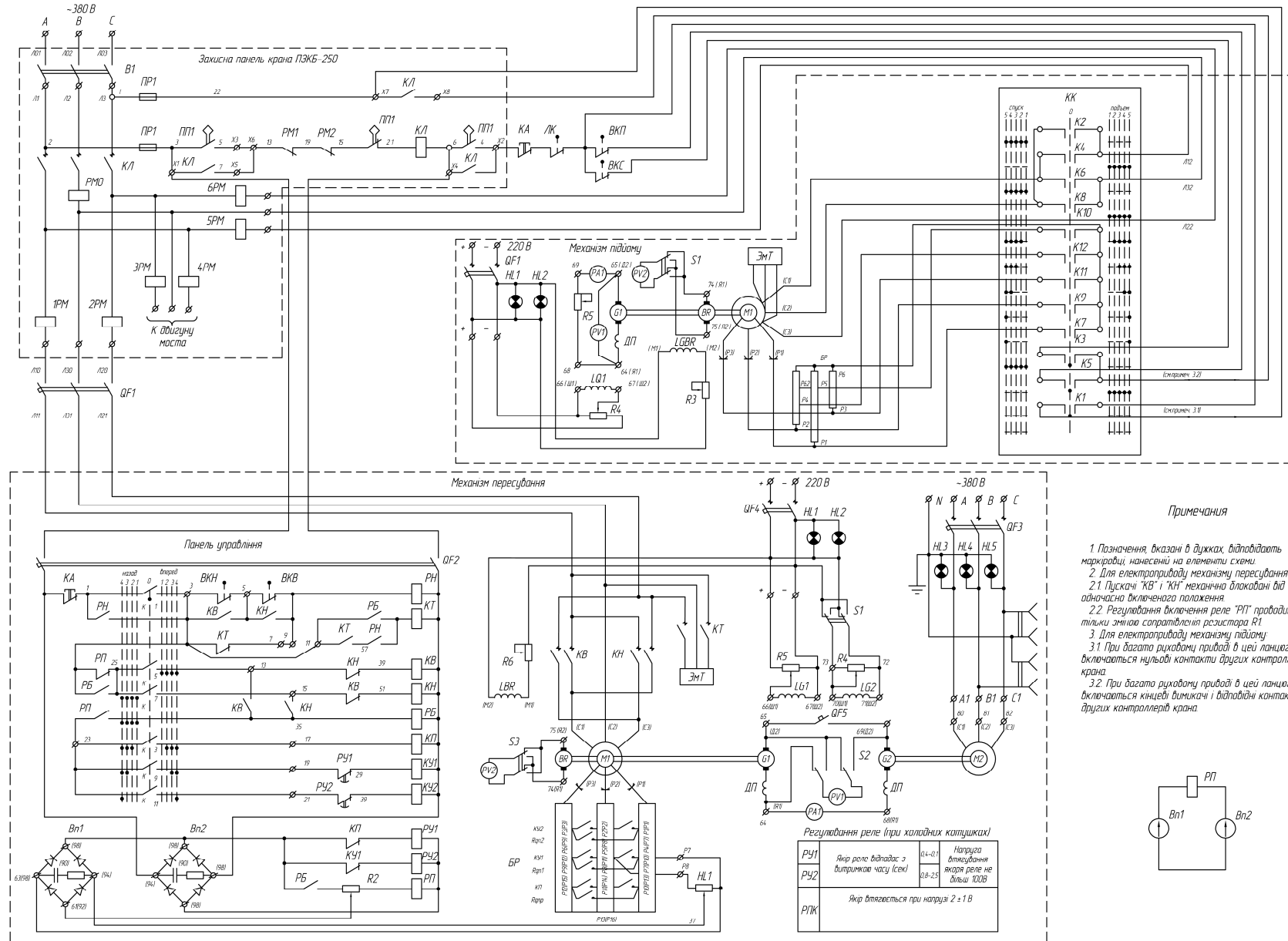


Рис. 1.8 – Електрична принципова схема установки змінного струму



Пуск панелі виконується в такій послідовності: рукоятки контролерів електроприводів підйому й переміщення встановлюються в нульове положення; ключем з одним отвором вмикається рубильник В1; ключ із двома отворами уставляється в перемикач ПП1 і повертається проти годинникової стрілки до положення «включено», після чого ключ самоповерненням стає в положення «робота». У положенні «включено» замикаючі контакти ПП1 утворюють коло живлення котушки КЛ, і контактор КЛ, спрацьовуючи, через свої замикаючі контакти стає на саможивлення. До напруги мережі підключаються силові кола електроприводів підйому й пересування, а також кола управління механізму пересування. При цьому автоматичні вимикачі QF1 й QF2 забезпечують можливість досліджувати схеми електропривода незалежно друг від друга.

Керування крановим асинхронним двигуном М1 механізму підйому типу МІФ 012 здійснюється за допомогою силового контролера ККТ61А. Контакти контролера розраховані на перемикання силових кіл двигуна й замикаються або розмикаються в послідовності, обумовленою діаграмою замикання залежно від положення рукоятки контролера. Крім ККТ61А промисловістю випускаються кранові контролери постійного струму типу КВ100 і змінного струму типу ККТ60А [2, 3]. Потужність керованих силовими контролерами двигунів не перевищує 30 кВт.

Контролер ККТ61А має п'ять фіксованих робочих положень рукоятки для кожного напрямку руху й фіксоване нульове положення. Діаграма замикання контактів – симетрична. Контролер забезпечує ступінчастий спуск, ступінчасте регулювання швидкості, реверс і гальмування. До складу електроприводу також входить стандартний блок дровових резисторів БР типу БК-12.

Включення, відключення й зміна напрямку обертання двигуна здійснюється за допомогою контактів К2, К4, К6 і К8 контролера. При подачі напруги на виводи С1, С2, С3 статорної обмотки двигуна одночасно одержує живлення котушка гальма ЕмТ і гальмові колодки звільняють гальмовий шків. Перемикання опорів у роторному колі, необхідне для пуску двигуна й регулювання швидкості, виконується контактами К7, К9...К12. Контакти К1, К3, К5 використовуються для забезпечення нульового й кінцевого захистів.

Перемикання опорів у роторному колі виконуються по черзі в різних фазах ротора, тому що для одночасного перемикання потрібні додаткові силові контакти й, відповідно, збільшені габарити контролера. Виникаюча при несиметричному перемиканні опорів асиметрія струму в роторі невелика й істотно не впливає на форму реостатних механічних характеристик електроприводу. Типові механічні характеристики електропривода підйому з контролером КТ61А наведені на рис. 1.9.

Розглянемо роботу схеми. У нульовому положенні рукоятки контролера розімкнуті контакти К2, К4, К6 і К7...К12. Не одержують живлення статорні обмотки М1 і котушка електромагнітного гальма ЕмТ. Тому гальмові колодки механічного гальма втримують гальмовий шків.

При переводі рукоятки контролера в перше положення в напрямку «Підйом» замикаються й залишаються замкнутими в інших положеннях рукоятки контакти К4, К8 контролера. Одержують живлення статорні обмотки М1 і котушка гальма ЕмТ. Гальмові колодки звільняють гальмовий шків. Оскільки контакти К7, К9...К12

контролера залишаються розімкнутими, до роторної обмотки М1 підключені повний опір і двигун починає розгін по характеристиці 1 у першому квадранті.

При переводі рукоятки в друге положення замикається контакт К10 контролера й шунтує резистор R5-R6, включений у фазі Р1 обмотки ротора. Двигун переходить на характеристику 2.

При переводі рукоятки в третє положення замикається контакт К12 контролера й шунтує резистор R6-R4, включений у фазі Р2 обмотки ротора. Двигун переходить на характеристику 3.

При переводі рукоятки в четверте положення замикається контакт К11 контролера й шунтує резистор R6-R3, включений у фазі Р3 обмотки ротора. Двигун переходить на природну характеристику 4.

При переводі рукоятки в п'яте положення замикаються контакти К7, К9 контролера й шунтують резистори R4-R1 і R5-R2, включені у фази Р1, Р2 обмотки ротора. Двигун переходить на природну характеристику 5.

При переводі рукоятки контролера з будь-якого положення в напрямку спуску розмикаються контакти К4, К8 і замикаються К6, К2. Змінюється порядок чергування фаз напруги, що прикладена до виводів С1, С2, С3 статорної обмотки М1. Оскільки контакти К7, К9...К12 розімкнуті, двигун переходить у режим гальмування противмиканням на характеристику 1, що починається в третьому квадранті.

При роботі на підйом у першому квадранті знижена швидкість обертання двигуна може бути отримана на штучних характеристиках тільки при досить великих моментах опору. Тому знижені швидкості при малих навантаженнях отримують у результаті перемикавання рукоятки контролера з однієї з позицій підйому в нульове положення, тобто періодичним накладанням механічного гальма.

При переводі рукоятки контролера з будь-якого положення в напрямку підйому в перше положення в напрямку спуска розмикаються контакти К4 і К8.

При роботі електропривода на спуск можливі два режими роботи двигуна. У першому випадку при опусканні порожнього гака або невеликого вантажу створюваний активний момент опору не перевищує величини реактивного моменту опору, створюваного силами тертя в механічній частині електроприводу. Двигун працює в третьому квадранті в режимі двигуна. Перехід двигуна на штучні характеристики не дає зниження швидкості. У другому випадку, коли вантаж досить великий й активний момент опору здатний перебороти статичний опір механічної частини, двигун переходить у режим рекуперативного гальмування (четвертий квадрант) і збільшення опору колі ротора веде до збільшення швидкості спуска. Знижена швидкість при спуску, як і при підйомі, забезпечується шляхом перемикавання рукоятки контролера з однієї з позицій спуску в нульове положення, тобто періодичним накладанням механічного гальма. Збільшення вимог до точності зупинки й плавності посадки вантажу приводить до істотного зростання частоти перемикань, підвищує зношування апаратури і гальм, знижує надійність керування.

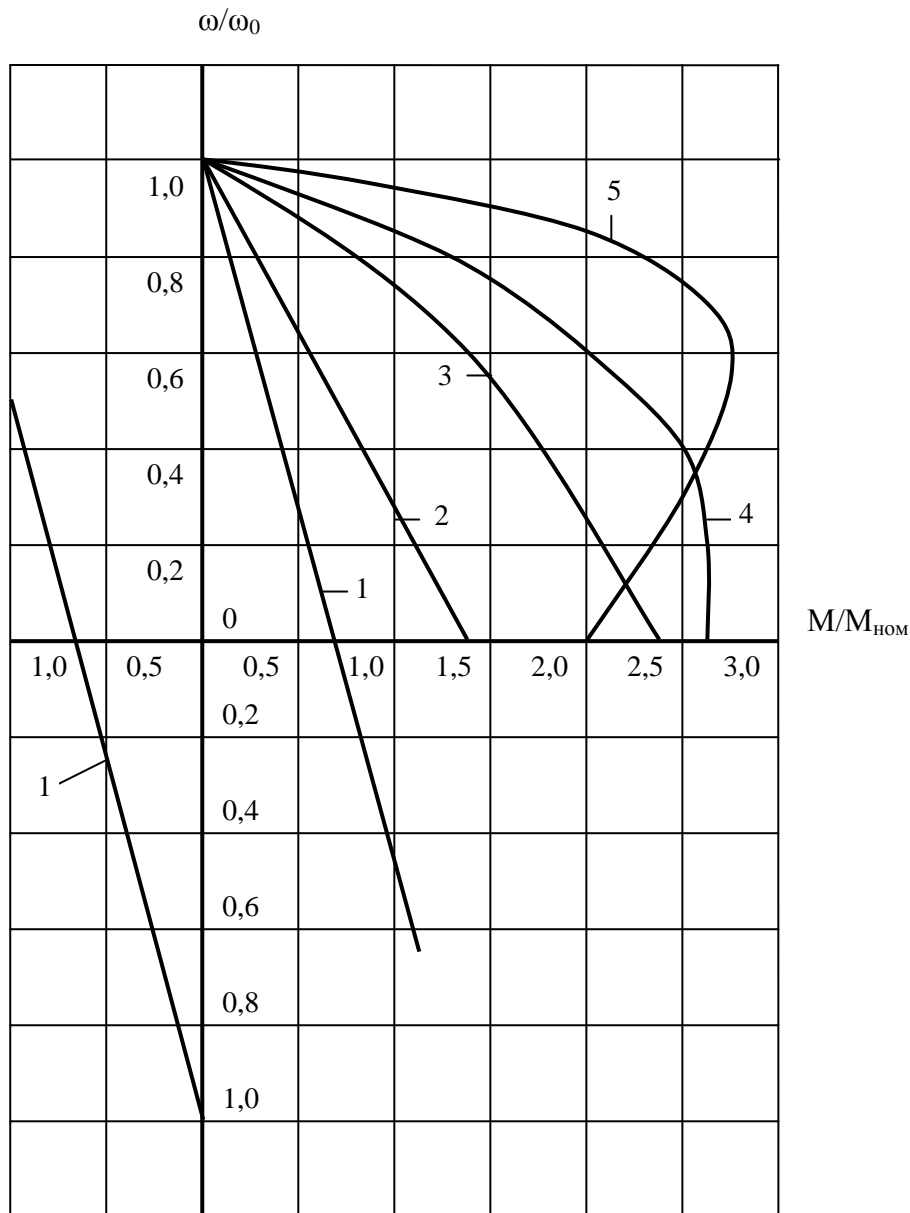


Рис. 1.9 – Типові механічні характеристики двигуна, керованого силовим контролером ККТ 61А

Дослідження механічних характеристик двигуна М1 здійснюється за допомогою навантажувального агрегату, до складу якого входять генератор постійного струму незалежного збудження G1 і реостат R5. Генератор G1 приводиться в обертання двигуном М1. При зменшенні опору R5 збільшується струм у якірному колі G1 й, отже, збільшується навантаження М1. Величина напруги генератора регулюється за допомогою повзункового реостата R4 і контролюється вольтметром Р1. Швидкість обертання М1 вимірюється вольтметром РV2, підключеним до якоря тахогенератора ВR. Резистором R3 устанавлюється номінальне значення струму в обмотці збудження ВR.

#### 1.4. Програма роботи та порядок її виконання.

1. У процесі підготовки до проведення лабораторної роботи необхідно вивчити принципову електричну схему установки. З її допомогою проаналізувати всі режими роботи М1 (робочі й гальмові) і одержувані при цьому механічні характеристики, принципи дії застосовуваних у схемі захистів, а також склад і принцип дії навантажувального агрегату.
2. На початку лабораторної роботи з'ясувати розташування основних елементів системи електропривода.
3. Зібрати вимірювальну частину схеми, що включає в себе автоматичний вимикач QF1, вольтметри PV1 й PV2, амперметр PA1, повзунковий реостат R4 і клемну дошку, на якій встановлена кнопка аварійної зупинки КА механізму, блокувальний контакт люка кабіни ЛК і кінцеві вимикачі ВКП, ВКС. Рукоятка QF1 повинна перебувати в положенні «0».
4. Запустити досліджуваний двигун М1. Для чого рукоятку контролера поставити в нульове положення. Ключем з одним отвором замкнути рубильник В1 захисній панелі, а потім ключем із двома отворами включити лінійний контактор КЛ. Перевести рукоятку контролера в перше положення заданого напрямку. Вести в якірне коло G1 опір R5. Включити QF1, і за допомогою R4 за показниками PV1 установити максимально можливу напругу G1.
5. Зняти механічну характеристику М1 в першому положенні рукоятки контролера. Для цього за допомогою R5 збільшувати навантаження М1, фіксуючи через кожні 2-3 А показання PA1, PV1 й PV2. Струм у якірному колі G1 збільшувати до 25 А. По закінченні досліду зняти навантаження з М1, повернувши рукоятку R5 у вихідне положення.
6. Зняти механічні характеристики М1 на інших положеннях рукоятки контролера. По закінченні кожного досліду рукоятку R5 повертати у вихідне положення. Після зняття останньої характеристики розімкнути QF1.
7. Перевірити роботу нульового й кінцевого захистів схеми. Для перевірки нульового захисту при роботі М1 на першому положенні контролера ключем з одним отвором розімкнути, а потім замкнути рубильник В1 захисній панелі.

Для перевірки кінцевого захисту при роботі М1 на першому положенні контролера в напрямку «підйом» розімкнути контакт ВКП. Переконалися в тім, що схема забезпечує можливість виведення вантажу з небезпечної зони підйому. Дія кінцевої зони захисту при роботі М1 у напрямку спуска перевіряється аналогічно.

#### 1.5. Вказівки щодо оформлення звіту.

На підставі отриманих експериментальних даних розрахувати значення моменту  $M_{Mi}$ , який розвиває М1 у кожній і-ій досліджуваній точці. Якщо знехтувати втратами на обертання генератора G1, то величина  $M_{Mi}$  може бути прийнятою рівною величині електромагнітного моменту  $M_{Gi}$  генератора G1.

Електромагнітний момент  $M_{Gi}$  визначається із співвідношення:

$$M_{Gi} = \frac{P_i}{\omega_i}, \quad \text{Нм,}$$

де  $P_i$  – електрична потужність, яку створює G1 в  $i$ -ій точці, кВт;  
 $\omega_i$  – швидкість G1 в  $i$ -ій досліджуваній точці, рад./с.

У свою чергу електрична потужність  $P_i$  визначається як

$$P_i = \frac{U_i I_i + I_i^2 R_{\text{я}}}{1000}, \text{ кВт},$$

де  $U_i$  – напруга на якорі G1 в  $i$ -ій точці В;

$I_i$  – струм якоря в  $i$ -ій точці А;

$R_{\text{я}}$  – активний опір обмотки якоря G1, Ом;  $R_{\text{я}} = 0,9$  Ом.

За результатами розрахунку побудувати механічні характеристики M1 у чотирьох квадрантах.

Для механізму підйому намалювати схему включення резисторів в обмотці ротора в кожному з положень рукоятки контролера.

### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 1. Пояснити влаштування і принцип дії асинхронного двигуна з фазним ротором.*
- 2. Пояснити роботу схеми і механічної характеристики двигуна при різних положеннях рукоятки контролера.*
- 3. Який вплив на механічну характеристику чинить несиметричне включення додаткових резисторів у колі ротора M1?*
- 4. Які гальмові режими можуть використовуватися в електроприводі при підйомі й опусканні вантажу?*
- 5. Пояснити роботу схеми при гальмуванні M1.*
- 6. Пояснити принципи дії захистів, які застосовуються в електроприводі механізму підйому.*
- 7. У чому перевага й недоліки кранових електроприводів із силовими контролерами?*
- 8. Пояснити влаштування, принцип дії й графічне позначення на електричних принципових схемах силового контролера.*
- 9. Пояснити принцип дії навантажувального агрегату лабораторної установки.*

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

### ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕСУВАННЯ ВАНТАЖОПІДЙОМНОГО КРАНУ

**2.1. Мета роботи** – засвоїти принцип дії схеми керування та методи перевірки механічних характеристик асинхронного електроприводу механізму пересування.

**2.2. Загальні положення** – аналогічні для лабораторної роботи № 1.

**2.3. Характеристика системи керування.**

При інтенсивних режимах роботи й значній потужності двигунів від керування за допомогою силових контролерів, незважаючи на його простоту, доводиться відмовлятися. На початкових етапах розвитку електроприводів силові контакти контролера замінювалися силовими контактами контакторів, включення й відключення яких у необхідній послідовності виконувалося за допомогою контактів командо-контролера. Механічні характеристики двигуна й схеми керування в цьому випадку принципово не змінювалися. Тому такі пристрої одержали назву магнітних контролерів. Надалі введення в схему керування додаткових електричних апаратів дозволило реалізувати різні автоматичні блокування, автоматизувати процеси пуску й гальмування, одержувати різні штучні характеристики. У даний час для кранових електроприводів магнітні контролери випускаються у вигляді типових панелей. Їхнє влаштування і характеристики описані в [2, 3].

Для керування крановим асинхронним двигуном М1 механізму пересування типу МТФ012 використовується магнітний контролер ТА63 (див. рис. 1.8). Він має симетричну схему, тобто забезпечує однакові механічні характеристики М1, автоматичний пуск і гальмування, реостатне регулювання швидкості при русі крана в обох напрямках.

Керування магнітним контролером здійснюється за допомогою командоконтролера КК типу КП-1226, рукоятка котрого має по чотири фіксованих положення в кожному напрямку руху й нульове положення. У кожному з робочих положень рукоятки КК до обмотки ротора підключені додаткові резистори. Для цього використовуються стандартні блоки дрових резисторів БР типу БК-12. Типові механічні характеристики електроприводу механізму пересування з магнітним контролером ТА-63 наведені на рис. 2.1.

Для механічного гальмування вала М1 застосовується електромеханічне гальмо ЕмТ типу ТЭ-16.

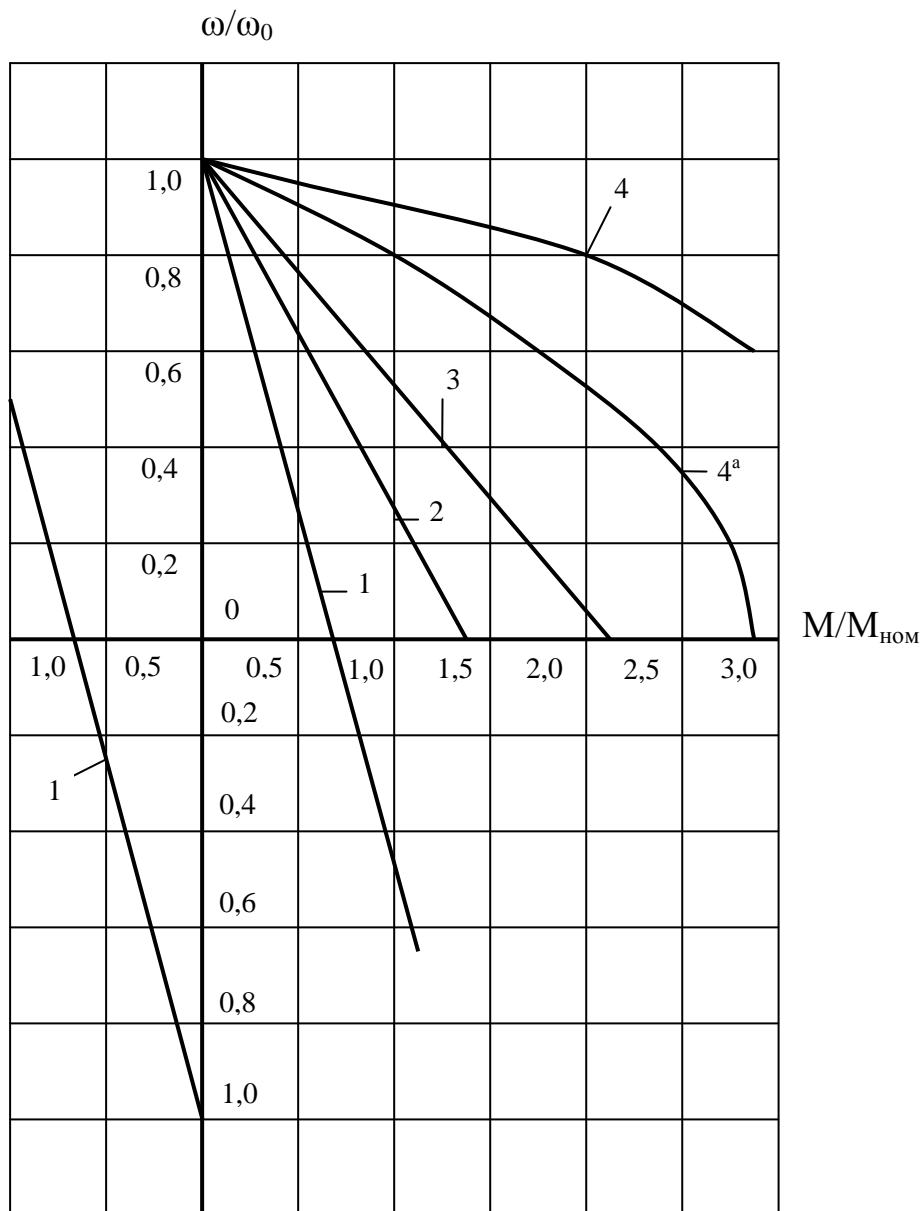


Рис. 2.1 – Типові механічні характеристики двигуна, керованого магнітним контролером ТА 63

Дослідження механічних характеристик двигуна М1 здійснюється за допомогою навантажувального агрегату, до складу якого входять: генератори постійного струму незалежного збудження G1, G2 й асинхронний короткозамкнений двигун M2. Генератор G1 приводиться в обертання двигуном M1, а генератор G2 – двигуном M2. Величина струму в обмотках збудження LG1 й LG2 генераторів, а отже, і величина їх ЕРС регулюється, відповідно, за допомогою повзункових реостатів R5 й R4. Крім того, за допомогою перемикача S1 можна змінювати полярність напруги, що прикладається до LG2, і в такий спосіб змінювати напрямок ЕРС генератора. При працюючих M1, M2, розімкненому автоматичному вимикачі QF5, у положенні «1» перемикача S2 показання вольметра PV1 визначаються алгебраїчною сумою електрорушійних сил генераторів G1 й G2. За допомогою перемикача

S1 і резистора R4 можна встановити величину ЕРС G2 рівною ЕРС G1, але включеною відносно неї зустрічно. Алгебраїчна сума ЕРС G1 й G2 у цьому випадку виявиться рівною нулю, і вольтметр PV1 буде давати нульові показання. При замиканні QF5 якорі G1 й G2 утворять загальне коло, величина струму в якому дорівнює нулю. Якщо тепер за допомогою R4 зменшувати струм в обмотці збудження G2, то його ЕРС стає меншою ЕРС G1, і G2 відносно G1 починає працювати в режимі двигуна. Генератор G1 відносно G2 працює в генераторному режимі, і тим самим створює навантаження для M1. Величина навантаження буде тим більшою, чим більшою буде різниця між величинами ЕРС G1 й G2. Струм у якірному колі генераторів контролюється амперметром PA1, напруга на якорі G1 – вольтметром PV1 у положенні «II» перемикача S2, і швидкість обертання M1 – вольтметром PV2, підключеним до якоря тахогенератора BR. Резистором R6 установлюється номінальне значення струму в обмотці збудження BR.

#### **2.4. Програма роботи та порядок її виконання.**

1. Зібрати вимірювальну частину схеми, що включає в себе автоматичні вимикачі QF1...QF5, вольтметри PV1 й PV2, амперметр PA1, повзункові реостати R4, R5 і клемну дошку, на якій установлена кнопка аварійної зупинки КА механізму, кінцеві вимикачі ВКВ, ВКН і перемикач S1. Рукоятки автоматичних вимикачів повинні перебувати в положенні «0».
2. Запустити досліджуваний двигун M1. Для чого рукоятку командоконтролера поставити в нульове положення. Ключем з одним отвором замкнути рубильник В1 захисній панелі, а потім ключем із двома отворами включити лінійний контактор КЛ. Рукоятки QF1 й QF2 перевести в положення «I». Перевести рукоятку КК у перше положення заданого напрямку.
3. Запустити навантажувальний агрегат. Для чого необхідно переконатися в тім, що **РУКОЯТКА QF5 ПЕРЕБУВАЄ В ПОЛОЖЕННІ «0»**, потім включити QF3 й QF4. Після того, як M2 досягне сталої швидкості обертання, за допомогою R4 у положенні «I» перемикача S2 домогтися нульових показань PV1. Якщо це не вдається, перевести S1 в інше положення. **ТІЛЬКИ ПРИ НУЛЬОВИХ ПОКАЗАННЯХ PV1 ВКЛЮЧИТИ QF5.**
4. Зняти механічну характеристику M1 в першому положенні рукоятки КК. Для цього за допомогою R4 збільшувати навантаження M1, фіксуючи через кожні 2-3 А показання PA1, PV2 і показання PV1 у положенні «II» перемикача S2. Струм у якірному колі M1 збільшувати до 25 А. Якщо повзунок R4 виявиться в крайнім положенні при менших показаннях PA1, необхідно перевести S1 в інше положення. По закінченні дослідів перевести S1 і повзунок R4 у початковий стан і зняти навантаження з M1. **РОЗІМКНУТИ QF5.**
5. Зняти механічні характеристики M1 на інших положеннях рукоятки КК. Досліди проводяться аналогічно описаному в п. 4.4.4. Наприкінці кожного дослідів **РОЗМИКАТИ QF5.** На початку наступного дослідів **ЗАМИКАТИ QF5 ТІЛЬКИ ПРИ НУЛЬОВИХ ПОКАЗАННЯХ PV1.**



## 2.5. Вказівки щодо оформлення звіту.

На підставі отриманих експериментальних даних розрахувати значення моменту  $M_{Mi}$ , який розвиває М1 у кожній і-ій досліджуваній точці. Якщо знехтувати втратами на обертання генератора G1, то величина  $M_{Mi}$  може бути прийнятою рівною величині електромагнітного моменту  $M_{Gi}$  генератора G1.

Електромагнітний момент  $M_{Gi}$  визначається із співвідношення:

$$M_{Gi} = \frac{P_i}{\omega_i}, \text{ Нм,}$$

де  $P_i$  – електрична потужність, яку створює G1 в і-ій точці, кВт;  
 $\omega_i$  – швидкість G1 в і-ій досліджуваній точці, рад./с.

У свою чергу електрична потужність  $P_i$  визначається як

$$P_i = \frac{U_i I_i + I_i^2 R_{\text{я}}}{1000}, \text{ кВт,}$$

де  $U_i$  – напруга на якорі G1 в і-ій точці В;  
 $I_i$  – струм якоря в і-ій точці А;  
 $R_{\text{я}}$  – активний опір обмотки якоря G1, Ом;  $R_{\text{я}} = 0,9$  Ом.

За результатами розрахунку побудувати механічні характеристики М1 у чотирьох квадрантах.

Намалювати схему включення резисторів в обмотці ротора в кожному з положень рукоятки контролера.

## КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Пояснити роботу схеми та механічної характеристики двигуна при різних положеннях рукоятки командоконтролера.
2. Пояснити роботу схеми при автоматичному пуску М1.
3. Пояснити роботу схеми в режимі електричного гальмування.
4. Пояснити роботу схеми при механічному гальмуванні.
5. Пояснити принцип дії захистів, які застосовуються в електроприводі механізму пересування.
6. Чим забезпечується плавність пуску М1?
7. Пояснити влаштування, принцип дії й графічне позначення на електричних принципових схемах електромагнітного реле часу.
8. Пояснити влаштування, принцип дії й графічне позначення на електричних принципових схемах електромагнітного контактора змінного струму й магнітного пускача.
9. Пояснити влаштування і принцип дії механічного гальма.

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

#### ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕСУВАННЯ ВАНТАЖОПІДЙОМНОГО КРАНУ

**3.1. Мета роботи** – засвоїти принцип дії схеми керування та методи перевірки електромеханічних характеристик електроприводу постійного струму механізму пересування.

**3.2. Загальні положення. Механічні характеристики двигуна постійного струму с послідовним збудженням.**

Схема вмикання двигуна приведена на рис. 3.1. Якір двигуна М і обмотка збудження LM включені послідовно і одержують живлення від одного джерела U. Тому струм якоря  $I_{я}$  є і струмом збудження  $I_{в}$ . Ця обставина визначає єдину відмінність в конструкції двигуна з послідовним збудженням від двигуна з незалежним збудженням: обмотка збудження LM ДПС з послідовним збудженням виконана провідником того ж перетину, що і обмотка якоря.

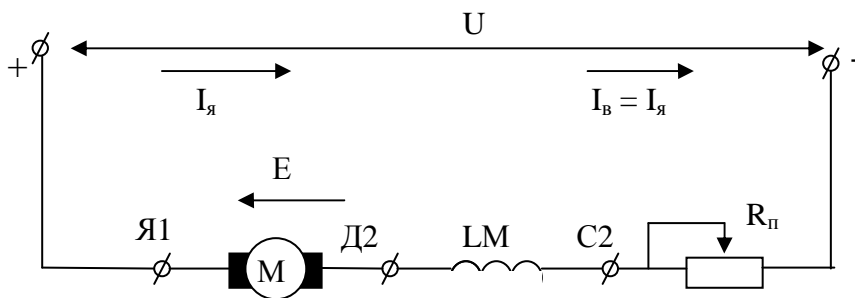


Рис. 3.1 – Схема включення ДПС з послідовним збудженням

При якорі, що обертається, в його обмотці наводиться е.д.с. обертання E. На схемі включення двигуна напрям E зустрічно по відношенню напрямку U, що відповідає руховому режиму роботи. Величина E рівна:

$$E = k \cdot \Phi \cdot \omega,$$

де  $\omega$  – кутова швидкість двигуна;

$\Phi$  – потік двигуна;

$k = \frac{p \cdot N}{2 \cdot \pi \cdot a}$  – конструктивний коефіцієнт двигуна дані для розрахунку, якого приводяться в довідниках. Тут p – число пар полюсів двигуна; N – число активних провідників обмотки якоря; a – число пар паралельних гілок обмотки якоря.

Напрямок якорного струму  $I_{я}$ , як і напрям E на схемі включення показаний для рухового режиму роботи.

Допустиме значення якірного струму двигуна  $I_{я\text{ доп}}$  обмежується умовами комутації і механічною міцністю якоря і не повинне перевищувати номінальний струм  $I_{ян}$  більш ніж в 2,5 рази  $I_{я\text{ доп}} \leq 2,5I_{ян}$ .

Відповідно до рівняння рівноваги напруг при сталому режимі роботи двигуна напруга  $U$ , прикладена до якірного ланцюга двигуна врівноважується падінням напруги в якірному ланцюзі  $I_{я} R_{яц}$  і наведеної в обмотці якоря е.д.с. обертання  $E$ :

$$U = I_{я} R_{яц} + E,$$

де  $R_{яц} = R_{я} + R_{дп} + R_{ко} + R_{в} + R_{п}$  – сумарний опір якірного ланцюга. Тут  $R_{я}$  – опір обмотки якоря;  $R_{дп}$  – опір обмотки додаткових полюсів;  $R_{ко}$  – опір компенсаційної обмотки;  $R_{в}$  – опір обмотки збудження;  $R_{п}$  – опір пускового реостата.

Величина  $I_{я}$  в сталому режимі буде рівна:

$$I_{я} = \frac{U - E}{R_{яц}}.$$

В режимі пуску  $E = 0$ , тому через невеликий опір обмоток пусковий струм  $I_{яп}$  може перевищувати допустиме значення. Для обмеження пускового струму служить пусковий реостат, опір якого  $R_{п}$  вибирається так, щоб  $I_{яп} \leq I_{я\text{ доп}}$

$$I_{яп} = \frac{U}{R_{я} + R_{дп} + R_{ко} + R_{в} + R_{п}} \leq 2,5I_{ян}.$$

З рівняння рівноваги напруг для якірного ланцюга можна одержати аналітичний вираз для механічної характеристики двигуна.

Підставивши в нього замість е.д.с. обертання  $E$  її значення і вирішивши одержане рівняння щодо швидкості, одержимо залежність швидкості двигуна  $\omega$  від струму якоря  $I_{я}$  –  $\omega = f(I_{я})$ , яка називається електромеханічною характеристикою:

$$\omega = \frac{U}{k\Phi} - \frac{I_{я} R_{яц}}{k\Phi}.$$

Оскільки обмотка збудження включена послідовно з якорем двигуна, створюваний нею магнітний потік  $\Phi$  є функцією струму якоря  $I_{я}$ . Залежність  $\Phi = f(I_{я})$  називається кривою намагнічення і носить нелінійний характер типу «зона насичення». Точного аналітичного опису цієї кривої не існує, тому немає і точного аналітичного опису механічної характеристики ДПС з послідовним збудженням. Якщо, нехтуючи насиченням магнітної системи, припустити лінійну залежність між  $\Phi$  і  $I_{я}$  з коефіцієнтом пропорційності  $\alpha$ , тобто рахувати  $\Phi = \alpha I_{я}$ , то обертаючий момент буде рівний:

$$M = k_{\Phi} I_{я} = k\alpha I_{я}^2.$$

Звідси величина струму якоря буде рівна:

$$I_{я} = \sqrt{\frac{M}{k\alpha}}.$$

Підставивши в рівняння електромеханічної характеристики значення для  $I_{я}$ , одержимо рівняння механічної характеристики:

$$\omega = \omega_0 - \Delta\omega_c = \frac{U}{k\Phi} - \frac{I_{я} R_{яц}}{k\Phi} = \frac{U}{k\alpha I_{я}} - \frac{I_{я} R_{яц}}{k\alpha I_{я}} = \frac{U}{k\alpha \sqrt{\frac{M}{k\alpha}}} - \frac{R_{яц}}{k\alpha} = \frac{A}{\sqrt{M}} - B,$$

де  $A = U/k\alpha$ ;  $B = R_{яц}/(k\alpha)$  – постійні величини.

Аналіз одержаного рівняння показує, що вісь ординат є асимптотою для кривої і що в області малих значень моментів вона має велику крутизну.

При  $R_{п} = 0$  і  $U = U_{н}$  двигун працює на природній характеристиці. Для побудови природної характеристики використовуються так звані універсальні характеристики, що приводяться в каталогах для кожної серії двигунів. Вони представляють залежність  $n = f(I_{я})$  і  $M = f(I_{я})$  у відносних одиницях. Знаючи номінальні дані двигуна, можна побудувати його характеристику в абсолютних величинах. Така характеристика приведена на рис. 3.2.

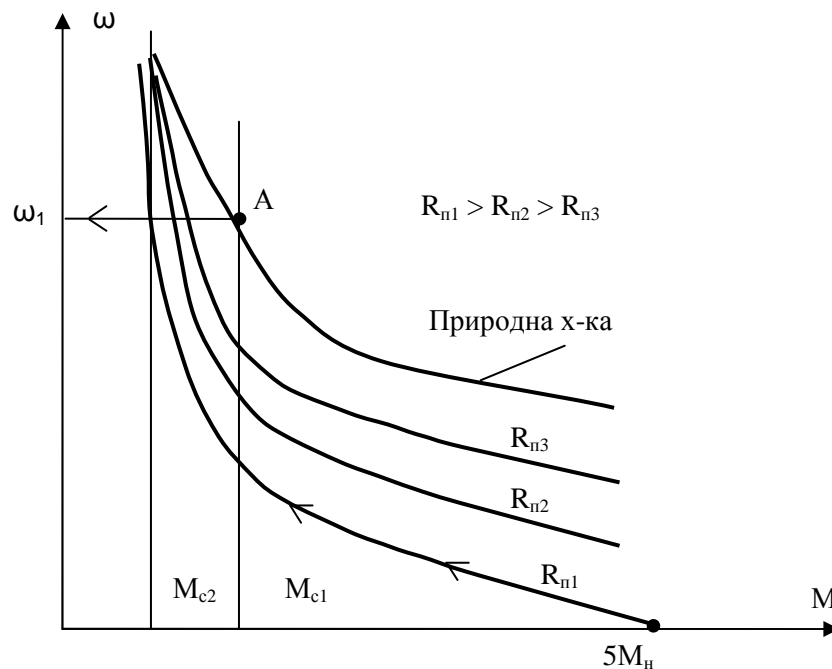


Рис. 3.2 – Механічні характеристики двигуна постійного струму послідовного збудження

Особливістю характеристики є різке збільшення швидкості при зменшенні моменту опору  $M_c$ . По цьому двигун постійного струму з послідовним збудженням не можна запускати в тих випадках, коли  $M_c < 15 \div 20\% M_n$ , оскільки швидкість двигуна може перевищувати допустиме значення  $\omega_{доп} \leq 2,5\omega_n$ . Пояснити цю особливість можна, розглянувши процеси, що протікають в двигуні при зменшенні навантаження. Припустимо, що двигун працював в крапці А на природній характеристиці (див. рис. 3.2) в сталому режимі із швидкістю  $\omega_1$ . При зменшенні моменту опору від величини  $M_{c1}$  наприклад, до величини  $M_{c2}$ , з'являється позитивний динамічний

момент  $M_d > 0$  і швидкість двигуна починає збільшуватися. При незалежному збудженні слідством цього буде збільшення е.д.с. обертання і зменшення струму якоря і обертаючого моменту  $M = kI_a \Phi$ . Збільшення швидкості і зменшення моменту двигуна продовжуватиметься до тих пір, поки момент двигуна  $M$  не стане рівним  $M_{c2}$  і  $M_d$  стане рівним нулю.

При послідовному збудженні е.д.с. обертання  $E$  виявляється функцією двох величин – швидкості  $\omega$  і потоку  $\Phi$ , що зменшується, що збільшується. В результаті цього величина  $E$ , а значить і величини  $I_a$  і  $M$ , із зростанням швидкості істотно зміняться не буде, що приводить до збереження  $M_d > 0$  і подальшого зростання швидкості. Якщо опір пускового реостата  $R_{д1} > 0$ , то статичне падіння швидкості  $\Delta\omega_c$  при одному і тому ж моменті двигуна буде більше, ніж на природній характеристиці. Тому реостатні характеристики матимуть великий нахил до осі абсцис.

Можливі два режими електричного гальмування: динамічне гальмування і гальмування противовмиканням. Рекуперативне гальмування здійснити не можливо, оскільки е.д.с. обертання  $E$  не може бути більше напруги якірного джерела  $U$ .

**Динамічне гальмування** здійснюється двома способами: з самозбудженням і з незалежним збудженням. Схема включення двигуна і механічні характеристики для першого випадку приведені на рис. 3.3.

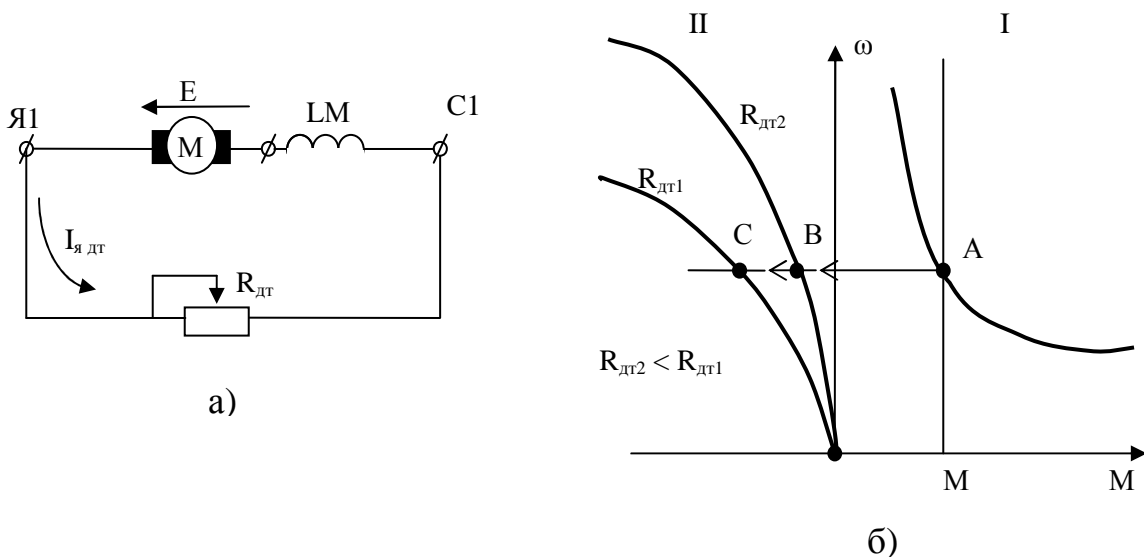


Рис. 3.3 – а) схема включення двигуна в режимі динамічного гальмування з самозбудженням;

б) характеристики двигуна в режимі динамічного гальмування з самозбудженням

Двигун відключений від напруги джерела, а обмотка збудження перемкнута так, щоб напрям струму  $I_b$  в ній був таким же як а в руховому режимі (див. рис. 3.1). Збереження напрямку струму виключає знищення малого залишкового потоку, пов'язаного з намагніченням статора двигуна. Цей потік і є причиною самозбудження: в обмотці якоря, що обертається під дією інерційних сил в колишньому

напрямі, наводиться е.д.с.  $E$ , напрям якої такий же, як і в руховому режимі. Під дією  $E$  в контурі динамічного гальмування з'являється струм, що приводить до збільшення потоку  $\Phi$ , е.д.с.  $E$  і струму  $I_{я}$ . Оскільки струм  $I_{я}$  по відношенню до рухового режиму має протилежний напрям, момент двигуна стає гальмівним. Двигун з точки  $A$  в першому квадранті переходить в точку  $B$  або  $C$  на характеристиці динамічного гальмування в другому квадранті. Спочатку процес самозбудження проходить дуже інтенсивно і це приводить до кидка гальмівного моменту, здатного викликати удари в механічній частині приводу. Тому частіше застосовують динамічне гальмування з незалежним збудженням. Схема включення двигуна і механічні характеристики приведені на рис. 3.4.

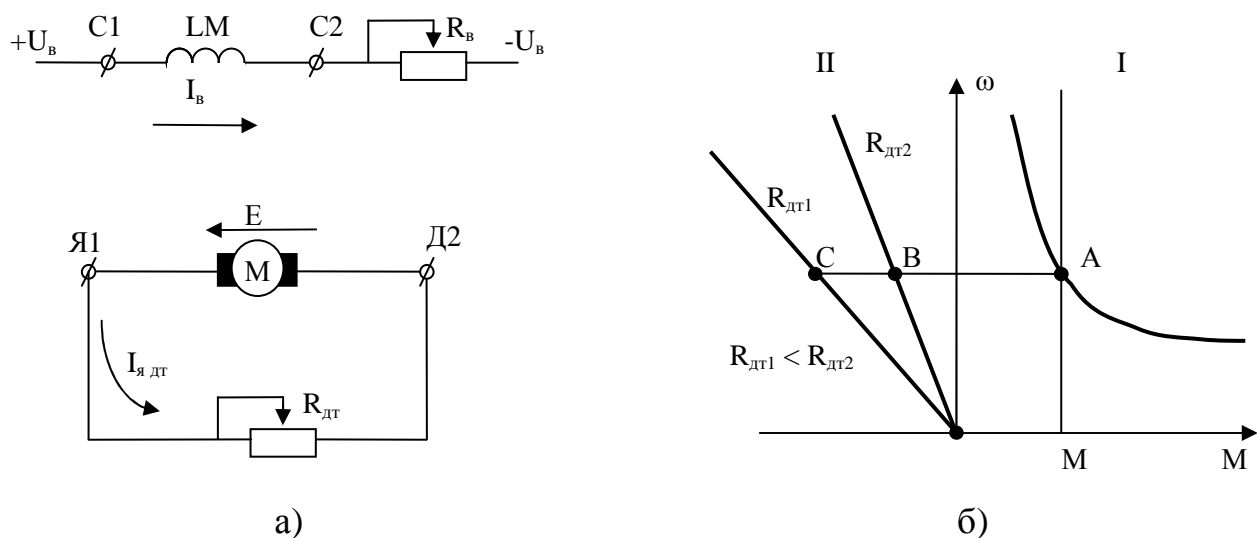


Рис. 3.4 – а) схема включення двигуна;  
 б) характеристики двигуна в режимі динамічного гальмування з незалежним збудженням

Затиски якоря двигуна закорочуються на опір динамічного гальмування  $R_{дт}$ , а обмотка збудження підключається до напруги джерела через опір  $R_{в}$ . Струм в ній направлений як і в руховому режимі і встановлюється рівним номінальному. Характеристики аналогічні характеристикам ДПС з незалежним збудженням: вони лінійні, розташовані в другому квадранті і проходять через початок координат.

**Гальмування противовмиканням**, здійснюється у тому випадку, коли обмотки двигуна включені для одного напрямку обертання, а якорь двигуна під впливом сил інерції або активного моменту опору обертається в протилежну сторону – проти включення.

Реверсивна схема включення ДПС з послідовним збудженням приведена на рис. 3.5.

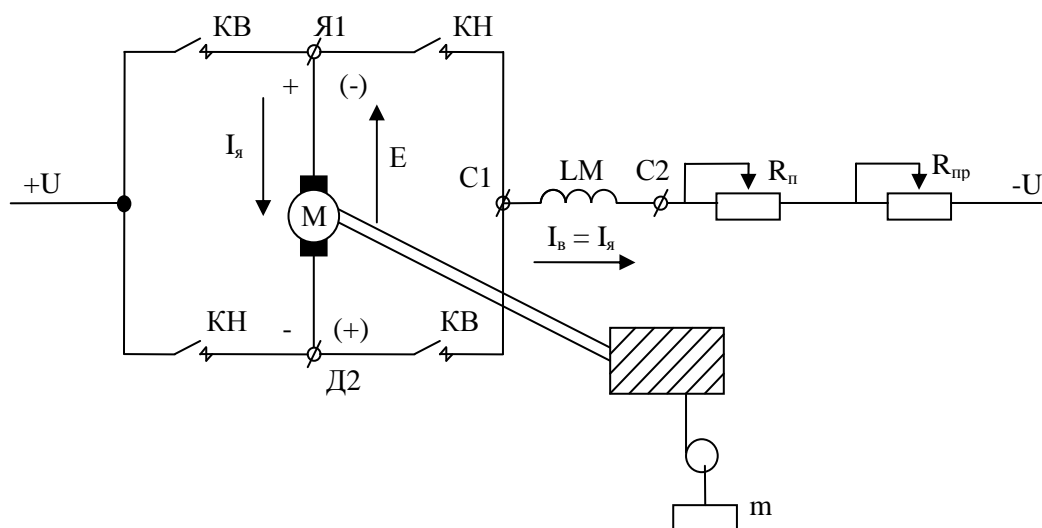


Рис. 3.5 – Реверсивна схема включення ДПС з послідовним збудженням

Реверс здійснюється з боку якоря двигуна, для чого якір включений в реверсивний міст, утворений головними контактами контакторів напряму обертання КВ («вперед» в електроприводах пересування або «верх» в електроприводах підйому) і КН («назад» і «низ» відповідно). При реверсі з боку обмотки збудження вона включається в реверсивний міст, утворений контактами електричних апаратів меншого габариту, оскільки споживана по ланцюгу живлення обмотки збудження потужність не перевищує 15% потужності, споживаної по ланцюгу живлення якоря. Проте реверс з боку якоря здійснюється набагато швидше, оскільки постійна часу якірного ланцюга  $T_{я}$  на порядок менше постійного часу ланцюга збудження  $T_{в}$ .

В ланцюг протікання струму  $I_{я}$  включені пусковий реостат з опором  $R_{п}$  і реостат противовмикання  $R_{пр}$ . Така схема включення двигуна може бути в електроприводі підйомної лебідки, на крюку якої підвішений вантаж масою  $m$ .

Припустимо, що замкнуті контакти КВ, а  $R_{п}$  і  $R_{пр}$  зашунтовані, тобто їх опори рівні нулю. Затиск якоря Я1 підключений до +U, а Д2 до -U джерела якірної напруги. Струм в якорі  $I_{я}$  протікає від Я1 до Д2, а е.д.с. обертання  $E$  направлено у зворотний бік, тобто від Д2 до Я1.

Розмикаються контакти КВ і замикаються КН. Якір двигуна підключається до джерела якірної напруги із зворотною полярністю. Це означає, що двигун включається для роботи в протилежному напрямі. У момент перемикання якір двигуна під дією інерційних сил зберігає напрям обертання, тобто обертається проти включення. Залишається незмінним і напрям струму в обмотці збудження LM. Тому зберігається і напрям е.д.с. обертання  $E = k\omega\Phi$ .

Із зміною полярності напруги на затисках якоря змінює напрям струм якоря і тому момент двигуна стає гальмівним. Оскільки величина  $E$  в сталому режимі роботи двигуна складає біля 90% від величини  $U$ , то у момент перемикання напруги на затисках якоря і струм на початку режиму гальмування противовмиканням  $I_{япр}$  істотно перевищуватиме пусковий струм  $I_{яп}$ . Тому для його обмеження, а також обмеження моменту двигуна, одночасно із замикачем КН в ланцюг якоря окрім пускового реостата  $R_{п}$  необхідно включати і реостат противовмиканням  $R_{пр}$ . Опір

реостата  $R_{пр}$  повинен бути таким, щоб  $I_{япр} \leq 2,5I_{ян}$ . Тоді струм  $I_{япр}$  визначатиметься по формулі:

$$-I_{япр} = \frac{-(U + E)}{R_{я} + R_{дп} + R_{ко} + R_{п} + R_{пр}} \leq 2,5I_{ян}.$$

Характеристики ДПС з послідовним збудженням, відповідні схемі включення двигуна на рис. 3.5, приведені на рис. 3.6а. Оскільки схема включення двигуна реверсивна, характеристики розташовані в чотирьох квадрантах. При замкнутих контактах КВ і зашунтованих  $R_{п}$  і  $R_{пр}$  двигун працює на природній характеристиці в першому квадранті в крапці А.

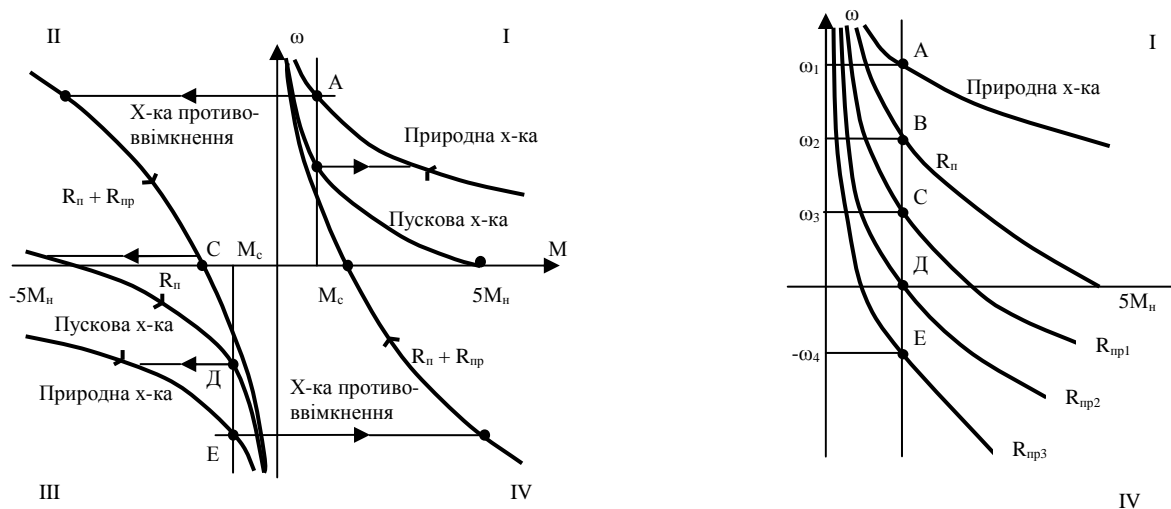


Рис. 3.6 – а) характеристики ДПС з послідовним збудженням в режимі гальмування противовмиканням;  
б) аналогічні характеристики при активному  $M_c$

У момент перемикання змінюється полярність напруги на затисках якоря двигуна і він виявляється включеним для роботи в напрямі «назад». Тому його характеристики починатимуться в третьому квадранті в крапці з координатами  $(0; -\omega_0)$ .

Змінюється напрям струму якоря  $I_{я}$  і обертаючого моменту двигуна  $M$ . Однак швидкість двигуна  $\omega$  залишається незмінною, оскільки постійна часу електромагнітного перехідного процесу набагато менше постійну часу електромеханічного перехідного процесу. Тому двигун з крапки А переходить в крапку В на характеристиці противовмикання в другому квадранті по прямій, паралельній осі абсцис. Якщо величина  $R_{пр}$  вибрана правильно, то кидок струму якоря і гальмівного моменту при перемиканні не перевищать допустимого значення.

Під впливом гальмівного моменту швидкість двигуна зменшується і якщо він гальмується для зупинки, то в крапці С необхідно розімкнути КН і відключити двигун від напруги джерела. Якщо ж відразу після зупинки починається розгін в протилежному напрямі, то при швидкості близької до нуля необхідне зашунтувати  $R_{пр}$  і переключити двигун на граничну пускову характеристику. Це забезпечить розгін в напрямі «назад» з максимальним прискоренням і дозволить зменшити час розгону.



В третьому квадранті двигун працюватиме в крапці Д на пусковій характеристиці або в крапці Е на природній.

Якщо ще раз змінити полярність напруги на затисках якоря двигуна і ввести в якірний ланцюг  $R_{\Pi}$  і  $R_{\text{пр}}$ , двигун перейде з крапки Е в крапку F на характеристиці протиковикання в четвертому квадранті. Процес гальмування і розгін в напрямі «вперед» протікатимуть аналогічно.

В електроприводах з активним  $M_c$ , наприклад, в електроприводі підйомної лебідки, де активний  $M_c$  створює вантаж масою  $m$ , підвішений на крюку, режим гальмування протиковиканням можна одержати за рахунок зміни механічної характеристики двигуна. Схема включення двигуна приведена на рис. 3.5, а відповідні схемі включення механічні характеристики двигуна приведені на рис. 3.6б. Вони розташовуються в першому і четвертому квадранті, оскільки активний  $M_c$  не змінює свого напрямку при зміні напрямку обертання двигуна.

Припустимо, що замкнуті контакти КВ і зашунтовані  $R_{\Pi}$  і  $R_{\text{пр}}$ . Двигун із швидкістю  $\omega_1$  працює у напрямі підйому на природній характеристиці в крапці А.

При введенні в ланцюг струму якоря пускового реостата  $R_{\Pi}$  двигун перейде на граничну пускову характеристику і працюватиме в крапці В із швидкістю  $\omega_2$ . З введенням  $R_{\text{пр}}$  нахил характеристики збільшуватиметься, а швидкість двигуна зменшуватиметься ( $\omega = \omega_3$  при  $R_{\text{пр}} = R_{\text{пр}1}$ ).

Можна так підібрати величину  $R_{\text{пр}}$ , що  $M$  буде рівний  $M_c$  при швидкості двигуна  $\omega$ , рівній нулю. На рис. 3.6б цьому випадку відповідає крапка Д при  $R_{\text{пр}} = R_{\text{пр}2}$ . Двигун зупиняється, і вантаж, що піднімається, утримується в підвішеному стані за рахунок обертаючого моменту двигуна  $M$ . При  $R_{\text{пр}} = R_{\text{пр}3}$  момент двигуна  $M$  стане менше  $M_c$ . Піднятий вантаж почне опускатися і двигун, включений для роботи на підйом, під дією активного  $M_c$  обертатиметься у напрямі опускання – проти включення. Момент двигуна стає гальмівним. Оскільки якір двигуна тепер обертається у зворотний бік, а напрям магнітного потоку не змінився, змінить свій напрям е.д.с. обертання двигуна  $E = k\Phi\omega$ . Величина якірного струму  $I_{\text{япр}}$  визначатиметься виразом:

$$I_{\text{япр}} = \frac{U + E}{R_{\text{я}} + R_{\text{дп}} + R_{\text{ко}} + R_{\Pi} + R_{\text{пр}3}}.$$

Із збільшенням швидкості опускання вантажу, збільшуватимуться  $E$ ,  $I_{\text{япр}}$  і гальмівний момент двигуна  $M$ . При  $\omega = -\omega_4$  (крапка Е на рис. 3.6б) величина гальмівного моменту двигуна  $M$  стане рівній величині активного  $M_c$  і збільшення швидкості опускання вантажу припиниться.

Такий режим гальмування широко використовується в електроприводах підйомних лебідок, оскільки він дозволяє одержати дуже низькі «посадочні» швидкості двигуна і встановлювати вантаж в необхідному місці без удару.

При гальмуванні протиковиканням е.д.с. обертання  $E$  направлена послідовно – злагоджено з напругою якірного джерела  $U$ , тобто двигун працює в режимі генератора, включеного послідовно з мережею. Він перетворить механічну енергію в електричну, а також споживає електричну енергію з мережі. Вся електрична енергія виділяється у вигляді тепла в двигуні і на опорах, включених в ланцюзі протікання струму якоря. Тому гальмування протиковиканням не економічне з погляду витрат

енергії, проте в порівнянні з іншими видами воно забезпечує мінімальний час гальмування.

### **3.3. Характеристика системи керування.**

Принципова електрична схема лабораторної установки наведена на рис. 3.7. Установка призначена для дослідження електромеханічних характеристик і схеми автоматичного управління електропривода механізму пересування крана. В електроприводі використовується двигун постійного струму з послідовним збудженням. Із всіх двигунів постійного струму двигун цього типу застосовується в механізмах підйому й пересування машин найбільш часто. По-перше, він має велику переважувальну здатність (кратність максимального моменту стосовно номінального досягає значення 4-5). А по-друге, механічна характеристика двигуна забезпечує автоматичне підвищення продуктивності крана за рахунок підвищення швидкості підйому або пересування при зменшенні моменту опору (максимально припустима швидкість обертання двигуна в 2,5 рази перевищує номінальну швидкість).

Керування крановим двигуном М1 типу Д-12 здійснюється за допомогою магнітного контролера П-160. Контролер має симетричну схему, тобто забезпечує однакові механічні характеристики М1, автоматичний пуск і гальмування, реостатне регулювання швидкості при русі крана в обох напрямках.

Керування магнітним контролером здійснюється за допомогою командо-контролера КК типу КП-1214, що має фіксоване нульове положення й по чотири робочих положення рукоятки в напрямку руху «уперед» і «назад». У першому, другому і третьому робочих положеннях КК у якірне коло М1 вводяться додаткові резистори. У четвертому положенні рукоятки КК двигун працює на природній характеристиці. Як додаткові використовуються стандартні блоки дрових резисторів типу БК-12. Конкретна модифікація використовуваних блоків і розбивка їх на ступені визначаються потужністю двигуна й можливостями схеми керування [4].

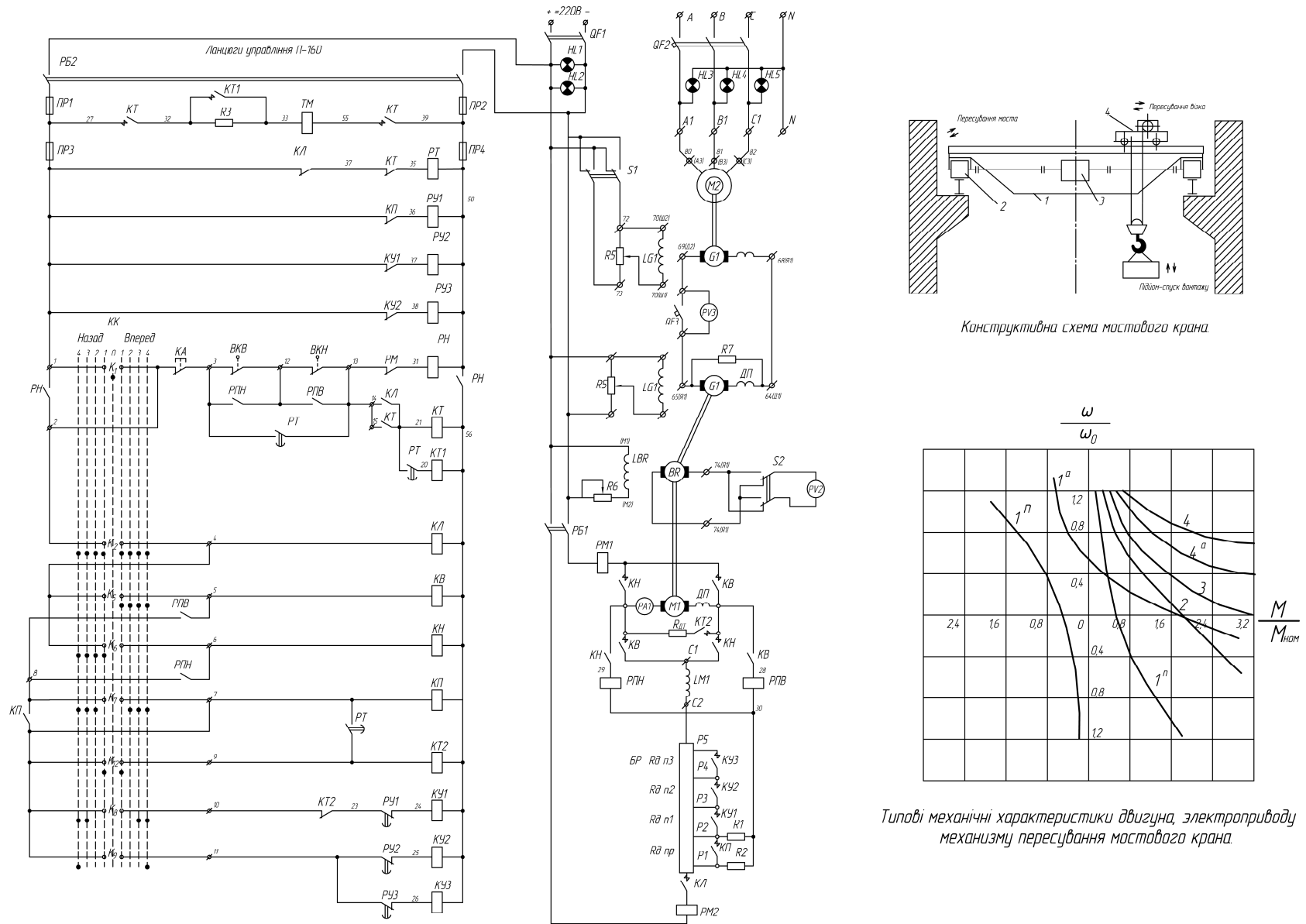


Рис. 3.7 – Електрична принципова схема установки постоянного струму

Типові механічні характеристики електропривода механізму пересування з магнітним контролером П-160 наведені на рис. 3.8. Вони забезпечують плавне наростання моменту, який розвиває двигуном при пуску. Під час роботи двигуна на характеристиках 1<sup>п</sup>, 1<sup>а</sup> й 2 момент двигуна обмежений. Подальший розгін на характеристиках 3, 4<sup>а</sup> й 4 здійснюється при граничному моменті, рівному 220-250%  $M_{ном}$ . Тим самим забезпечується мінімізація часу пуску.

Для механічного загальмовування вала М1 застосовується колодкове пружинне гальмо типу ТК із електромагнітом постійного струму серії МП.

Живлення головних кіл і кіл управління електроприводу здійснюється напругою 220 В від мережі постійного струму.

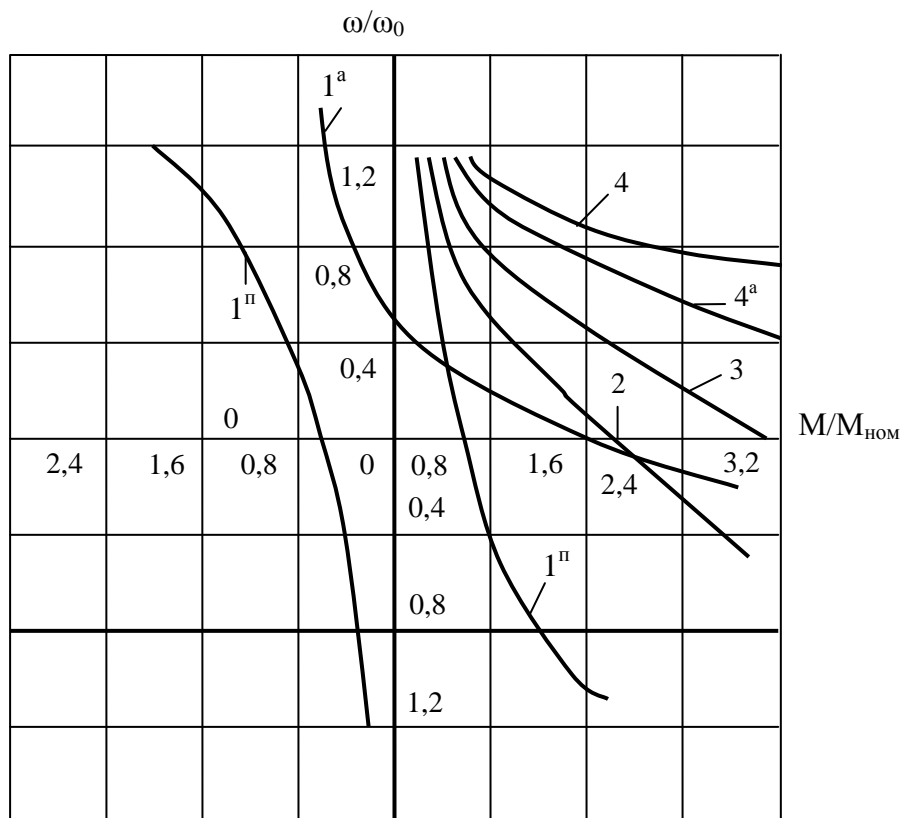


Рис. 3.8 – Типові механічні характеристики двигуна, керованого магнітним контролером П-160

Дослідження електромеханічних характеристик двигуна М1 здійснюється за допомогою навантажувального агрегату, до складу якого входять: генератори постійного струму незалежного збудження G1, G2 й асинхронний короткозамкнений двигун M2. Генератор G1 приводиться в обертання двигуном М1, а генератор G2 – двигуном М2. Величина струму в обмотках збудження LG1 й LG2 генераторів, а отже, і величина їх ЕРС регулюється, відповідно, за допомогою повзункових реостатів R5 й R4. Крім того, за допомогою перемикача S1 можна змінювати полярність напруги, що прикладається до LG2, і в такий спосіб змінювати напрямок ЕРС генератора. При працюючих М1, М2 і розімкненому автоматичному вимикачі QF3 показання вольтметра визначаються алгебраїчною сумою електрорушійних

сил генераторів G1 й G2. За допомогою перемикача S1 і резистора R4 можна величину ЕРС G2 установити рівною ЕРС G1, але включеною стосовно неї зустрічно. Алгебраїчна сума ЕРС G1 й G2 у цьому випадку виявиться рівною нулю, і вольтметр PV1 буде давати нульові показання. При замиканні QF3 якорі G1 й G2 утворять загальне коло, величина струму в якому дорівнює нулю. Якщо тепер за допомогою R4 зменшувати струм в обмотці збудження G2, то його ЕРС стає меншою ЕРС G1, і G2 стосовно G1 починає працювати в режимі двигуна. Генератор G1 стосовно G2 працює в генераторному режимі й тим самим створює навантаження для двигуна M1. Величина навантаження буде тим більша, чим більша буде різниця між величинами ЕРС G1 й G2. Струм навантаження M1 реєструється амперметром PA1, а швидкість обертання – вольтметром PV2, підключеним до якоря тахогенератора BR.

Для виключення можливості роботи M1 у режимі холостого ходу паралельно якорю G1 постійно приєднаний резистор R7. Струм холостого ходу і якірного кола M1 не повинен бути менше 5 А.

### 3.4. Програма роботи та порядок її виконання.

1. У процесі підготовки до проведення лабораторної роботи вивчити принципову електричну схему установки так, щоб з її допомогою пояснити всі можливі режими роботи M1 (рушійний і гальмівний) і одержувані при цьому механічні характеристики; принцип дії застосовуваних у схемі захистів, а також склад і принцип дії навантажувального агрегату (див. розділ 7).
2. На початку лабораторної роботи з'ясувати розташування основних елементів електроприводу механізму пересування й навантажувального агрегату.
3. Зібрати вимірну частину схеми, що включає в себе автоматичні вимикачі QF1, QF2, QF3, вольтметри PV1, P2, амперметр PA1, повзункові реостати R4, R5 і клемну дошку, на якій установлені перемикач S1, кнопки КА й кінцеві вимикачі ВКВ, ВКН. Рукоятки автоматичних вимикачів повинні перебувати в положенні «0».
4. Запустити досліджуваний двигун M1. Для цього необхідно рукоятку КК поставити в нульове положення. За допомогою R5 установити в обмотці збудження G1 номінальний струм. Включити QF1. Перевести рукоятку КК у перше положення заданого напрямку. Після того, як M1 досягне сталої швидкості обертання, за допомогою R5 установити струм у якірному колі M1, контрольований PA1, рівним 5 А.
5. Запустити навантажувальний агрегат. Для чого необхідно переконатися в тім, що **РУКОЯТКА QF3 ПЕРЕБУВАЄ В ПОЛОЖЕННІ «0»**. Потім включити QF2. Після того, як M2 досягне сталої швидкості обертання, за допомогою R4 домогтися нульових показників PV1. Якщо це не вдається, перевести S1 в інше положення. **ТІЛЬКИ ПРИ НУЛЬОВИХ ПОКАЗАННЯХ PV1 ВКЛЮЧИТИ QF3.**
6. Зняти електромеханічну характеристику на першому положенні рукоятки КК. Для цього за допомогою R4 збільшувати навантаження M1, фіксуючи через кожні 2-3 А показання PA1 й PV2. Особливо ретельно зафіксувати показання PA1, при яких швидкість M1 буде дорівнює нулю. Струм у якірному колі M1 збільшувати до 25 А. Якщо R4 виявиться в крайнім положенні при менших

показаннях PA1, необхідно перевести S1 в інше положення. По закінченні досліду перевести S1 і повзунок R4 у початковий стан і зняти навантаження з M1. **РОЗІМКНУТИ QF3.**

7. Зняти електромеханічну характеристику на другому положенні рукоятки КК. Для цього перевести рукоятку КК у друге положення. За допомогою R5 установити струм у якірному колі M1 рівним 5 А. За допомогою R4 й S1 домогтися нульових показань PV1. Включити QF3. За допомогою R4 збільшувати навантаження M1, фіксуючи через кожні 2-3 А показання PA1 і PV2. Струм у якірному колі M1 збільшувати до 25 А. Якщо повзунок R4 виявиться в крайнім положенні при менших показаннях PA1, необхідно перевести в інше положення S1. По закінченні досліду перевести R4 у початковий стан і зняти навантаження з M1. **РОЗІМКНУТИ QF3.**
8. Зняти електромеханічні характеристики M1 на третім і четвертому положеннях КК. Досліди проводяться аналогічно описаному в п. 8.7. Наприкінці кожного досліду **РОЗІМКНУТИ QF3.**
9. Зняти електромеханічну характеристику M1 на першому положенні КК при шунтуванні якоря M1 опором динамічного гальмування. Для цього перевести рукоятку КК із четвертого положення в перше. Дослід проводити аналогічно описаному в п. 8.7. Наприкінці досліду **РОЗІМКНУТИ QF3 й QF2. ВІДКЛЮЧИТИ R4 ВІД НАПРУГИ МЕРЕЖІ.**

### **3.5. Вказівки щодо оформлення звіту.**

На підставі отриманих експериментальних даних побудувати електромеханічні характеристики електроприводу в чотирьох квадрантах.

## **КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ**

1. *Пояснити влаштування і принцип дії двигуна постійного струму.*
2. *Пояснити роботу схеми і механічні характеристики двигуна при різних положеннях рукоятки командоконтролера в режимі роботи M1, як двигуна.*
3. *Пояснити роботу схеми при аварійному гальмуванні M1.*
4. *Пояснити роботу схеми при обслуговуванні краном «мертвої зони».*
5. *Чому в механізмах підйому й пересування машин використовуються двигуни постійного струму з послідовним збудженням?*
6. *Пояснити принципи дії захистів, застосовуваних в електроприводі механізму пересування крана.*
7. *Пояснити принцип дії й порядок запуску навантажувального агрегату лабораторної установки.*
8. *Пояснити влаштування, принцип дії й графічне позначення на електричних принципових схемах електромагнітного реле часу.*
9. *Пояснити влаштування, принцип дії й графічне позначення на електричних принципових схемах електромагнітного контактора постійного струму, командоконтролера.*
10. *Чим забезпечується плавність пуску й гальмування M1?*
11. *Пояснити влаштування і принцип дії механічного гальма.*
12. *Які вимоги пред'являються до кранових електроприводів?*
13. *У результаті чого забезпечується зменшення часу пуску M1?*

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПЕРЕСУВАННЯ ВАНТАЖОПІДЙОМНОГО КРАНУ ЗА СИСТЕМОЮ «КЕРОВАНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ-ДВИГУН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ»

**4.1. Мета роботи** – засвоїти принцип дії схеми керування та методи перевірки електромеханічних характеристик електроприводу за системою «Керований перетворювач-двигун постійного струму».

#### 4.2. Загальні положення.

Схему вмикання двигуна в системі П-Д приведено на рис. 4.1а. Якір двигуна М живиться від керованого перетворювача П, у якості якого можуть використовуватися електромашинні, електромагнітні або напівпровідникові пристрої. Незалежно від принципу дії будь-який з названих пристроїв здійснює, перетворення напруги змінного струму  $U_c$  в напругу постійного струму  $U$  (випрямлення), і забезпечує можливість регулювання величини і полярності випрямленої напруги. Статичну характеристику реверсивного перетворювача приведено на рис. 4.1б. При зміні управляючого сигналу від значення  $+U_{yn}$  до  $-U_{yn}$  ЕРС перетворювача  $E_{\pi}$  змінюється від  $+E_{\pi n}$  до  $-E_{\pi n}$ . Розташування точки номінального режиму на статичній характеристиці таке, що при  $U_y > U_{yn}$  ЕРС перетворювача може на 30÷40% перевищувати номінальне значення.

Обмотка збудження двигуна LM живиться від окремого джерела. Величина струму в ній  $I_b$  регулюється за допомогою резистора  $R_b$ .

Схему заміщення для якірного кола системи П-Д приведено на рис. 4.1в. Окрім згадуваних раніше елементів на ній позначені індуктивності перетворювача  $L_{\pi}$  і двигуна  $L_y$ , активні опір якоря  $R_y$  і перетворювача  $R_{\pi}$ , ЕРС обертання  $E$ , що індуктується в обмотці якоря М.

Рівняння рівноваги ЕРС для сталого режиму в якірному колі двигуна ( $dI_y/dt = 0$ ) матиме вигляд:

$$E_{\pi} = I_y R_y + I_y R_{\pi} + E.$$

Величина ЕРС обертання визначається як

$$E = k\Phi\omega,$$

де  $k$  – конструктивний коефіцієнт;  
 $\Phi$  – магнітний потік;  
 $\omega$  – швидкість обертання двигуна.

Підставивши в рівняння рівноваги ЕРС вираз для  $E$  і вирішивши його щодо  $\omega$ , отримаємо рівняння електромеханічної характеристики двигуна  $\omega = f(I_y)$ :

$$\omega = \frac{E_{\pi}}{k\Phi} - \frac{I_y R_y}{k\Phi} - \frac{I_y R_{\pi}}{k\Phi} = \omega_0 - \Delta\omega_{c1} - \Delta\omega_{c2},$$

де  $\omega_0$  – швидкість ідеального холостого ходу;  
 $\Delta\omega_{c1}$ ,  $\Delta\omega_{c2}$  – складові статичного падіння швидкості  $\Delta\omega_c$ .

З рівняння виходить, що електромеханічна характеристика двигуна в системі П-Д – пряма лінія. На рис. 4.1г її побудовано в першому квадранті та позначено цифрою 1.

Оскільки обертовий момент  $M$  двигуна прямопропорційно залежить від струму якоря  $M = k\Phi I_{\text{я}}$ , то механічна характеристика двигуна  $\omega = f(M)$  матиме такий же вигляд і відрізнятись від електромеханічної тільки масштабом по осі абсцис.

Нахил характеристики 1 до осі абсцис більше, ніж у наведеній там же природної характеристики, оскільки через падіння напруги від якірного струму на внутрішньому активному опорі перетворювача при одному і тому ж струмі якоря (моменті опору) до статичного падіння швидкості на природній характеристиці  $\Delta\omega_{c1} = I_{\text{я}} R_{\text{я}} / k\Phi$  додається складова  $\Delta\omega_{c2} = I_{\text{я}} R_{\text{п}} / k\Phi$ .

При зміні управляючого сигналу  $U_{\text{у}}$  змінюється величина  $E_{\text{п}}$ , що у свою чергу веде до зміни швидкості ідеального холостого ходу  $\omega_0$ . Обидві складові статичного падіння швидкості від величини  $E_{\text{п}}$  не залежать і тому при зміні  $E_{\text{п}}$  залишаються постійними.

Отже, при зміні управляючого сигналу від  $U_{\text{ун}}$  до нуля штучні характеристики двигуна виходять паралельним перенесенням вниз прямої 1. Таким чином забезпечується плавне регулювання швидкості двигуна вниз від основної.

Діапазон регулювання швидкості  $D$  в даному випадку обмежений і не може перевищувати величини  $D = (8 \div 10) : 1$ . Це пов'язано, по-перше, з необхідністю зберігати перевантажувальну здатність двигуна. Для двигунів постійного струму з незалежним збудженням коефіцієнт перевантаження по струму якоря (моменту)  $k_{\text{п}}$ , визначуваний як відношення допустимого струму  $I_{\text{я доп}}$  до номінального струму якоря  $I_{\text{я}}$   $k_{\text{п}} = I_{\text{я доп}} / I_{\text{ян}} \leq 2,5$ . Отже, характеристика 2 на рис. 4.1г, одержувана при паралельному перенесенні характеристики 1, є останньою, на якій зберігається перевантажувальна здатність двигуна, а діапазон регулювання швидкості, визначуваний звичайно при  $I_{\text{ян}}$ , знаходиться як  $D = \omega_1 / \omega_2$ .

Розширений діапазон регулювання швидкості може бути тільки за рахунок зменшення нахилу характеристик 1, 2, тобто за рахунок зменшення статичного падіння швидкості  $\Delta\omega_{\text{с}}$ .

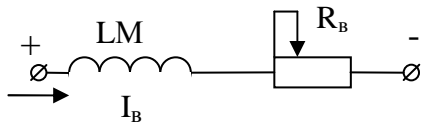
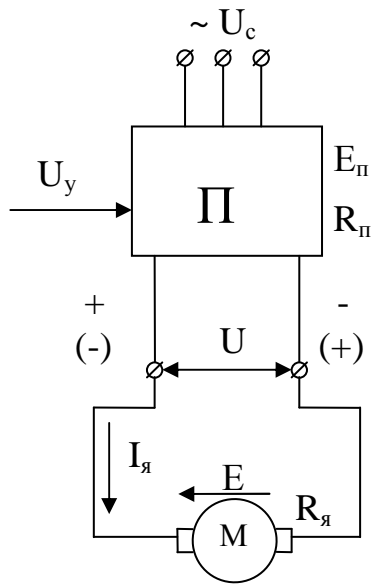
Другою причиною, що обмежує діапазон регулювання швидкості, є необхідність забезпечення заданої точності регулювання. Точність регулювання швидкості кількісно оцінюється статизмом механічних характеристик двигуна  $S_{\text{х}}$ , який показує на скільки відсотків від швидкості ідеального холостого ходу  $\omega_0$  зменшиться швидкість двигуна  $\omega$  при збільшенні навантаження на двигун від моменту опору холостого ходу до моменту опору, рівному номінальному моменту двигуна. Величина статизму визначається як

$$S_{\text{х}} = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot 100\% ,$$

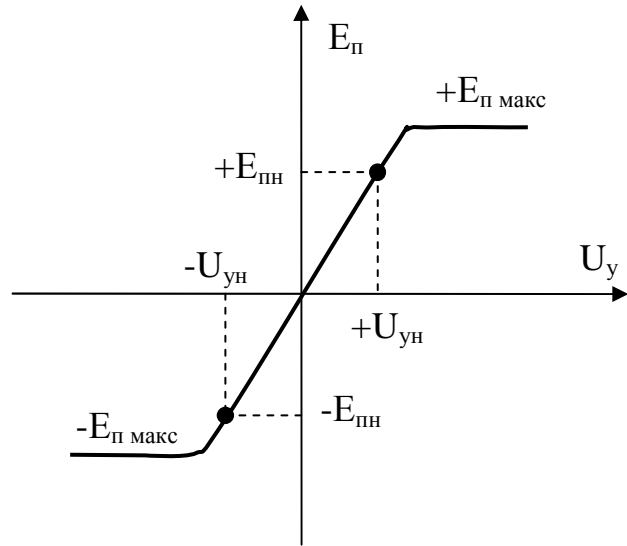
де  $(\omega_0 - \omega) = \Delta\omega_{\text{с}}$  – статичне падіння швидкості.

При такому способі регулювання із зменшенням швидкості двигуна величина  $\Delta\omega_{\text{с}}$  залишається постійною, тому статизм збільшується, а точність регулювання погіршується. Найбільшою величина статизму буде для характеристики 2. До необхідного значення вона може бути зменшена тільки за рахунок зменшення  $\Delta\omega_{\text{с}}$ .

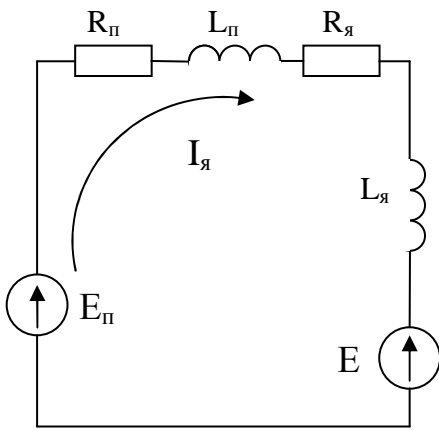




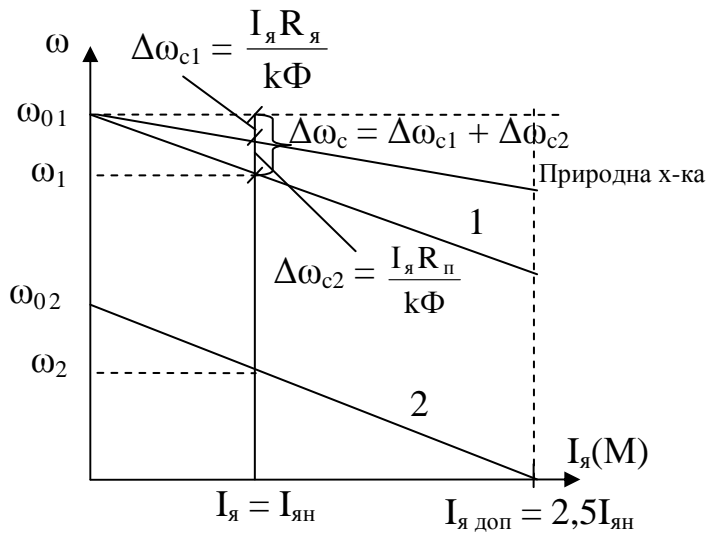
а)



б)



в)



г)

Рис. 4.1 – а) схема вмикання двигуна;  
 б) статична характеристика перетворювача;  
 в) схема заміщення; г) характеристики двигуна

### 4.3. Характеристика системи електроприводу.

Електрична принципова схема лабораторної установки приведена на рис. 4.2. Як керований перетворювач (генератор) G1 в ній використовується електромашинний підсилювач з поперечним полем типу ЕМП-50. Підсилювач має два каскади. Перший каскад включає чотири обмотки управління і обмотку якоря з виходом на короткозамкнуті щітки поперечної осі 1-1. Сумарний магнітний потік обмоток управління  $\Phi$  індукуює в обмотці якоря ЕРС поперечної осі  $E_{кз}$ . В другому каскаді підсилення струм  $I_{кз}$  створює поперечний потік реакції якоря  $\Phi_{кз}$ , який індукуює в якорі ЕРС подовжньої осі  $E_{ЕМУ}$ , що знімається зі щіток 2-2. Для компенсації реакції якоря від струму навантаження ЕМП по подовжній осі на статорі розташовується компенсаційна обмотка КО, потік якої регулюється за допомогою опору  $R_k$ . Обмотка додаткових полюсів ДП поліпшує комутацію по подовжній осі машини.

Зміна величини і напрямку сумарного потоку  $\Phi$  приводить до зміни величини і полярності  $E_{ЕМУ}$ . Тому характеристика холостого ходу ЕМУ має вигляд кривої, приведеної на рис. 4.1б.

Якір генератора G1 приводиться в обертання короткозамкнутим асинхронним двигуном M1. Підключення до мережі обмотки статора M1 здійснюється через автоматичний вимикач QF1 і головні контакти магнітного пускача KM1. У фазах А і С кіл живлення обмотки статора M1 включені чутливі елементи теплового реле КК, що захищає M1 від перевантаження. Розмикаючий контакт КК є включено в коло живлення котушки KM1.

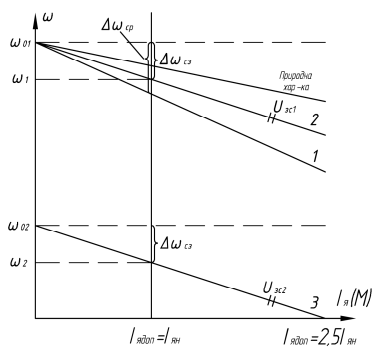
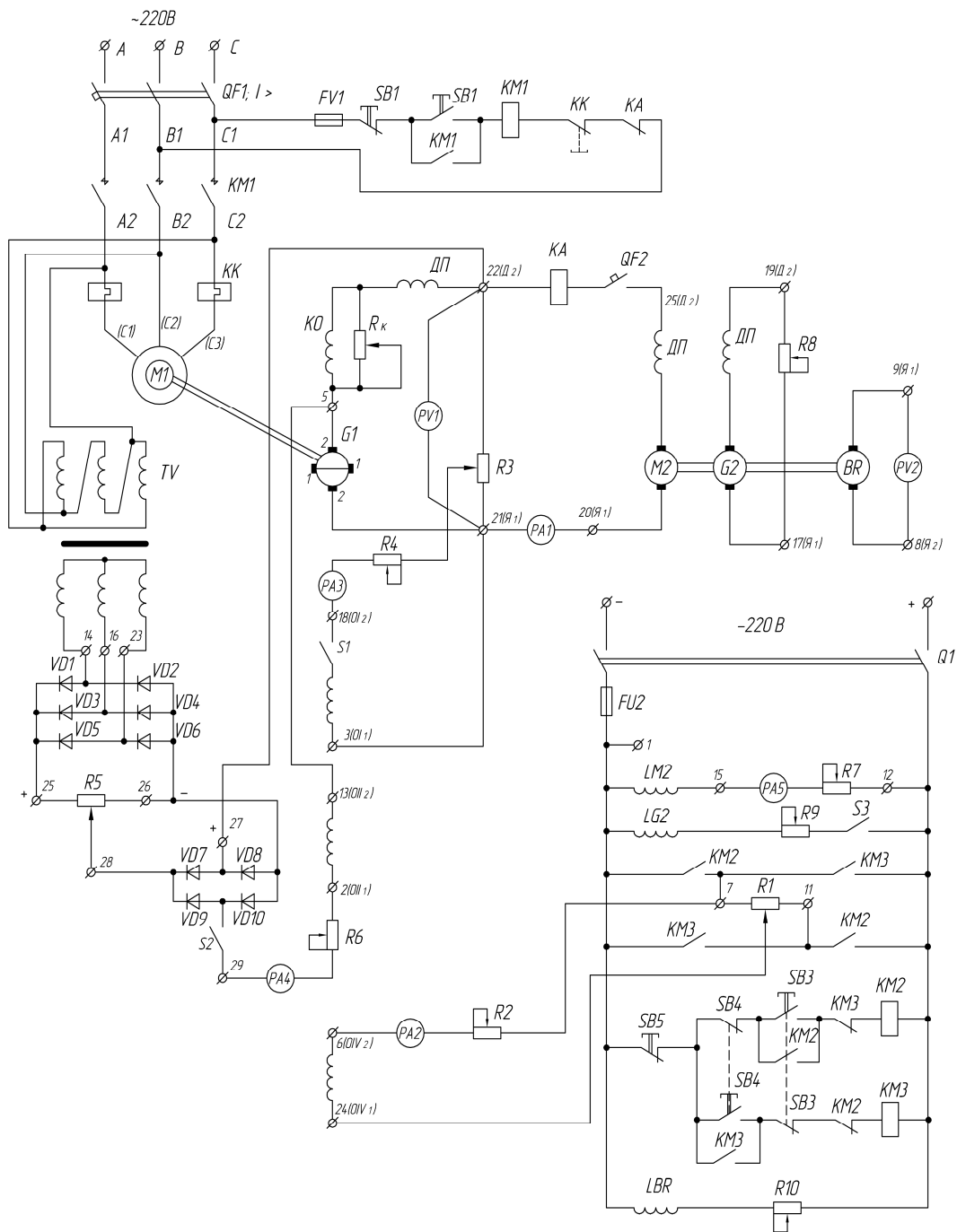
До якоря G1 через автоматичний вимикач QF2 і амперметр PA1 підключений якір досліджуваного двигуна M2. Обмотка збудження двигуна LM2 підключена через рубильник Q1 до незалежного джерела напруги. Струм в обмотці регулюється за допомогою резистора R7 і контролюється амперметром PA5. Вольтметр PV1 контролює напругу на якорі M2.

Навантаженням досліджуваного двигуна M2 є генератор G2. Вал G2 сполучений з валом M2. До якоря G2 підключений резистор R8. За його допомогою регулюється струм в якірному колі G2, а отже, і навантаження на M2. Номінальне значення струму в обмотці збудження LG2 генератора встановлюється за допомогою резистора R9.

Струмний захист M2 забезпечується за допомогою максимально-струмового реле КА. Якщо струм в якірному колі M2 перевищує допустиме значення (перевищує уставку КА), то КА спрацьовує. Своїм розмикаючим контактом воно розриває коло живлення котушки KM1 і двигун M1 відключається від мережі.

Швидкість обертання M2 контролюється за допомогою тахогенератора BR, до якоря якого підключений вольтметр PV2. Номінальне значення струму в обмотці збудження тахогенератора LBR встановлюється за допомогою резистора R10.

Обмотка 0IV використовується як задаюча. Струм в обмотці, а отже, і створюваний нею потік регулюється за допомогою резистора R1. Полярність напруги на R1, напрям струму і потоку обмотки 0IV можуть змінюватися на протилежні, оскільки резистор включений в реверсивний міст, утворений контактами контакторів KM2, KM3. Керування контакторами KM2, KM3 здійснюється за допомогою кнопочних перемикачів SB3, SB4, SB5. Струм в обмотці 0IV контролюється амперметром PA2. Максимальна напруга, що знімається з R1, дорівнює 220 В. При цій нарузі струм в обмотці 0IV за допомогою R2 встановлюється рівним 4-хкратному по відношенню до номінального струму обмотки.



Характеристика двигуна

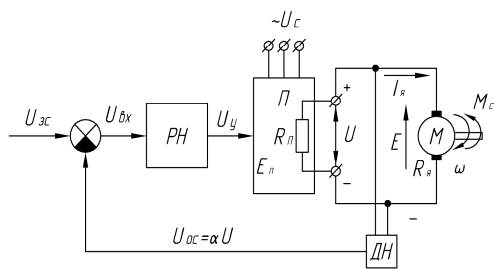


Схема включення двигуна в замкнутій системі П-Д з негативним зворотним зв'язком по напрузі перетворювача.

Рис. 4.2 – Електрична принципова схема системи П-Д

Обмотка 0I ЕМП використовуються в колі негативного зворотного зв'язку за напругою. За допомогою резистора R3 регулюється коефіцієнт передачі зворотного зв'язку. Амперметр PA3 контролює струм в обмотці, який встановлюється за допомогою R4. Потік, створюваний обмоткою 0I, направлений стрічно по відношенню до потоку, створюваного 0IV. При замиканні перемикача S1 відбувається алгебраїчне підсумовування сигналу завдання (потіку обмотки 0IV) і сигналу зворотного зв'язку (потіку обмотки 0I).

В сталому режимі ЕРС ЕМП, а отже, швидкість обертання M2 визначається сумарним потоком ЕМП, визначуваним як різниця потоків обмоток 0IV і 0I. При збільшенні  $M_c$  на валу M2 швидкість обертання M2 зменшується, а струм в якірному колі M2 збільшується. Через збільшення падіння напруги на активному опорі якоря ЕМП зменшується напруга на якорі двигуна M2. Зменшується напруга, що знімається з резистора R3. Тому зменшується і потік, створюваний обмоткою 0I. Сумарний потік ЕМП зростає, що приводить до зростання ЕРС ЕМП, компенсуючому падіння напруги на активному опорі якоря ЕМП і зменшуючому статичне падіння швидкості M2.

Обмотка 0II ЕМП використовується в колі затриманого негативного зворотного зв'язку за струмом якоря M2. Як сигнал зворотного зв'язку, використовується падіння напруги на активному опорі компенсаційної обмотки КО і додаткових полюсів ДП ЕМП. При замиканні перемикача S2 цей сигнал поступає на вузол струмового відсічки, виконаний на діодах VD7÷VD10. Опорна напруга на ВСО подається з резистора R5, який, у свою чергу, підключений до виходу трифазного випрямляча на діодах VD1÷VD6. Трансформатор TV знижує напругу мережі.

Опорна напруга з резистора R5 вмикає діоди VD7÷VD10. При збільшенні струму в якірному колі M2 падіння напруги на КО і ДП зростає. Припустимо, що в точці 27 полярність напруги позитивна по відношенню до полярності напруги в точці 29. При струмі якоря, рівному струму відсічки  $I = I_{отс}$  напруга зворотного зв'язку перевищує опорну напругу. Вмикаються діоди VD7, VD10 і через обмотку 0II починає протікати струм. Його величина контролюється амперметром PA4. Потік, створюваний обмоткою 0II, направлений зустрічно по відношенню до потоку обмотки 0IV. Тому із збільшенням струму в якірному колі M2 збільшуватиметься потік обмотки 0II і зменшується результуючий потік ЕМП. Це у свою чергу приводить до зменшення ЕРС ЕМП. При швидкості якоря M2, рівній нулю, струм в якірному колі M2 буде рівний струму стопоріння.

#### **4.4. Програма роботи та порядок її виконання.**

1. За допомогою електричної схеми установки розібрати всі режими роботи і механічні характеристики M2, одержувані, в розімкненій системі ЕМП-Д; принцип дії ЕМП-Д і агрегату навантаження.
2. На початку лабораторної роботи з'ясувати розташування основних елементів системи ЕМП-Д.
3. Зібрати вимірювальну частину схеми, яка включає амперметри PA1÷PA5, вольтметри PV1÷PV2, резистори R1÷R8, перемикачі S1÷S2, випрямлячі на діодах VD1÷VD10. Рукоятки перемикачів S1, S2 повинні знаходитися в положенні «0».

4. Замкнути рубильник Q1. За допомогою R7 встановити номінальне значення струму в обмотці LM2.
5. Натиснути на кнопковий перемикач SB3 і включити контактор KM2. Визначити напрям переміщення повзунка R1, при якому струм в обмотці 0IV зростає. Перевести повзунок R1 в крайнє положення даного напрямку і, за допомогою R2, встановити струм в обмотці 0IV рівним 0,8 А. Потім повзунок R1 перевести в протилежний напрям.
6. Включити автоматичний вимикач QF1. Натиснути на кнопковий перемикач SB1 і запустити двигун M1.
7. Зняти верхню гілку характеристики холостого ходу ЕМП  $E_{ЕМУ} = f(I_{0IV})$ . За допомогою резистора R1 збільшувати струм в обмотці 0IV, і через кожні 0,025 А реєструвати покази PV1 до значення 250 В. Після завершення досліду повзунок R1 повернути в початковий стан.
8. Зняти нижню гілку характеристики холостого ходу ЕМП, для чого натиснути на кнопковий перемикач SB4, а потім повторити дослід по п. 7. Після завершення досліду повзунок R1 повернути в початковий стан.
9. Зняти електромеханічну характеристику двигуна M2 в розімкненій системі П-Д. Для чого в якірне коло G2 повністю ввести резистор R8. Перемикач S3 в колі живлення LG2 розімкнути. Включити автоматичний вимикач QF2. Збільшуючи за допомогою R1 струм в обмотці 0IV, встановити напругу на якорі M2 рівною 220 В. Зафіксувати покази PA1 і PV2. Замкнути S3 і знов зафіксувати покази PA1 і PV2. Зменшуючи величину R8, через кожні 2-3 А фіксувати покази PA1 і PV2. Струм в якірному колі M2 збільшувати до 15 А. Після закінчення досліду повзунок R1 і рукоятку R8 повернути в початковий стан, S3 розімкнути.
10. Зняти електромеханічну характеристику M2 в розімкненій системі П-Д при іншому значенні задаючого сигналу. Для цього, збільшуючи за допомогою R1 струм в обмотці 0IV, встановити напругу на якорі M2 рівною 110 В. Зафіксувати покази PA1 і PV2. Повторити дослід за п. 9. Після закінчення досліду повзунок R1 і рукоятку R8 повернути в початковий стан, S3 розімкнути.
11. Зняти електромеханічну характеристику M2 в розімкненій системі П-Д і ослабленому потоці, для чого за допомогою R7 встановити в обмотці LM2 струм, рівний 0,5 від номінального значення. Потім за допомогою R1 встановити напругу на якорі M2, рівною 220 В. Повторити дослід за п. 9. Після закінчення досліду повзунки R7, R1 і рукоятку R8 повернути в початковий стан, S3 розімкнути.
12. Зняти природну електромеханічну характеристику M2, для чого за допомогою R1 встановити напругу на якорі M2 рівним 220 В. Зафіксувати покази PA1 і PV2. S3 замкнути. При цьому зменшуватимуться і покази PV1. За допомогою R1 встановити покази PV1 рівними 220 В. Після цього зафіксувати покази PA1, PV2. Дослід повторити, зменшуючи величину R8 так, щоб покази PA1 збільшилися на 3-4 А. Струм в якірному колі M2 збільшувати до 15 А. Після завершення досліду повзунок R1 і рукоятку R8 повернути в початковий стан, S3 розімкнути.

#### **4.5. Вказівки щодо оформлення звіту.**

1. Побудувати характеристику холостого ходу ЕМП і механічні характеристики двигуна в розімкненій і замкнутій системі ЕМП-Д.
2. Визначити величину статичного падіння швидкості  $M_2$  на природній характеристиці.

#### **КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ**

1. *Поясніть роботу системи ЕМП-Д при пуску.*
2. *Поясніть роботу системи ЕМП-Д в гальмівних режимах.*
3. *Чим визначається величина статичного падіння швидкості в розімкненій системі ЕМП-Д?*
4. *Поясніть роботу замкненої системи ЕМП-Д з негативним зворотним зв'язком за напругою перетворювача.*
5. *Поясніть роботу замкненої системи ЕМП-Д з негативним зворотним зв'язком за швидкістю двигуна.*
6. *В якому випадку в замкнутій системі ЕМП-Д з негативним зворотним зв'язком за напругою буде отримана мінімальна величина статичного падіння швидкості?*
7. *Поясніть роботу замкненої системи ЕМП-Д із затриманим негативним зворотним зв'язком за струмом якоря  $M_2$ .*

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

### ДОСЛІДЖЕННЯ СИНХРОНІЗОВАНОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЦЕНТРОБІЖНОГО ТИПУ

**5.1. Мета роботи** – вивчення схеми автоматичного пуску та дослідження енергетичних характеристик синхронізованого асинхронного двигуна з фазний ротором.

#### **5.2. Основні теоретичні положення.**

Асинхронні двигуни з фазним ротором можуть працювати в режимі подвійного живлення, коли електроенергія від мережі підводиться як до статорних, так і до роторних обмоток. При цьому на статорні обмотки подається напруга  $U_1$ , постійної амплітуди і частоти  $f_1$ , а на роторні обмотки – напруга, регульована по амплітуді і частоті у відповідному відношенні

$$\frac{U_2}{f_2} = \text{const}.$$

При цьому обертальні магнітні поля статора і ротора можуть обертатися в одному або протилежних напрямках. В першому випадку швидкість регулюється вниз від основної збільшенням напруги і частоти, а в другому випадку швидкість регулюється вгору від основної. Якщо магнітні поля статора і ротора обертаються в одному напрямку, то при зменшенні частоти  $f_2$  швидкість ротора зростає і при  $f_2 = 0$ , що відповідає живленню обмоток ротора постійним струмом, вона досягає швидкості обертального магнітного поля статора.

Асинхронний двигун починає працювати в режимі синхронного двигуна. При певному значенні постійного струму збудження в обмотці ротора двигун працює з  $\cos \varphi = 1$ , тобто не споживає з мережі реактивної потужності, а при подальшому його збільшенні працює з випереджаючим  $\cos \varphi$ , тобто генерує в мережу реактивну потужність. Важливо зазначити, що струми статора і ротора при цьому не повинні перевищувати номінальних значень.

Застосування синхронізованого асинхронного двигуна для генерації реактивної потужності має переваги над конденсаторними батареями, тому що дозволяє її плавне регулювання. Але втрати потужності на генерацію реактивної енергії для двигуна більші, ніж для конденсаторних батарей. Тому синхронний режим двигуна доцільно застосувати у механізмах з тривалим режимом роботи, нечастими пусками і потужністю більше 200 кВт.

#### **5.3. Опис експериментальної установки.**

Схема експериментальної установки зображена на рис. 5.1 і рис. 5.2. Силова схема установки /див. рис. 5.1/ містить в собі автоматичні вимикачі QF1, QF2 вимірювальні прилади: фазометр  $P\varphi 1$  і амперметр PA1 ввімкнуті у вторинну обмотку трансформатора струму TA1, асинхронний двигун M1, в коло ротора якого ввімкнуті додаткові активні опори R1, R2 і котушка реле ковзання КТЗ, керований випрямляч UZ1 до виходу якого ввімкнуті амперметр PA2, котушка реле струму КА1 і згладжу-

ючий дросель L1. Схема керування двигуном /див. рис. 5.2/ вмикається в мережу через автоматичний вимикач QF2 і рубильник Q1 і містить в собі сукупність магнітних пускачем, реле напруги і часу.

Пуск двигуна відбувається після вмикання вимикачів QF1, QF2, та рубильника Q натисканням на кнопку SB1 "Пуск". Після чого спрацьовує магнітний пускач KM1 і своїми силовими контактами KM1.1 з'єднує статор двигуна з мережею. Його блок-контакт KM1.2 подає напругу на котушки реле часу KT1 і реле напруги KV1, а блок-контакт KM1.3 розмикає коло котушки реле часу KT2. Спрацьовує реле напруги KV1 і своїм контактом K1.1 шунтує контакт кнопки SB1.

Обмотка статора двигуна створює обертальне магнітне поле, яке індукує електрорушійну силу /ЕРС/ в обмотках ротора, спрацьовує реле ковзання KT3 і своїм контактом KT3.1 вмикає коло котушки магнітного пускача KM4 під напругу, силові контакти KM4.1 якого з'єднують обмотку ротора з додатковими опорами R1 і R2. З'являється крутний момент і ротор двигуна починає крутитися, збільшуючи кутову швидкість, відповідну до першої штучної механічної характеристики.

З витримкою часу відпадає якір від осердя реле часу KT2 і замикає свій контакт KT2.1 в колі котушки магнітного пускача KM3, після спрацювання якого контакти KM3.1 шунтують додатковий опір R2 двигун продовжує розгін по другій штучній механічній характеристиці. При збільшенні швидкості ротора зменшується амплітуда і частота ЕРС обмотка ротора і при значенні швидкості 95% від синхронної якір реле ковзання KT3 відпадає від осердя. При цьому замикається контакт KT3.2 в колі котушки магнітного пускача KM2 і розмикається контакт KT3.1 в колі котушки магнітного пускача KM4, силові контакти KM4.1 якого вимикають опори R1, R2 з кола обмотки ротора, а блок-контакти KM4.2 замикають коло живлення котушки магнітного пускача KM2. Після спрацювання KM2 його силові контакти KM2.2 і KM2.3 з'єднують обмотки ротора з виходом тиристорного випрямляча VZ1, в колі ротора з'являється постійний струм і асинхронний двигун переходить в режим синхронного. Спрацьовує реле струму KA1 і своїм контактом KA1.1 шунтує контакти кнопки SB1. Далі з витримкою часу спрацьовує реле часу KT1, розмикаючи свої контакти KT1.1 в колі котушки реле напруги KV1, і його контакт KV1.1 розмикається. Якщо за час витримки реле KT1 двигун не ввійде в режим синхронного, то він вимикається від напруги. Це так званий захист двигуна від зтяжнього пуску.

#### **5.4. Програма роботи і порядок її виконання.**

Вивчити принципову схему керування синхронізованим асинхронним двигуном.

2. Провести експеримент по вимірюванню струму статора і коефіцієнта потужності при зміні струму збудження в обмотці ротора.

3. Розрахувати складові повної потужності двигуна і втрати потужності на генерацію реактивної енергії.

4. Побудувати в одній системі координат графіки залежності струму статора, активної і реактивної потужностей двигуна, коефіцієнта потужності і втрат потужності на генерацію реактивної енергії від струму збудження в обмотці ротора.



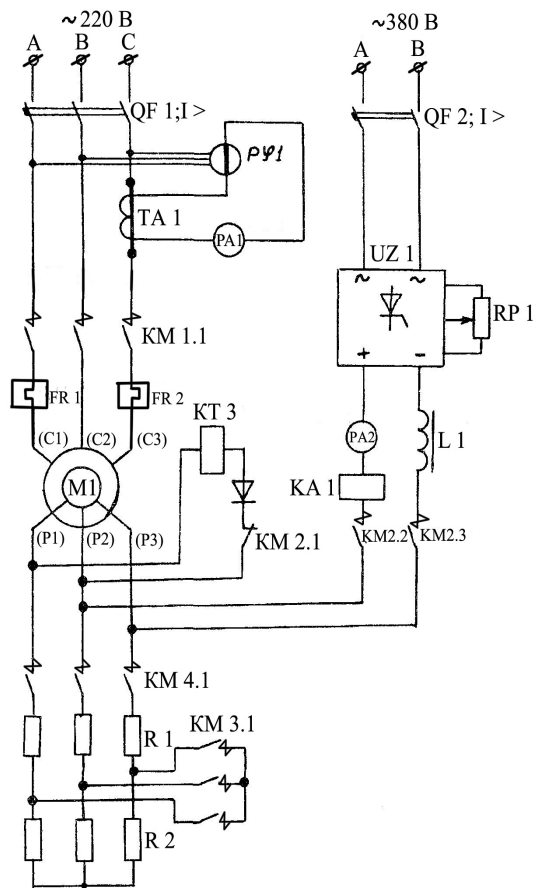


Рис. 5.1 – Силова схема експериментальної установки

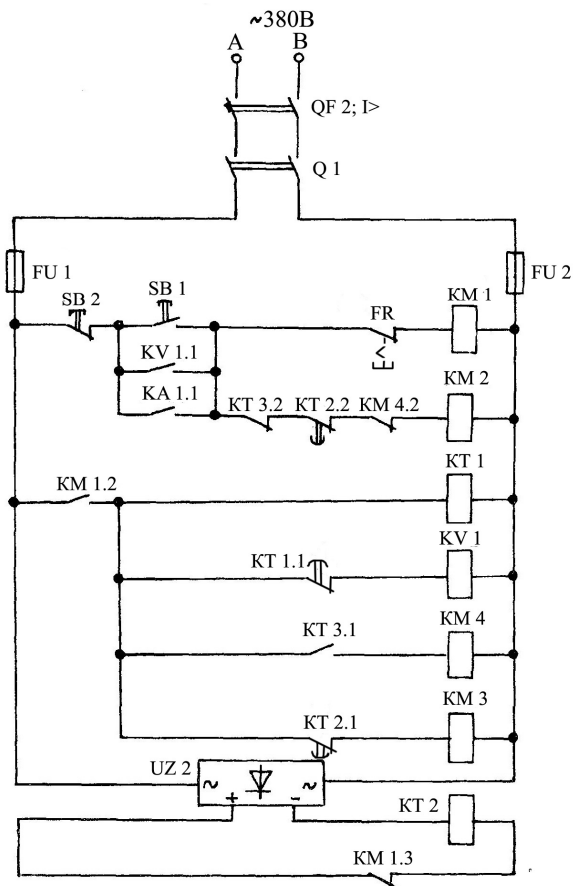


Рис. 5.2 – Схема управління двигуном

Складові потужності двигуна розраховують по відомим формулам з урахуванням діючого значення лінійної напруги

$$U_1 = 220 \text{ В:}$$

$$P = \sqrt{3}U_1I_1 \cos \varphi,$$

$$Q = \sqrt{3}U_1I_1 \sin \varphi,$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2},$$

де  $I_1$  – струм фази статора.

Втрати потужності в обмотках статора двигуна від споживання і генерації реактивної потужності визначають по формулі

$$\Delta P = \frac{Q^2 R_1}{U_1^2},$$

де  $R_1$  – активний опір фази статора,  $R_1 = 0,45 \text{ Ом}$ .

Результати вимірів та розрахунків звести в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Виміри			Розрахунки			
Струм ротора	Струм статора	Коефіцієнт потужності	Активна потужність	Реактивна потужність	Повна потужність	Втрата потужності
$I_2$	$I_1$	$\cos \varphi$	P	Q	S	$\Delta P$
A	A	-	Вт	вар	ВА	Вт

1. Потенціометр RP1 встановити в початкове положення «І поч.», при якому забезпечується початкове значення струму в обмотці ротора, необхідне для входження двигуна в синхронний режим.

2. Ввімкнути вимикачі QF1, QF2, Q1, натиснути кнопку SB1 «Пуск».

3. Після появи струму ротора по амперметру PA2, потенціометром RP1 встановити по фазометру Pф1 коефіцієнт потужності  $\cos \varphi = 0,8$  /індуктивний/ і записати значення струмів ротора і статора по амперметрам.

4. Повторити дослід для інших значень коефіцієнтів потужності в послідовності 0,8; 0,9 /індуктивний/; 1,0; 0,9; 0,8 /емнісний/.

## КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Пояснити функціональне призначення в схемі керування двигуном реле ковзання.
2. Пояснити форму графіка залежності струму статора від струму ротора.
3. Які переваги і недоліки асинхронного двигуна перед конденсаторами при генерації реактивної потужності?
4. Чому при обривах в колі обмоток збудження двигун зупиняється?
5. Чому двигун не переходить в режим синхронного при подачі постійного струму в обмотки нерухомого ротора?

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Ключев В. И., Терехов В. М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов. – М.: Энергия, 1980.
2. Зимин Е. Н., Яковлев В. И. Автоматическое управление электроприводами. – М.: Высшая школа, 1979.
3. Москаленко В. В. Автоматизированный электропривод. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
4. Яуре А. Г., Певзнер Е. М. Крановое электрооборудование // Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1989.

## ЗМІСТ

<b>Правила виконання лабораторних робіт</b> . . . . .	<b>3</b>
<b>Характеристика електроприводів вантажнотранспортних машин</b> . . . . .	<b>3</b>
<b>Лабораторна робота № 1. Дослідження механічних характеристик асинхронного електроприводу механізму підйому вантажопідйомного крану</b> . . . . .	<b>6</b>
<b>Лабораторна робота № 2. Дослідження механічних характеристик асинхронного електроприводу механізму пересування вантажопідйомного крану</b> . . . . .	<b>22</b>
<b>Лабораторна робота № 3. Дослідження електромеханічних характеристик електроприводу постійного струму механізму пересування вантажопідйомного крану</b> . . . . .	<b>26</b>
<b>Лабораторна робота № 4. Дослідження електромеханічних характеристик електроприводу пересування вантажопідйомного крану за системою «Керований перетворювач-двигун постійного струму»</b> . . . . .	<b>39</b>
<b>Лабораторна робота № 5. Дослідження синхронізованого асинхронного електроприводу центробіжного типу</b> . . . . .	<b>47</b>
<b>Список джерел</b> . . . . .	<b>51</b>

# НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки  
до виконання лабораторних робіт  
з дисципліни

## «ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНЕ ТА ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ»

(для студентів усіх форм навчання  
напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка»)

Укладачі: **ФАТЕЄВ** Віктор Миколайович,  
**ШАВКУН** Вячеслав Михайлович

Відповідальний за випуск *Ю. В. Мінеєва*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *Г. О. Павлова*

План 2011, поз. 187М

---

Підп. до друку 20.03.2012

Формат 60×84/16

Друк на ризографі.

Ум. друк. арк. 3,0

Тираж 50 пр.

Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова  
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: [rectorat@ksame.kharkov.ua](mailto:rectorat@ksame.kharkov.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4064 від 12.05.2011 р.