

Тема 7. Розімкнені системи керування

1. Визначення і класифікація розімкнених систем
2. Основні групи розімкнених систем
3. Типові вузли схем керування
 - 3.1. Керування пуском і динамічним гальмуванням у функції часу
 - 3.2. Керування пуском у функції струму
 - 3.3. Керування у функції швидкості або ЕРС двигуна
 - 3.4. Керування електроприводом у функції шляху переміщення або кута повороту
 - 3.5. Керування збудженням при втягуванні синхронного двигуна в синхронізм

1. Визначення і класифікація розімкнених систем

У техніці існує велика кількість різноманітних систем керування електроприводами. Виникає необхідність їх класифікації. Варіант такої класифікації, коли будь-яку систему розглядати як таку, що сприймає та переробляє інформацію.

В залежності від кількості використовуваних каналів інформації та їх структури є такі види систем:

- з розімкненими схемами керування;
- із замкненими схемами керування;
- комбіновані.

Розімкнені електромеханічні системи (ЕМС) з різними видами електроприводів використовують лише один канал інформації – канал задання. У таких системах або зовсім не використовуються зворотні зв'язки за вихідними координатами, або інформація про реальний стан системи надходить тоді, коли вихідні координати досягають певних значень. Цими координатами можуть бути струми, момент, швидкість, напруга, шлях переміщення, а також тривалість перехідного процесу.

2. Основні групи розімкнених систем

Розімкнені системи можна поділити на дві основні групи.

Системи першої групи широко використовуються в промисловості та побутовій техніці. Вони забезпечують найпростіші операції пуск, реверс і гальмування двигуна. Швидкість або інші координати двигуна, як правило, не регулюються, і двигун працює на природній механічній характеристиці. Апаратура керування релейної дії контактна або безконтактна.

Представниками першої групи є ЕМС з асинхронними двигунами і коротко замкненим ротором і живленням безпосередньо від мережі.

Системи другої групи мають складнішу структуру: а саме системи керування і живлення. Вони забезпечують режими пуску, реверсу, гальмування, регулювання швидкості або іншої координати зі значними відхиленнями від заданих значень, Регулювання координат може здійснюватися ступінчастим перемиканням резисторів, реакторів, інших елементів у силових колах двигунів за допомогою релейно-контакторної або безконтакторної апаратури, або живленням двигунів від силових керованих перетворювачів, таких як тиристорні й транзисторні перетворювачі напруги (ТПН), перетворювачі частоти (ТЧЧ)± широтно-імпульсні перетворювачі (ШП).

До початку років ХХ ст. керування розімкненими електромеханічними системами здійснювалося переважно за допомогою релейно-контакторних схем. Цей спосіб дістав назву реостатного керування. Він досить простий і за правильного вибору пускорегулювальної

апаратури високонадійний. Експлуатація схем не потребує високої кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Разом з тим реостатне керування має суттєві недоліки:

- незадовільні масогабаритні показники;
- м'які штучні характеристики і нестабільну швидкість при коливаннях навантаження;
- малоекономічна робота на штучних характеристиках, коефіцієнт корисної дії (ККД) прямопропорційний швидкості двигуна на штучній характеристиці;
- за малих навантажень складність, а іноді неможливість забезпечення заданого діапазону регулювання швидкості.

Виходячи з цього зрозуміло, чому застосування систем із реостатним керуванням значно скоротилося. Також скороченню сприяло введення в експлуатацію комплектних керованих тиристорних і транзисторних перетворювачів, які мають кращі техніко-економічні показники порівняно із системою реостатного керування.

Одночасно скоротилося і застосування електроприводів із двигунами постійного струму. Фактично нині розімкнені системи з двигунами постійного струму застосовуються в тяговому електроприводі і електроприводі підйомно-транспортних механізмів. Але, оскільки в Україні і за кордоном експлуатується багато електроприводів керованих релейно-контактними системами, а також випускаються запасні частини до них, то доцільно вивчати ці схеми, їх будову і методи налагодження.

Розглянемо роботу релейно-контакторних схем на прикладі типових промислових схем керування двигунами постійного струму.

Релейно-контакторні схеми будують, виходячи з таких основних вимог

- забезпечення допустимої або заданої тривалості пуско-гальмівних режимів;
- формування штучних характеристик,
- захист силового обладнання та апаратури керування (оперативного кола) від струмів коротких замикань, недопустимих довготривалих і короткочасних перенавантажень, перенапруг;
- блокування, які забезпечують певну послідовність пускогальмівних операцій і запобігають виникненню аварійних ситуацій;
- мінімальна кількість апаратури в силовому колі і колі керування.

Згідно з ними вимогами в режимах пуску двигуна постійного струму (ДПС) струм якорною кола $i_{\text{я}}$ має змінюватися в таких межах.

$$I_2 \leq i_{\text{я}} \leq I_1$$

Тут $I_2 = (1, 1 \dots 1, 2) I_{\text{н}}$ - струм перемикання пускових резисторів, де $I_{\text{н}}$ - номінальний струм двигуна (замість $I_{\text{н}}$ може бути прийняте середнє значення струму навантаження $I_{\text{сер}}$; $I_1 \leq I_{\text{доп}}$ - максимальне допустиме значення пускового струму або $I_1 = I_{\text{зад}}$ - задане значення пускового струму.

У режимах противмикання і гальмування беруть або максимальне значення струму $I_{\text{max}} \leq I_{\text{доп}}$ або задане значення струму з умов часу проходження перехідних режимів.

У режимах пуску асинхронних двигунів із фазовим ротором струм ротора $I_{\text{р}}$ і момент двигуна M повинні змінюватися в межах

$$I_2 \leq I_{\text{р}} \leq I_1; \quad M_2 \leq M \leq M_1$$

Тут $I_2 = (1, 1 \dots 1, 2) I_{\text{рн}}$, і $M_2 = (1, 1 \dots 1, 2) M_{\text{н}}$ - відповідно струм ротора і момент двигуна, при значенні яких відбувається перемикання пускових резисторів, де $I_{\text{рн}}$ і $M_{\text{н}}$ - номінальні значення відповідно струму ротора і моменту двигуна; $I_1 = I_{\text{доп}}$, $M_1 = M_{\text{доп}}$ - максимально допустимі

значення струму ротора і моменту двигуна, де $M_{\text{доп}} = (0,85 \dots 0,9) M_k$, M_k — критичний момент двигуна.

3. Типові вузли схем керування

Керування пуском, реверсом і гальмуванням двигунів постійного і змінного струму здебільшого здійснюється у функції часу, струму якоря або ротора двигуна, ЕРС двигуна, шляху переміщення або кута повороту вала двигуна або механізму. Електрична апаратура, яка реагує на вказані координати, залежно від принципу дії вмикається в певні кола схем керування або силової частини.

Розглянемо побудову окремих вузлів, які реалізують наведені вище функції схем керування.

3.1. Керування пуском і динамічним гальмуванням у функції часу

Це керування поширене в схемах із двигунами постійного і змінного струму.

При керуванні електроприводами у функції часу вибір схем підмикання електромагнітних реле часу КТ визначається необхідним вмиканням контакторів для пуску і гальмування. Сигнал на відлік витримки часу подається контактором або іншим апаратом. Це визначається тим, що електромагнітні реле часу створюють витримки часу після зняття напруги живлення з їх обмоток, а для подання живлення вони спрацьовують миттєво.

У спрощеній схемі керування пуском і динамічним гальмуванням ДПС з незалежним збудженням (рис. 5-1, а) всі реле часу (прискорення) $KT1$ і $KT2$ ввімкнені в оперативне коло. Вони живляться через блок-контакти лінійного контактора KML і контактора прискорення першої пускової ступені $KM1$ при вмиканні рубильника $SA1$. Спрацьовують реле часу миттєво. Вони створюють витримку часу при вимиканні KML і $KM1$, коли їх блок-контакти розмикаються в колі котушок реле часу.

Розглянемо послідовність роботи схеми в режимах пуску і гальмування.

У вихідному положенні вмикають рубильники $SA2$, внаслідок чого отримують живлення обмотка збудження $LM2$ реле часу $KT1$, $KT2$. контакти якої розімкнуться у колі обмоток контакторів прискорення $KM1$, $KM2$. Для пуску двигуна натискаємо кнопку $SB2$. Вмикається лінійний контактор KML , який силовими контактами подає напругу на якорь двигуна через резистори $R1$, $R2$. Блок-контакти KML блокують кнопку $SB2$, розмикаються в колі обмоток реле часу $KT1$ і контактора динамічного гальмування KMD , замикаються в колі реле часу динамічного гальмування KTD . Після закінчення витримки часу контакти $KT1$ замикаються в колі обмотки контактора $KM1$ який силовими контактами шунтує пусковий резистор $R1$, а його блок-контакти розривають коло живлення котушки $KT2$. Після закінчення витримки часу контакти $KT2$ замикаються і подають живлення на обмотку контактора $KM2$, який силовими контактами шунтує резистор $R2$. Двигун виходить на природну характеристику.

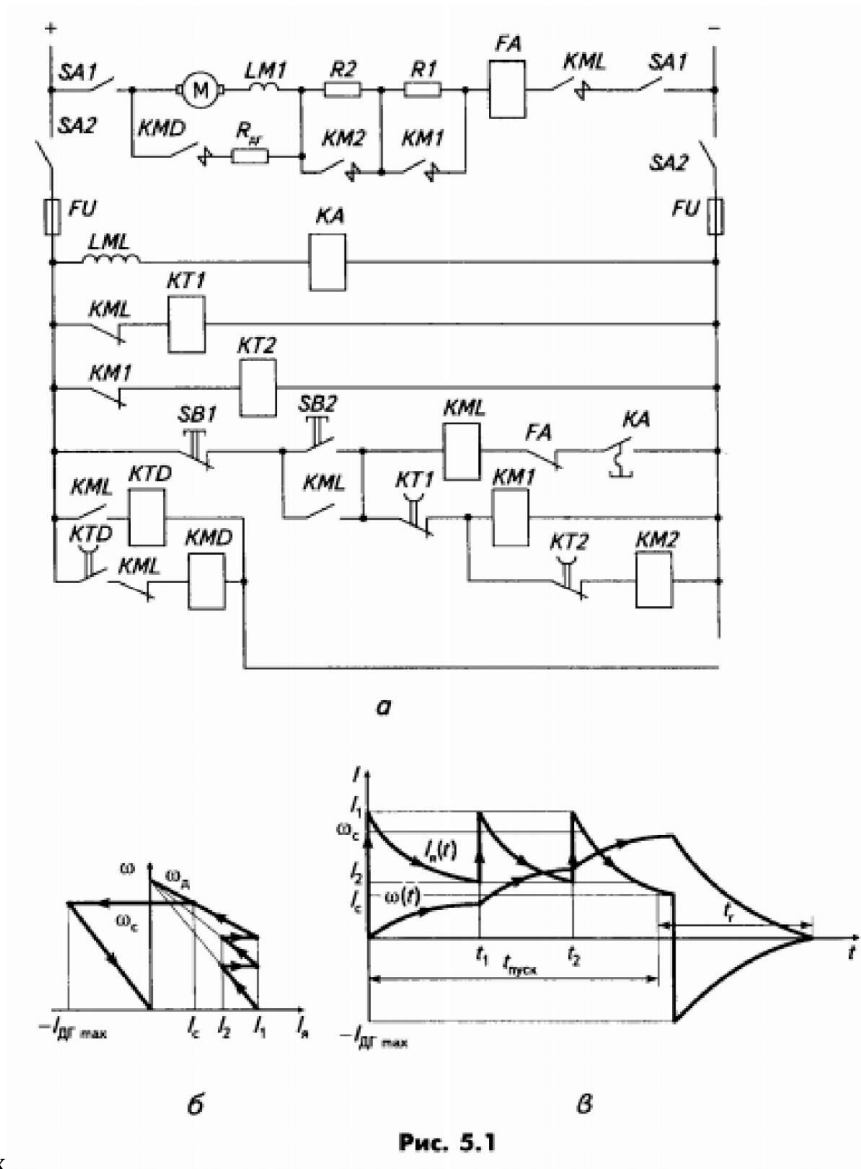
Для зупинки двигуна натискають кнопку $SB1$. Контакт KML вимикає двигун. Спрацьовує контактор KMD , який силовими контактами підмикає резистор до якоря двигуна. При цьому струм досягає значення $I_{\text{дг max}}$. Тривалість динамічного гальмування визначається витримкою часу реле KTD і становить t_1 .

Пускогальмівні характеристики в координатах $w(I_a)$ і в часі $w(t)$ наведено на рис. 5.1 б і в. Час роботи на кожній пусковій ступені t_1 , t_2 визначається витримкою реле прискорення t_{KT1} , t_{KT2} і часом спрацювання контакторів прискорення t_{KM1} , t_{KM2} .

$$t_1 = t_{KT1} + t_{KM1}, \quad t_2 = t_{KT2} + t_{KM2}.$$

Є ще комбінований спосіб підімкнення реле, який полягає в тому, що тільки реле прискорення першої ступені перебуває в оперативному колі, а решта реле часу підімкнені до пускових резисторів і живляться спадом напруги на цих резисторах ($U_{pi}=R_i I_{пуск.}$).

Принцип керування у функції часу має деякі переваги порівняно з іншими: він дає можливість уникнути трипалої роботи двигуна на проміжних швидкостях, що спричинює пошкодження



пускових

Рис. 5.1

резисторів. Крім того, час пуску двигунів, керованих відповідними системами, майже не залежить від моменту інерції та напруги живлення, що важливо для механізмів, у яких час пуску і гальмування регламентований. До переваг таких систем належить однотипність реле часу незалежно від потужності двигуна.

Недоліком принципу керування у функції часу можна вважати зростання пускових струмів і моментів при збільшенні моменту навантаження і моменту інерції механізму порівняно і розрахунковими значеннями. Це може привести до перегрівання двигуна, перевантаження механізму і вимикання схеми максимальним струмовим захистом.

3.2. Керування пуском у функції струму

Ліє керування поширене в схемах тягового електропривода та електропривода піднімально-транспортних машин.

Спрощені варіанти схем, які здійснюють пуск у дві ступені (резистори $R1$, $R2$) у функції струму з двигуном постійного струму послідовного збудження і асинхронним двигуном, наведені на рис. 5.2, а,б. У цих схемах контактори прискорення першої та другої пускової ступені $KM1$, $KM2$ вмикаються контактами реле струму $KA1$, $KA2$ (реле прискорення), які ввімкнуті у силовому колі двигуна. Реле прискорення $KA1$, $KA2$ налагоджені так, щоб вони спрацювали при струмі, близькому до I_1 ($I_{стр\ KA} \approx I_1$) відпускали контакти, коли струм спадає до значення I_2 ($I_{відп\ KA} = I_2$), як зображено на пусковій діаграмі рис. 5.2, в. Оскільки час спрацювання реле струму значно менший за час спрацювання контакторів ($t_{KA} \ll t_{KM}$) то контакти реле $KA1$, $KA2$ встигнуть розімкнутися раніше, ніж зможуть спрацювати контактори $KM1$, $KM2$. Тому пуски ДПС і асинхронного двигуна почнуться з повністю введених пускових опорів $R1$, $R2$. Зі збільшенням швидкості струм якоря або ротора зменшується, і коли він досягає значення I_2 , реле $KA1$ відпускає свій якір, а його контакти замикаються і подають живлення на котушку контактора прискорення $KM1$. Силкові контакти $KM1$ шунтують першу пускову ступінь $R1$ і котушку реле $KA1$. У разі збільшення якірного струму до значення I_1 , спрацює реле $KA2$ і не дає можливості спрацювати контактору $KM2$. Коли струм зменшиться до значення I_2 контакти реле $KA2$ подадуть живлення на котушку $KM2$ контактора, який силовими контактами шунтує пускову ступінь $R2$ і котушку реле $KA2$.

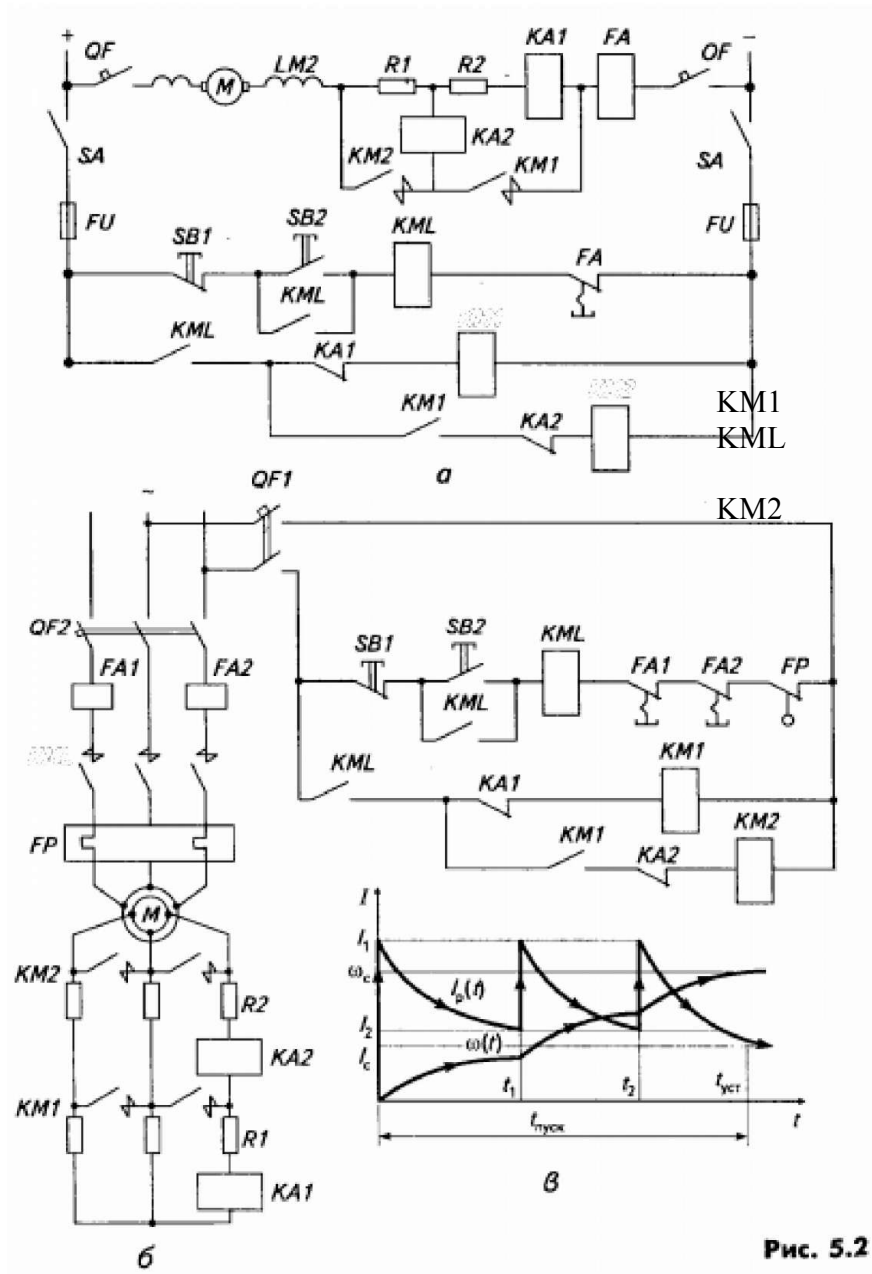


Рис. 5.2

Двигун виходить на природну характеристику, як це показано на рис. 5.2, в, де $I_2 = I_{\text{відпКА}}$, $I_1 = I_{\text{спр КА}}$.

Перевага схем, які здійснюють пуск у функції струму, полягає в тому, що перемикання контурів прискорення відбувається при заданих значеннях струму і не залежить від коливань напруги мережі, а також від змін температури. Недоліком можна вважати залежність часу пуску від зміни навантаження й моменту інерції. При їх зростанні, порівняно з розрахунковими значеннями, час пуску також зростає, а при значному збільшенні струму навантаження, коли шунтування пускових опорів взагалі може не відбутися.

3.3. Керування у функції швидкості або ЕРС двигуна

Цьому керуванню має обмежене застосування для формування режимів пуску. Що стосується динамічного гальмування та противмикання, то ці режими формуються в основному у функції ЕРС двигуна.

Вузол схеми, що забезпечує режим динамічного гальмування двигуна з незалежним збудженням, наведено на рис. 5.3, а.

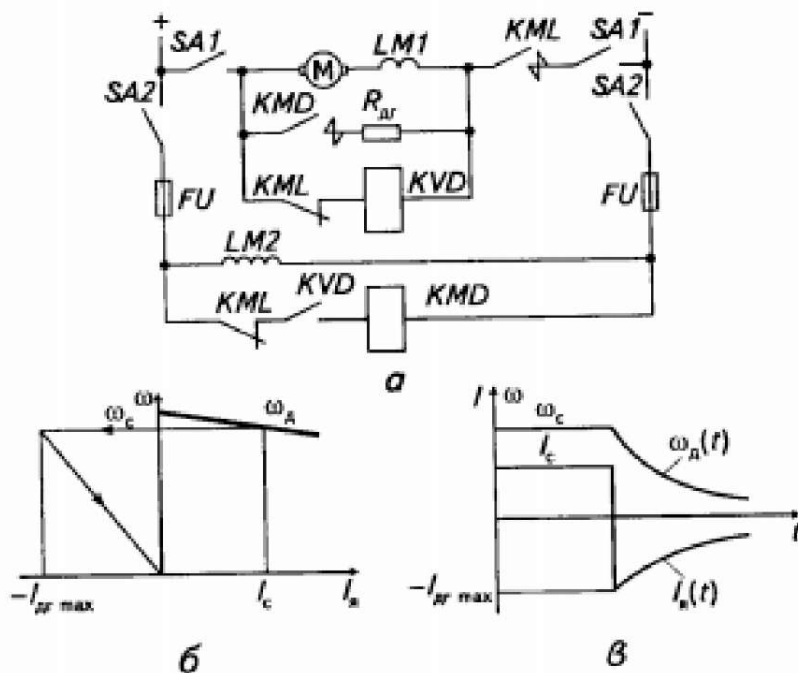


Рис. 5.3

Вмикання контактора динамічного гальмування KMD здійснює: реле динамічного гальмування KVD . Обмотка KVD підмикається до якоря двигуна, ЕРС якого

пропорційна швидкості двигуна, блок- контактами лінійного контактора **KML** у момент, коли двигун вимикається з мережі,
 Реле **KVD** спрацьовує і вмикає **KMD**, який силовими контактами вмикає якір двигуна на резистор динамічного гальмування. Процес гальмування проілюстровано характеристиками в координатах $\omega(I_a)$ і в часі $\omega(t)$ рис. 5.3, б і а. Вузол схеми для контролю за противмиканням асинхронного двигуна з фазовим ротором наведено на рис. 5.4 а і б. У схемі режим противмикання здійснюється у функції ЕРС ротора, для чого в коло ротора через випрямляч **VD** і регульований резистор R_d , вмикається реле напруги **KVP**. Через контакти цього реле живиться

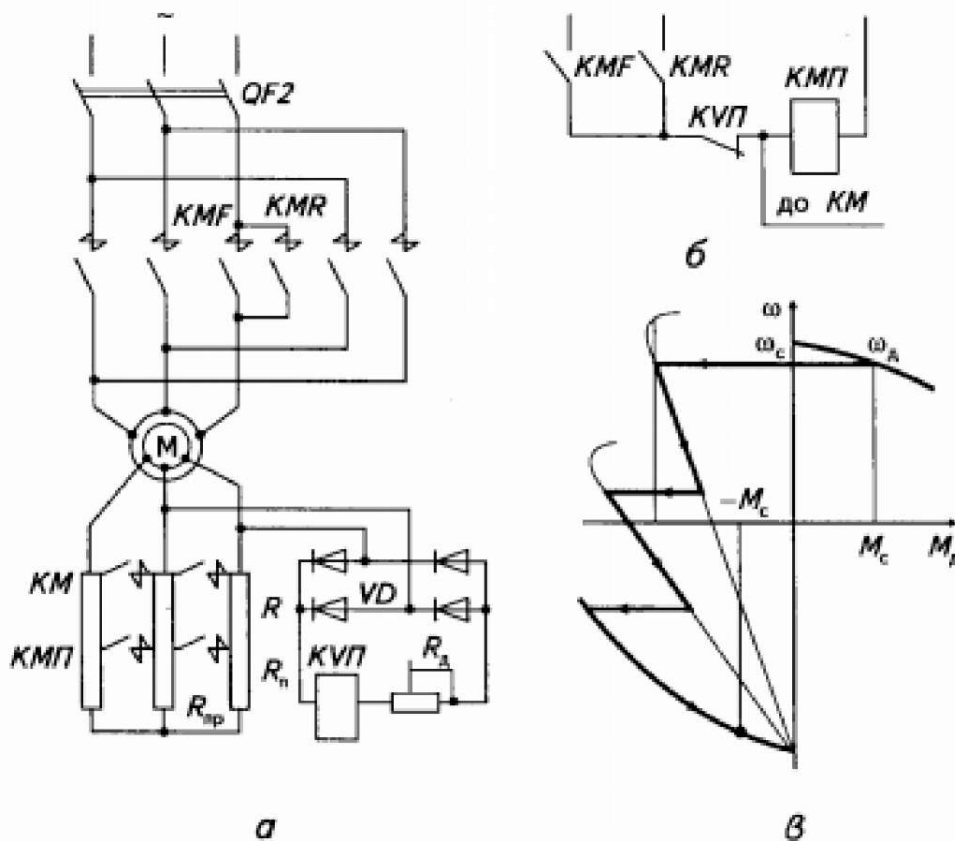


Рис. 5.4

контактор **KMP**, призначений для введення додаткового опору в коло ротора у режимі противмикання для обмеження струму і моменту в цьому режимі. За допомогою резистора R_j реле **KVP** налагоджується так, щоб у режимах пуску, коли ковзання s змінюється в межах $0 \leq s \leq 1$ і ЕРС, що наводиться в роторі, буде недостатньою для його спрацювання, контактор **KMP** спрацює і зашунтує резистор противмикання R_j . У режимах противмикання, коли ковзання змінюється в межах

$1 \leq s \leq 2$ і реле *KVP* спрацює і не дасть можливості контактору *KMP* за шунтувати опір. Напруга відпускання реле *KVP* вибирається так, щоб вона відпустила контакти, коли ЕРС досягне значення $E_p = (1,05 \dots 1,1) E_{pн}$, що ілюструється характеристикою в координатах $w(M_D)$ (рис. 5.4, в).

Схеми контролю за режимом противмикання в електроприводах із двигунами постійною струму будуються за таким самим принципом, як і схеми приводів з двигунами змінного струму.

3.4. Керування електроприводом у функції шляху переміщення або кута повороту

Це керування здійснюються шляховими і кінцевими вимикачами, які:

- забезпечують обмеження руху механізму;
- здійснюють перехід а однієї швидкості на іншу;
- здійснюють робоче або аварійне гальмування;
- забезпечують зміну напрямку обертання двигуна.

3.5. Керування збудженням при втягуванні синхронного двигуна в синхронізм

Це керування може здійснюватись у функції:

- струму статора;
- швидкості або частоти напруги ротора;
- часу.

Фрагменти схем контролю за підсинхронною швидкістю наведено на рис. 5.5...5.7. Контроль за підсинхронною швидкістю здійснює реле струму КА, яке підімкнене через трансформатор струму ТА до статора СД.

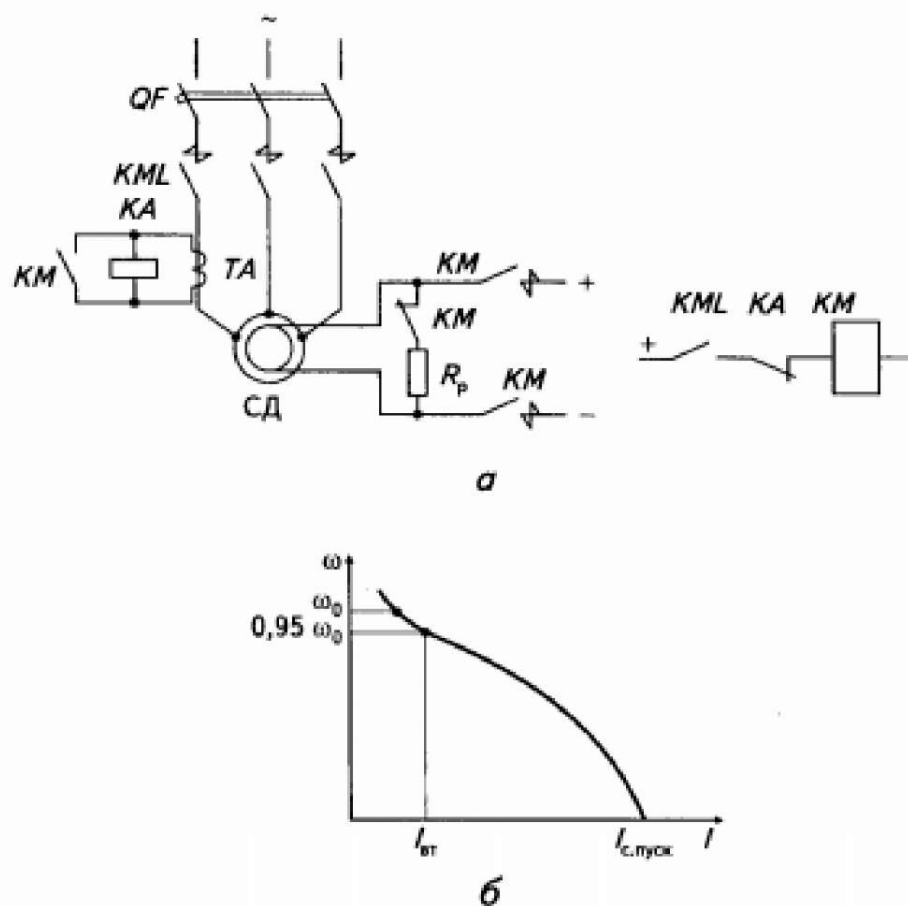


Рис. 5.5

(рис.5.5 а). Цей спосіб контролю ґрунтується на чому, що за підсинхронної швидкості стрибком зменшується значення пускового струму (рис. 5.5, б). У момент кидка струму на початку асинхронного пуску СД реле КА спрацьовує і розмикає свої контакти в колі обмотки контактора КМ, який подає напругу на обмотку збудження СД. За підсинхронної швидкості, коли пусковий струм в обмотці статора зменшується, контакти реле КА вмикають контактор КМ, який силовими контактами подає живлення на обмотку збудження СД, а блок-контактами шунтує обмотку КА. Двигун втягується в синхронізм. Схему системи контролю підсинхронної швидкості у функції частоти напруги ротора наведено на рис. 5.6 а, Основним елементом схеми є електромагнітне реле з демпферною обмоткою КІ.

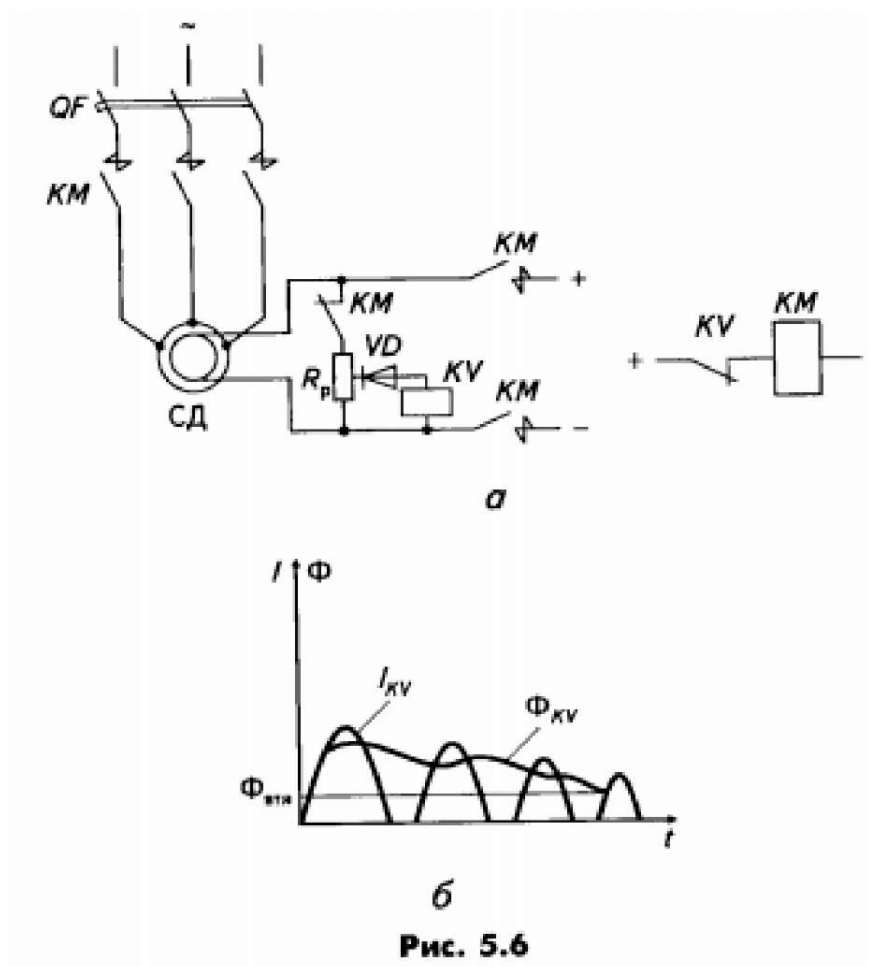


Рис. 5.6

Реле через діод VD підімкнено до розрядного опору R_U . У разі пуску двигуна в обмотці збудження наводиться змінна однофазна ЕРС, частота якої пропорційна ковзання ротора $f_{зб} = S$).

Обмоткою KV проходить випрямлений струм. На початку розгону двигуна, коли $S=1$, частота і амплітуда струму I_{KV} високі, і реле KV вмикається і не дає можливості спрацювати контактору KM . У міру розгону двигуна ковзання і частота зменшуються, інтервали між імпульсами струму збільшуються. Магнітний потік реле KV знижується пропорційно частоті ФКВ(зб.) рис. 5.6,б.

Реле KV налагоджують таким чином, що при підсинхронній швидкості, коли частота в обмотці збудження становить 2,0...2,5 Гц, якорь KV відпадає і контакти KV вмикають контактор KM , який подає напругу на обмотку збудження.

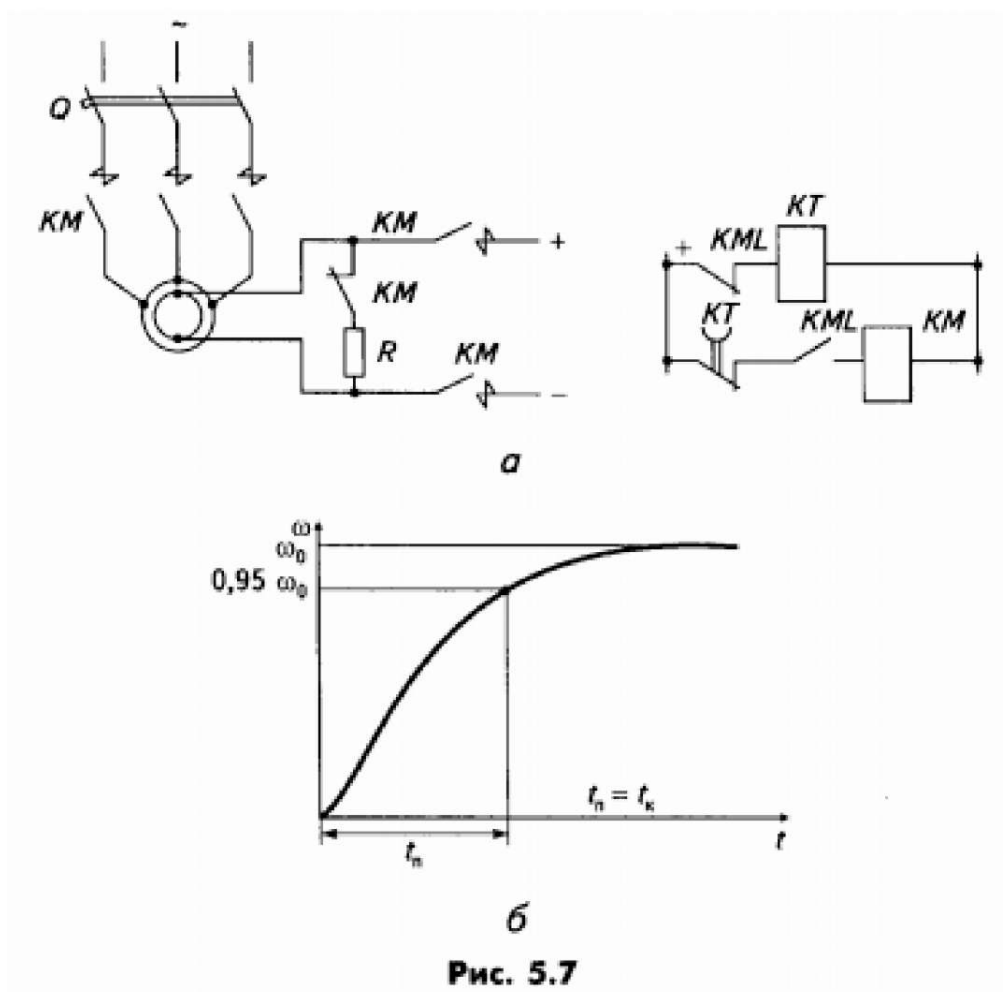


Рис. 5.7

Контроль за підсинхронною швидкістю у функції часу використовується в схемах СД з постійним навантаженням, або в разі пуску СД на холостому ході, коли наперед відомий час досягнення під синхронної швидкості.

Фрагмент схеми, що реалізує контроль у функції часу, наведено на рис. 5.7, а. Час пуску t_p до підсинхронної швидкості визначає електромагнітне реле КТ, яке починає відлік часу після початку асинхронного пуску.