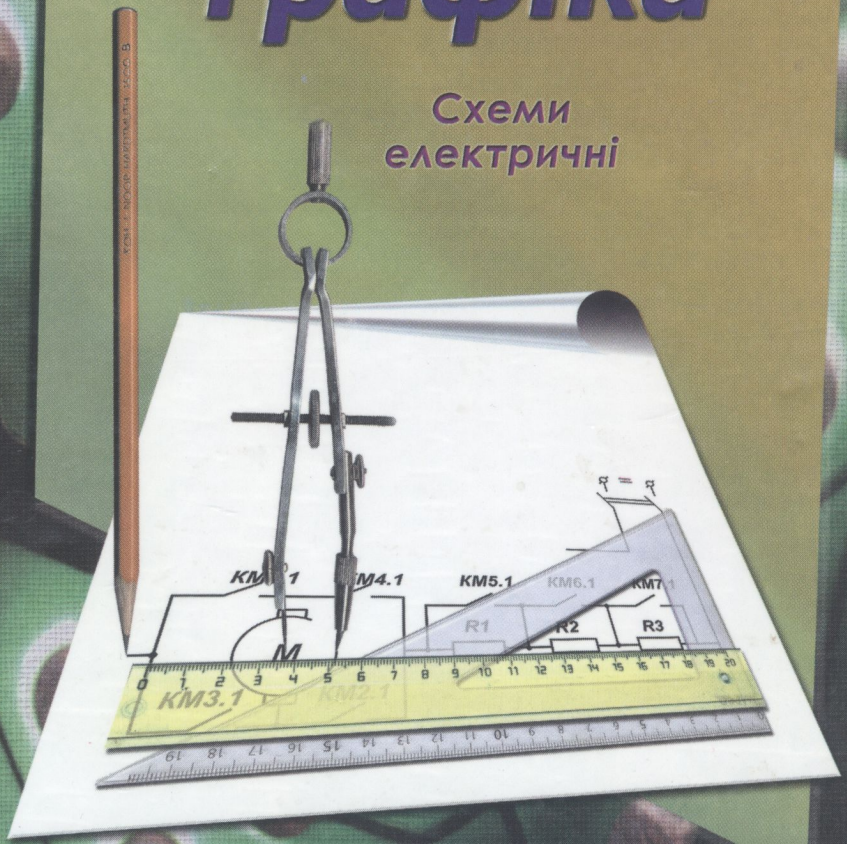


76(075)  
С60

О.І. Соловей, О.С.Хмеленко

# Інженерна графіка

Схеми  
електричні



КОНДОР

76(045)  
с60

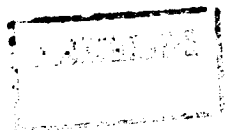
О.І. Соловей  
О.С. Хмеленко

# ИНЖЕНЕРНА ГРАФІКА: схеми електричні

Навчальний посібник

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*

*як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів*



Київ

КОНДОР

2005

ББК 32.85

I 62

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України  
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів  
(лист МОНУ № 14/18.2-2067 від 03.12.2003)*

**Рецензенти:**

Попович М.Г. — доктор техн. наук, зав. кафедрою електропривода та авторизації промислових установок НТУУ «КПІ»;

Закладний О.М. — кандидат техн. наук, заст. директора Інституту енергозбереження та енергоменеджменту НТУУ «КПІ»

**Соловей О.І., Хмеленко О.С.**

I 62 Інженерна графіка: Навч. посібник. — К.: Кондор, 2005. — 188 с.

ISBN 966-7982-45-9

У методичному посібнику подані вихідні матеріали стосовно електричних двигунів і апаратури управління ними, що є базою для правильного виконання електричних схем з точки зору інженерної графіки. Наведено 25 варіантів схем управління двигунами змінного і постійного струму з описом їхньої роботи.

Для студентів перших курсів технічних вузів з напрямом підготовки електро-техніка і електромеханіка. Може бути використаний студентами старших курсів при вивченні дисципліни щодо управління споживачами з електроприводом.

149352

ISBN 966-7982-45-9

© О.І. Соловей, 2003

© О.С. Хмеленко, 2003

© «Кондор», 2003

**НТБ ВНТУ**  
**м. Вінниця**

---

---

# Зміст

---

Передмова .....	4
1. Електричні двигуни та управління ними .....	5
1.1. Електрична оберտальна і робоча машини .....	5
1.2. Принцип роботи електричних двигунів, їх механічні характеристики .....	9
1.3. Призначення елементів електричних схем .....	19
2. Курсова робота на тему «Схеми електричні» .....	25
2.1. Завдання на проектування .....	25
2.2. Опис варіантів курсової роботи .....	25
2.3. Варіанти карт-завдань та опис роботи схем-завдань .....	29
3. Послідовність виконання курсової роботи .....	109
3.1. Етапи виконання курсової роботи .....	109
3.2. Вимоги до змісту текстово-теоретичної частини .....	110
4. Захист курсової роботи .....	124
Література .....	125
Додатки .....	126



## Передмова

Цей посібник призначений студентам електротехнічного та електромеханічного напрямів підготовки, яким необхідно вміти креслити електричні схеми згідно із стандартами, а також уміти їх читати. З цією метою в курсі “Інженерна графіка” введена курсова робота на тему “Схеми електричні”.

Виконуючи курсову роботу, першокурсники самостійно вивчають рекомендовані стандарти стосовно електричної елементної бази, видів, типів схем, правил їх виконання, самостійно креслять електричну принципову схему управління двигуном, з'ясовують принцип роботи схем. Одночасно розглядається як фізика процесів роботи окремих елементів схем, так і принципів положень стосовно пуску та гальмування двигунів. Після засвоєння принципу роботи заданої схеми студентам пропонується творча робота – скорегувати схеми й механічні характеристики згідно із завданням.

Підбір варіантів схем електропривода приблизно рівноцінний за складністю, завдяки чому забезпечується об'єктивна оцінка знань, отриманих студентом у результаті виконання курсової роботи.

Представлена курсова робота апробована протягом 10 років на кафедрі нарисної геометрії, інженерної і комп'ютерної графіки Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут” у групах електротехнічного та електромеханічного напрямів підготовки.

Навички студентів, отримані при виконанні графічної частини курсової роботи, являють собою базові знання при подальшому виконанні курсових і дипломних проектів. Посібник може бути корисним для студентів старших курсів при вивченні дисциплін стосовно управління споживачами з електроприводом.

# 1. Електричні двигуни та управління ними

## 1.1. Електрична оберտальна і робоча машини

Електричною обертальною машиною називають електричний апарат, який має обертальні один щодо іншого елементи, призначений для перетворення електричної енергії в механічну і в основі дії якого лежить явище електромагнітної індукції.

Робоча машина – це пристрій для виконання якоїсь дії певного призначення (наприклад, вентилятор, насос, підйомна машина тощо).

У багатьох випадках для забезпечення дії робочої машини використовується електрична машина для приведення в рух робочої машини.

Якщо електрична машина споживає енергію електричної мережі, перетворює і передає її робочій машині, то така електрична машина знаходиться в двигунному режимі роботи, інакше кажучи, є електричним двигуном. Якщо при будь-яких умовах механічна енергія робочої машини може передаватися електричній машині, в якій відбувається перетворення механічної енергії в електричну, то електрична машина знаходиться в генераторному режимі роботи.

Загальними режимами роботи електричних двигунів різних типів є процеси пуску, гальмування, роботи з постійною кутовою частотою обертання і регулювання кутової частоти обертання.

Пуск – це підключення двигуна до електричної мережі і розгін його до номінальної частоти обертання. Розрізняють пуск без навантаження (вхолосту) і під навантаженням. Під час пуску під навантаженням двигун повинен розвивати обертальний момент, який перевищує момент навантаження  $M_{\text{нав}}$  з'єднаної з валом двигуна робочої машини. Пусковий момент двигуна

$M_{\text{пуск}}$  у більшості випадків перевищує його номінальний момент  $M_{\text{ном}}$ , тобто такий момент, з яким двигун може працювати довгий проміжок часу. Розрізняють легкий пуск, коли  $M_{\text{нав}}/M_{\text{ном}} = 0,3-0,4$ , нормальний при  $0,4 < M_{\text{нав}}/M_{\text{ном}} \leq 1,0$  і важкий пуск при  $M_{\text{нав}}/M_{\text{ном}} > 1,0$ .

Пускові струми, як і моменти, іноді досягають настільки значних величин, що потребують їх штучного обмеження. Обмеження пускових струмів пов'язано з можливістю перегріву двигуна (при частих і зтяжних пусках), виникненню великих динамічних зусиль в обмотках, значною втратою напруги в мережі живлення, і, як наслідок, зниженням рівнів напруги на інших електричних споживачах цієї ж мережі. Обмеження пускових моментів необхідне у зв'язку з можливими великими механічними напруженнями в редукторах, з метою запобігання ударів у передачах, згідно з вимогами обмеження прискорення робочих машин тощо.

Гальмування двигуна має, як наслідок, зменшення його частоти обертання; розрізняють такі види електричного гальмування: рекуперативне – енергія гальмування віддається в мережу живлення; динамічне – енергія гальмування витрачається на нагрівання обмоток двигуна та спеціального реостату при відключенні двигуна (якоря двигуна) від первинної мережі живлення; противмикання – енергія гальмування витрачається, як і в попередньому випадку, з перемиканням обмоток двигуна для його обертання у зворотній бік.

Можливе сумісне використання електричного і механічного гальмування, а в деяких механізмах їх зупинка відбувається вільним вибігом двигуна при відключенні його від мережі.

Регулювання кутової частоти обертання являє собою зміну швидкості обертання двигуна. Допустиме навантаження при різних кутових частотах обертання обмежується допустимим нагрівом двигуна, що визначається струмом навантаження. Це означає, що при тривалій роботі з будь-якою кутовою частотою струм двигуна не повинен перевищувати номінальний.

Для приведення в обертання виконавчих органів робочої машини та управління рухом необхідно мати електромеханічний пристрій, який складається з електричного двигуна, управлюючого пристрою, а також може мати перетворювальний пристрій.

Електричний двигун та управлюючий пристрій, з одного боку, обумовлюють продуктивність робочої машини, з іншого

боку, механічна частина робочої машини і особливості її роботи впливають на роботу електричного двигуна. Так виникає необхідність розглядати спільно електричні й механічні пристрої, об'єднавши їх в електромеханічну систему.

При обертанні двигун повинен розвивати електромагнітний момент ( $M$ ) для переборення статичного моменту опору ( $M_{ст}$ ), який утворює робоча машина на валу двигуна. Якщо момент двигуна більше ніж статичний, буде прискорення обертання системи, при рівності – сталий режим, якщо менше – буде гальмування.

При дослідженнях електроприводу користуються графічним зображенням зміни моменту опору від кутової частоти обертання двигуна, яке називається механічною характеристикою.

Розрізняють механічні характеристики промислових механізмів  $M_{ст} = f(\omega)$  зі сталим статичним моментом (конвеєрні лінії зі сталим навантаженням); статичний момент опору яких є функцією швидкості (вентилятори, насоси, компресори); статичний момент яких залежить від шляху (підйомники).

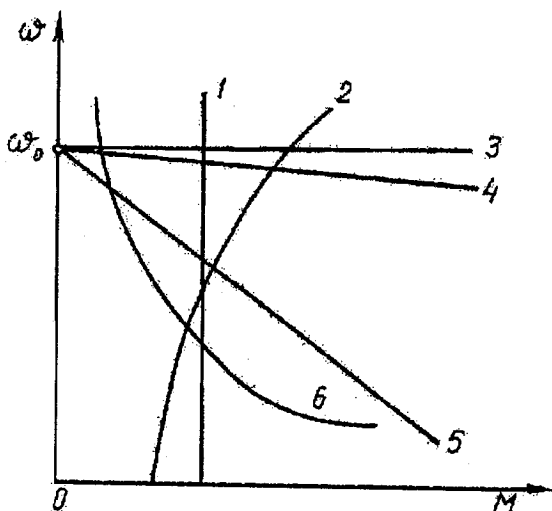
Механічні характеристики двигунів розрізняють залежно від величини зміни моменту зі зміною кутової частоти обертання:

- абсолютно жорсткі – кутова частота обертання залишається сталою при зміні моменту;
- жорсткі – зміна кутової частоти обертання в межах 3-5 % при зміні моменту від нуля до номінального;
- м'які – значна зміна моменту зі зміною частоти обертання.

Різні види механічних характеристик промислових механізмів і двигунів наведені на рис. 1. При номінальних параметрах двигуна і мережі (напруга й частота мережі, магнітний потік, внутрішній опір двигуна) механічні характеристики двигуна називаються природними, при зміні одного або кількох параметрів – штучними.

Усі електричні машини є оберненими, тобто можуть працювати як у двигунному, так і в генераторному режимах. У першому випадку електрична машина є споживачем електричної енергії, утворює на валу обертальний момент, який забезпечує рух виконавчого органу робочої машини; механічна характери-

стика машини в режимі двигуна відтворюється в першому квадранті. У другому випадку машина є джерелом електричної енергії, а її момент має зустрічний напрям до напрямку обертання, тобто вона гальмує рух; механічна характеристика в режимі гальмування відтворюється у другому квадранті.



*Рис. 1*

*Механічні характеристики робочої машини (1,2)  
і електричного двигуна (3-6)*

- 1 — з постійним статичним моментом;
- 2 — із залежним від швидкості статичним моментом;
- 3 — абсолютна жорстка;
- 4 — жорстка;
- 5,6 — м'яка.

Щоб розглянути процес роботи двигуна разом із робочою машиною їх механічні характеристики доцільно поєднувати на одному графіку, при цьому точка перетину характеристик ( $M = M_{ст}$ ) відповідає стійкому режиму роботи. При стійкому режимі електропривід самостійно повертається до цього режиму при різних змінах параметрів мережі і режиму роботи.

## 1.2. Принцип роботи електричних двигунів, їх механічні характеристики

У вигляді простіших машин використовуються електричні машини постійного струму, асинхронні двигуни з короткозамкненим і фазним ротором.

Схема, яка пояснює принцип дії і конструкцію двигуна постійного струму, показана на рис. 2.

При підключенні джерела постійного струму (рис. 2,а) до рамки 3 через щітки 1 по рамці потече струм. У результаті взаємодії магнітних потоків постійного магніту 4 і утвореного струмом магнітного потоку рамки на останню буде діяти обертальний момент, який визначається за правилом лівої руки; рамка починає обертатися. Для збереження напрямку струму в рамці при її оберті на  $180^\circ$  використовуються два півкільця 2.

У реальному двигуні постійного струму (рис. 2,б) нерухома частина машини 4, яка називається статором, має чітко виражені полюси 2, на яких розміщується обмотка збудження 1 для створення постійного магнітного поля. Обертальна частина машини 3, яка називається якорем (у двигуна змінного струму називається ротором), складається з великої кількості рамок 6 (витків або секцій), зміщених одна відносно одної по циліндричній поверхні якоря на визначений кут. Кожна секція має на якорі свої струмознімачі (типу півкільця), сукупність яких утворює так званий колектор – циліндр з мідних ізольованих одна від одної пластин. Підключення джерела струму до колектора відбувається за допомогою двох нерухомих щіток 5, розташованих симетрично по геометричній осі якоря. Кожну мить при обертанні якоря щітки і колектор забезпечують підключення до джерела постійного струму однієї або кількох секцій якоря.

Залежно від схеми підключення обмотки збудження і якоря розрізняють двигуни постійного струму незалежного, паралельного і послідовного збудження (рис. 3).

Механічні характеристики двигуна постійного струму незалежного (паралельного) збудження при сталих значеннях напруги, магнітного потоку й опору якоря наведені на рис. 4. Лінія 1 являє собою природну характеристику (при опорі реостата в колі якоря  $R_p = 0$ ), 1' – аналогічно для негативного зворотного напрямку обертання, 2 (2') і 3 (3') – штучні характеристики, при



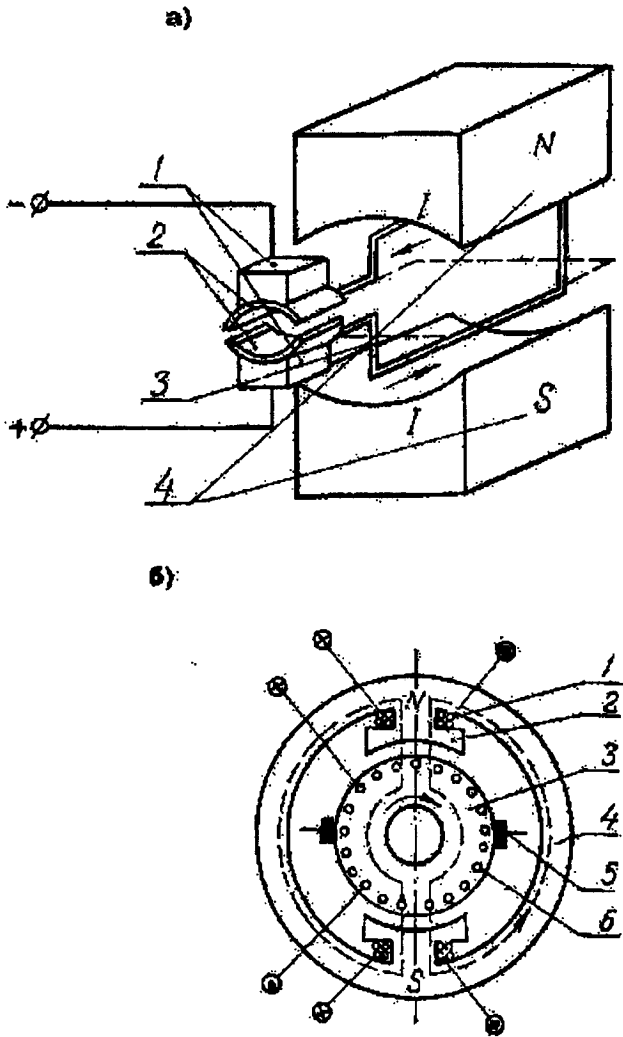


Рис. 2

Двигун постійного струму

а – принцип дії;

б – конструкція двигуна

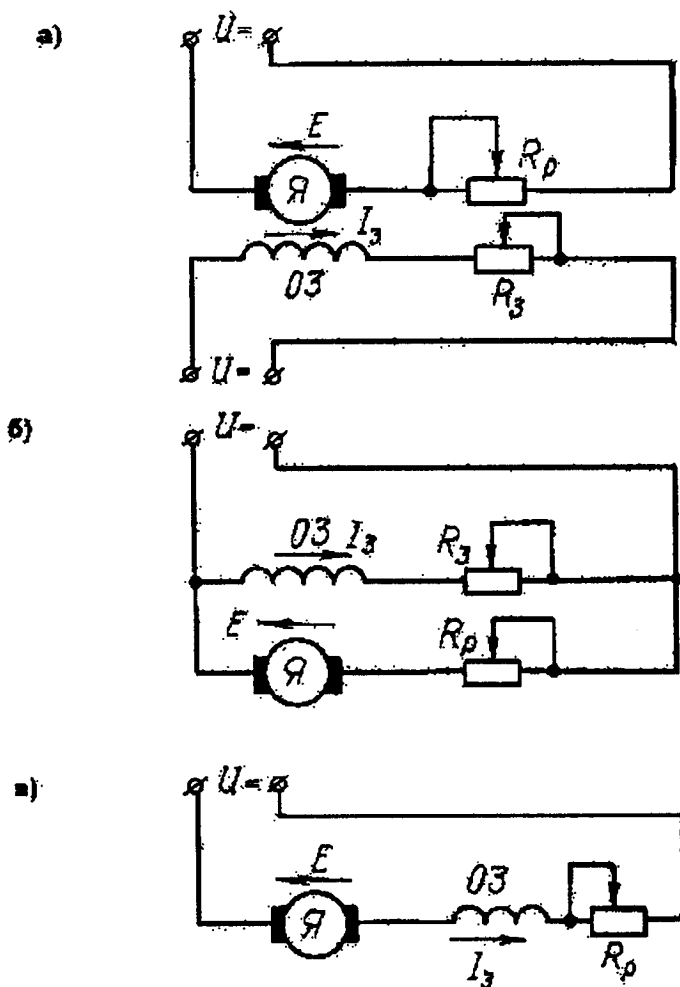


Рис. 3

Електричні схеми

підключення машин постійного струму

- а – незалежного збудження;
- б – паралельного збудження;
- в – послідовного збудження

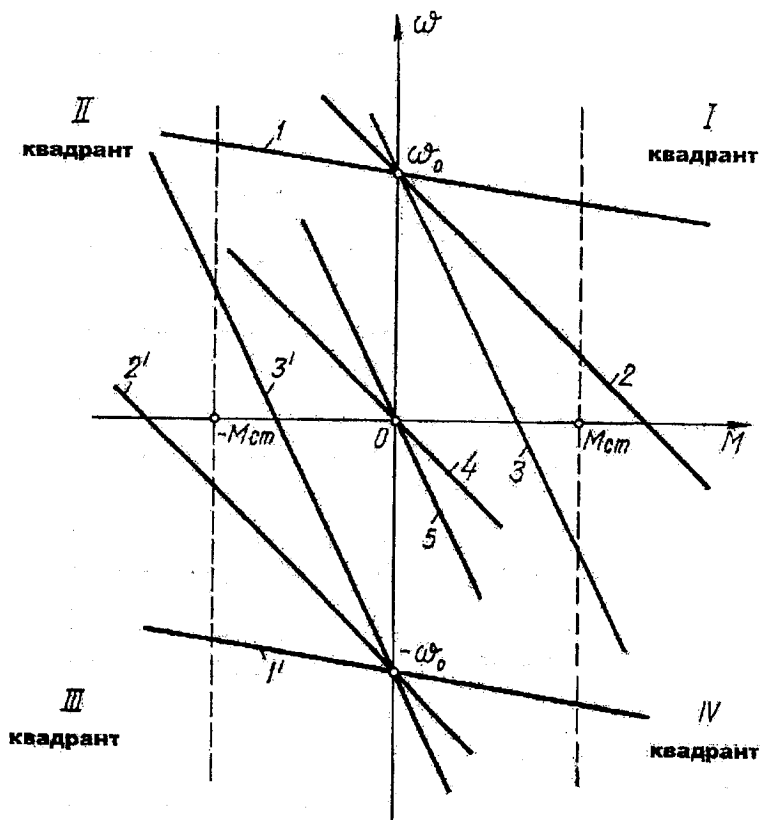


Рис. 4

*Механічні характеристики двигуна постійного струму незалежного (паралельного) збудження*

цьому чим більший опір реостата  $R_p$ , тим стрімкіше характеристика нахилена до вісі моментів. Відрізки характеристик у I і III квадрантах являють собою двигунний режим відповідно при позитивному і негативному напрямках обертання. У II квадранті характеристики 1-3 відповідають рекуперативному режиму позитивного напрямку обертання, 2' і 3' – режиму противмикання для негативного напрямку обертання, в IV квадранті – навпаки

характеристикам II квадранту. Лінії 4 і 5 являють собою характеристики динамічного гальмування для позитивного (в II квадранті) й негативного (у IV квадранті) напрямів обертання.

Практичними шляхами регулювання кутової частоти обертання двигуна постійного струму незалежного збудження є введення реостата в коло якоря, зміна струму збудження (магнітного потоку) і зміна напруги на якорі; механічні характеристики при вказаних способах регулювання наведені на рис. 5.

Якщо природна характеристика двигуна постійного струму незалежного збудження являє собою жорстку характеристику, то у двигуна послідовного збудження всі характеристики є м'якими. Схема і механічні характеристики двигуна постійного струму послідовного збудження при регулюванні кутової частоти обертання наведені на рис. 6.

Принцип роботи асинхронного двигуна легко пояснити на прикладі обертання замкненої рамки в полі постійного магніту (рис. 7,а). При механічному обертанні підковоподібного магніту в рамці, закріпленої на вісі, виникає ЕРС індукції, утворюючи в замкненому контурі рамки індукційний струм. Цей струм, взаємодіючи з магнітним полем магніту, що обертається, є причиною виникнення оберտального руху рамки. Кутова частота обертання рамки буде меншою, ніж магнітна, тому що при однаковій швидкості не було б перетину магнітними лініями магніту контуру рамки, і в останній не наводилась ЕРС індукції, а, як наслідок, був би відсутній оберտальний момент. Тож обертання рамки відбувається не синхронно з обертальним магнітним полем, а машини, побудовані на даному принципі роботи, називаються асинхронними.

В асинхронному двигуні (рис. 7,б,в) обертальне магнітне поле утворюється полюсами трифазної обмотки 2, яка розташована на статорі 1 та підключена до мережі трифазного змінного струму. Кутова швидкість обертання змінного магнітного поля обернено пропорційна числу пар полюсів статора. Обмотка статора має схему з'єднання "зіркою" або "трикутником".

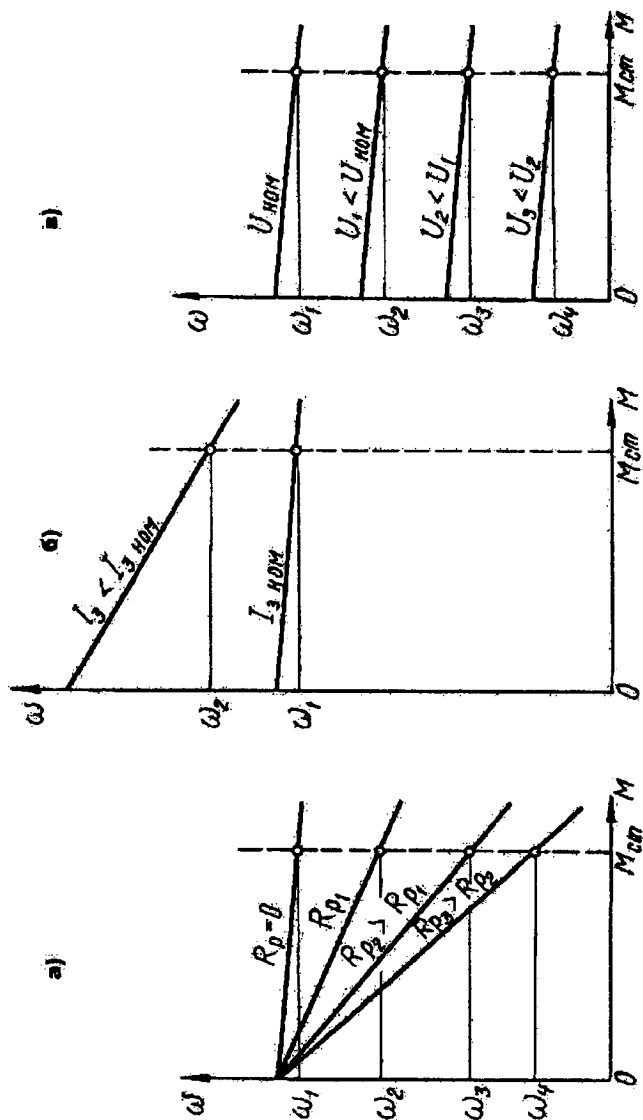


Рис. 5 Регулювання двигуна постійного струму незалежного збудження

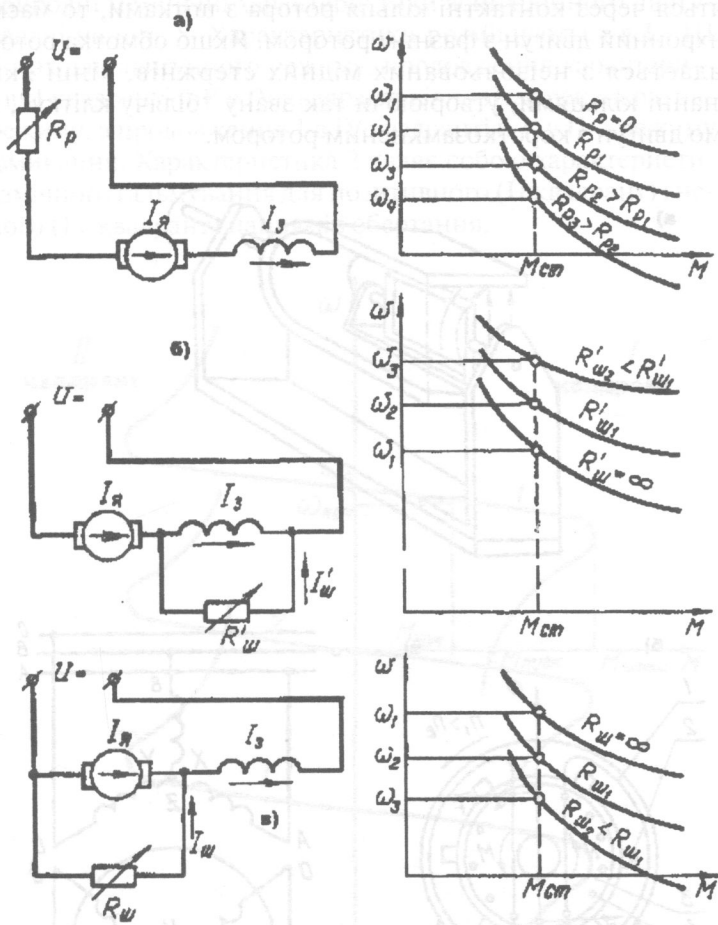


Рис. 6

Схеми і механічні характеристики регулювання частоти обертання двигуна постійного струму послідовного збудження  
 а – реостатом в ланцюгу якоря;  
 б – шунтовим реостатом обмотки збудження  
 в – шунтовим реостатом обмотки якоря.

Ротор асинхронного двигуна 3 являє собою циліндр із листової сталі з пазами, в яких розміщується обмотка ротора 4. Якщо кінці провідників обмотки з'єднанні, а початки при цьому ви-



водяться через контактні кільця ротора з щітками, то маємо асинхронний двигун з фазним ротором. Якщо обмотка ротора складається з неізолюваних мідних стержнів, кінці яких з'єднанні кільцями, утворюючи так звану "білячу клітку", то маємо двигун з короткозамкненим ротором.

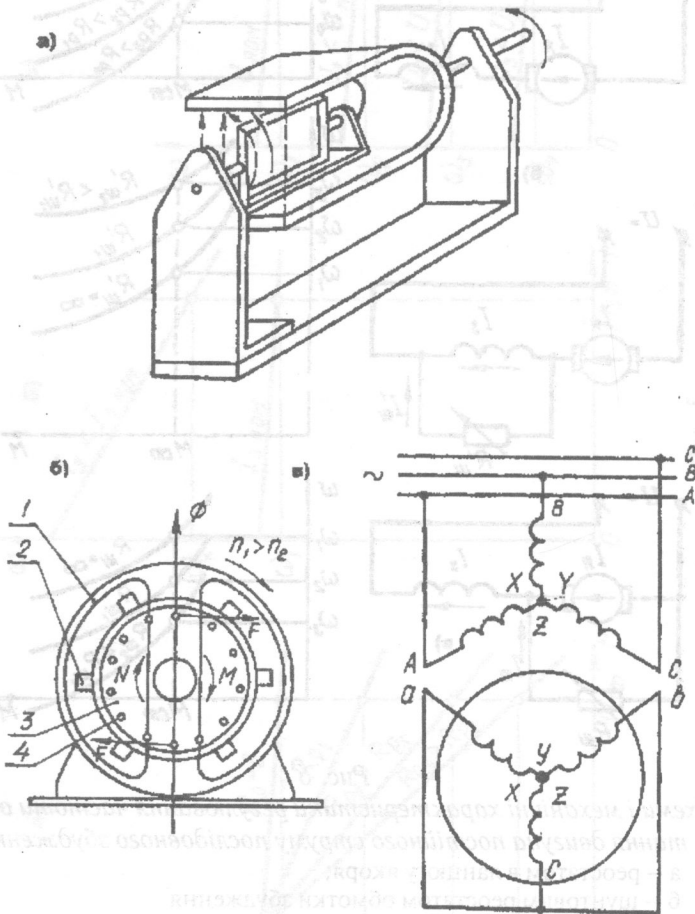


Рис. 7

Асинхронний електричний двигун

а – схема принципу дії; б – конструкція двигуна;  
в – електрична схема двигуна.

Природні механічні характеристики асинхронного двигуна наведені на рис. 8. Характеристики розміщуються в I і III квадрантах для двигунного режиму, продовження характеристики 1 в II квадранті й 1' в IV квадранті відповідає рекуперативному режиму, а продовження 1 в IV квадранті й 1' в II – режиму противмикання. Характеристика 2 являє собою характеристики динамічного гальмування для позитивного (II квадрант) і негативного (IV квадрант) напрямів обертання.

479352

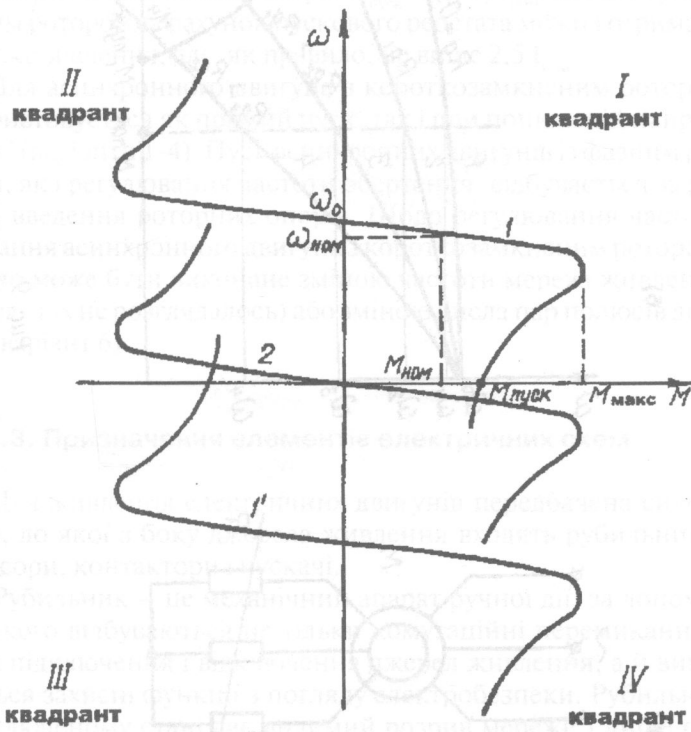


Рис. 8

Механічні природні характеристики і характеристики динамічного гальмування асинхронного двигуна

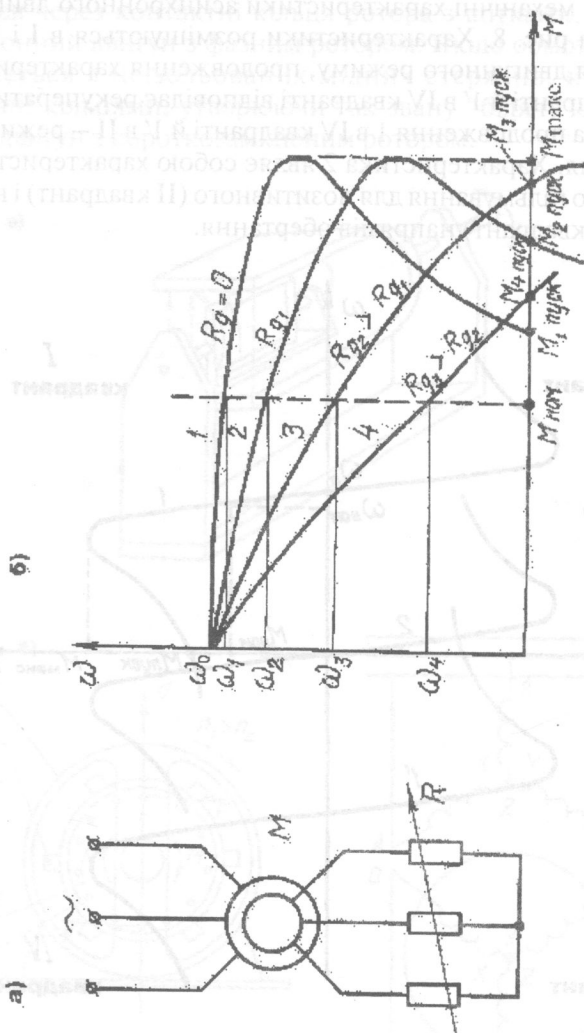


Рис. 9  
Умове зображення підключення (а) та природна (1) і штучні (2-4) характеристики (б) асинхронного двигуна з фазним ротором

Для асинхронного двигуна з фазним ротором при введенні в коло ротора додаткового опору отримуємо сукупність штучних (реостатних) характеристик (рис. 9). Зі змінням опору змінюється значення пускового моменту (пусковий момент визначається точкою перетину характеристики двигуна з віссю моментів), який при збільшенні опору збільшується до  $M_{\text{макс}}$ , а потім зменшується. З підключенням опору в коло ротора зменшується початкове значення пускового струму  $I_{\text{пуск}}$ . Для асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором  $I_{\text{пуск}} = (5-7) I_{\text{ном}}$ , для двигунів з фазним ротором за рахунок пускового реостата можна отримати будь-яке значення, але, як правило, не вище  $2,5 I_{\text{ном}}$ .

Для асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором використовується як прямий пуск, так і при пониженій напрузі мережі (варіанти 1-4). Пуск асинхронних двигунів із фазним ротором, як і регулювання частоти обертання, відбувається за рахунок введення роторних опорів. Щодо регулювання частоти обертання асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, то воно може бути виконане зміною частоти мережі живлення (у варіантах не розглядалось) або зміною числа пар полюсів двигуна (варіант 6).

### **1.3. Призначення елементів електричних схем**

Для живлення електричних двигунів передбачена силова схема, до якої з боку джерела живлення входять рубильники, реверсори, контактори і пускачі.

Рубильник – це механічний апарат ручної дії, за допомогою якого відбуваються не тільки комутаційні перемикання в колах підключення і відключення джерел живлення, а й виконуються захисні функції з погляду електробезпеки. Рубильник у відкритому стані дає видимий розрив мережі, і лише при такому стані можливі будь-які зміни схеми, яку за допомогою рубильника підключають до мережі живлення. Рубильник має два положення – розімкнене і замкнене, в електричних схемах вказується на початкове положення рубильника, тобто в розімкненому стані. Розрізняють рубильники однофазні, двофазні і трифазні, в останніх одночасно вручну замикаються або розмикаються відповідно дві чи три фази.

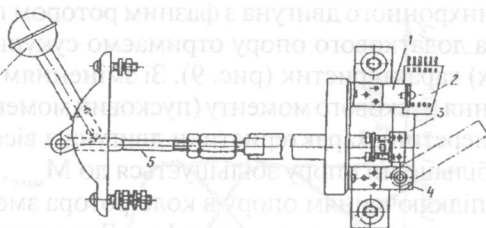


Рис. 10  
Рубильник з важільним приводом

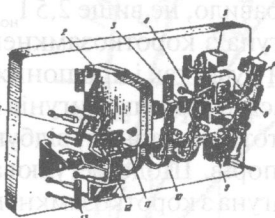


Рис. 11  
Контактор змінного струму

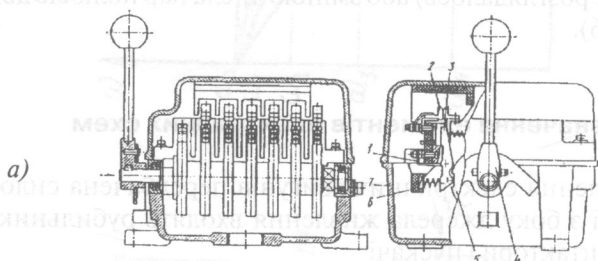
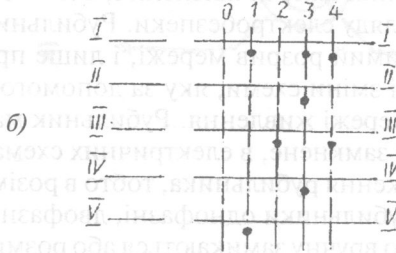


Рис. 12

Кулачковий контролер

а) загальний вигляд



б) електрична схема

На рис. 10 зображений рубильник з важільним приводом. Рухомий контакт — ніж 3 обертається в шарнірі 4, утворюючи розрив з нерухомим контактом 1. Дугогасильна камера 2 забезпечує гасіння дуги. Ножі всіх полюсів об'єднанні ізоляційним пристроєм, рух якому передається тягою 5. Держак 6 монтується на передній стороні шафи, а контактна частина — всередині шафи, що робить операції з рубильником безпечними для персоналу.

Реверсор за функціями, що виконує, подібний до рубильника, у більшості випадків має трифазне виконання і три положення — нейтральне (розімкнене з видимим розривом фаз), замкнене вліво і замкнене вправо, що дозволяє вручну змінювати послідовність фаз, тим самим можна змінювати напрям обертання електричного двигуна. В електричних схемах первинний стан реверсора наведений з ножами в нейтральному положенні.

Контактор — це автоматичний апарат дистанційної дії. Будова триполюсного контактора змінного струму наведена на рис. 11. Магнітна система контактора набирається з листової сталі та складається з осердя 5, котушки 8 і якоря 7, закріпленого на валику 11. При підключенні котушки 8 до мережі змінного струму якір притягується до осердя; валик 11, на ізольованій частині якого розміщені рухомі головні контакти 4, повертається, таким чином, рухомі контакти замикаються з нерухомими контактами 3. Підведення струму до рухомих контактів відбувається гнучкими провідниками 10. Необхідне натиснення контактів забезпечується пружинами 9. Одночасно з головними контактами замикаються допоміжні контакти 1 і розмикаються 13, завдяки повороту траверси 12, що несе рухомі містки допоміжних контактів.

При відключенні котушки 8 валик 11 під дією маси рухомої системи контактора повертається в зворотному напрямі, у результаті чого контакти повертаються у початкове положення. Гасіння дуги на контактах, що розмикаються, відбувається в дугогасильній камері 2 (на рис. 11 камери з двох полюсів зняті). Для зменшення гудіння і вібрації контактора змінного струму використовується мідний короткозамкнений виток 6, який закладається в поверхню торчака якоря 3.

В електричних схемах позначається стан і положення контактів контактора, коли через котушку контактора не протікає електричний струм, тобто контактор знаходиться у відключе-



ному стані. Головні контакти контактора використовуються для перемикачів у силовій схемі, допоміжні — у схемі управління. Здебільшого контактори мають трифазне виконання за кількістю силових контактів для перемикачів трьох фаз, рідко — двофазне; допоміжні контакти однофазні, їх кількість набирається за потребою. Контактори бувають змінного і постійного струмів, на схемах це легко визначити залежно від мережі живлення схеми управління — змінного чи постійного струму.

Пускач — це автоматичний апарат дистанційної дії, до складу якого входить контактор, засоби захисту від коротких замикань або перевантажень у вигляді запобіжників або теплових реле, і схема дистанційного управління. Розрізняють нереверсивні і реверсивні пускачі. В останньому використовуються два контактори для підключення двигуна “вперед” і “назад”, тобто для зміни напрямку обертання двигуна, як і у реверсора, але не вручну, а автоматичним натисненням кнопки управління, що розташована на відстані від двигуна.

У силове коло входять також пускові опори й додаткові опори гальмування, реле контролю режиму роботи; при високовольтній схемі живлення (6–10 кВ) елементами силового кола можуть бути роз'єднувачі, автотрансформатори, реактори.

Схема управління живиться від окремого джерела живлення або від мережі, що живить двигун. Схема до джерела живлення підключається за допомогою рубильника і захищена від струмів короткого замикання плавкими запобіжниками.

Призначення схеми управління — забезпечити дистанційний пуск і зупинку двигуна, змінити, за потребою, режим роботи, забезпечити відключення двигуна від мережі живлення при аварійному режимі роботи. Це забезпечується за допомогою контакторів, різного роду реле, кнопкових вимикачів, контролерів, відцентрових вимикачів тощо.

Конструкція реле подібна до конструкції контактора для однієї фази. Розрізняють реле струму, реле напруги, проміжне реле, реле часу тощо. Реле струму мають малий опір і підключаються в розрив лінії, інші реле підключаються на повну напругу мережі. Більшість реле миттєвої дії, що означає миттєве замкнення розімкнених контактів при підключенні котушки реле до мережі або досягненні струму в котушці реле струму визначеного значення і навпаки при відключенні від мережі живлення.

Реле часу має таку конструкцію, яка дозволяє затримку замкнення або розімкнення контактів на визначений час.

Кнопкові вимикачі бувають: простими для підключення мережі (з нормально розімкненим контактом) і відключення мережі (з нормально замкненим контактом) та контактено-натисккові, після натиснення і відпускання контакти повертаються в первісний стан (до натиснення). Для можливості реверсу двигуна використовуються дві кнопки, а отже, а) кнопка з нормально розімкненими контактами для обертання двигуна в протилежні напрями; б) кнопка з нормально замкненим контактом для відключення двигуна. Замість трьох кнопок можна використати складний кнопковий вимикач, перевагою якого є блокування неможливості одночасного підключення двигуна для обертання у протилежні напрями.

Для одночасного замкнення-розімкнення кількох кіл використовуються контролери. Один з видів контролера – кулачковий – наведено на рис. 12,а. Комутаційні елементи контролера розміщені на двох пластмасових рейках 6. Привод елементів відбувається за допомогою кулачкових шайб, які змонтовані на барабані 5. Кожна з шайб керує одночасно двома кулачковими елементами, розташованими на двох рейках. Кулачкові шайби мають визначений профіль для утворення необхідної послідовності комутації пари контактних елементів. Кулачковий барабан повертають перемикачем 4. Головні контакти 2 контролера виконані з міді. Нерухомі контакти закріплені безпосередньо на пластмасових рейках, а рухомі – на контактних важелях 3 зі суглобо-пружинним зв'язком між важелем і контактом. Електричний зв'язок рухомих контактів із вивідними затискачами здійснюється через гнучке з'єднання 1. При набіганні гребня кулачкової шайби на ролик контактного важеля останній повертається і контакти розмикаються. При сході ролика з гребня шайби важіль під дією зворотної пружини переводить контакти в замкнутий стан.

Контролер має нульову позицію і кілька робочих, причому ці позиції можуть бути як в один, так і в два боки відносно нульової. Переміщення позицій відбувається послідовно в одному напрямі відносно від нульового. У кожній позиції має місце замкнення або розімкнення однієї або кількох ліній живлення елементів схеми управління, у результаті чого зі схеми можна

вилучити реле часу, проміжні реле тощо. Схематично контролер наведений на рис. 12,б. Зазначений приклад означає, що дія контролера впливає на стан 5-ти ліній у схемі управління, сам контролер має нульову і чотири робочі позиції. Крапка під умовною горизонтальною лінією, яка розірвана контролером, означає, що в цій позиції контролер забезпечує з'єднання цієї лінії. Так, у наведеній схемі в позиції 1 замикається перша і п'ята лінії, у позиції 2 – третя лінія, у позиції 3 – перша, друга і четверта лінії, а в позиції 4 – перша й третя лінії. У нульовому положенні також можуть мати місце з'єднання ліній. У технічній літературі мають місце зображення контролерів без нульової позиції. Після виконання циклу операцій (наприклад, пуск двигуна і його зупинка) контролер повинен бути повернутий у первинний стан (у нашому випадку в нульову позицію).

Відцентровий вимикач являє собою двопозиційний регулятор швидкості, який має механічний зв'язок із двигуном. У первинному стані, до пуску двигуна, його контакт розімкнений. При розгоні двигуна й досягненні визначеної швидкості регулятор під дією відцентрових сил замикає свій контакт, і поки двигун працює, контакт знаходиться в замкненому стані. При гальмуванні двигуна й зменшенні швидкості обертання при визначеній швидкості відцентровий вимикач відпускає свій якір і розриває контакт у схемі управління. Такий принцип роботи відцентрового вимикача закладений у варіантах схем. У разі потреби можливо зробити подібний вимикач з оберненою роботою контактів у порівнянні з описаною.

Для пояснення фізики процесів, що відбуваються, наведені механічні характеристики пуску двигуна, зміни режиму його роботи, гальмування. Слід чітко уявляти, що перехід з однієї характеристики на іншу є наслідком замкнення або розімкнення відповідних силових контактів контакторів, при цьому сам перехідний процес відбувається при однаковій кутовій частоті обертання двигуна, тобто з переходом з однієї характеристики на іншу кутова частота обертання двигуна не змінюється.

## **2. Курсова робота на тему «Схеми електричні»**

### **2.1. Завдання на проектування**

Завдання на курсове проектування видається викладачем протягом перших двох тижнів початку семестрових занять у вигляді бланка завдання. Бланк завдання заповнюється студентом і підписується викладачем.

У бланку завдання вказується назва вищого навчального закладу, дисципліна, з якої проводиться курсова робота, кафедра, на якій впроваджена курсова робота, група, в якій навчається студент, семестр проведення роботи.

На зворотній стороні бланка завдання наведений календарний план виконання курсової роботи. У плані вказані основні етапи роботи і терміни їх виконання. Викладач постійно контролює графік виконання курсової роботи, що в подальшому враховується при виставленні оцінки за захищену курсову роботу.

У бланку завдання вказані також термін видачі й термін подачі викладачу готової курсової роботи на перевірку перед її захистом.

Зразок бланка-завдання наведений на стор 26-27.

### **2.2. Опис варіантів курсової роботи**

Для виконання курсової роботи заданий варіант завдання дається у підрозділі 2.3.

В описі спочатку в скороченій формі наведені теоретичні відомості виконання того чи іншого процесу.

У кожному варіанті наводиться силова схема і схема управління. У силовій схемі мають місце значні струми за рахунок

Міністерство освіти і науки України

---

(назва учбового закладу)

Кафедра \_\_\_\_\_  
Дисципліна \_\_\_\_\_  
Спеціальність \_\_\_\_\_  
Курс \_\_\_\_\_ Група \_\_\_\_\_ Семестр \_\_\_\_\_

### **ЗАВДАННЯ** на курсову роботу студента

---

(прізвище, ім'я, по батькові)

- 1 Тема роботи: "Схеми електричні"
- 2 Строк здачі студентом закінченої роботи \_\_\_\_\_
- 3 Вихідні дані до роботи карта-завдання та опис роботи схеми-завдання "Пуск двигуна \_\_\_\_\_", варіант № \_\_\_\_\_
- 4 Зміст текстово-теоретичної частини роботи (перелік питань, які підлягають висвітленню) Вступ, мета і задачі. Загальні вимоги до виконання схем. Правила виконання схем електричних принципів. Літерно-цифрові позначення елементів. Системи позначення ланцюгів.
- 5 Перелік графічного матеріалу:  
Графічна робота №1 "Позначення умовні графічні в схемі-завданні."  
Графічна робота №2 Схеми завдання "Пуск двигуна \_\_\_\_\_"  
"\_\_\_\_\_  
"\_\_\_\_\_  
Графічна робота №3 Скорегована схема "Пуск двигуна \_\_\_\_\_"  
"\_\_\_\_\_  
"\_\_\_\_\_
- 6 Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## Календарний план

Назва етапів курсової роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1 Ознайомлення з матеріалом К. Р.	23.02	
2 Вступ. Мета і задачі	23.02	
3 Загальні вимоги до виконання текстових документів	2.03	
4 Види і типи схем	2.03	
5 Загальні вимоги до виконання схем	9.03	
6 Правила виконання схем електричних принципових	16.03	
7 Літерно-цифрові позначення елементів	23.03	
8 Системи позначення ланцюгів	23.03	
9 Графічна робота №1	30.03	
10 Графічна робота №2	6.04	
11 Графічна робота №3	13.04	
12 Оформлення курсової роботи	20.04	
13 Підготовка до захисту	27.04	
14 Захист курсової роботи	30.04... 10.05	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ (прізвище, ім'я, по батькові)  
(підпис) „ „ \_\_\_\_\_ 200\_\_ р.



підключення двигуна. У ній використовуються основні контакти ручних й автоматичних пристроїв, можуть підключатися теплові реле, реле струму і напруги. У силовій схемі використовується джерело змінного струму для асинхронних двигунів і джерело постійного струму для машин постійного струму.

Схема управління може мати те саме джерело живлення або живитися від джерела меншої напруги, при цьому це джерело може бути як змінного, так і постійного струму. За величиною струму у схемах управління значно менші, ніж у силових схемах, і визначаються навантаженням котушок контакторів і котушок реле різного призначення. Для перемикачів у схемі управління використовуються допоміжні контакти контакторів на малі струми, контакти реле різного роду, апарати ручного управління.

Для розуміння принципу дії процесу, який викладений у варіанті, треба розшифрувати електричні схеми варіанта. Для цього в карті-завданні, яка подана зразу ж за описом дії розглянутого варіанта, слід замість кіл та прямокутників із вказаними в них числами накреслити відповідні електричні елементи схем згідно з довідковою таблицею, наведеною в п.2.4.

Після розшифрування схем згідно з описом відбувається з'ясування конкретної дії кожного елемента, призначення перемикачів у схемах, принципу досягнення поставленої мети в розглянутому варіанті.

Для більшої зрозумілості процесів, що відбуваються з двигуном, наведені механічні характеристики двигуна і робочої машини, на яких спостерігається послідовність зміни моментів і частоти обертання двигуна. Слід зауважити, що перехід з однієї характеристики двигуна на іншу за умови ступеневої зміни опору в мережі двигуна відбувається при одній частоті обертання двигуна.

Таким чином, різні перемикачів у схемах і механічні характеристики треба розглядати одночасно, щоб мати повне уявлення щодо процесу, який наводиться в описі варіанта.

## **2.3. Варіанти карт-завдань та опис роботи схем-завдань**

### **2.3.1. Варіант 1**

#### **Пуск асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором із перемиканням обмотки статора з трикутника на зірку**

Даний пуск є одним із різновидів запуску двигуна з короткозамкненим ротором при зниженій напрузі й може бути здійснений лише за наявності початків і кінців обмоток статора на щитку двигуна, а також при з'єднанні обмоток статора в робочому режимі в трикутник. Під час пуску початковий пусковий момент двигуна повинен бути більшим, ніж статичний момент робочої машини.

Перед початком пуску двигуна в силовому колі реверсом S1 встановлюється потрібний напрям обертання двигуна, у схемі управління вмикається рубильник S2 і натиском на кнопковий вимикач SB3 замикається коло живлення котушки контактора KM2. Після спрацювання контактор власними силовими контактами KM2.1 з'єднує обмотку статора в зірку, що забезпечує зниження напруги на фазу в  $\sqrt{3}$  раз. Одночасно із замкненням контактів KM2.1 замикаються допоміжні контакти KM.2.2, KM2.4 і розмикається KM2.3. Замкнення KM2.2 забезпечує шунтування кнопочного вимикача SB3, у результаті чого можна відпустити кнопочний вимикач без розриву кола живлення котушки контактора KM2; замкнення KM2.4 забезпечує підготовку до включення контактора KM1; розімкнення KM2.3 забезпечить неможливість одночасного включення контакторів KM3 і KM2, що спричинило б трифазне коротке замикання. Отже, електрична схема підготовлена до пуску двигуна.

Пуск двигуна відбувається натисненням кнопкового вимикача SB1, який замикає коло живлення котушки контактора KM1. Контактор спрацює і своїми контактами KM1.1 підключить двигун до мережі. Двигун починає набирати оберти згідно з штучною характеристикою 2 з точки *a* до точки *b*, при цьому пусковий момент двигуна приблизно в три рази менший, ніж при природній характеристиці (момент асинхронного дви-

гуна пропорційний квадрату напруги). Водночас із замкненням силових контактів КМ1.1 замикаються допоміжні контакти: КМ1.2 – забезпечує шунтування кнопчного вимикача SB1; КМ1.3 – зашунтує контакт КМ2.4 в колі живлення котушки контактора КМ1; КМ1.4 – підготовляє коло включення контактора КМ3.

Під час розгону двигуна до визначеної швидкості (точка *b*) натискується кнопковий вимикач SB4, який розриває коло живлення котушки контактора КМ2. Під час відключення контактор розриває свої силові контакти КМ2.1 і допоміжні контакти КМ2.2, КМ2.4, а також замикає контакт КМ2.3. Останній забезпечить замкнення кола котушки контактора КМ3, тоді контактор спрацює і замкне свої силові контакти КМ3.1, що призведе до схеми з'єднання обмотки статора в трикутник, тобто на повну напругу мережі. Відбувається перехід запуску на природну характеристику 1 у точці *c*; розгін двигуна продовжується до точки *d* стійкої роботи, де буде рівновага механічного моменту двигуна і статичного моменту робочої машини (лінія 3).

Для зупинки двигуна в будь-який момент під час запуску або при його тривалій роботі необхідно натиснути кнопковий вимикач SB2, який розриває коло живлення контактора КМ1 з наступним відключенням двигуна від мережі живлення контактами КМ1.1. Аналогічне відключення буде при спрацюванні теплових реле КА1 або КА2.

**Завдання.** Змінити схему управління для здійснення пуску двигуна з автоматичним перемиканням на природну характеристику у функції часу.

**Примітка.** Один із засобів перемикання у функції часу викладений у варіанті 15.



### **2.3.2. Варіант 2**

#### **Реакторний пуск асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором**

Пуск асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором пов'язаний із значними пусковими струмами, у результаті чого в мережі живлення мають місце значні втрати напруги. Особливо це стосується двигунів великої потужності, під час пуску яких у мережах виникають такі втрати напруги, що можуть відключатися інші двигуни, що живляться від тієї ж мережі.

Реакторний пуск – це один із видів пуску асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором при зниженій напрузі, результатом чого є зменшення пускового струму двигуна, при цьому зменшується також і пусковий момент. Такий пуск передбачається для потужних двигунів у мережах з напругою вище 1000 В. У спрощеному вигляді реактор – це котушка індуктивності, опір якої є нелінійним; при значних струмах втрата напруги на реакторі також значна, при зниженні струму втрата напруги на реакторі знижується в більшому ступені, ніж зменшується струм.

Для підготовки двигуна до пуску вмикається роз'єднувач S1 в силовому колі й рубильник S2 у схемі управління, при цьому ніяких перемикачів у схемах не відбувається. Схеми підготовлені до пуску двигуна.

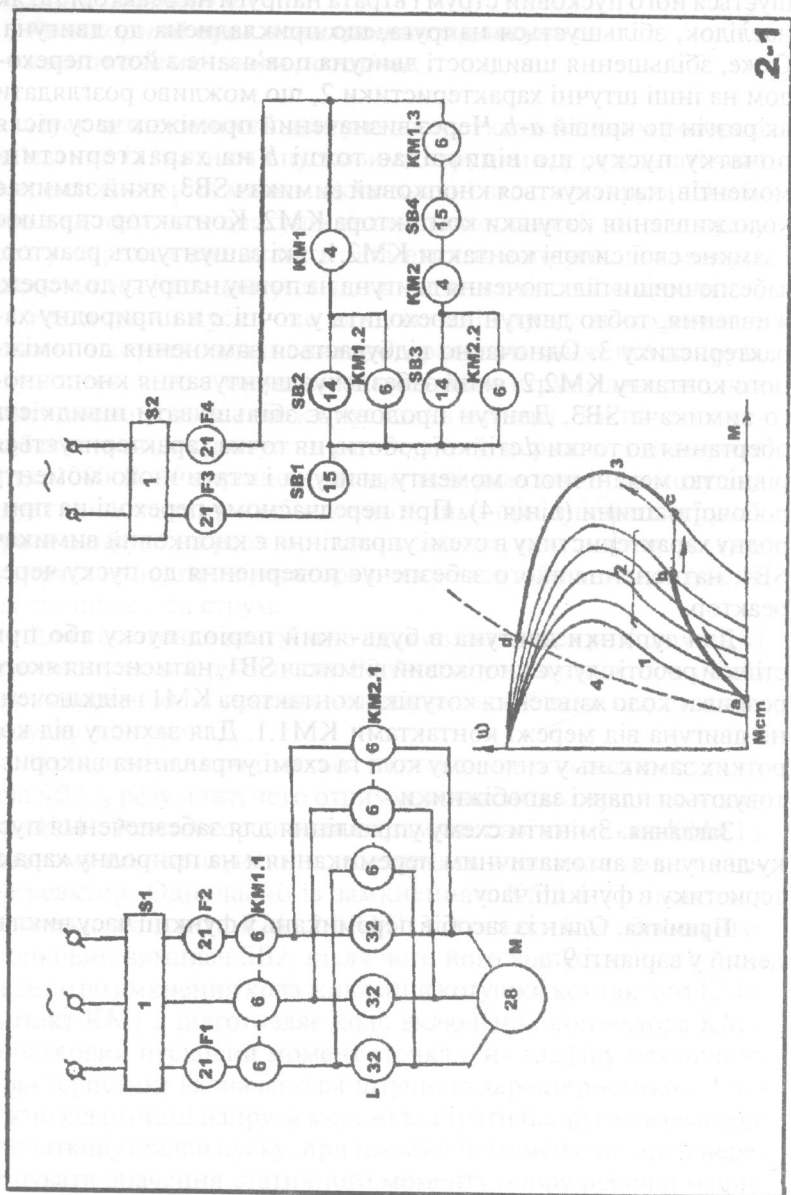
Пуск двигуна починається натисненням кнопкового вимикача SB2, у результаті чого отримує живлення котушка контактора KM1. Контактор спрацює і замкне свої контакти KM1.1 у силовому колі двигуна, що забезпечить живлення двигуна через реактор. Одночасно із замкненням KM1.1 замикаються допоміжні контакти KM1.2 і KM1.3. Контакт KM1.2 зашунтує кнопковий вимикач SB2, після чого його відпускання не призведе до розімкнення кола живлення котушки контактора KM1; контакт KM1.3 підготовляє коло включення контактора KM2. Початковий пусковий момент (точка *a* на графіку механічних характеристик) визначається штучною характеристикою 1 залежно від різниці напруги мережі та втрати напруги на реакторі в початкову стадію пуску, при цьому цей момент повинен перевищувати значення статичного моменту опору робочої машини (лінія 4). При збільшенні швидкості обертання двигуна змен-

шується його пусковий струм і втрата напруги на реакторі та, як наслідок, збільшується напруга, що прикладнена до двигуна. Отже, збільшення швидкості двигуна пов'язане з його переходом на інші штучні характеристики 2, що можливо розглядати як розгін по кривій *a-b*. Через визначений проміжок часу після початку пуску, що відповідає точці *b* на характеристиці моментів, натискується кнопковий вимикач SB3, який замикає коло живлення котушки контактора KM2. Контактор спрацює і замкне свої силові контакти KM2.1, які зашунтують реактор, забезпечивши підключення двигуна на повну напругу до мережі живлення, тобто двигун переходить у точці *c* на природну характеристику 3. Одночасно відбувається замкнення допоміжного контакту KM2.2, який забезпечує шунтування кнопочно-го вимикача SB3. Двигун продовжує збільшувати швидкість обертання до точки *d* стійкої роботи, ця точка характеризується рівністю механічного моменту двигуна і статичного моменту робочої машини (лінія 4). При передчасному переході на природну характеристику в схемі управління є кнопковий вимикач SB4, натиснення якого забезпечує повернення до пуску через реактор.

Для зупинки двигуна в будь-який період пуску або при стійкій роботі слугує кнопковий вимикач SB1, натиснення якого розриває коло живлення котушки контактора KM1 і відключення двигуна від мережі контактами KM1.1. Для захисту від коротких замикань у силовому колі та схемі управління використовуються плавкі запобіжники.

**Завдання.** Змінити схему управління для забезпечення пуску двигуна з автоматичним перемиканням на природну характеристику в функції часу.

**Примітка.** Один із засобів перемикань у функції часу викладений у варіанті 9.



### 2.3.3. Варіант 3

#### **Автотрансформаторний пуск асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором**

Під час пуску двигуна з короткозамкненим ротором мають місце значні пускові струми і, як наслідок, великі втрати напруги, що знижує ефективність роботи, а в деяких випадках призводить до відключення інших споживачів, що живляться від тієї ж мережі. Тому під час пуску двигунів великої потужності використовують знижену напругу, при цьому знижується і пусковий струм двигуна. Одним із методів зниження напруги є використання автотрансформатора, цей метод використовується здебільшого в мережах з напругою вище 1000 В.

Перед пуском у силовій схемі вмикається роз'єднувач S1, а в схемі управління – рубильник S2. Для приведення схеми управління у вихідний стан натискається кнопковий вимикач SB4, який забезпечує замкнення кола котушки контактора КМ3. Контактор своїми силовими контактами КМ3.1 з'єднає виводи автотрансформатора в зірку. Одночасно контактор КМ3 своїм допоміжним контактом КМ3.2 зашунтує кнопку SB4, після чого є можливість її відпустити без розриву кола живлення контактора КМ3, а контактом КМ3.3 підготовляє коло включення контактора КМ2. Таким чином, схема управління підготовлена до пуску двигуна.

Пуск двигуна починається натисненням кнопкового вимикача SB3, який замикає коло живлення котушки контактора КМ2. Контактор спрацює і своїми силовими контактами КМ2.1 підключить двигун до мережі живлення через автотрансформатор АТ, в результаті чого на двигун подається знижена напруга. Двигун починає набирати швидкість згідно з штучною механічною характеристикою 1 з точки *a*, при цьому початковий пусковий момент двигуна повинен перевищувати початковий статичний момент опору робочої машини (лінія 4). Одночасно із замкненням контактів КМ2.1 замикається допоміжний контакт КМ2.2, який шунтує кнопку SB3 з контактом КМ3.3, і контакт КМ2.3, який готує до замкнення коло живлення котушки контактора КМ1. Через визначений проміжок часу, що відповідає точці *b* на характеристиці 1, натискається кнопковий вимикач SB5, який розриває коло живлення котушки кон-



тактора КМ3, якір контактора відпадає, розмикаючи силові контакти КМ3.1. Зрештою, отримаємо живлення двигуна через котушку індуктивності, що подібно реакторному пуску. Збільшення швидкості двигуна відбувається згідно зі штучними характеристиками 2, тобто по лінії *b-c*.

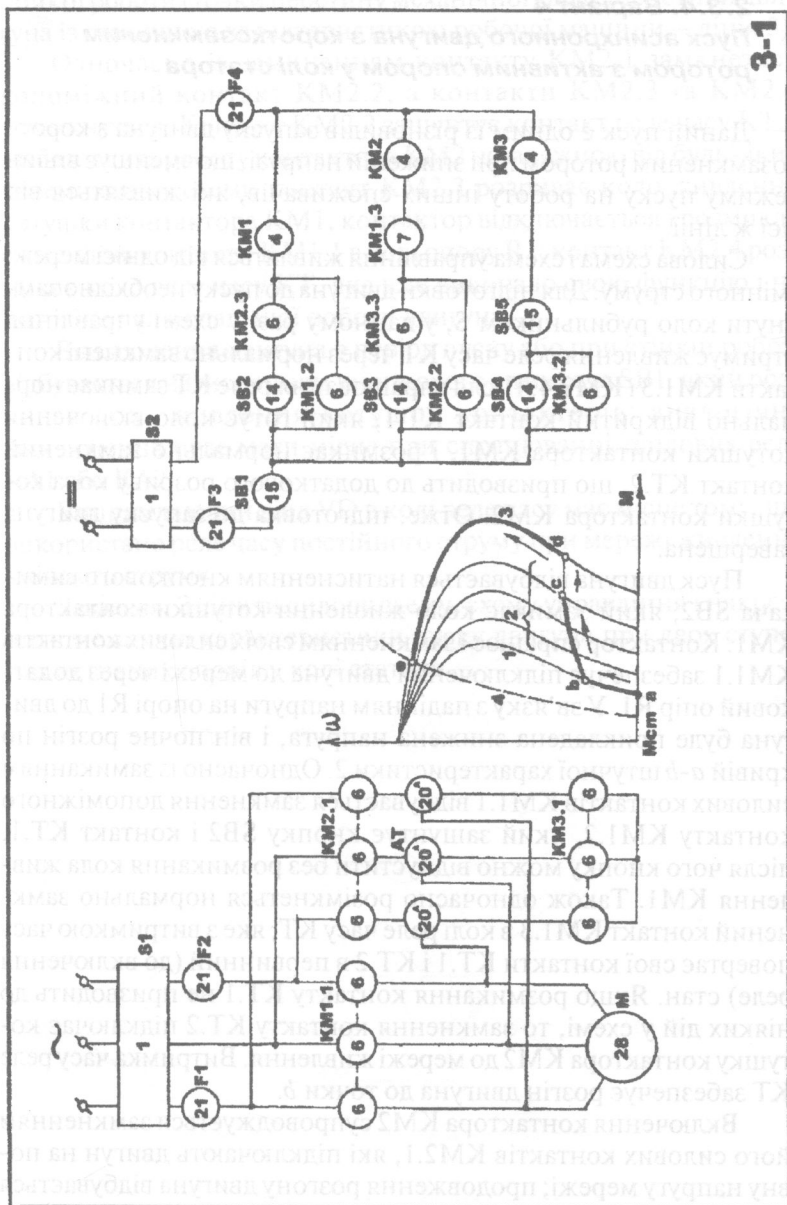
Через другий визначений проміжок часу, що відповідає положенню точки *c* на механічних характеристиках, натискується кнопковий вимикач SB2, який замикає коло живлення котушки контактора КМ1. Контактор спрацює і своїми силовими контактами підключить двигун на повну напругу мережі живлення. Двигун переходить у точці *d* на природну механічну характеристику і продовжує по ній розгін до точки *e* стійкої роботи. Точка стійкої роботи характеризується рівністю механічного моменту двигуна і статичного моменту робочої машини (лінія 4). Одночасно із замкненням силових контактів КМ1.1 замикається допоміжний контакт КМ1.2, а розмикається контакт КМ1.3. Контакт КМ1.2 зашунтує кнопку SB2 з контактом КМ2.3. Контакт КМ1.3 розриває коло живлення контактора КМ2 з наступним відключенням контактами КМ2.1 автотрансформатора АТ.

Для зупинки двигуна в будь-який період пуску або при стійкій роботі слід натиснути кнопковий вимикач SB1, при цьому розмикаються кола живлення всіх котушок контакторів, а двигун відключається від мережі живлення і зупиняється вільним вибігом. Для повернення схеми управління в передпусковий стан потрібно знову натиснути кнопковий вимикач SB4.

**Завдання.** Змінити схему управління для забезпечення часткового автоматичного пуску двигуна у функції часу з вилученням SB2.

**Примітка.** Один із варіантів перемикачів у функції часу викладений у варіанті 15.

3-1



#### **2.3.4. Варіант 4**

#### **Пуск асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором з активним опором у колі статора**

Даний пуск є одним із різновидів запуску двигуна з короткозамкненим ротором при зниженій напрузі, що зменшує вплив режиму пуску на роботу інших споживачів, які живляться від тієї ж лінії.

Силова схема і схема управління живляться від однієї мережі змінного струму. Для підготовки двигуна до пуску необхідно замкнути коло рубильником  $S$ , у данному разі у схемі управління отримує живлення реле часу  $KT$  через нормально замкнені контакти  $KM1.3$  і  $KM2.4$ . Після спрацювання реле  $KT$  замикає нормально відкритий контакт  $KT.1$ , який готує коло включення котушки контактора  $KM1$ , і розмикає нормально замкнений контакт  $KT.2$ , що призводить до додаткового розриву кола котушки контактора  $KM2$ . Отже, підготовка до запуску двигуна завершена.

Пуск двигуна відбувається натисненням кнопкового вимикача  $SB2$ , який замикає коло живлення котушки контактора  $KM1$ . Контактор спрацює і замкненням своїх силових контактів  $KM1.1$  забезпечує підключення двигуна до мережі через додатковий опір  $R1$ . У зв'язку з падінням напруги на опорі  $R1$  до двигуна буде прикладена знижена напруга, і він почне розгін по кривій  $a-b$  штучної характеристики 2. Одночасно із замиканням силових контактів  $KM1.1$  відбувається замкнення допоміжного контакту  $KM1.2$ , який зашунтує кнопку  $SB2$  і контакт  $KT.1$ , після чого кнопку можна відпустити без розмикання кола живлення  $KM1$ . Також одночасно розімкнеться нормально замкнений контакт  $KM1.3$  в колі реле часу  $KT$ , яке з витримкою часу повертає свої контакти  $KT.1$  і  $KT.2$  в первинний (до включення реле) стан. Якщо розмикання контакту  $KT.1$  не призводить до ніяких дій у схемі, то замкнення контакту  $KT.2$  підключає котушку контактора  $KM2$  до мережі живлення. Витримка часу реле  $KT$  забезпечує розгін двигуна до точки  $b$ .

Включення контактора  $KM2$  супроводжується замкненням його силових контактів  $KM2.1$ , які підключають двигун на повну напругу мережі; продовження розгону двигуна відбувається згідно з природною характеристикою 1 із точки  $c$  до точки  $d$

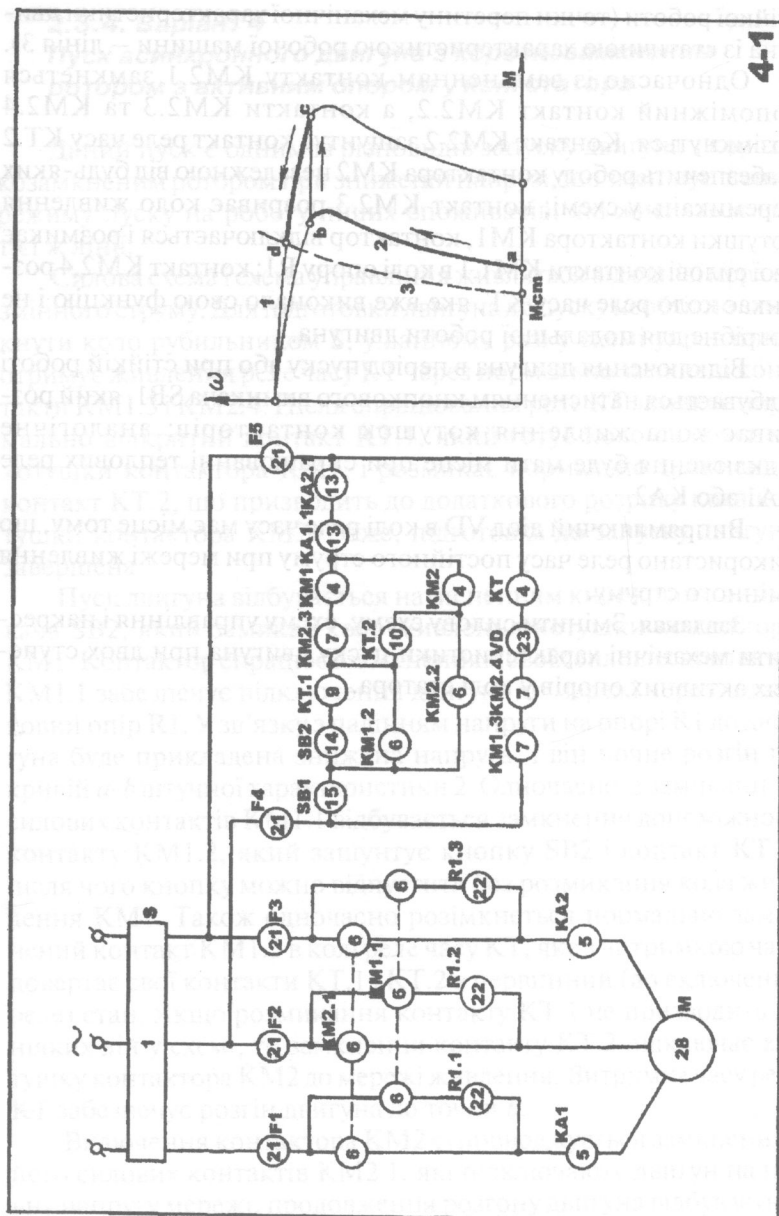
стійкої роботи (точки перетину механічної характеристики двигуна із статичною характеристикою робочої машини – лінія 3).

Одночасно із замкненням контакту КМ2.1 замкнеться допоміжний контакт КМ2.2, а контакти КМ2.3 та КМ2.4 розімкнуться. Контакт КМ2.2 зашунтує контакт реле часу КТ.2 і забезпечить роботу контактора КМ2 незалежною від будь-яких перемикачів у схемі; контакт КМ2.3 розриває коло живлення котушки контактора КМ1, контактор відключається і розмикає свої силові контакти КМ1.1 в колі опору R1; контакт КМ2.4 розмикає коло реле часу КТ, яке вже виконало свою функцію і не потрібне для подальшої роботи двигуна.

Відключення двигуна в період пуску або при стійкій роботі відбувається натисненням кнопкового вимикача SB1, який розриває кола живлення котушок контакторів; аналогічне відключення буде мати місце при спрацюванні теплових реле КА1 або КА2.

Випрямляючий діод VD в колі реле часу має місце тому, що використано реле часу постійного струму при мережі живлення змінного струму.

**Завдання.** Змінити силову схему, схему управління і накреслити механічні характеристики пуску двигуна при двох ступенях активних опорів у колі статора.



### **2.3.5. Варіант 5**

#### **Управління асинхронним двигуном**

#### **із короткозамкненим ротором**

#### **за допомогою реверсивного магнітного пускача**

Для дистанційного змінення напряму обертання двигуна використовуються реверсивні магнітні пускачі. У зв'язку з тим, що реверс трифазного двигуна відбувається зміненням чередування двох фаз, головними елементами пускача є два контактори змінного струму з силовими і допоміжними контактами. Також до складу магнітного пускача входить рубильник, який забезпечує підключення пускача без навантаження до мережі, запобіжники для захисту двигуна і кола управління від коротких замикань, два теплових реле для захисту двигуна від перенавантажень та трьох кнопкових вимикачів. За потребою кнопкові вимикачі можуть бути виведені на деяку відстань від пускача для дистанційного управління перемикачними.

Для роботи двигуна у визначеному напрямі необхідно замкнути коло рубильником S і вибрати напрям обертання. Контактор KM1 приводить в обертання двигун «вперед», контактор KM2 – «назад».

Для пуску двигуна «вперед» натискають кнопковий вимикач SB2, який замикає коло живлення котушки контактора KM1 і розриває коло живлення контактора KM2, якщо в той момент натиснути SB3. Таким чином, така конструкція кнопкового вимикача виключає одночасне включення контакторів KM1 і KM2, що спричинило б двофазне коротке замикання.

При включенні контактора KM1 його силові контакти KM1.1 підключають двигун на напругу мережі, і двигун починає розгін згідно з природною характеристикою до режиму стійкої роботи.

Одночасно із замкненням контактів KM1.1 замикається допоміжний контакт KM1.2, який зашунтує замикаючу частину кнопкового вимикача SB2, після чого кнопку можна відпустити, при цьому коло живлення KM1 залишиться замкненим через контакт KM1.2.

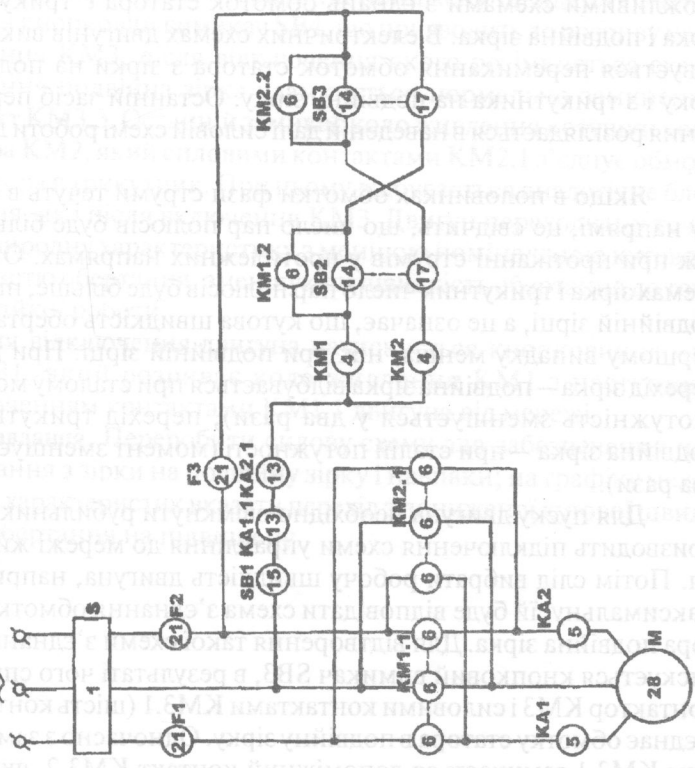
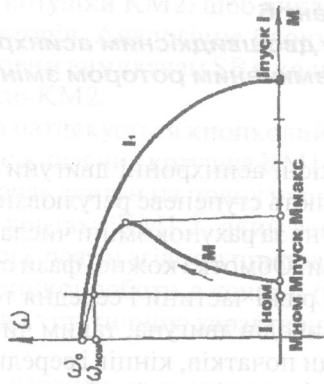
Для зупинки двигуна необхідно натиснути кнопковий вимикач SB1, який розриває коло живлення контактора KM1, і останній своїми контактами KM1.1 відключає двигун від мережі.

Аналогічне відключення має місце при спрацюванні одного або двох теплових реле КА1 і КА2, контакти яких КА1.1 і КА2.1 розмикають коло живлення котушок контакторів.

Якщо при роботі двигуна «вперед» виникає необхідність зміни напрямку обертання на «назад», то треба відключити двигун від мережі натисненням кнопкового вимикача SB1, і після повної зупинки двигуна натисненням кнопкового вимикача SB3 запустити двигун в іншу сторону обертання.

Велику наглядність являють собою характеристики моменту  $M$  і струму обмотки статора  $I_1$  двигуна у відносних одиницях, тобто у вигляді відношення миттєвих величин відповідно до номінальної величини моменту  $M_{\text{ном}}$  і струму статора  $I_{1\text{ном}}$ . При відомих номінальних параметрах двигуна із графіка легко визначити пусковий і максимальний моменти, пусковий струм двигуна. Режим стійкої роботи двигуна відповідає відносній величині, яка дорівнює одиниці, що відповідає значенням  $M_{\text{ном}}$  і  $I_{1\text{ном}}$ .

**Завдання.** Доповнити схему управління додатковим блокуванням із використанням допоміжних контактів контакторів, що робить неможливим одночасне включення контакторів; дати у відносних величинах графіки моменту і струму пуску двигуна в прямому і зворотному напрямках.





### **2.3.6. Варіант 6**

#### **Управління двошвидкісним асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором зміною числа пар полюсів**

Двошвидкісні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором дозволяють ступеневе регулювання кутової швидкості обертання двигуна за рахунок зміни числа пар полюсів обмотки статора у два рази. Обмотка кожної фази статора такого двигуна розділена на дві рівні частини і середня точка кожної фази виведена на щит виводів двигуна, таким чином у двошвидкісних двигунів є виводи початків, кінців і середин обмоток трьох фаз. Можливими схемами з'єднань обмоток статора є трикутник, зірка і подвійна зірка. В електричних схемах двигунів використовується перемикання обмоток статора з зірки на подвійну зірку і з трикутника на подвійну зірку. Останній засіб перемикання розглядається в наведеній далі силовій схемі роботи двигуна.

Якщо в половинках обмотки фази струми течуть в одному напрямі, це свідчить, що число пар полюсів буде більшим, ніж при протіканні струмів у протилежних напрямках. Отже, у схемах зірка і трикутник число пар полюсів буде більше, ніж при подвійній зірці, а це означає, що кутова швидкість обертання в першому випадку менша, ніж при подвійній зірці. При цьому перехід зірка – подвійна зірка відбувається при сталому моменті (потужність зменшується у два рази), перехід трикутник – подвійна зірка – при сталій потужності (момент зменшується у два рази).

Для пуску двигуна необхідно ввімкнути рубильник S, що призводить підключення схеми управління до мережі живлення. Потім слід вибрати робочу швидкість двигуна, наприклад, максимальну, їй буде відповідати схема з'єднання обмотки статора подвійна зірка. Для відтворення такої схеми з'єднання натискається кнопковий вимикач SB3, в результаті чого спрацює контактор КМ3 і силовими контактами КМ3.1 (шість контактів) з'єднає обмотку статора в подвійну зірку. Одночасно з замкненням КМ3.1 замикається допоміжний контакт КМ3.2, який зашунтує замикаючий контакт SB3, після чого кнопку можна відпустити, при цьому розмикається контакт КМ3.3, який роз-

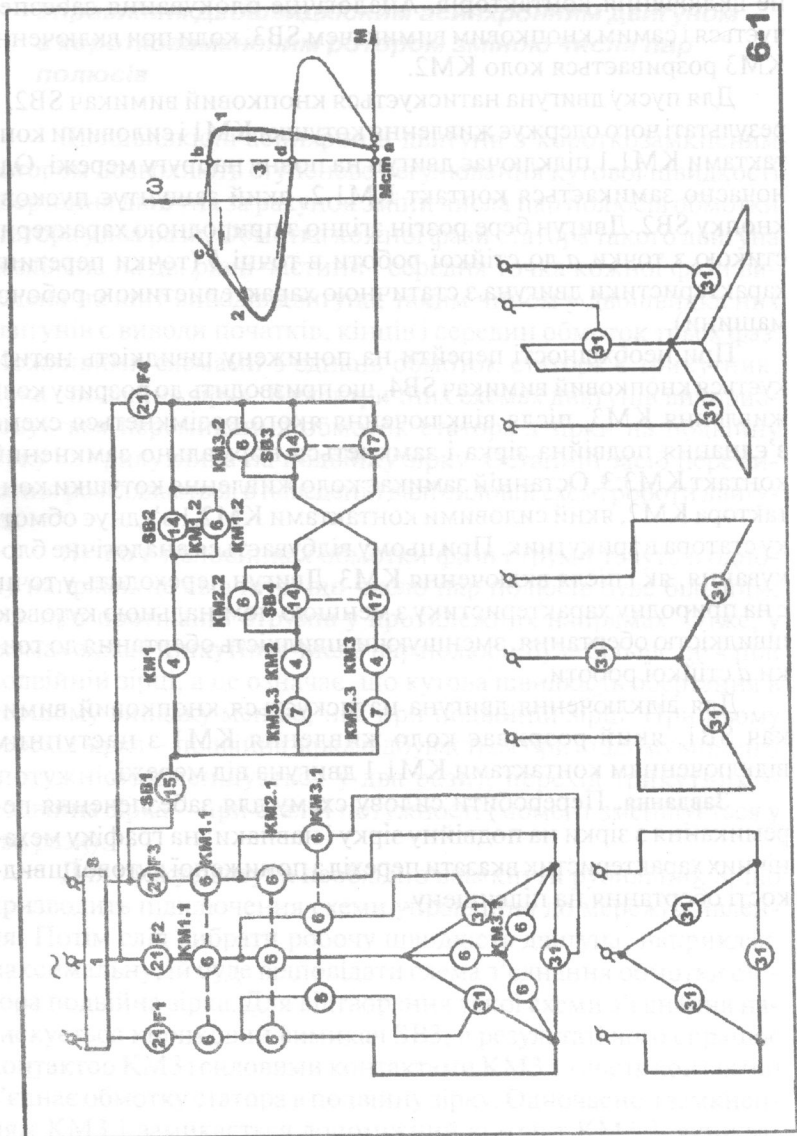
риває коло живлення котушки КМ2, щоб виключити одночасне включення контакторів. Аналогічне блокування забезпечується і самим кнопковим вимикачем SB3, коли при включенні КМ3 розривається коло КМ2.

Для пуску двигуна натискається кнопковий вимикач SB2, в результаті чого одержує живлення котушка КМ1 і силовими контактами КМ1.1 підключає двигун на повну напругу мережі. Одночасно замикається контакт КМ1.2, який зашунтує пускову кнопку SB2. Двигун бере розгін згідно з природною характеристикою з точки *a* до стійкої роботи в точці *b* (точки перетину характеристики двигуна з статичною характеристикою робочої машини).

При необхідності перейти на понижену швидкість натискається кнопковий вимикач SB4, що призводить до розриву кола живлення КМ3, після відключення якого розімкнеться схема з'єднання подвійна зірка і замкнеться нормально замкнений контакт КМ3.3. Останній замикає коло живлення котушки контактора КМ2, який силовими контактами КМ2.1 з'єднує обмотку статора в трикутник. При цьому відбувається аналогічне блокування, як і після включення КМ3. Двигун переходить у точці *c* на природну характеристику з меншою номінальною кутовою швидкістю обертання, зменшуючи швидкість обертання до точки *d* стійкої роботи.

Для відключення двигуна натискається кнопковий вимикач SB1, який розриває коло живлення КМ1 з наступним відключенням контактами КМ1.1 двигуна від мережі.

**Завдання.** Переробити силову схему для забезпечення перемикання з зірки на подвійну зірку і навпаки; на графіку механічних характеристик вказати перехід з пониженої кутової швидкості обертання на підвищену.



### **2.3.7. Варіант 7**

#### **Управління асинхронним двигуном із короткозамкненим ротором з динамічним гальмуванням**

Під час динамічного гальмування обмотку статора двигуна відключають від мережі змінного струму і підключають двома фазами до джерела постійного струму, яке має таку напругу, щоб постійний струм в обмотці фази не перевищував фазний струм холостого ходу двигуна в 1,5 – 2,5 рази.

Щоб привести в дію двигун, попередньо замикається рубильник S1 в силовому колі й S2 в колі управління. Пуск двигуна відбувається натисненням кнопкового вимикача SB2, що забезпечує замкнення кола котушки контактора KM1. Контактор спрацює і замкне свої контакти KM1.1, KM1.2, KM1.4 й розімкне контакт KM1.3. Замкнення силових контактів KM1.1 призведе до підключення двигуна на повну напругу мережі та його розгін згідно з природною характеристикою 1 з точки *a* до точки *b* стійкої роботи, в якій має місце рівновага механічного моменту двигуна і статичного моменту 3 робочої машини. Замкнення контакту KM1.2 зашунтує кнопку SB2, яку можна відпустити без розімкнення кола живлення котушки контактора KM1. Замкнення KM1.4 призводить до спрацювання реле часу КТ, яке замикає свій контакт КТ.1 у колі котушки контактора KM2. Розмикання контакту KM1.3 забезпечує блокування неможливості одночасного включення контакторів KM1 і KM2.

Для динамічного гальмування двигуна треба натиснути кнопковий вимикач SB3, у результаті чого розмикається коло живлення котушки контактора KM1 і підготовлюється коло включення котушки контактора KM2. З відключенням контактора KM1 його силові контакти розімкнуться і відключать двигун від мережі змінного струму. Одночасно розімкнеться коло живлення реле часу контактом KM1.4 і замкнеться контакт KM1.3. Останній замкне коло живлення котушки контактора KM2, контактор спрацює і силовими контактами KM2.1 підключить двигун до мережі постійного струму. У результаті взаємодії нерухомого магнітного поля статора і струму в роторі створюється гальмівний електромагнітний момент, і двигун згідно з характеристикою динамічного гальмування 2 з точки *c*

зменшує швидкість обертання. Тривалість включення режиму динамічного гальмування визначається витримкою часу реле КТ.

Одночасно із замкненням контактів КМ2.1 замикається контакт КМ2.2, який зашунтує кнопковий вимикач SB3, і розмикається контакт КМ2.3, який забезпечує неможливість одночасного включення контакторів.

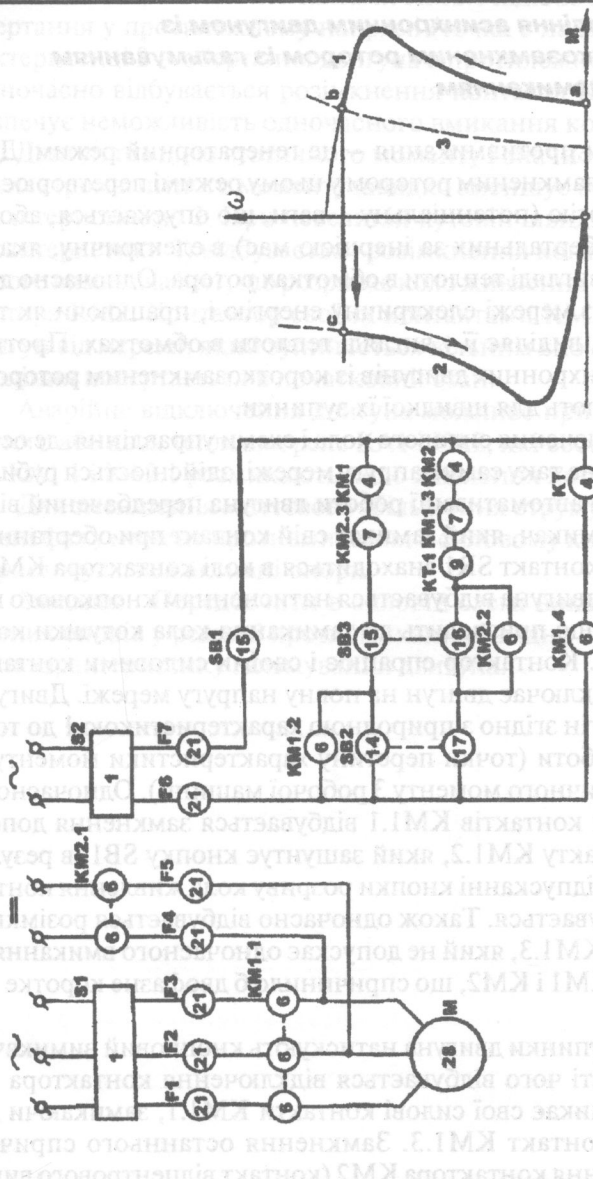
По закінченні відліку часу (при кутовій швидкості обертання двигуна, близької до нуля) розмикається контакт КТ.1 реле часу. Цей контакт розриває коло живлення котушки контактора КМ2 з наступним відключенням двигуна від мережі постійного струму. Двигун зупиняється вільним вибігом або в результаті накладання механічного гальма. Відключення двигуна від мережі також може відбуватися з використанням, наприклад, відцентрованого регулятора швидкості.

Відключення двигуна від мережі живлення у будь-який період роботи можливо здійснити натисненням кнопкового вимикача SB1, який розриває кола живлення котушок контакторів.

Після зупинки двигуна силова схема і схема управління повертаються в початковий стан, як і перед пуском двигуна.

**Завдання.** Передбачити в силовій схемі джерело живлення динамічного гальмування з використанням тієї ж мережі змінного струму, а також двофазного трансформатора й мостового випрямлювача, при цьому слід використати допоміжний контактор.

7-1



### **2.3.8. Варіант 8**

#### **Управління асинхронним двигуном із короткозамкненим ротором із гальмуванням противмиканням**

Режим противмикання – це генераторний режим. Двигун із короткозамкненим ротором у цьому режимі перетворює механічну енергію (потенціальну – ваги, що опускається, або кінетичну – обертальних за інерцією мас) в електричну, яка виділяється у вигляді теплоти в обмотках ротора. Одночасно двигун споживає з мережі електричну енергію і, працюючи як трансформатор, виділяє її у вигляді теплоти в обмотках. Противмикання асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором використовують для швидкої їх зупинки.

Підключення силового кола і схеми управління, де остання виконана на таку саму напругу мережі, здійснюється рубильником S. Для автоматизації роботи двигуна передбачений відцентровий вимикач, який замикає свій контакт при обертанні двигуна, цей контакт SR1 знаходиться в колі контактора КМ2.

Пуск двигуна відбувається натисненням кнопкового вимикача SB1, що призводить до замикання кола котушки контактора КМ1. Контактор спрацює і своїми силовими контактами КМ1.1 підключає двигун на повну напругу мережі. Двигун починає розгін згідно з природною характеристикою 1 до точки *b* стійкої роботи (точки перетину характеристики моменту двигуна і статичного моменту 3 робочої машини). Одночасно із замиканням контактів КМ1.1 відбувається замкнення допоміжного контакту КМ1.2, який зашунтує кнопку SB1, в результаті чого при відпусканні кнопки розриву кола живлення контактора не відбувається. Також одночасно відбувається розімкнення контакту КМ1.3, який не допускає одночасного вмикання контакторів КМ1 і КМ2, що спричинило б двофазне коротке замикання.

Для зупинки двигуна натискають кнопковий вимикач SB2, у результаті чого відбувається відключення контактора КМ1, який розмикає свої силові контакти КМ1.1, замикаючи допоміжний контакт КМ1.3. Замкнення останнього спричинює спрацювання контактора КМ2 (контакт відцентрового вимикача SR.1 замкнений, оскільки двигун обертається). Контактор

КМ2 своїми силовими контактами КМ2.1 підключає двигун для обертання у протилежному напрямі (точка *c* на механічній характеристиці 2 – обертання двигуна в протилежному напрямі). Одночасно відбувається розімкнення контакту КМ2.2, що забезпечує неможливість одночасного вмикання контакторів.

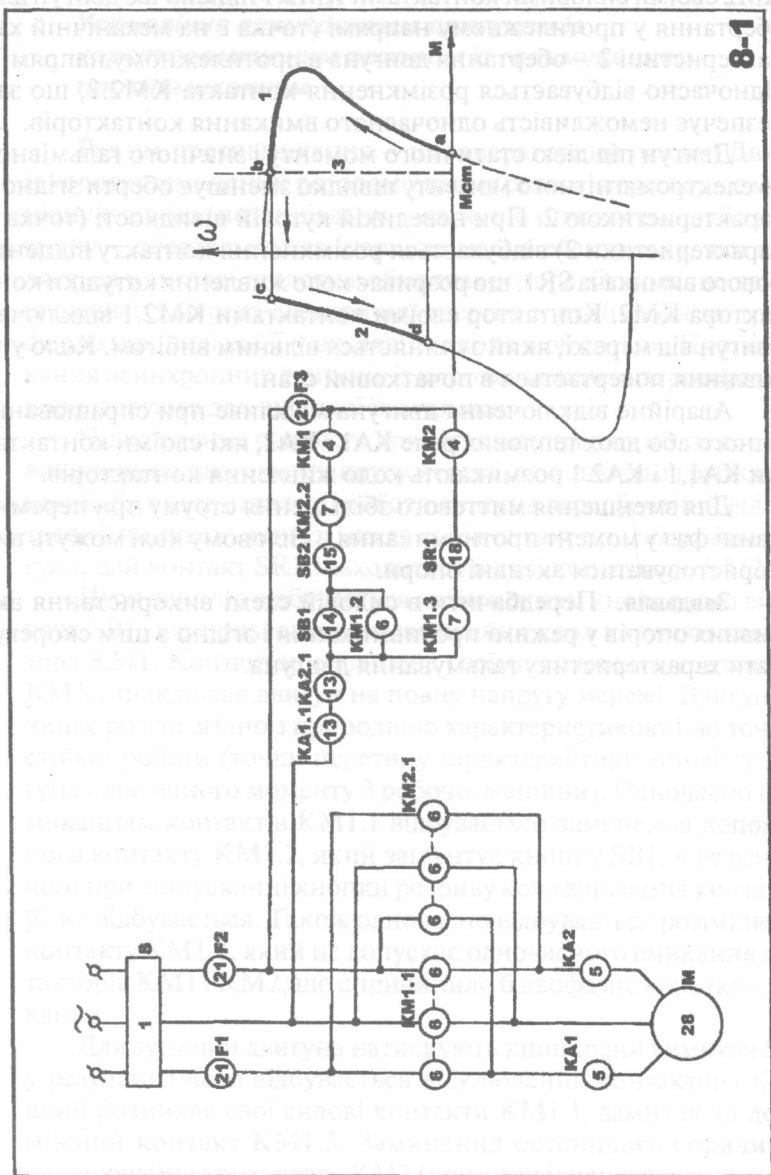
Двигун під дією статичного моменту і значного гальмівного електромагнітного моменту швидко зменшує оберти згідно з характеристикою 2. При невеликій кутовій швидкості (точка *d* характеристики 2) відбувається розімкнення контакту відцентрового вимикача SR1, що розриває коло живлення котушки контактора КМ2. Контактор своїми контактами КМ2.1 відключає двигун від мережі, який зупиняється вільним вибігом. Коло управління повертається в початковий стан.

Аварійне відключення двигуна можливе при спрацюванні одного або двох теплових реле КА1 і КА2, які своїми контактами КА1.1 і КА2.1 розмикають коло живлення контакторів.

Для зменшення миттєвого збільшення струму при перемицанні фаз у момент противмикання в силовому колі можуть використовуватися активні опори.

**Завдання.** Передбачити в силовій схемі використання активних опорів у режимі противмикання і згідно з цим скорегувати характеристику гальмування двигуна.





8-1

### 2.3.9. Варіант 9

#### Пуск асинхронного двигуна з фазним ротором у функції часу

Асинхронний двигун із фазним ротором живиться від мережі змінного струму (у наведеному прикладі — 380 В), схема управління — від джерела постійного струму.

Пуск двигуна відбувається за допомогою пускових опорів у колі ротора і прямим підключенням обмотки статора до мережі живлення, при цьому зі збільшенням кутової швидкості обертання двигуна відбувається почергове відключення ступенів опору в колі ротора.

Для автоматичної роботи замикаються рубильники  $S_1$  і  $S_2$ , перший готує силове коло до підключення двигуна, другий — схему дистанційного управління пуску двигуна. При замиканні  $S_2$  у схемі управління отримують живлення реле часу  $KT_1$ ,  $KT_2$ ,  $KT_3$  відповідно через нормально замкнені контакти  $KM_{1.4}$ ,  $KM_{2.3}$  і  $KM_{3.3}$  контакторів. Реле часу спрацюють і розірвуть свої нормально замкнені контакти  $KT_{1.1}$ ,  $KT_{2.1}$  і  $KT_{3.1}$  відповідно у колах котушок контакторів  $KM_2$ ,  $KM_3$  і  $KM_4$ . Отже, схема управління приведена в готовність для пуску двигуна.

Для пуску двигуна натискають кнопковий вимикач  $SB_1$ , що забезпечує замкнення кола котушки контактора  $KM_1$ . Контакттор спрацює і силовими контактами  $KM_{1.1}$  підключить статор двигуна до мережі живлення, тоді двигун почне набирати швидкість, при цьому в колі ротора включені всі ступені опорів. Одночасно із замкненням силових контактів  $KM_{1.1}$  контактора  $KM_1$  замикаються допоміжні контакти  $KM_{1.2}$ ,  $KM_{1.3}$  і розмикається нормально замкнений контакт  $KM_{1.4}$ . Контакт  $KM_{1.2}$  зашунтує кнопку  $SB_1$ , що дає змогу відпустити кнопку, не порушуючи цілісності кола котушки контактора  $KM_1$ . Контакт  $KM_{1.3}$  підготовлює до включення коло котушки контактора  $KM_2$ . Контакт  $KM_{1.4}$  розриває коло реле часу  $KT_1$ , яке з визначеною витримкою часу контактом  $KT_{1.1}$  замкне коло котушки  $KM_2$ . Витримка часу реле  $KT_1$  відповідає зростанню кутової швидкості двигуна згідно з штучною механічною характеристикою 1 з точки  $a$  в точку  $b$ .

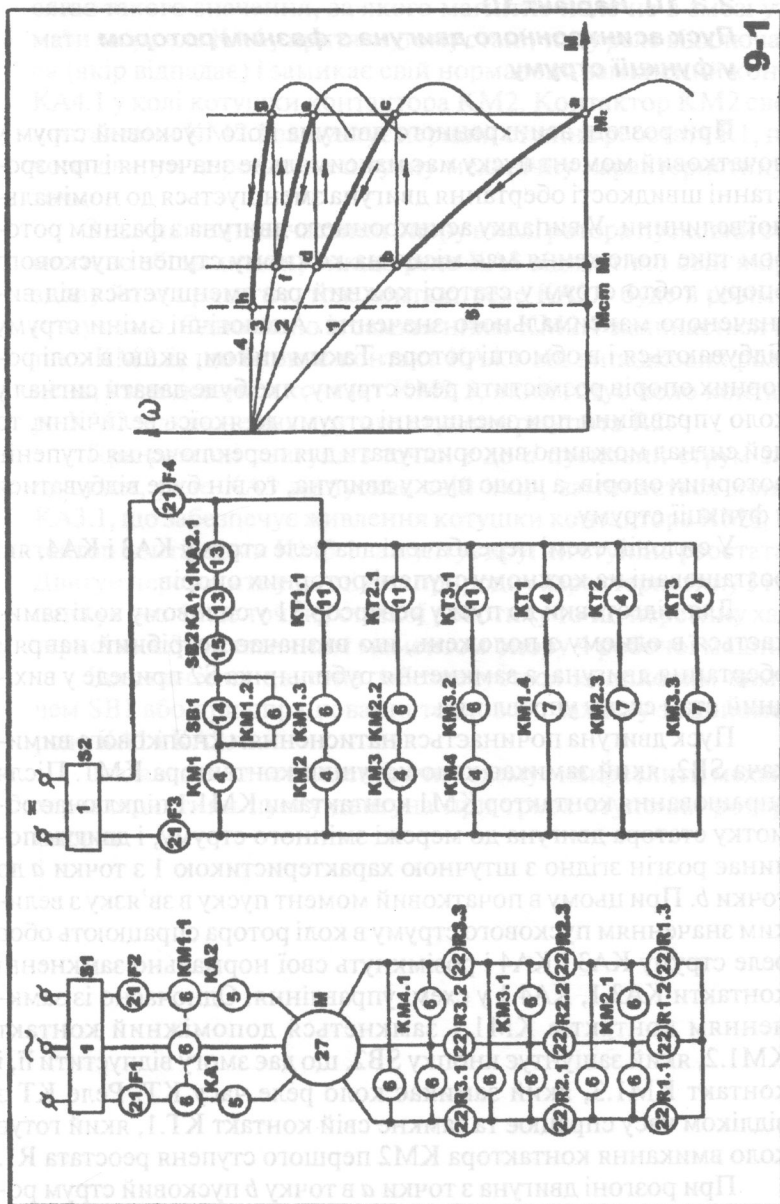
При замкненні кола котушки  $KM_2$  силові контакти контактора  $KM_{2.1}$  шунтують перший ступінь опору  $R_1$ , у зв'язку з чим

зростання швидкості обертання двигуна буде тривати відповідно до штучної механічної характеристики 2 з точки *c*. Одночасно із замкненням КМ2.1 замикається контакт КМ2.2, який готує коло підключення контактора КМ3, і розмикається контакт КМ2.3, яким розривається коло реле часу КТ2. З визначеною витримкою часу, що відповідає зростанню швидкості обертання двигуна з точки *c* до точки *d*, реле часу КТ2 замикає свій контакт КТ2.1 у колі котушки контактора КМ3. Відбувається відключення другого ступеня опору R2 і перехід розгону двигуна на нову характеристику 3. Після аналогічного відключення третього ступеня опору R3 коло ротора перемикається, і розгін двигуна буде тривати згідно з природною характеристикою 4 з точки *g* до стійкої роботи в точці *h*.

Відключення двигуна в будь-який момент пуску, а також при стійкій роботі відбувається натисненням кнопкового вимикача SB2, який розриває коло котушки контактора КМ1, з наступним відключенням двигуна від мережі контактами КМ1.1. Аналогічне відключення двигуна відбувається при спрацюванні теплових реле КА1 або КА2, контакти яких КА1.1 і КА2.1 підключені послідовно з контактором КМ1.

Значення  $M_1$  приймають, як правило, рівним  $M_1 = (1,1 - 1,2) M_{ст}$ , а  $M_2 = (0,80 - 0,85) M_{max}$ .

**Завдання.** Скласти електричну схему і накреслити механічні характеристики пуску двигуна при чотирьох ступенях опору.



9-1

### **2.3.10. Варіант 10**

#### **Пуск асинхронного двигуна з фазним ротором у функції струму**

При розгоні асинхронного двигуна його пусковий струм у початковий момент пуску має максимальне значення і при зростанні швидкості обертання двигуна зменшується до номінальної величини. У випадку асинхронного двигуна з фазним ротором таке положення має місце на кожному ступені пускового опору, тобто струм у статорі кожний раз зменшується від визначеного максимального значення. Аналогічні зміни струму відбуваються і в обмотці ротора. Таким чином, якщо в колі роторних опорів розмістити реле струму, яке буде давати сигнал у коло управління при зменшенні струму до якоїсь величини, то цей сигнал можливо використувати для переключення ступенів роторних опорів, а щодо пуску двигуна, то він буде відбуватися у функції струму.

У силовій схемі передбачені два реле струму КА3 і КА4, які розташовані на кожному ступені роторних опорів.

Для підготовки до пуску реверсор S1 у силовому колі замикається в одному з положень, що визначає потрібний напрям обертання двигуна, а замкнення рубильника S2 приведе у вихідний стан схему управління.

Пуск двигуна починається натисненням кнопкового вимикача SB2, який замикає коло котушки контактора КМ1. Після спрацювання контактор КМ1 контактами КМ1.1 підключає обмотку статора двигуна до мережі змінного струму, і двигун починає розгін згідно з штучною характеристикою 1 з точки *a* до точки *b*. При цьому в початковий момент пуску в зв'язку з великим значенням пускового струму в колі ротора спрацюють обоє реле струму КА3 і КА4 і розімкнуть свої нормально замкненні контакти КА3.1, КА4.1 у схемі управління. Одночасно із замкненням контактів КМ1.1 замкнеться допоміжний контакт КМ1.2, який зашунтує кнопку SB2, що дає змогу відпустити її, і контакт КМ1.3, який замикає коло реле часу КТ. Реле КТ з відліком часу спрацює та замкне свій контакт КТ.1, який готує коло вмикання контактора КМ2 першого ступеня реостата R1.

При розгоні двигуна з точки *a* в точку *b* пусковий струм ротора зменшується і при визначеному струмі поблизу точки *b* до-

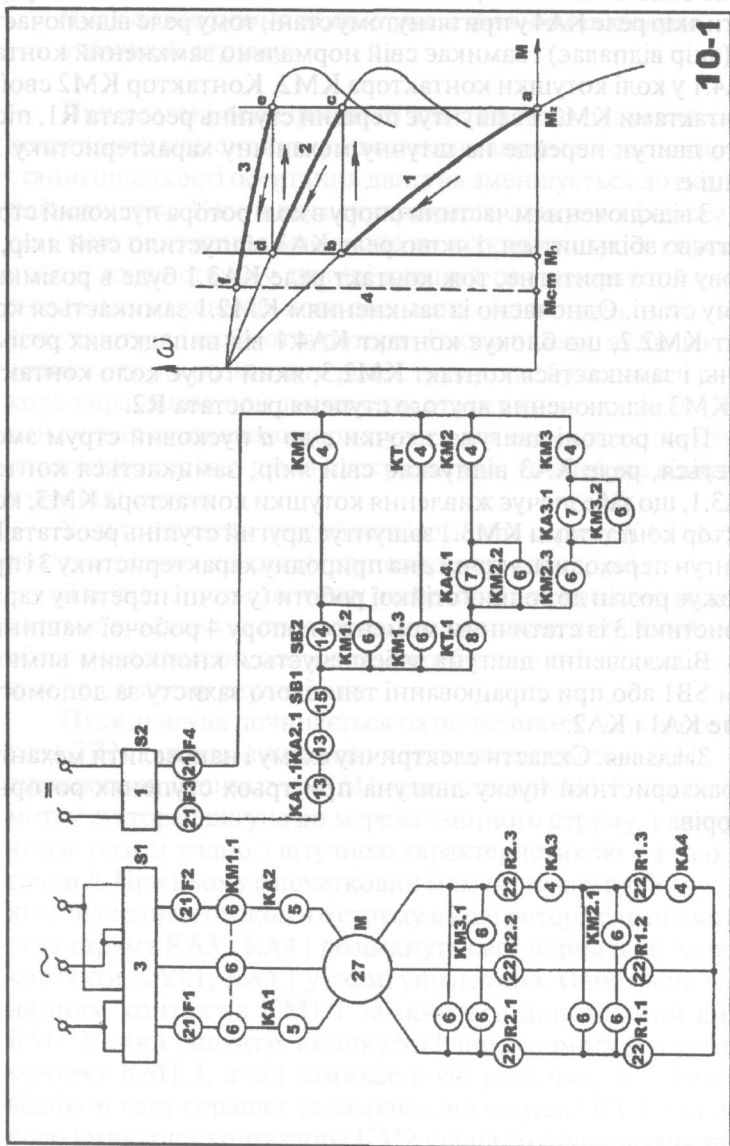
сягає такого значення, за якого магнітне поле не в змозі утримати якір реле КА4 у притягнутому стані, тому реле відключається (якір відпадає) і замикає свій нормально замкнений контакт КА4.1 у колі котушки контактора КМ2. Контактор КМ2 своїми контактами КМ2.1 зашунтує перший ступінь реостата R1, після чого двигун перейде на штучну механічну характеристику 2 в точці *c*.

З відключенням частини опору в колі ротора пусковий струм миттєво збільшиться, і якщо реле КА3 відпустило свій якір, то знову його притягне, тож контакт реле КА3.1 буде в розімкненому стані. Одночасно із замкненням КМ2.1 замикається контакт КМ2.2, що блокує контакт КА4.1 від випадкових розімкнень, і замикається контакт КМ2.3, який готує коло контактора КМ3 відключення другого ступеня реостата R2.

При розгоні двигуна з точки *c* до *d* пусковий струм зменшується, реле КА3 відпускає свій якір, замикається контакт КА3.1, що забезпечує живлення котушки контактора КМ3, контактор контактами КМ3.1 зашунтує другий ступінь реостата R2. Двигун переходить у точці *e* на природну характеристику 3 і продовжує розгін до точки *f* стійкої роботи (у точці перетину характеристики 3 із статичним моментом опору 4 робочої машини).

Відключення двигуна забезпечується кнопковим вимикачем SB1 або при спрацюванні теплового захисту за допомогою реле КА1 і КА2.

**Завдання.** Скласти електричну схему і накреслити механічні характеристики пуску двигуна при трьох ступенях роторних опорів.



10-1

### **2.3.11. Варіант 11**

#### **Пуск асинхронного двигуна з фазним ротором у функції струму при одному реле струму**

Пусковий струм асинхронного двигуна з фазним ротором завдяки наявності роторних опорів, як правило, не більше двох разів перевищує номінальний струм статора. У початковий момент пуску струм має найбільше значення і зменшується при збільшенні швидкості обертання ротора. Це має місце при розгоні двигуна на кожному ступені опору. Аналогічні зміни струму відбуваються в колі ротора. Таким чином, якщо в колі ротора розмістити реле струму, то при відповідному його налагодженню при максимальному значенні струму реле буде притягувати якір, а при зменшенні струму до визначеного мінімального значення реле буде відпускати свій якір, і подібне буде відбуватися на кожному ступені опору. Якщо використати сигнал реле струму для перемикання ступеней опору, то запуск двигуна буде відбуватися у функції струму.

Для підготовки двигуна до пуску в силовій схемі замикається реверсор S1, положенням якого визначається потрібний напрям обертання двигуна, у схемі управління — рубильник S2.

Пуск двигуна починається натисненням кнопкового вимикача SB2, в результаті чого відбувається замкнення кола котушки контактора KM1. Контактор спрацює і своїми силовими контактами KM1.1 підключить двигун до мережі живлення, двигун починає розгін згідно з штучною характеристикою 1 з точки *a* до *b*. Одночасно замикаються допоміжні контакти KM1.2 і KM1.3. При цьому контакт KM1.2 зашунтує кнопку без розриву кола котушки контактора KM1, а контакт KM1.3 підготує коло вмикання котушки контактора KM2.

З пуском двигуна спрацює реле струму KA3, при цьому час його спрацювання менший, ніж контактора KM2. У результаті чого реле раніше розімкне свій контакт KA3.1, ніж котушка контактора KM2 притягне свій якір. Зі зменшенням пускового струму при розгоні двигуна (у точці *b* характеристики 1) реле KA3 відпустить свій якір, контакт KA3.1 замкне коло живлення котушки контактора KM2. Контактор спрацює і замкне свої силові контакти KM2.1, які шунтують ступінь роторних опорів R1, двигун переходить у точці *c* на штучну характеристику 2, про-



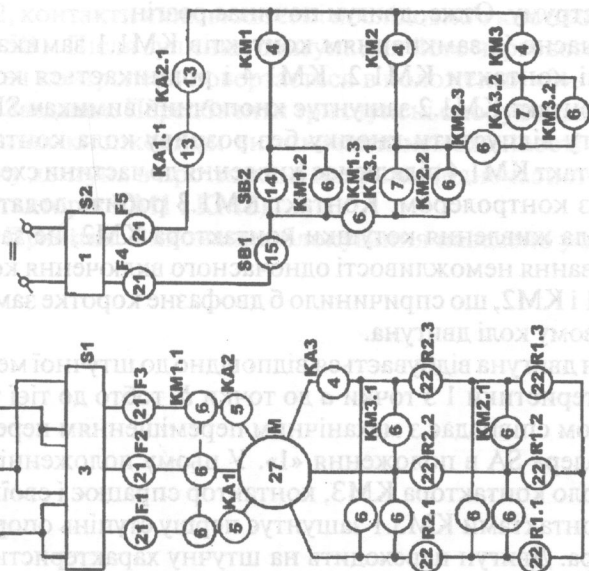
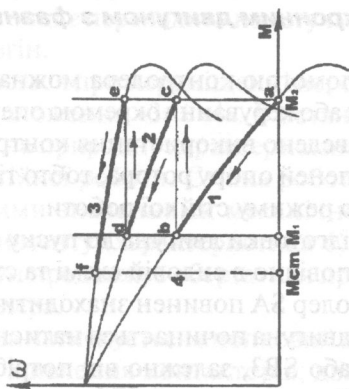
довжуючи розгін до точки *d*. Одночасно контактор КМ2 замикає контакт КМ2.2, що забезпечує саможивлення, і контакт КМ2.3, який готує коло вмикання контактора КМ3. При відключенні ступеня опору зростає пусковий струм, і знову реле КА3 притягує свій якір і контактом КА3.2 розриває коло живлення контактора КМ3.

При збільшенні швидкості обертання двигуна (зменшенні пускового струму) реле струму КА3 відпускає свій якір (у точці *d*), замикається контакт КА3.2, вмикається контактор КМ3 і силовими контактами КМ3.1 зашунтує другий ступінь опору R2. Двигун у точці *e* виходить на природну характеристику 3 і продовжує збільшувати оберти до точки *f* стійкої роботи, тобто точки перетину механічної характеристики двигуна із статичною характеристикою 4 робочої машини.

Відключення двигуна в період пуску і при стійкій роботі відбувається натисненням кнопкового вимикача SB1, який розриває кола живлення контакторів. Відключення двигуна відбувається також при спрацюванні одного або двох теплових реле КА1 і КА2 у результаті розмикання їх контактів КА1.1 і КА2.1 у схемі управління.

**Завдання.** Скорегувати електричні схеми і накреслити механічні характеристики пуску двигуна при чотирьох ступенях роторних опорів.

11-1



### **2.3.12. Варіант 12**

#### **Контролерне управління асинхронним двигуном з фазним ротором**

За допомогою контролера можна забезпечити весь процес керування або керування окремою операцією. У зазначеному випадку приведено використання контролера тільки для перемикачів ступеней опору ротора, тобто тільки для процесу розгону двигуна до режиму стійкої роботи.

Для підготовки двигуна до пуску замикаються рубильники S1 і S2 відповідно в силовій схемі та схемі управління. Перемикач контролер SA повинен знаходитися в положенні «0».

Пуск двигуна починається натисненням кнопкового вимикача SB2 або SB3, залежно від потрібного напрямку обертання двигуна. При натисненні SB2 замикається коло живлення котушки контактора KM1, при цьому контактор спрацює і замкне силові контакти KM1.1, які підключають двигун до мережі змінного струму. Отже, двигун починає розгін.

Одночасно із замкненням контактів KM1.1 замикаються допоміжні контакти KM1.2, KM1.4 і розмикається контакт KM1.3. Контакт KM1.2 зашунтує кнопочний вимикач SB2, що дасть змогу відпустити кнопку без розриву кола контактора KM1. Контакт KM1.4 підключає живлення до частини схеми управління з контролером. Контакт KM1.3 робить додатковий розрив кола живлення котушки контактора KM2, це забезпечує блокування неможливості одночасного включення контакторів KM1 і KM2, що спричинило б двофазне коротке замикання в силовому колі двигуна.

Розгін двигуна відбувається відповідно до штучної механічної характеристики 1 з точки *a* до точки *b*, тобто до тієї точки, яка за часом співпадає з механічним переміщенням перемикача контролера SA в положення «1». У цьому положенні замикається коло контактора KM3, контактор спрацює і своїми силовими контактами KM3.1 зашунтує першу ступінь опору R1 у колі ротора. Двигун переходить на штучну характеристику 2 в точці *c* і продовжує розгін.

При наступному переміщенні перемикача контролера в положення «2» (при розгоні двигуна до точки *d* характеристики 2) замикається коло котушки контактора KM4, який своїми кон-

тактами КМ4.1 зашунтує другу ступінь опору R2. Одночасно відключається контактор КМ3, робота якого щодо пуску двигуна виконана. Двигун у точці  $e$  переходить на штучну характеристику 3 і продовжує розгін.

Аналогічно відбувається при переміщенні перемикача контролера послідовно в положення «3» і «4». В останньому положенні двигун виходить на природну характеристику 5 і продовжує розгін до точки  $j$  стійкої роботи. Стійка робота в цій точці пояснюється однаковими значеннями механічного моменту двигуна і статичного моменту (характеристика 6) робочої машини. При цьому двигун продовжує обертатися при положенні «4» перемикача контролера.

Для зупинки двигуна натискається кнопковий вимикач SB1, що викличе розрив кіл живлення контакторів; двигун відключається від мережі й зупиняється при вільному вибігу або при накладенні механічного гальма. Аналогічне відключення двигуна буде при спрацюванні одного або двох теплових реле КА1 і КА2, контакти яких включені послідовно з кнопковим вимикачем SB1. Після зупинки двигуна для його чергового пуску перемикач контролера повертається в положення «0».

**Завдання.** Передбачити три ступені опору в колі ротора і блокування кнопковими вимикачами неможливості одночасного пуску двигуна в протилежні напрями (одночасного включення контакторів КМ1 і КМ2).

**Примітка.** Виконання блокування наведено у варіанті 6.



### **2.3.13. Варіант 13**

#### **Управління асинхронним двигуном із фазним ротором із динамічним гальмуванням**

Управління асинхронним двигуном в даному варіанті складається з автоматичного пуску і гальмування. Автоматичний пуск відбувається за рахунок ступеневого зменшення опору в колі ротора у функції часу. Динамічне гальмування утворюється за рахунок взаємодії постійного магнітного поля статора і наведеного струму в роторі. Постійне магнітне поле утворюється за рахунок зміни схеми з підключенням двох фаз обмотки статора до джерела постійного струму.

Для підготовки двигуна до пуску замикається реверсор S1 у силовому колі з вибраним напрямом обертання двигуна і рубильник S2 у схемі управління. У результаті вмикання S2 замикаються кола живлення реле часу КТ1 і КТ2 та кола котушок контакторів КМ3, КМ4. Швидкість спрацювання реле часу значно більша, ніж котушок контакторів, тому реле спрацюють раніше й розірвуть нормально замкнені контакти КТ1.1, КТ2.1 відповідно в колі контакторів КМ3, КМ4. Отже, схема управління підготовлена до пуску.

Пуск двигуна починається натисненням кнопкового вимикача SB2, у разі чого замикається коло живлення контакторів КМ1 і КМ2. Контакт КМ1 спрацює і своїми силовими контактами КМ1.1 замкне коло живлення двигуна. Одночасно контактор допоміжним контактом КМ1.2 зашунтує кнопковий вимикач SB2, після чого нема потреби тиснути на кнопку вимикача, контактом КМ1.3 розірве коло живлення реле часу КТ1, а контактом КМ1.4 – коло живлення контактора КМ5, що перешкоджає одночасному включенню останнього з контактором КМ1. При одночасному включенні з контактором КМ1 контактор КМ2 своїми силовими контактами КМ2.1 зашунтує ступінь опору R1 у колі ротора, таким чином, пуск двигуна починається при двох пускових ступенях опору R2 і R3 в колі ротора.

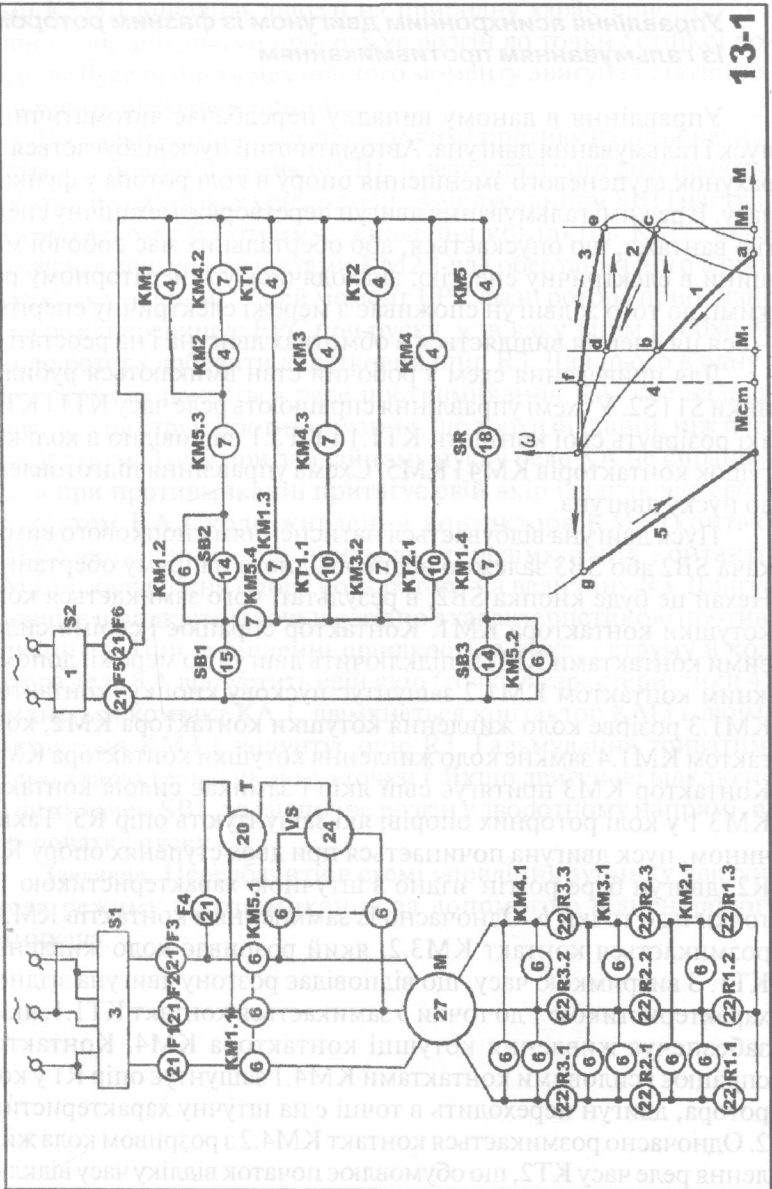
Розгін двигуна відбувається згідно з штучною характеристикою 1 з точки *a* до *b*. В точці *b* після витримки часу реле КТ1 відпускає свій якір, контакт реле КТ1.1 замикає коло котушки контактора КМ3. Контактор спрацює і своїми силовими контактами КМ3.1 зашунтує ступінь опору R2 кола ротора. Двигун

переходить у точці *c* на штучну характеристику 2 і продовжує по ній розгін. Одночасно із замкненням КМ3.1 розмикається допоміжний контакт КМ3.2, який розриває коло живлення реле часу КТ2. З витримкою часу, яка відповідає розгону двигуна до точки *d*, реле часу КТ2 замикає свій контакт КТ2.1 в колі катушки контактора КМ4 з наступним замкненням контактів КМ4.1. За рахунок шунтування ступені опору R3 контактор КМ4 переводить двигун у точці *e* на природну характеристику 3, по якій триває розгін двигуна до точки *f* стійкої роботи (точки перетину характеристики 3 з статичною характеристикою 4 робочої машини). Одночасно при спрацюванні контактора КМ4 він своїми допоміжними контактами КМ4.2 і КМ4.3 відключає контактори КМ2 і КМ3.

Для гальмування двигуна натискується кнопковий вимикач SB1, в результаті чого двигун відключається від мережі змінного струму, після відпускання кнопки SB1 натискується кнопковий вимикач SB3, який замикає коло живлення контактора КМ5. Контактор спрацює і контактами КМ5.1 підключить дві фази статора до джерела постійного струму. Двигун переходить у точці *g* на характеристику 5 динамічного гальмування і зменшує швидкість, при цьому в колі ротора підключений додатковий опір R1 в порівнянні з умовами пуску. При незначній швидкості обертання контакт відцентрового вимикача SR розриває коло живлення контактора КМ5. Двигун зупиняється вільним вибігом. Таким чином, схема повертається до вихідного стану.

**Завдання.** Змінити електричні схеми й накреслити механічні характеристики пуску та гальмування при трьох ступенях пускових опорів.

13-1





### **2.3.14. Варіант 14**

#### **Управління асинхронним двигуном із фазним ротором із гальмуванням противмиканням**

Управління в даному випадку передбачає автоматичний пуск і гальмування двигуна. Автоматичний пуск відбувається за рахунок ступеневого зменшення опору в колі ротора у функції часу. В режимі гальмування двигун перетворює механічну енергію вантажа, що опускається, або обертальних мас робочої машини в електричну енергію, знаходячись у генераторному режимі, до того ж двигун споживає з мережі електричну енергію, – вся ця енергія виділяється в обмотках двигуна і на реостаті.

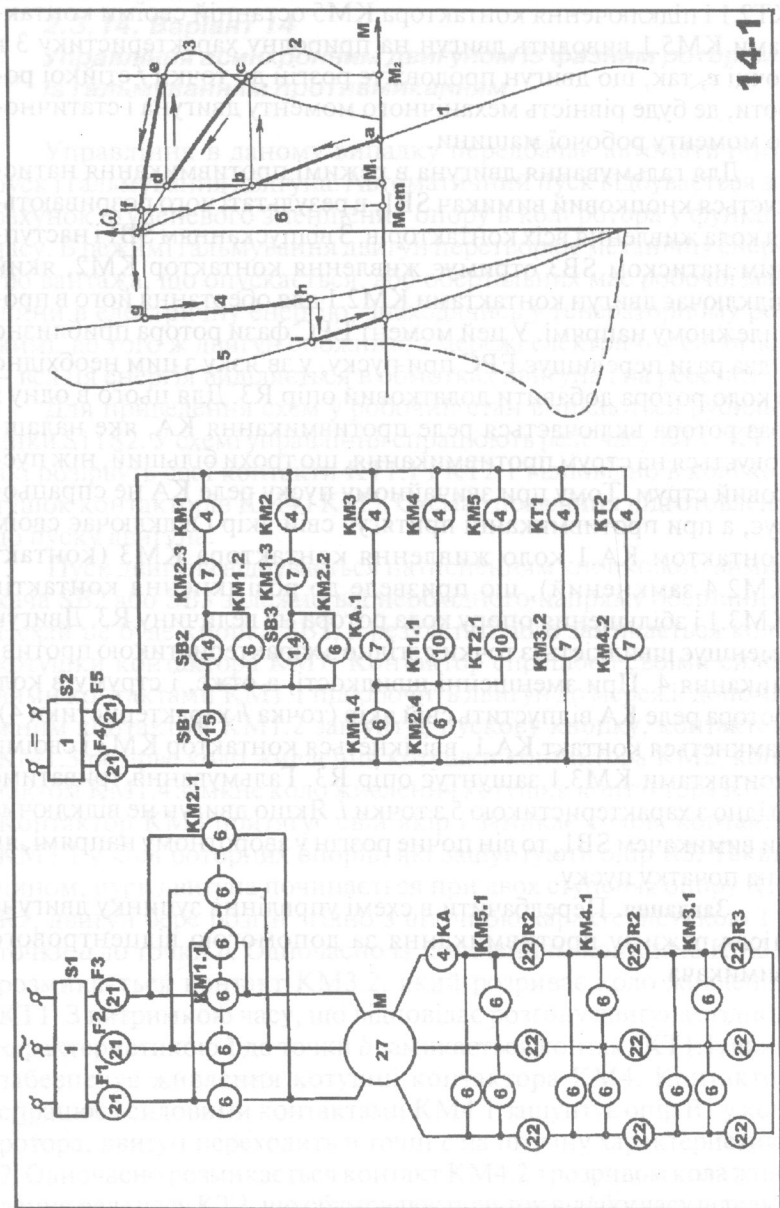
Для приведення схем у робочий стан вмикаються рубильники S1 і S2. У схемі управління спрацюють реле часу КТ1 і КТ2, які розірвуть свої контакти КТ1.1 і КТ2.1 відповідно в колі котушок контакторів КМ4 і КМ5. Схема управління підготовлена до пуску двигуна.

Пуск двигуна відбувається натисненням кнопкового вимикача SB2 або SB3 залежно від необхідного напрямку обертання. Нехай це буде кнопка SB2, в результаті чого замикається коло котушки контактора КМ1. Контактор спрацює і своїми силовими контактами КМ1.1 підключить двигун до мережі, допоміжним контактом КМ1.2 зашунтує пускову кнопку, контактом КМ1.3 розірве коло живлення котушки контактора КМ2, контактом КМ1.4 замкне коло живлення котушки контактора КМ3. Контактор КМ3 притягує свій якір і замикає силові контакти КМ3.1 у колі роторних опорів, які зашунтують опір R3. Таким чином, пуск двигуна починається при двох ступенях опору R1 і R2, двигун бере розгін згідно з штучною характеристикою 1 з точки *a* до точки *b*. Одночасно із замкненням контактів КМ3.1 розмикається контакт КМ3.2, який розриває коло живлення КТ1. З витримкою часу, що відповідає розгону двигуна згідно з характеристикою 1 до точки *b* замикається контакт КТ1.1, який забезпечує живлення котушці контактора КМ4. Контактор спрацює і силовими контактами КМ4.1 зашунтує опір R1 у колі ротора, двигун переходить в точці *c* на штучну характеристику 2. Одночасно розмикається контакт КМ4.2 з розривом кола живлення реле часу КТ2, що обумовлює початок відліку часу відключення другого ступеня опору R2. Після замикання контакту

КТ2.1 і підключення контактора КМ5 останній своїми контактами КМ5.1 виводить двигун на природну характеристику 3 в точці  $e$ , так, що двигун продовжує розгін до точки  $f$  стійкої роботи, де буде рівність механічного моменту двигуна і статичного моменту робочої машини.

Для гальмування двигуна в режимі противмикання натискується кнопковий вимикач SB1, в результаті чого розриваються кола живлення всіх контакторів. З відпусканням SB1 і наступним натиском SB3 отримує живлення контактор КМ2, який підключає двигун контактами КМ2.1 для обертання його в протилежному напрямі. У цей момент ЕРС фази ротора приблизно в два рази перевищує ЕРС при пуску, у зв'язку з цим необхідно в коло ротора додати додатковий опір R3. Для цього в одну з фаз ротора включається реле противмикання КА, яке налаштовується на струм противмикання, що трохи більший, ніж пусковий струм. Тому при звичайному пуску реле КА не спрацьовує, а при противмиканні притягує свій якір і відключає своїм контактом КА.1 коло живлення контактора КМ3 (контакт КМ2.4 замкнений), що призведе до розімкнення контактів КМ3.1 і збільшення опору кола ротора на величину R3. Двигун зменшує швидкість із точки  $g$  згідно з характеристикою противмикання 4. При зменшенні швидкості, а отже, і струму в колі ротора реле КА відпустить свій якір (точка  $h$  характеристики 4), замкнеться контакт КА.1, ввімкнеться контактор КМ3 і своїми контактами КМ3.1 зашунтує опір R3. Гальмування триватиме згідно з характеристикою 5 з точки  $i$ . Якщо двигун не відключити вимикачем SB1, то він почне розгін у зворотному напрямі, як і на початку пуску.

**Завдання.** Передбачити в схемі управління зупинку двигуна після режиму противмикання за допомогою відцентрового вимикача.



14-1

### 2.3.15. Варіант 15

#### Пуск двигуна постійного струму незалежного збудження у функції часу

Пуск двигуна постійного струму незалежного збудження відбувається за рахунок зменшення опору в колі якоря при збільшенні кутової частоти обертання якоря, при цьому в початковий момент пуску в колі якоря ввімкнуті всі ступені пускових опорів.

Пуск двигуна у функції часу супроводжується перемиканням опорів у колі якоря залежно від роботи реле часу.

Для підготовки двигуна до пуску замикається рубильник S1 кола обмотки збудження двигуна і рубильник S2 силового кола та кола управління. В колі управління отримують живлення котушки реле часу КТ1 і КТ2, а також котушки контакторів КМ2 і КМ3. У зв'язку з більшою інерційністю спрацювання котушок контакторів, першими спрацюють реле часу, які розмикають контакти КТ1.1 і КТ2.1 відповідно в колах котушок контакторів КМ2 і КМ3, і ці контактори не встигають ввімкнутися. Отже, схема управління підготовлена до пуску двигуна.

Пуск двигуна відбувається натисненням кнопкового вимикача SB2, що забезпечує замкнення кола котушки контактора КМ1. Контактор спрацьовує і своїми силовими контактами КМ1.1 підключає якір двигуна до мережі постійного струму. Двигун починає розгін згідно з штучною характеристикою 1 з точки *a*. Одночасно із замкненням контакту КМ1.1 замикається допоміжний контакт КМ1.2 і розмикається контакт КМ1.3. Замкнення КМ1.2 забезпечує шунтування пускової кнопки SB2, після чого кнопка може бути відпущеною без розриву кола живлення котушки контактора КМ1. Розімкнення контакту КМ1.3 призводить до розриву кола живлення котушки реле часу КТ1, після чого реле переходить у режим витримки часу.

По закінченні заданої витримки часу, що відповідає розгону двигуна згідно з характеристикою 1 до точки *b*, реле КТ1 відпускає свій якір, у результаті чого замикається його контакт КТ1.1 у колі котушки контактора КМ2. Контактор спрацює і своїм силовим контактом КМ2.1 зашунтує перший ступінь опору R1 у колі якоря двигуна і допоміжним контактом КМ2.2 розірве коло живлення реле часу КТ2. Двигун переходить у точці *c*

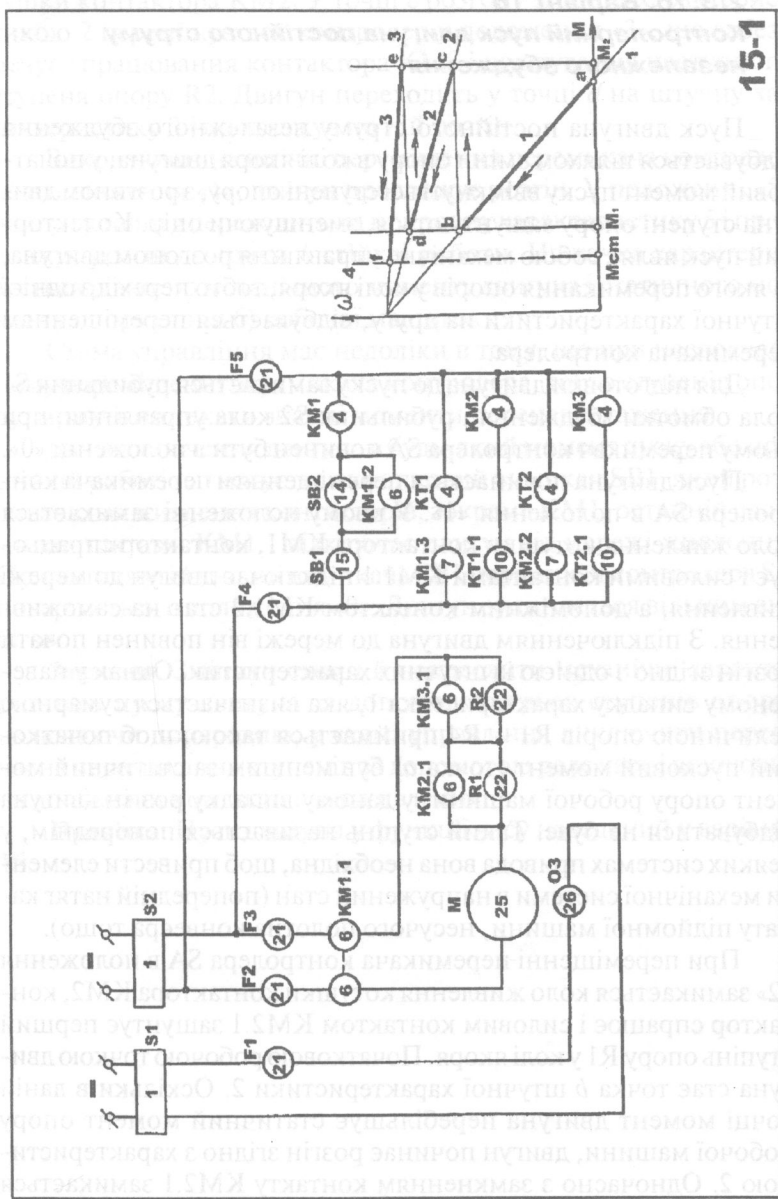
на штучну характеристику 2 і продовжує розгін. Час розгону згідно з цією характеристикою визначається витримкою часу реле КТ2.

По закінченні витримки часу (точка *d* на характеристиці 2) реле КТ2 замикає свій контакт КТ2.1 у колі котушки контактора КМ3. Контактор спрацює і своїм силовим контактом КМ3.1 зашунтує другий ступінь пускового опору R2, у результаті чого двигун у точці *e* переходить на природну характеристику 3 і продовжує розгін. Розгін двигуна закінчується в точці *f*, тобто в точці стійкої роботи, в якій механічний момент двигуна дорівнює статичному моменту опору робочої машини (лінія 4).

Вимкнення двигуна в будь-який період пуску, а також у режимі стійкої роботи відбувається натисненням кнопкового вимикача SB1, у результаті чого розривається коло живлення котушки контактора КМ1 з наступним відключенням контактами КМ1.1 якоря двигуна від мережі живлення. Двигун зупиняється вільним вибігом.

Для захисту кіл живлення від коротких замикань використовуються плавкі запобіжники.

**Завдання.** Змінити силову схему і схему управління. Накреслити механічні характеристики пуску двигуна при трьох ступенях опору в колі якоря двигуна.



15-1

### **2.3.16. Варіант 16**

#### **Контролерний пуск двигуна постійного струму незалежного збудження**

Пуск двигуна постійного струму незалежного збудження відбувається шляхом зміни опору в колі якоря двигуна, у початковий момент пуску ввімкнуті всі ступені опору, з розгоном двигуна ступені опору зашунтуються, зменшуючи опір. Колекторний пуск являє собою механічне управління розгоном двигуна, за якого перемикавання опорів у колі якоря, тобто перехід з однієї штучної характеристики на другу, відбувається переміщенням перемикача контролера.

Для підготовки двигуна до пуску замикається рубильник S1 кола обмотки збудження і рубильник S2 кола управління, при цьому перемикач контролера SA повинен бути в положенні «0».

Пуск двигуна починається переміщенням перемикача контролера SA в положення «1». У цьому положенні замикається коло живлення котушки контактора KM1, контактор спрацює і силовими контактами KM1.1 підключає двигун до мережі живлення, а допоміжним контактом KM1.2 стає на саможивлення. З підключенням двигуна до мережі він повинен почати розгін згідно з однією із штучних характеристик. Однак у наведеному випадку характеристика 1, яка визначається сумарною величиною опорів R1 – R4 приймається такою, щоб початковий пусковий момент (точка *a*) був меншим за статичний момент опору робочої машини; у даному випадку розгін двигуна відбуватися не буде. Такий ступінь називається попереднім, у деяких системах привода вона необхідна, щоб привести елементи механічної системи в напружений стан (попередній натяг канату підйомної машини, несучого полотна конвеєра тощо).

При переміщенні перемикача контролера SA в положення «2» замикається коло живлення котушки контактора KM2, контактор спрацює і силовим контактом KM2.1 зашунтує перший ступінь опору R1 у колі якоря. Початковою робочою точкою двигуна стає точка *b* штучної характеристики 2. Оскільки в даній точці момент двигуна перебільшує статичний момент опору робочої машини, двигун починає розгін згідно з характеристикою 2. Одночасно з замкненням контакту KM2.1 замикається допоміжний контакт KM2.2, що забезпечує саможивлення ко-

тушки контактора КМ2. У точці *c* розгону згідно з характеристикою 2 переміщується контролер у положення «3», що забезпечує спрацювання контактора КМ3 і шунтування наступного ступеня опору R2. Двигун переходить у точці *d* на штучну характеристику 3 і продовжує по ній розгін.

Виконуючи аналогічні переміщення перемикача контролера в положення «4», двигун продовжує розгін. У положенні «5» двигун у точці *g* переходить на природну характеристику 5 і продовжує розгін до точки *h* стійкої роботи. Ця точка характеризується рівністю механічного моменту двигуна і статичного моменту опору (лінія б) робочої машини.

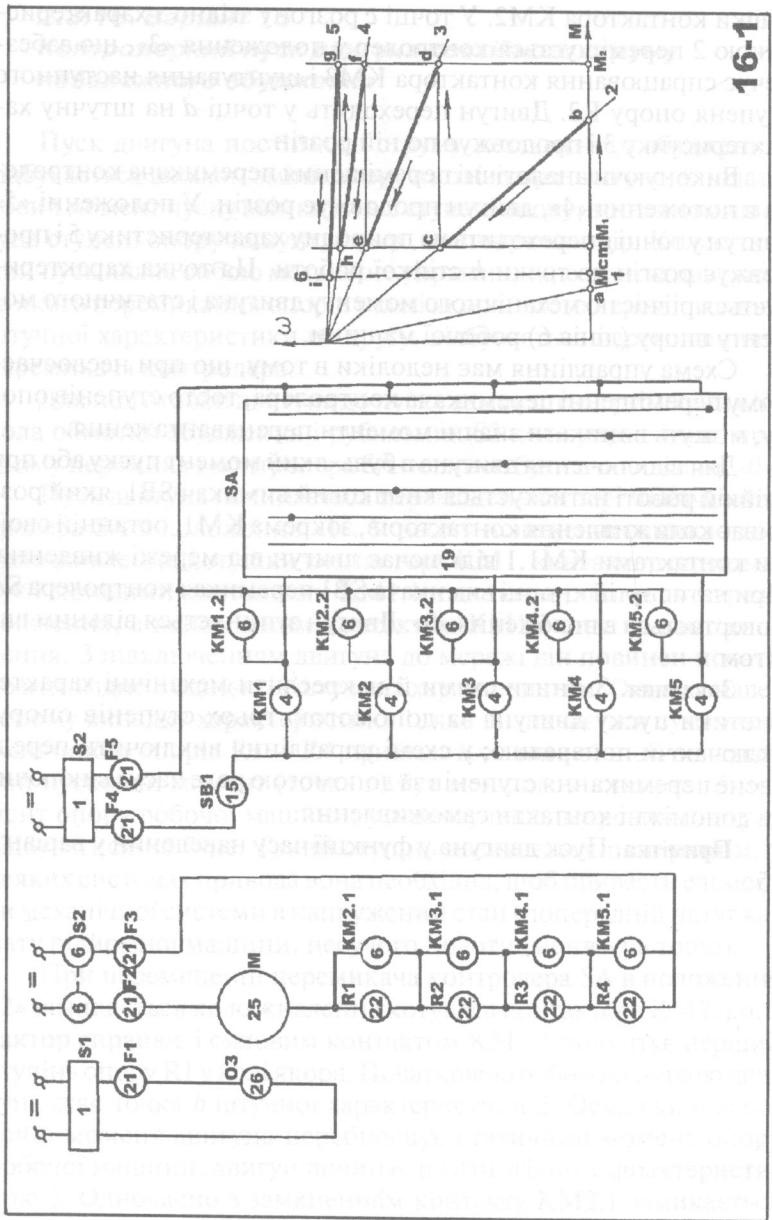
Схема управління має недоліки в тому, що при несвоєчасному переміщенні перемикача контролера, тобто ступенів опору, можуть виникати значні моменти перенавантаження.

Для відключення двигуна в будь-який момент пуску або при стійкій роботі натискується кнопковий вимикач SB1, який розриває кола живлення контакторів, зокрема КМ1, останній своїми контактами КМ1.1 відключає двигун від мережі живлення. При натиснутій кнопці вимикача SB1 перемикач контролера SA повертається в положення «0». Двигун зупиняється вільним вибігом.

**Завдання.** Змінити схеми й накреслити механічні характеристики пуску двигуна за допомогою трьох ступенів опору, включаючи попередню; у схемі управління виключити передчасне перемикання ступенів за допомогою реле часу і виключити допоміжні контакти саможивлення.

**Примітка.** Пуск двигуна у функції часу наведений у варіанті 15.





16-1

### **2.3.17. Варіант 17**

#### **Пуск і динамічне гальмування двигуна постійного струму незалежного збудження**

Пуск двигуна постійного струму незалежного збудження відбувається зменшенням опору в колі якоря при розгоні двигуна, з виходом на природну характеристику додатковий опір у колі якоря дорівнює нулю.

Динамічне гальмування в двигуні постійного струму забезпечується відключенням якоря двигуна від мережі живлення і замкненням кола якоря на додатковий опір, причому величина цього опору дещо більша, ніж при пуску. У результаті взаємодії постійного магнітного поля обмотки збудження зі струмом, що індукується в замкненому колі якоря, який обертається, виникає гальмівний момент двигуна.

Щоб підготувати двигун до пуску, необхідно замкнути рубильники  $S_1$ ,  $S_2$  і  $S_3$  відповідно в колі обмотки збудження, якоря і колі управління, до того ж перемикач контролера  $SA$  в колі управління повинен бути в положенні «0».

Пуск відбувається натисненням кнопкового вимикача  $SB_2$ , який в положенні перемикача контролера «0» забезпечує підключення котушки контактора  $KM_1$  до джерела живлення. Контактор  $KM_1$  спрацьовує і своїми силовими контактами  $KM_1.1$  підключає якір двигуна до мережі. Двигун починає розгін з точки  $a$  згідно з штучною характеристикою  $l$ . Одночасно із замкненням контактів  $KM_1.1$  замикаються допоміжні контакти  $KM_1.2$ ,  $KM_1.4$  і розмикається контакт  $KM_1.3$ . Контакт  $KM_1.2$  забезпечує шунтування кнопки  $SB_2$  з контактом контролера  $SA$ , після чого відпускання кнопки і переміщення перемикача контролера в інше положення розмикання кола живлення  $KM_1$  не відбувається. Замкнення контакту  $KM_1.4$  підготовлює кола котушок контакторів  $KM_2$ ,  $KM_3$  і  $KM_4$  для їх подальшого включення контролером. Розімкненням контакту  $KM_1.3$  забезпечується неможливість одночасного включення контакторів  $KM_1$  і  $KM_5$ .

Через кілька секунд, що відповідають розгону двигуна до точки  $b$ , переміщення перемикача в положення «1» забезпечує замкнення кола котушки контактора  $KM_2$ . Контактор спрацьовує і своїм контактом  $KM_2.1$  зашунтує першу ступінь опору  $R_2$ , дви-

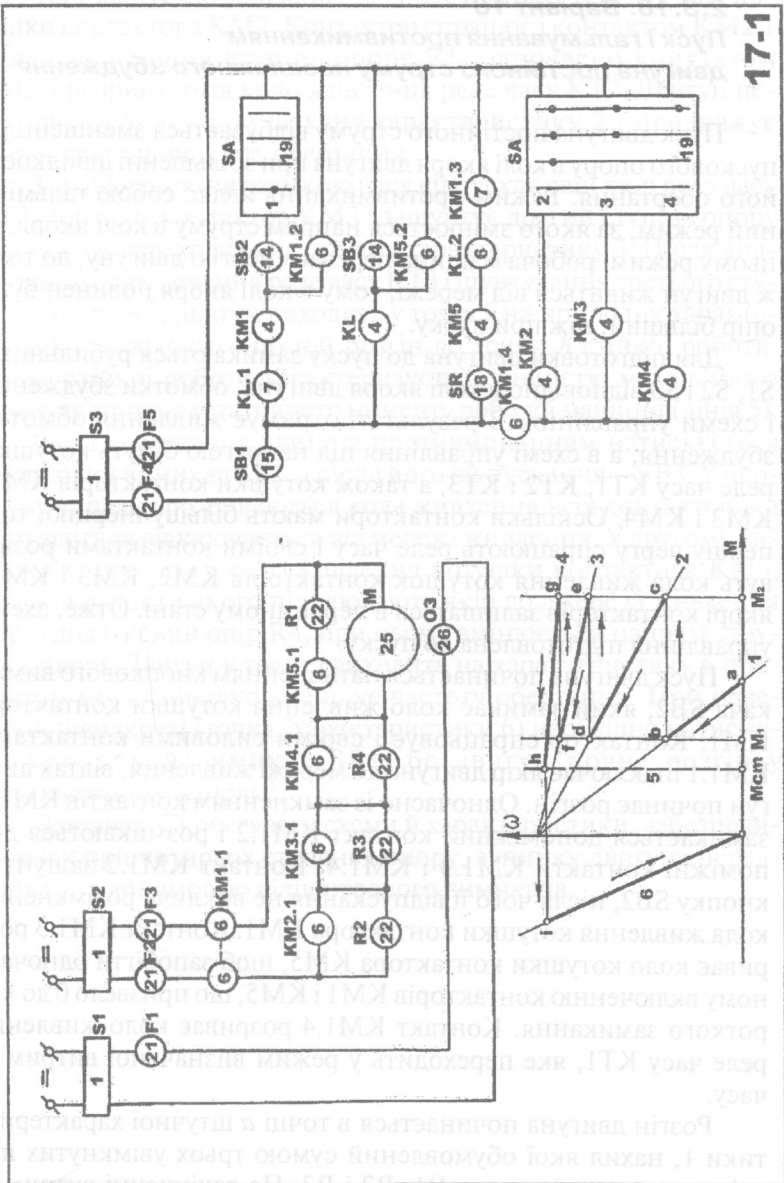
гун у точці *c* переходить на штучну характеристику 2 і продовжує розгін до точки *d*. У точці *d* перемикач контролера ставиться в положення «2», в результаті чого зашунтується друга ступінь опору R3. При подальшому переміщенні перемикача в положення «3» спрацьовує контактор КМ4, двигун виходить на природну характеристику 4 і продовжує розгін до точки *h* стійкої роботи (точки перетину механічної характеристики двигуна і статичного моменту опору (лінія 5) робочої машини).

Для швидкої зупинки двигуна в режимі динамічного гальмування натискується кнопковий вимикач SB3. У результаті спрацьовує проміжне реле КЛ, яке контактом КЛ.1 розриває коло живлення контактора КМ1 і контактом КЛ.2 готує коло вмикання контактора КМ5. Контакт КМ1 відключається, розмикаючими контактами КМ1.1 розриває коло живлення якоря двигуна від мережі. Одночасно контактор контактом КМ1.3 замикає коло живлення котушки контактора КМ5. Останній спрацьовує, контактом КМ5.1 замикає якір двигуна на додатковий опір R1 і контактом КМ5.2 зашунтує кнопку SB3. Двигун у точці *i* переходить на характеристику 6 динамічного гальмування і швидко зменшує кутову частоту обертання. При невеликій швидкості відцентровий вимикач розриває свій контакт SR у колі контактора КМ5, двигун зупиняється вільним вибігом.

Для приведення схеми управління в початковий стан перемикач контролера повертається в положення «0». При необхідності зупинки двигуна вільним вибігом при його роботі натискується кнопковий вимикач SB1.

**Завдання.** Передбачити у схемах дві ступені динамічного гальмування, при цьому друга ступінь являє собою шунтування частини опору динамічного гальмування і включається з витримкою часу.

17-1



### **2.3.18. Варіант 18**

#### **Пуск і гальмування противмиканням**

#### **двигуна постійного струму незалежного збудження**

Пуск двигуна постійного струму відбувається зменшенням пускового опору в колі якоря двигуна при збільшенні швидкості його обертання. Режим противмикання являє собою гальмівний режим, за якого змінюється напрям струму в колі якоря. У цьому режимі робоча машина передає енергію двигуну, до того ж двигун живиться від мережі, тому в колі якоря повинен бути опір більший, ніж при пуску.

Для підготовки двигуна до пуску замикаються рубильники  $S_1$ ,  $S_2$  і  $S_3$  відповідно в колі якоря двигуна, обмотки збудження і схеми управління. В результаті отримує живлення обмотка збудження, а в схемі управління під напругою будуть котушки реле часу  $KT_1$ ,  $KT_2$  і  $KT_3$ , а також котушки контакторів  $KM_2$ ,  $KM_3$  і  $KM_4$ . Оскільки контактори мають більшу інерцію, то в першу чергу спрацюють реле часу і своїми контактами розірвуть кола живлення котушок контакторів  $KM_2$ ,  $KM_3$  і  $KM_4$ , якорі контакторів залишаться в первинному стані. Отже, схема управління підготовлена до пуску.

Пуск двигуна починається натисненням кнопкового вимикача  $SB_2$ , який замикає коло живлення котушки контактора  $KM_1$ . Контактор спрацює і своїми силовими контактами  $KM_1.1$  підключає якорь двигуна до мережі живлення, відтак двигун починає розгін. Одночасно із замкненням контактів  $KM_1.1$  замикається допоміжний контакт  $KM_1.2$  і розмикаються допоміжні контакти  $KM_1.3$  і  $KM_1.4$ . Контакт  $KM_1.2$  зашунтує кнопку  $SB_2$ , після чого її відпускання не викличе розімкнення кола живлення котушки контактора  $KM_1$ . Контакт  $KM_1.3$  розриває коло котушки контактора  $KM_5$ , щоб запобігти одночасному включенню контакторів  $KM_1$  і  $KM_5$ , що призвело б до короткого замикання. Контакт  $KM_1.4$  розриває коло живлення реле часу  $KT_1$ , яке переходить у режим визначеної витримки часу.

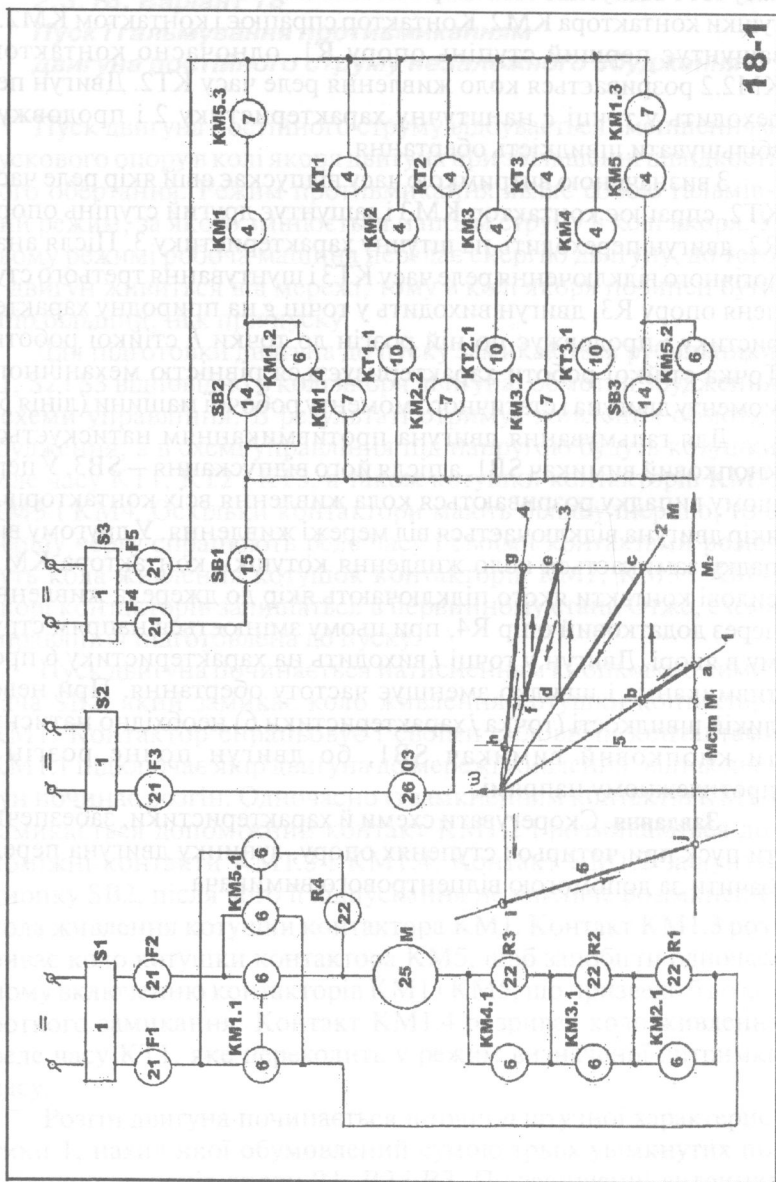
Розгін двигуна починається в точці  $a$  штучної характеристики 1, нахил якої обумовлений сумою трьох увімкнутих послідовно ступенів опору  $R_1$ ,  $R_2$  і  $R_3$ . По закінченні витримки часу, що відповідає положенню точки  $b$  на характеристиці 1, реле

часу КТ1 відпускає свій якір і замикає контакт КТ1.1 у колі котушки контактора КМ2. Контактор спрацює і контактом КМ2.1 зашунтує перший ступінь опору R1, одночасно контактом КМ2.2 розривається коло живлення реле часу КТ2. Двигун переходить у точці *c* на штучну характеристику 2 і продовжує збільшувати швидкість обертання.

З визначеною витримкою часу відпускає свій якір реле часу КТ2, спрацює контактор КМ3 і зашунтує другий ступінь опору R2, двигун переходить на штучну характеристику 3. Після аналогічного відключення реле часу КТ3 і шунтування третього ступеня опору R3, двигун виходить у точці *g* на природну характеристику і продовжує по ній розгін до точки *h* стійкої роботи. Точка стійкої роботи характеризується рівністю механічного моменту двигуна і статичного моменту робочої машини (лінія 5).

Для гальмування двигуна противмиканням натискується кнопковий вимикач SB1, а після його відпускання – SB3. У першому випадку розриваються кола живлення всіх контакторів, і якір двигуна відключається від мережі живлення. У другому випадку замикається коло живлення котушки контактора КМ5, силові контакти якого підключають якір до джерела живлення через додатковий опір R4, при цьому змінюється напрям струму в якорі. Двигун у точці *i* виходить на характеристику 6 противмикання і швидко зменшує частоту обертання. При невеликій швидкості (точка *j* характеристики 6) необхідно натиснути кнопковий вимикач SB1, бо двигун почне розгін у протилежному напрямі.

**Завдання.** Скорегувати схеми й характеристики, забезпечити пуск при чотирьох ступенях опору, зупинку двигуна передбачити за допомогою відцентрового вимикача.



### 2.3.19. Варіант 19

#### Пуск двигуна постійного струму паралельного збудження у функції часу

При вмиканні рубильника S1 по обмотці збудження ОЗ двигуна проходить струм, за допомогою реостата збудження R1 встановлюється відповідний струм збудження; силова схема підготовлена до пуску двигуна. Під час пуску двигуна, оскільки якор має малий опір, у його коло повинно бути включено кілька ступенів опору, які при розгоні двигуна по чергово зашунтуються.

Для автоматичного пуску двигуна передбачена схема управління, яка живиться від мережі постійного струму. Для початку роботи схеми замикається рубильник S2, в результаті чого через обмотки реле часу КТ1, КТ2 і КТ3 протікає струм при відповідно закритих контактах КМ1.3, КМ2.3 і КМ3.3. Реле часу спрацюють і розімкнуть свої нормально замкнені контакти КТ1.1, КТ2.1 і КТ3.1 відповідно в колах котушок контакторів КМ2, КМ3 і КМ4. Отже, схема управління підготовлена до роботи.

Пуск двигуна починається натисненням кнопкового вимикача SB2, у результаті чого в котушці контактора КМ1 піде струм. Контактор спрацює, замикає свої нормально розімкнені контакти КМ1.1, КМ1.2, КМ1.4 і розмикає нормально замкнений контакт КМ1.3. Замкнення контактів КМ1.1 забезпечує підключення кола якоря до джерела живлення, і двигун починає обертатися. Замкнення контакту КМ1.2 забезпечує шунтування кнопки SB2, яку після початку пуску можна відпустити, при цьому не буде розірваним коло живлення котушки контактора КМ1. Контакт КМ1.4 при замкненні готує коло до включення контактора КМ2. Розімкнення контакту КМ1.3 призводить до розриву кола живлення реле часу КТ1, яке з визначеною витримкою часу замкне свій контакт КТ1.1 у колі котушки контактора КМ2. Витримка часу реле КТ1 забезпечує розгін двигуна згідно з механічною характеристикою 1 з точки *a* до точки *b*.

Спрацювання контактора КМ2 призводить до шунтування його контактом КМ2.1 першої ступені опору R2 в силівній схемі, і двигун у точці *c* переходить на штучну характеристику 2 і продовжує по ній розгін. Одночасно контактор КМ2 замикає свій контакт КМ2.2 для підготовки спрацювання контактора КМ3 і розмикає контакт КМ2.3 в колі реле КТ2 витримки часу друго-

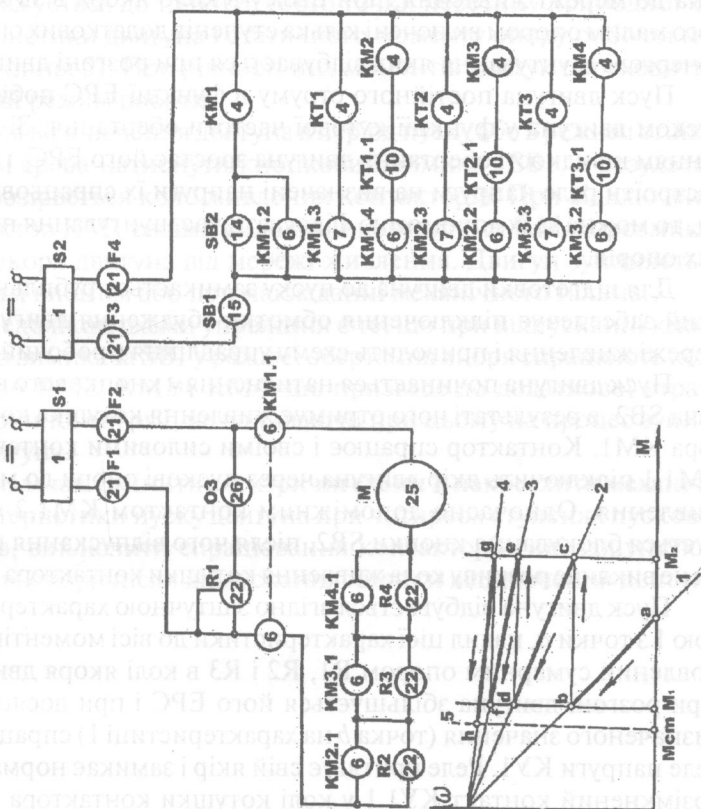


го ступеня опору. Після спрацювання контактора КМ3 з шунтуванням другого ступеня опору R3 і аналогічної роботи контактора КМ4 з шунтуванням останнього ступеня опору R4, двигун у точці  $g$  виходить на природну механічну характеристику 4 і продовжує по ній розгін до точки  $h$  стійкої роботи. У цій точці двигун буде працювати зі сталою швидкістю обертання, оскільки тут ??? двигуна дорівнює моменту опору робочої машини (лінія 5).

У процесі роботи двигуна його механічний момент  $M$  змінюється у межах  $M_1$ - $M_2$ . Величина  $M_1$  приймається, як правило, рівною  $(1,1-1,2) M_{\text{ном}}$ , величина  $M_2$  залежить від кількості ступенів опору, але рекомендується не більше  $(2,2-2,5) M_{\text{ном}}$ . Чим більше ступенів опору, тим пуск буде більш плавним, однак, потребує більшої кількості електричних апаратів. Витримки часу і опори ступенів взаємно пов'язані, вони підбираються таким чином, щоб перемикання (шунтування опорів) тривало при можливо близьких значеннях до  $M_1$  і  $M_2$ .

Відключення двигуна відбувається натисненням кнопкового вимикача SB1, у результаті чого розривається коло живлення котушки контактора КМ1, і останній своїми контактами КМ1.1 розриває коло живлення якоря двигуна. Двигун зупиняється вільним вибігом. Силова схема і схема управління повертаються до початкового стану, як і перед пуском двигуна.

**Завдання.** Змінити електричні схеми й накреслити механічні характеристики пуску двигуна для п'яти ступенів пускового опору.



### **2.3.20. Варіант 20**

#### **Пуск двигуна постійного струму паралельного збудження в функції електрорушійної сили**

Пуск двигуна постійного струму паралельного збудження відбувається при підключенні обмотки збудження і якоря двигуна до мережі живлення, при цьому в коло якоря в зв'язку з його малим опором включені кілька ступенів додаткових опорів, по чергове шунтування яких відбувається при розгоні двигуна.

Пуск двигуна постійного струму в функції ЕРС побічно є пуском двигуна у функції кутової частоти обертання. Зі зростанням швидкості обертання двигуна зростає його ЕРС, і якщо настроїти реле напруги на визначені напруги їх спрацьовування, то можна за їх допомогою фіксувати час шунтування пускових опорів.

Для підготовки двигуна до пуску замикається рубильник  $S$ , який забезпечує підключення обмотки збудження двигуна до мережі живлення і приводить схему управління в робочий стан.

Пуск двигуна починається натисненням кнопкового вимикача  $SB2$ , в результаті чого отримує живлення котушка контактора  $KM1$ . Контактор спрацює і своїми силовими контактами  $KM1.1$  підключить якорь двигуна через пускові опори до мережі живлення. Одночасно допоміжним контактом  $KM1.2$  виконується блокування кнопки  $SB2$ , після чого відпускання кнопки не викличе розриву кола живлення котушки контактора  $KM1$ .

Пуск двигуна відбувається згідно з штучною характеристикою 1 з точки  $a$ , нахил цієї характеристики до вісі моментів обумовлений сумарним опором  $R1$ ,  $R2$  і  $R3$  в колі якоря двигуна. При розгоні двигуна збільшується його ЕРС і при досягненні визначеного значення (точка  $b$  на характеристиці 1) спрацьовує реле напруги  $KY1$ . Реле притягує свій якорь і замикає нормально розімкнений контакт  $KY1.1$  у колі котушки контактора  $KM2$ . Контактор спрацює і замкне свій контакт  $KM2.1$ , який зашунтує перший ступінь пускового опору  $R1$ . Двигун переходить у точці  $c$  на штучну характеристику 2.

При подальшому розгоні двигуна ЕРС якоря досягає напруги спрацювання реле  $KY2$  (точка  $d$  характеристики 2). Реле притягує свій якорь і замикає контакт  $KY2.1$  у колі котушки контактора  $KM3$ . Контактор  $KM3$  своїм контактом  $KM3.1$  зашунтує

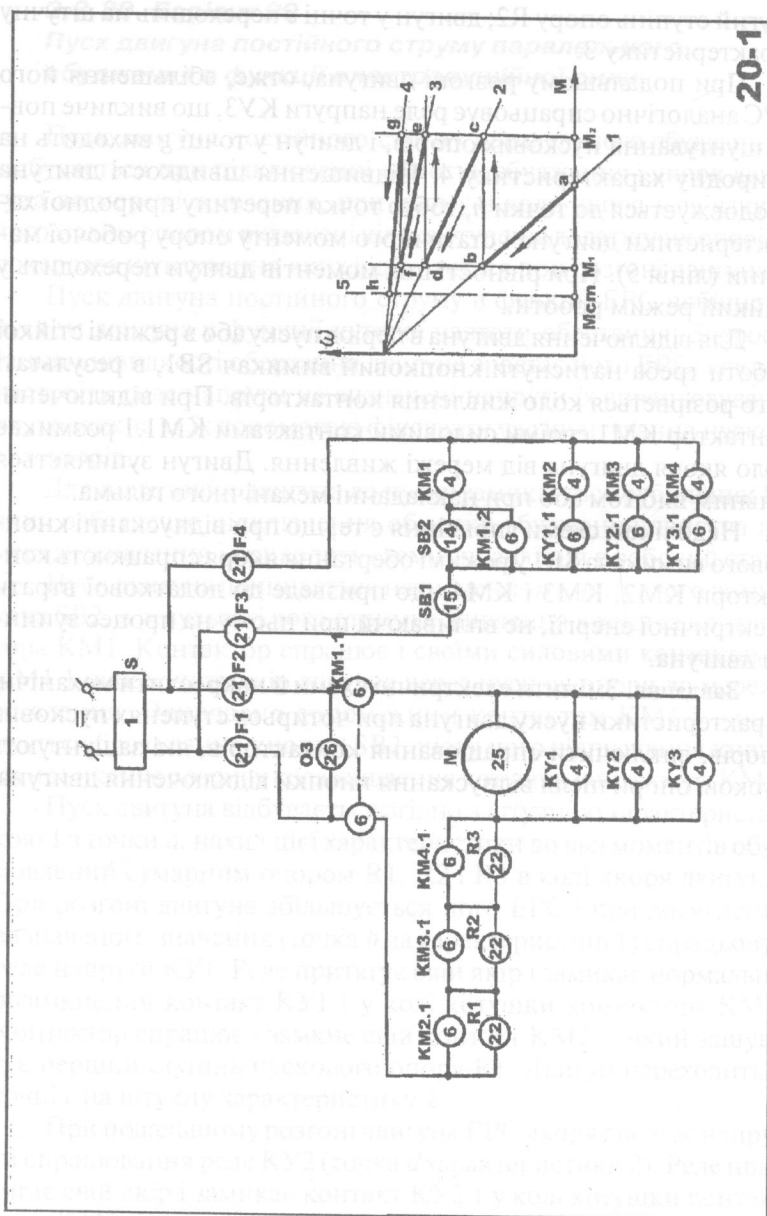
другий ступінь опору  $R_2$ ; двигун у точці  $e$  переходить на штучну характеристику 3.

При подальшому розгоні двигуна, отже, збільшення його ЕРС аналогічно спрацьовує реле напруги КУЗ, що викличе повне шунтування пускових опорів, і двигун у точці  $g$  виходить на природну характеристику 4. Підвищення швидкості двигуна продовжується до точки  $h$ , тобто точки перетину природної характеристики двигуна і статичного моменту опору робочої машини (лінія 5). При рівності цих моментів двигун переходить у стійкий режим роботи.

Для відключення двигуна в період пуску або в режимі стійкої роботи треба натиснути кнопковий вимикач SB1, в результаті чого розірветься коло живлення контакторів. При відключенні контактор KM1 своїми силовими контактами KM1.1 розмикає коло якоря двигуна від мережі живлення. Двигун зупиняється вільним вибігом або при накладанні механічного гальма.

Недоліком схеми управління є те, що при відпусканні кнопкового вимикача SB1 у режимі обертання якоря спрацюють контактори KM2, KM3 і KM4, що призведе до додаткової втрати електричної енергії, не впливаючи при цьому на процес зупинки двигуна.

**Завдання.** Змінити електричні схеми й накреслити механічні характеристики пуску двигуна при чотирьох ступенях пускових опорів, виключити спрацювання контакторів, які зашунтують пускові опори після відпускання кнопки відключення двигуна.



### **2.3.21 Варіант 21**

#### **Управління двигуном постійного струму паралельного збудження з реверсом двигуна**

Управління включає в себе автоматичний пуск двигуна в одну («вперед») і другу («назад») сторони. Пуск двигуна відбувається зменшенням опору в колі якоря двигуна при його розгоні. Реверс є зміною напрямку обертання двигуна і відбувається при зміні напрямку струму в якорі двигуна, тобто зміною фаз живлення кола якоря двигуна.

Для підготовки двигуна до пуску замикається рубильник S1 у силовому колі, що призведе до обтікання струмом обмотки збудження двигуна. Потім замикається рубильник S2 в схемі управління, в результаті чого замикаються кола живлення котушок реле часу КТ1, КТ2 і КТ3. Реле спрацюють і розірвуть свої нормально замкнені контакти КТ1.1, КТ2.1 і КТ3.1 відповідно в колах котушок контакторів КМ5, КМ6 і КМ7. Таким чином, схема управління підготовлена до пуску двигуна.

Для пуску двигуна використовуються контактори постійного струму з однополюсним силовим контактом. Для обертання двигуна «вперед» необхідно замкнути силові контакти КМ1.1 і КМ2.1, для обертання двигуна «назад» – контакти КМ3.1 і КМ4.1.

Для пуску двигуна «вперед» натискається кнопковий вимикач SB2, в наслідок чого замикаються кола котушок контакторів КМ1 і КМ2, контактори спрацюють і своїми контактами КМ1.1 і КМ2.1 підключають якорь двигуна до мережі живлення. Одночасно контактом КМ1.2 розривається коло живлення реле часу КТ1, КТ2 і КТ3, контактом КМ1.3 зашунтується пускова кнопка SB2, після чого кнопку можна відпустити, контактом КМ1.4 відбувається блокування неможливості одночасного підключення якоря двигуна на обертання «вперед» і «назад», контактом КМ1.5 готується коло включення контакторів КМ5, КМ6 і КМ7. Мить розриву кола живлення реле часу є початком відліку витримки часу для кожного реле, при цьому для реле КТ1 вона найменша, для реле КТ3 – найбільша. При підключенні якоря двигуна до мережі живлення він починає розгін згідно з штучною характеристикою 1, нахил якої обумовлений сумою опорів R1,

R2 і R3. Через визначений час витримки спрацювання реле часу КТ1 відпускає свій якір і замикає контакт КТ1.1 у колі котушки контактора КМ5, що відповідає положенню точки *b* на характеристиці 1. Контактор КМ5 спрацює і своїм контактом зашунтує перший ступінь пускового опору R1. У результаті двигун у точці *c* переходить на штучну характеристику 2 і продовжує по ній розгін.

Після закінчення витримки часу реле КТ2 замикає свій контакт КТ2.1 у колі котушки контактора КМ6, який спрацює і своїм контактом КМ6.1 зашунтує другий ступінь опору R2. Аналогічно відбувається з роботою контактора КМ7 і шунтування третього ступеня R3. Після шунтування останнього ступеня опору двигун виходить у точці *g* на природну характеристику 4 і продовжує розгін до точки *h* стійкої роботи (точки перетину моменту двигуна і статичного моменту опору 5 робочої машини).

Для необхідності реверса двигуна його треба спочатку зупинити натисненням на кнопковий вимикач SB1, який розриває кола живлення контакторів КМ1 і КМ2, якір двигуна відключається від мережі, і двигун зупиняється вільним вибігом. Наступне натиснення на кнопковий вимикач SB3 буде початком пуску двигуна в положення «назад», при цьому процес розгону буде аналогічним, як і при пуску «вперед».

Для захисту двигуна від коротких замикань у силовому колі використовуються два реле максимального струму КА1 і КА2, які при спрацюванні своїми контактами КА1.1 і КА2.1 розривають кола живлення контакторів КМ1-КМ4. Для захисту кола управління від коротких замикань використовуються плавкі запобіжники.

**Завдання.** Виконати управління реверсом двигуна від двох двополюсних контакторів і при двох ступенях пускових опорів.





### **2.3.22. Варіант 22**

#### **Пуск двигуна постійного струму послідовного збудження в функції часу**

Для пуску двигуна постійного струму послідовного збудження використовуються кілька ступеней опору, які з'єднують послідовно з обмоткою збудження і якорем двигуна; при розгоні двигуна відбувається почергове шунтування цих ступенів опору. Якщо для їх перемикання використовуються реле часу, то пуск буде в функції часу.

Для підготовки двигуна до пуску замикаються рубильники S1 і S2 відповідно в силовому колі і схемі управління. Якщо в силовому колі при цьому ніяких змін не відбувається, то в схемі управління одночасно під напругою будуть знаходитися котушки реле часу КТ1, КТ2, КТ3 і котушки контакторів КМ2, КМ3, КМ4. Оскільки контактори при спрацюванні мають значно більше інерцію, то, передусім, притягнуть свої якорі реле часу й розімкнуть свої нормально замкнені контакти. Таким чином, контакти реле КТ1.1, КТ2.1 і КТ3.1 розривають відповідно кола живлення котушок контакторів КМ2, КМ3 і КМ4, в результаті чого контактори залишаються у відключеному стані.

Пуск двигуна починається натисненням кнопкового вимикача SB2, що викличе замкнення кола живлення котушки контактора КМ1. Контактор спрацює і своїми силовими контактами КМ1.1 підключить двигун до мережі живлення, отже, двигун починає розгін. Одночасно з замкненням силових контактів КМ1.1 замикається допоміжний контакт контактора КМ1.2 і розмикається контакт КМ1.3. Контакт КМ1.2 зашунтує кнопковий вимикач SB2, після чого відпускання кнопки не викличе розриву кола живлення котушки контактора КМ1. Контакт КМ1.3 розриває коло живлення котушки реле часу КТ1, обумовлюючи початок відліку витримки часу даного реле.

Розгін двигуна відбувається з точки *a* згідно з штучною характеристикою 1, крутизна якої обумовлена сумарним опором ступенів R1, R2 і R3 в силовому колі двигуна. По закінченні витримки часу (точка *b* на характеристиці 1) реле КТ1 відпустить свій якор і замкне контакт КТ1.1 у колі котушки контактора КМ2. Контактор спрацює і силовим контактом КМ1.2 зашунтує перший ступінь опору R1, двигун перейде в точці *c* на штуч-

ну характеристику 2, крутизна якої характеризується сумарним опором R2 і R3. Одночасно з замкненням контакту КМ2.1 контактор розриває свій допоміжний нормально замкнений контакт КМ2.2 в колі реле часу КТ2, яке без струму живлення від мережі переходить у режим витримки часу.

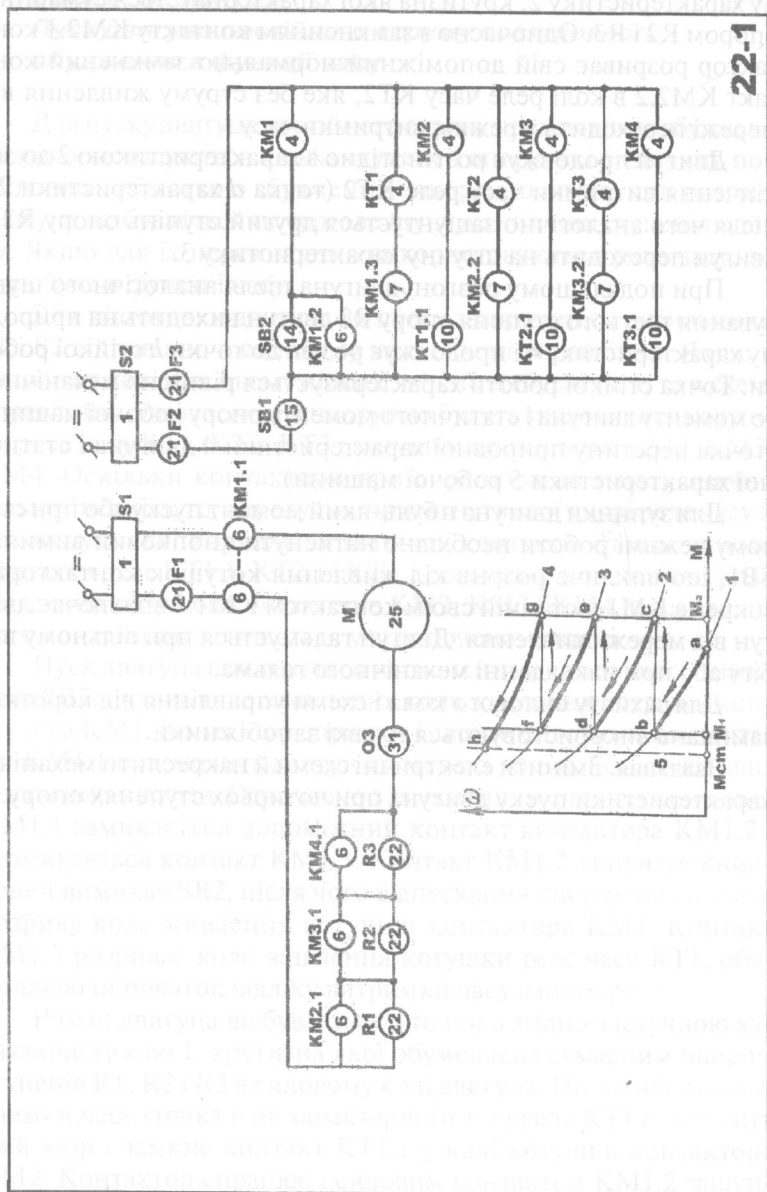
Двигун продовжує розгін згідно з характеристикою 2 до закінчення витримки часу реле КТ2 (точка *d* характеристики 2), після чого аналогічно зашунтується другий ступінь опору R2, і двигун переходить на штучну характеристику 3.

При подальшому розгоні двигуна після аналогічного шунтування третього ступеня опору R3 двигун виходить на природну характеристику 4 і продовжує розгін до точки *h* стійкої роботи. Точка стійкої роботи характеризується рівністю механічного моменту двигуна і статичного моменту опору робочої машини (точка перетину природної характеристики 4 двигуна і статичної характеристики 5 робочої машини).

Для зупинки двигуна в будь-який момент пуску або при сталому режимі роботи необхідно натиснути кнопковий вимикач SB1, що викличе розрив кіл живлення котушок контакторів, зокрема КМ1, останній своїм контактом КМ1.1 відключає двигун від мережі живлення. Двигун гальмується при вільному вибігу або при накладанні механічного гальма.

Для захисту силового кола і схеми управління від коротких замикань використовуються плавкі запобіжники.

**Завдання.** Змінити електричні схеми й накреслити механічні характеристики пуску двигуна при чотирьох ступенях опору.



### 2.3.23. Варіант 23

#### **Контролерне управління реверсивним двигуном постійного струму послідовного збудження**

Контролерне управління двигуном складається з пуску і реверса двигуна за допомогою контролера. Пуск двигуна відбувається шляхом зменшення пускових опорів у силовому колі під час розгону якоря двигуна з повним шунтуванням опорів у режимі сталої роботи. Реверс двигуна постійного струму відбувається зміною напрямку струму в обмотці збудження двигуна при тому ж напрямі струму в колі якоря (можливо робити і навпаки, тобто залишати той же напрям струму в обмотці збудження, а міняти напрям струму в колі якоря двигуна).

Для підготовки двигуна до пуску замикаються рубильники  $S_1$  і  $S_2$ , при цьому до вмикання рубильників стан перемикача контролера  $SA$  повинен знаходитися в положенні «0». Обертання двигуна «вперед» буде відповідати переміщення перемикача контролера вліво, «назад» – вправо.

Пуск двигуна в напрямі «вперед» відбувається переміщенням перемикача контролера  $SA$  вліво в положення «1». У цьому положенні контролера замикаються кола живлення котушок контакторів  $KM_1$  і  $KM_2$ , контактори спрацьовують, замкнувши свої силові контакти. Контакт  $KM_1$  замикає контакт  $KM_1.1$  і підключає силову схему до одного полюса джерела живлення. Контакт  $KM_2$  своїми контактами  $KM_2.1$  підключає обмотку збудження до другого полюса джерела живлення і до якоря двигуна таким чином, щоб напрям струму в обмотці збудження відповідав обертанню якоря «вперед». При підключенні двигуна до мережі живлення він починає набирати обертів. Розгін двигуна починається в точці  $a$  штучної характеристики 1, кривизна якої визначається сумарним значенням  $R_1$ ,  $R_2$  і  $R_3$  ступенів пускових опорів.

При переміщенні перемикача контролера в положення «2», що відповідає точці  $b$  на характеристиці 1, замикається коло котушки контактора  $KM_4$ , при цьому кола котушок контакторів  $KM_1$  і  $KM_2$  залишаються замкненими. Контакт  $KM_4$  своїм контактом  $KM_4.1$  зашунтує перший ступінь опору  $R_1$ , двигун переходить в точці  $c$  на штучну характеристику 2 і продовжує розгін.

При переміщенні перемикача в положення «3» зашунтується опір R2, і двигун переходить на штучну характеристику 3. При черговому повороті перемикача контролера в положення «4» зашунтується третя ступінь опору R3, двигун в точці  $g$  виходить на природну характеристику 4 і продовжує збільшувати оберти до точки  $h$  стійкої роботи. Точка стійкої роботи характеризується рівністю механічного моменту двигуна і статичного моменту опору робочої машини (лінія 5).

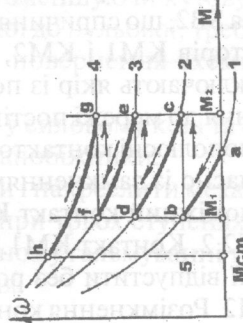
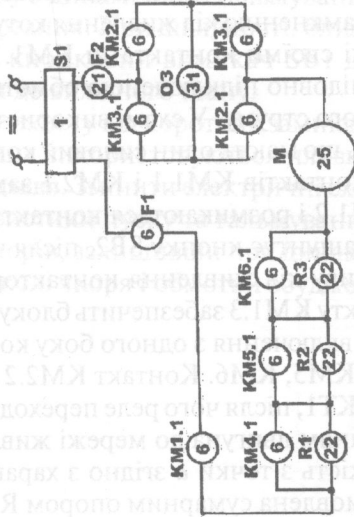
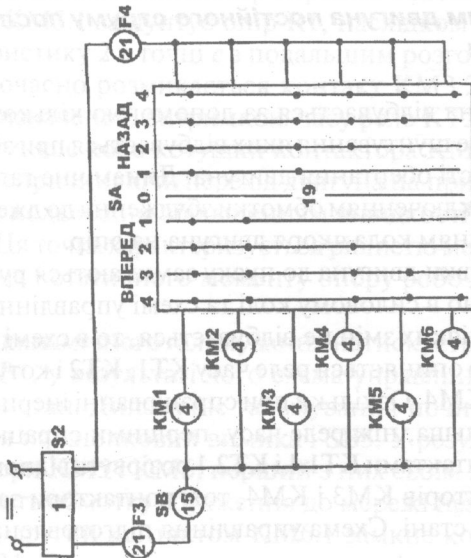
Для зупинки двигуна натискується кнопковий вимикач SB, перемикач контролера SA повертається в положення «0», після чого відпускається кнопка SB. У цьому стані розмикаються кола живлення всіх контакторів, і двигун відключається від мережі живлення. Зупинка двигуна відбувається вільним вибігом або накладенням механічного гальма. Схема управління має вихідний стан для пуску.

Для реверса двигуна перемикач контролера SA переміщується почергово по фіксованим позиціям в сторону «назад» (вправо). Пуск двигуна відбувається аналогічно з однією лише різницею, замість контактів KM2.1 замикаються контакти KM3.1, у результаті чого струм в обмотці збудження змінює свій напрям на протилежний. Таким чином, двигун обертається в протилежному напрямі.

Для захисту від коротких замикань у силовому колі та схемі управління використовуються плавкі запобіжники.

**Завдання.** Змінити електричні схеми з метою пуску двигуна при чотирьох ступенях пускових опорів, на графіку механічних характеристик накреслити послідовність пуску двигуна в різні сторони.

23-1



### **2.3.24. Варіант 24**

#### **Пуск і динамічне гальмування з незалежним збудженням двигуна постійного струму послідовного збудження**

Пуск двигуна відбувається за допомогою кількох ступенів опору, почергове шунтування яких відбувається при збільшенні кутової швидкості обертання двигуна. Динамічне гальмування відбувається підключенням обмотки збудження до джерела живлення і замкненням кола якоря двигуна на опір.

Для підготовки двигуна до пуску замикаються рубильники  $S_1$  і  $S_2$  відповідно в силовому колі та схемі управління. Якщо в силовому колі ніяких змін не відбувається, то в схемі управління під напругою опиняється реле часу  $KT_1$ ,  $KT_2$  і котушки контакторів  $KM_3$ ,  $KM_4$ . Оскільки при спрацюванні інерція контакторів значно більша, ніж реле часу, першими спрацюють реле часу і своїми контактами  $KT_1.1$  і  $KT_2.1$  розірвуть відповідно кола котушок контакторів  $KM_3$  і  $KM_4$ , тож контактори залишаться у відключеному стані. Схема управління підготовлена до пуску двигуна.

Пуск двигуна починається натисненням кнопкового вимикача  $SB_2$ , що спричиняє замкнення кіл живлення котушок контакторів  $KM_1$  і  $KM_2$ , які своїми контактами  $KM_1.1$  і  $KM_2.1$  підключають якір із послідовно підключеною обмоткою збудження до мережі постійного струму. У схемі використовуються однополюсні контактори, що мають один силовий контакт. Одночасно із замкненням контактів  $KM_1.1$  і  $KM_2.1$  замикається допоміжний контакт  $KM_1.2$  і розмикаються контакти  $KM_1.3$  і  $KM_2.2$ . Контакт  $KM_1.2$  зашунтує кнопку  $SB_2$ , після чого можна її відпустити без розриву кіл живлення контакторів  $KM_1$  і  $KM_2$ . Розімкнення контакту  $KM_1.3$  забезпечить блокування неможливості одночасного включення з одного боку контакторів  $KM_1$ ,  $KM_2$ , і з другого –  $KM_5$ ,  $KM_6$ . Контакт  $KM_2.2$  розмикає коло живлення реле часу  $KT_1$ , після чого реле переходить в стан відліку часу. З підключенням двигуна до мережі живлення він починає набирати швидкість з точки  $a$  згідно з характеристикою 1, крутизна якої обумовлена сумарним опором  $R_1$  і  $R_2$ . По закінченні витримки часу, що відповідає точці  $b$  характеристики 1, реле  $KT_1$  відпускає свій якір, у результаті чого замикається

ся контакт КТ1.1, який підключає котушку контактора КМ3 до мережі живлення. Контактор спрацює і своїми силовими контактами КМ3.1 зашунтує опір R1, наслідком чого є перехід на характеристику 2 в точці  $c$  з подальшим розгоном по ній.

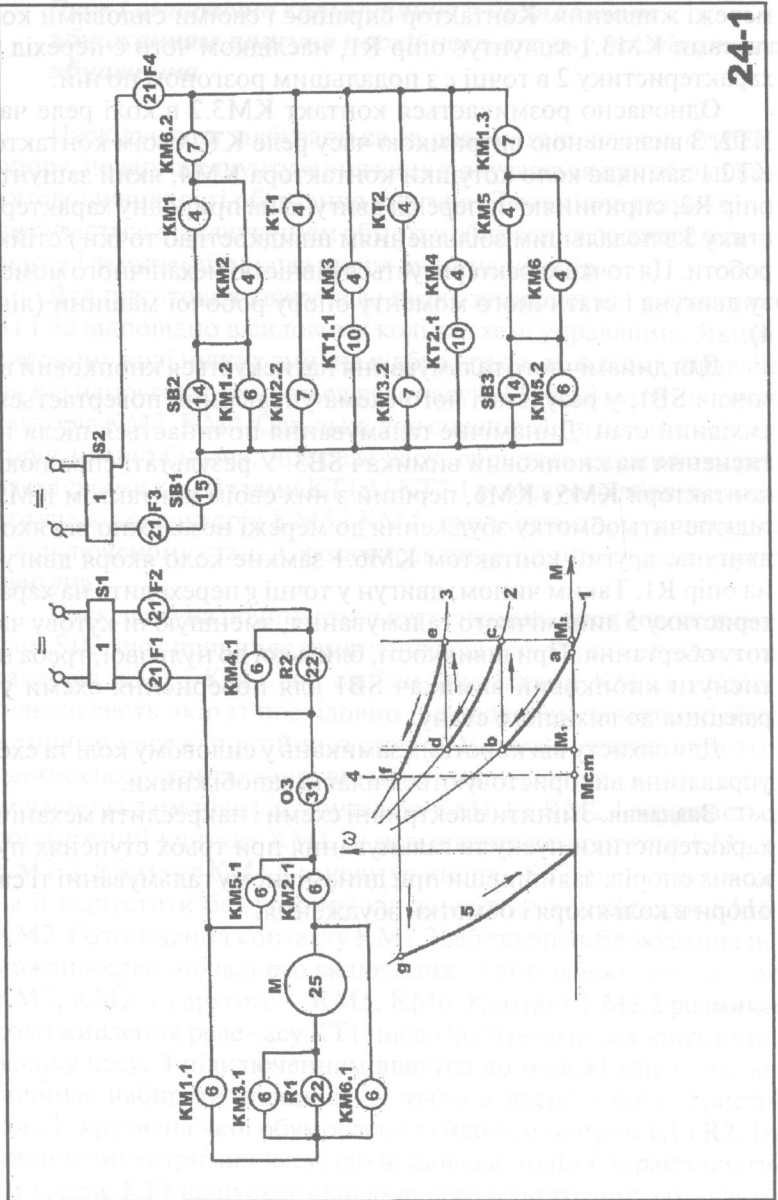
Одночасно розмикається контакт КМ3.2 в колі реле часу КТ2. З визначеною витримкою часу реле КТ2 своїм контактом КТ2.1 замикає коло котушки контактора КМ4, який зашунтує опір R2, спричиняючи перехід двигуна на природну характеристику 3 з подальшим збільшенням швидкості до точки  $f$  стійкої роботи. Ця точка характеризується рівністю механічного моменту двигуна і статичного моменту опору робочої машини (лінія 4).

Для динамічного гальмування натискається кнопковий вимикач SB1, у результаті чого схема управління повертається у вихідний стан. Динамічне гальмування починається після натиснення на кнопковий вимикач SB3. У результаті спрацюють контактори КМ5 і КМ6, перший з них своїм контактом КМ5.1 підключить обмотку збудження до мережі незалежно від якоря двигуна, другий контактом КМ6.1 замкне коло якоря двигуна на опір R1. Таким чином, двигун у точці  $g$  переходить на характеристику 5 динамічного гальмування, зменшуючи кутову частоту обертання. При швидкості, близької до нульової, треба натиснути кнопковий вимикач SB1 для повернення схеми управління до вихідного стану.

Для захисту від коротких замикань у силовому колі та схемі управління використовуються плавкі запобіжники.

**Завдання.** Змінити електричні схеми і накреслити механічні характеристики пуску та гальмування при трьох ступенях пускових опорів, залишивши при динамічному гальмуванні ті самі опори в колі якоря і обмотки збудження.





### **2.3.25. Варіант 25**

#### **Пуск і динамічне гальмування з самозбудженням двигуна постійного струму послідовного збудження**

Пуск двигуна постійного струму послідовного збудження відбувається при кількох ступенях пускових опорів, ввімкнутих у коло якоря і обмотки збудження двигуна, шунтування яких відбувається по чергово під час збільшення швидкості обертання двигуна. Динамічне гальмування з самозбудженням являє собою відключення якоря і обмотки збудження від мережі живлення та замкнення їх через гальмовий опір зі зміною полярності якоря або обмотки збудження.

Для підготовки силового кола до пуску замикається рубильник S1. Управління двигуном відбувається за допомогою контролера SA, при вихідному стані перемикача в положенні «0» замикається рубильник S2.

Пуск двигуна починається при переміщенні перемикача контролера SA в положення «1», що призводить до замкнення кола живлення котушок контакторів KM1 і KM2. Контактори спрацьовують і своїми силовими контактами KM1.1 і KM2.1 підключають якорь двигуна з послідовним з'єднанням обмотки збудження до мережі живлення. Одночасно допоміжними контактами KM1.2 і KM2.2 розриваються кола котушок контакторів KM5 і KM6, що робить неможливим одночасне вмикання останніх з контакторами KM1 і KM2. З моменту підключення двигуна до мережі живлення він починає розгін з точки *a* згідно з штучною характеристикою 1, крутизна якої обумовлена ввімкнутими послідовно опорами R1 і R2.

Через визначений проміжок часу, що відповідає точці *b* на характеристиці 1, перемикач контролера переміщується в положення «2». У цьому положенні додатково замикається коло живлення котушки контактора KM3, контактор спрацює і своїм силовим контактом KM3.1 зашунтує ступінь пускового опору R1. Двигун у точці *c* переходить на штучну характеристику 2 і продовжує по ній розгін.

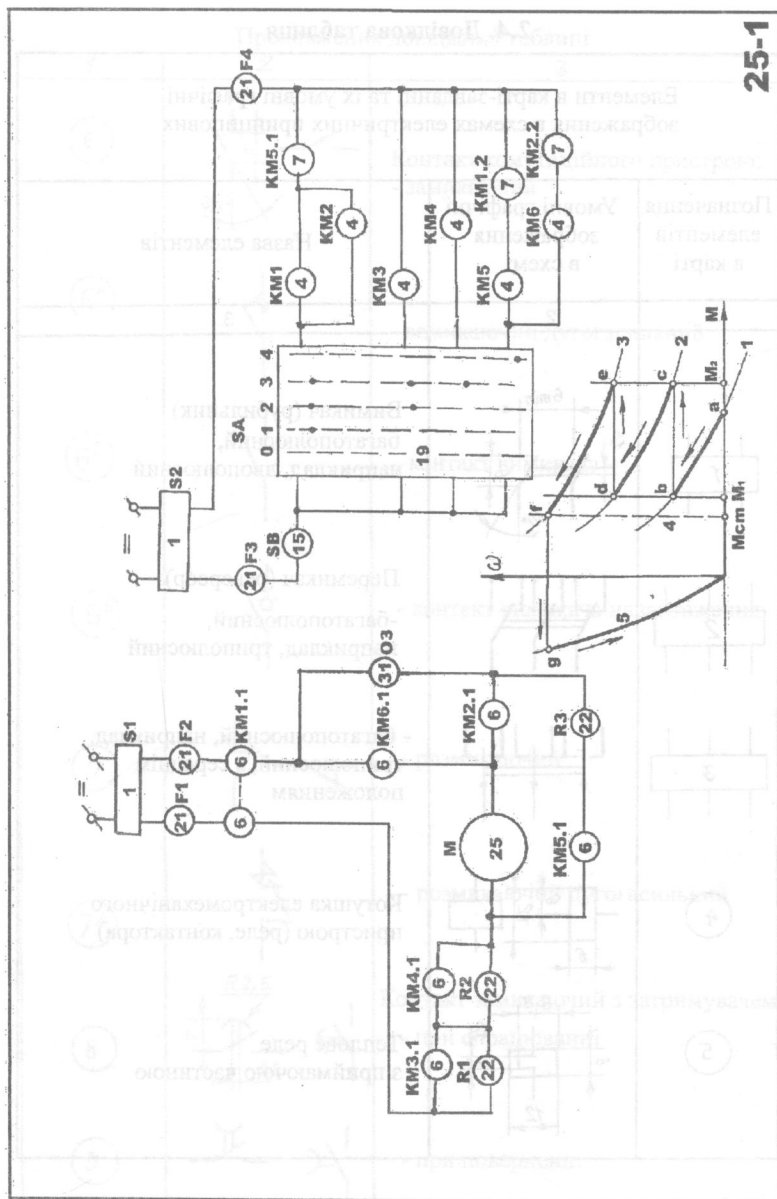
З наступним переміщенням перемикача контролера в положення «3» (точка *d* характеристики 2) відбувається аналогічне шунтування опору R2 контактором KM4, і двигун у точці *e* виходить на природну характеристику 3. Розгін двигуна продов-

жується згідно з характеристикою 3 до точки  $f$  стійкої роботи, тобто до точки рівності механічного моменту двигуна і статичного моменту робочої машини (лінія 4).

Для швидкої зупинки двигуна в режимі динамічного гальмування перемикач контролера переводиться в положення «4». У цьому положенні розмикаються кола живлення контакторів КМ1, КМ2, КМ3 і КМ4, а силові контакти контакторів КМ1.1 і КМ2.1 відключають коло живлення і розмикають послідовне з'єднання якоря двигуна з обмоткою збудження. Одночасно з цим замикаються нормально замкнені контакти КМ1.2 і КМ2.2 відповідно в колах котушок контакторів КМ5 і КМ6. У положенні «4» має місце також підключення кіл котушок контакторів КМ5 і КМ6 до мережі живлення. Контактори спрацюють і своїми силовими контактами КМ5.1, КМ6.1 замкнуть обмотку збудження і якір двигуна на опір динамічного гальмування  $R_3$ , змінюючи при цьому напрям струму в обмотці збудження. Одночасно додатково контактом КМ5.2 розривається коло живлення контакторів КМ1 і КМ2. Під дією гальмівного моменту двигун з точки  $g$  згідно з характеристикою динамічного гальмування 5 швидко зменшує частоту обертання. При незначній швидкості двигуна натискається кнопковий вимикач SB і не відпускається, доки перемикач контролера не буде повернутий в положення «0». Після цього двигун зупиняється, силова схема і схема управління повертаються у вихідний стан.

Якщо в режимі пуску або при сталій роботі треба зупинити двигун вільним вибігом, то натискається кнопковий вимикач SB з поверненням контролера в положення «0».

**Завдання.** Змінити електричні схеми та накреслити механічні характеристики пуску і динамічного гальмування, використавши для пуску чотири ступені опору.



25-1

### 2.4. Довідкова таблиця

Елементи в карті-завданні та їх умовні графічні зображення в схемах електричних принципів

Позначення елементів в карті	Умовні графічні зображення в схемі	Назва елементів
1	2	3
		<p>Вимикач (рубильник) багатополюсний, наприклад, двополюсний</p>
		<p>Перемикач (реверсор): - багатополюсний, наприклад, триполюсний</p>
		<p>- багатополюсний, наприклад, триполюсний, з середнім положенням</p>
		<p>Котушка електромеханічного пристрою (реле, контактора)</p>
		<p>Теплове реле з приймаючою частиною</p>

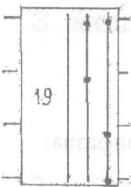
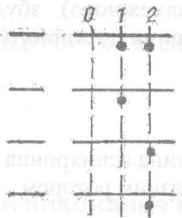

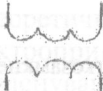

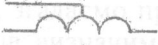



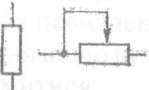



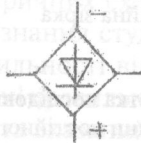


Продовження довідкової таблиці

1	2	3
6		Контакт комутаційного пристрою: - замикаючий
6 <sup>A</sup>		- замикаючий дугогасильний
6 <sup>B</sup>		- контакт вимикача
6 <sup>B</sup>		- контакт вимикача навантаження
7		- розмикаючий
7 <sup>A</sup>		- розмикаючий дугогасильний
8		Контакт замикаючий з затримувачем: - при спрацюванні
9		- при поверненні

Продовження довідкової таблиці


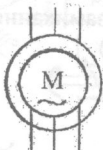

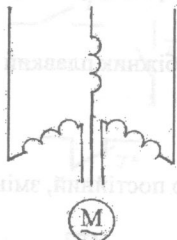
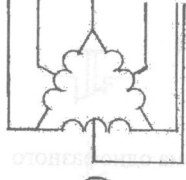


1	2	3
<p>10</p>		<p>Контакт розмикаючий з затримувачем: - при спрацюванні</p>
<p>11</p>		<p>- при поверненні.</p>
<p>12</p>		<p>Контакт, чутливий до температури (термоконттакт): - замикаючий</p>
<p>13</p>		<p>- розмикаючий</p>
<p>14</p>		<p>Вмикач кнопковий натискний: - з замикаючим контактом</p>
<p>15</p>		<p>- з розмикаючим контактом</p>
<p>16</p>		<p>Контакт з механічним зв'язком: - замикаючий</p>
<p>17</p>		<p>- розмикаючий</p>
<p>18</p>		<p>Вмикач шляховий (відцентровий): - однополюсний, замикаючий</p>

Продовження довідкової таблиці

1	2	3
		<p>Перемикач з складною комутацією, наприклад, трьохпозиційний на чотири ланцюга (точка вказує позицію замикання відповідного контакту)</p>
		<p>Трансформатор однофазний</p>
		<p>Автотрансформатор однофазний</p>
		<p>Запобіжник плавкий</p>
		<p>Опір постійний, змінний</p>
		<p>Діод</p>
		<p>Схема однофазного мостового випрямлювача</p>
		<p>Машини електричні: - якір машини постійного струму</p>



Продовження довідкової таблиці

1	2	3
26		- обмотка паралельного (незалежного) збудження машини постійного струму
27		Машина асинхронна трифазна: - з фазним ротором
28		- з короткозамкненим ротором
29		Машина асинхронна трифазна з короткозамкненим ротором з виводами початків і кінців обмоток фаз статора
30		Машина асинхронна з короткозамкненим ротором зі схемою з'єднання обмотки статора подвійна зірка
31		Обмотка послідовного збудження машини постійного струму, обмотка статора (кожної фази) машини змінного струму
32		Реактор

## **3. Послідовність виконання курсової роботи**

### **3.1. Етапи виконання курсової роботи**

Першим етапом виконання курсової роботи повинно бути ознайомлення з теоретичною частиною, тобто розділом першим – системами електропривода та управління ними. При цьому звернемо увагу на існування видів характеристик двигуна й робочої машини, згадаємо принципи дії двигунів постійного і змінного струмів, визначимо призначення елементів електричних схем.

На другому етапі слід ознайомитися з правилами креслення елементів електричних схем згідно з довідковою таблицею, яка наведена в п.2.4. Зображення елементів зроблено відповідно до стандартів на позначення умовні графічні в схемах, тому треба мати уявлення щодо цих стандартів, іншими словами, треба з ними ознайомитися.

На наступному етапі треба повернутися до варіанта карти-завдання і розшифрувати його, для чого використати знання, отримані на попередньому етапі. Розшифрований варіант – це перший контрольний момент по вивченню елементної бази зображення електричних схем; він контролюється викладачем, який перевіряє знання студентом відповідних стандартів. Для контролю правильності відтворення розшифрованої схеми в додатку 2 наведені правильні відповіді виконання схем, при цьому номер варіанта вказаний у правому нижньому куті, наприклад, 15-2, тобто 15 – номер варіанта, 2 – розшифрована схема завдання.

Згідно з елементами електричних схем розшифрованого варіанта слід повернутися до першого розділу і зосередити свою увагу на конкретному двигуні, його характеристиці, призначенні і функціонуванні елементів електричних схем завдання.

Завершенням попереднього буде з'ясування призначення і принципу дії окремих елементів і функціонування загалом силової схеми та схеми управління, що має підтверджуватися знаннями процесу згідно з механічними характеристиками.

Процес уявлення принципу дії схем є другим контрольним моментом з боку викладача, де перевіряються набуті навички читання електричних схем, призначення окремих елементів.

Наступний етап – це творчий процес – корегування електричної схеми завдання. У більшості варіантів він пов'язаний зі зміною кількості ступенів пускових реостатів, корегування відбувається деволі легко при чіткому уявленні схеми основного варіанта за рахунок додавання або скорочування аналогічних кіл. У цьому випадку на механічній характеристиці відповідно змінюється кількість штучних характеристик двигуна. Більш складною є заміна елементів схеми, що потребує більш глибокого осмислення. Як помічники на цьому етапі виступають керівники курсового проектування.

Для контролю в додатку 3 наведені скореговані варіанти відповідей з позначеннями варіантів, наприклад, 15-3.

## **3.2. Вимоги до змісту текстово-теоретичної частини**

### **3.2.1. Текстова частина**

Під час написання вступу необхідно ознайомитися з підручниками за фахом, проаналізувати наведений у них вступ і сформулювати відповідь на такі питання:

- роль електропостачання та електричних двигунів у виробничих процесах;
- прогнози застосування нових видів енергії та їх вплив на розвиток людства.

Мета та задачі курсової роботи однакові для всіх варіантів, пишуть їх на наступному аркуші наведеного змісту.

**Мета** – креслення схем електричних на основі ознайомлення з правилами їх виконання.

#### **Задачі:**

- ознайомлення із загальними вимогами до виконання текстових документів;

- ознайомлення з видами і типами схем та правилами їх виконання;
- ознайомлення з правилами виконання принципів схем;
- ознайомлення з умовними графічними позначеннями елементів електричних схем;
- ознайомлення з літерно-цифровим позначенням елементів та системою позначення ланцюгів;
- практичне виконання креслень окремих умовних графічних позначень електричних схем;
- ознайомлення з окремим прикладом роботи схеми;
- виконання схеми принципової електричної згідно з картою-завданням;
- конструювання схеми електричної принципової згідно із завданням.

Далі записується повна назва завдання відповідно до варіанта.

### **3.2.2 Теоретична частина**

При самостійному вивченні ГОСТів та складанні за ними конспекту, слід дати відповіді на наведений перелік пунктів: Загальні вимоги до виконання текстових документів (ГОСТ 2.105-82):

- види текстових документів, їх оформлення;
- формати текстових документів, їх оформлення;
- заголовки, тексти, відстані, межі тощо.

Види і типи схем (ГОСТ 2.701-84):

- позначення схем;
- призначення різновиду схем.

Загальні вимоги до виконання схем (ГОСТ 2.701-84):

- формати та масштаби для виконання схем, лінії, їх зображення;
- зображення елементів;
- графічні позначення (стандартні та нестандартні), розміри та інше;
- зображення однакових елементів (устроїв), їх з'єднань, позначення;
- лінії зв'язку елементів, їх розташування, товщина, перехід з одного листа на інший;

- позначення елементів;
- перелік елементів, форма, заповнення;
- текстова інформація.

Правила виконання електричних принципівих схем (ГОСТ 2.702-75):

- зміст електричної принципівової схеми;
- зображення елементів схеми;
- способи зображення;
- зображення схем, позначення ліній зв'язку схеми;
- позначення елементів;
- зображення механічних зв'язків;
- суміщення з принципівовою схемою інших типів схем;
- текстові написи на схемі, додатки до неї.

Літерно-цифрове позначення елементів (ГОСТ 2.710-81):

- типи умовного позначення;
- позначення елементів та їх структура;
- адресне позначення;
- поширені позначення (коди) елементів;
- позначення реле, контакторів, пускачів.

Системи позначень ланцюгів (ГОСТ 2.709-89):

- призначення позначення ланцюгів, види;
- застосування різного та однакового позначення частин ланцюгів;
- позначення ланцюгів змінного та постійного струму;
- змішане позначення.



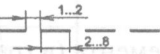
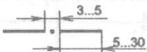
Література, що використовувалася під час виконання курсової роботи.

## 3.3. Послідовність виконання графічної частини


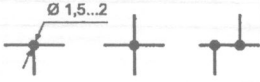

## 3.3.1 Загальні вимоги

При виконанні зображення схем потрібно дотримуватись нижченаведених рекомендацій

— застосовуються лінії:

Назва	Зображення	Товщина (мм)	Призначення
Суцільна товста основна		$S = 0,5 \dots 1,4$ (пропонується $\sim 1$ мм)	Лінії електричного зв'язку в силових схемах, рамки, таблиці
Суцільна тонка		$\sim S/2$ (пропонується $\sim 0,3 \dots 0,4$ мм)	Лінії електричного зв'язку в схемах управління, зображення коротких механічних зв'язків між елементами та їх складових частин
Штрихова		— " —	Довгі механічні зв'язки між елементами
Штрих-пунктирна тонка		— " —	Об'єднання елементів в групи, блоки

— зображення ліній електричного зв'язку:

Назва	Зображення
Лінії електричного зв'язку перетинаючі, електрично не з'єднані	
Електричний зв'язок між лініями зв'язку	
Клема електричного зв'язку	

### **3.3.2 Графічна робота №1**

В графічній роботі №1 наводяться графічні позначення в схемі-завданні. Для цього на 2-х – 3-х аркушах паперу (ватману) формату А4 (297х210) виконується таблиця за формою, наведеною на рис. 13 та рис. 14.

За змістом графічна робота № 1 – це таблиця, в якій наводиться за варіантом студента:

- у графі 1 – зображення елементів у карті-завданні;
- у графі 2 – умовні графічні зображення елементів згідно з ГОСТ 2.271-74, ГОСТ 2.758-81;
- у графі 3 – позначення елементів літерно-цифрове (береться з карти-завдання);
- у графі 4 – назва елемента та номер стандарту на його зображення (ГОСТ 2.721-74 ... ГОСТ 2.758-81).

До таблиці вносять всі електричні елементи, задіяні в схемі-завданні, та їх складові частини, на які є умовне зображення.

Якщо в таблиці графічної роботи № 1 наведені елементи карти-завдання варіанта не розмістилися на першому аркуші, то продовження таблиці виконується на наступних аркушах, виконаних за формою рис. 14.

Умовне зображення кожного елемента (в графі 2) та назва його (в графі 4) визначається відповідно по другій та третій графі довідкової таблиці, наведеній у п.2.4.







### 3.3.3. *Графічна робота №2*

У графічній роботі № 2 відтворюється схема-завдання «Пуск двигуна ... (назва згідно з варіантом). Схема електрична принципова» згідно з описом і з'ясовується принцип її дії.

Графічна робота виконується в такій послідовності.

Виконується чернетка схеми електричної принципової за варіантом і погоджується її зміст з викладачем. Для цього на виданій карті-завданні замість наведеного зображення елементів у вигляді прямокутників і кружечків з вписаними цифровими позначеннями креслять умовні графічні зображення цих елементів за ГОСТом (див. графу 2 графічної роботи № 1).

На аркуші паперу (ватману) формату А4х3 (297х639), оформленому рамкою і головним написом за формою 1 (185х55), виконується креслення схеми-завдання згідно з вимогами правил виконання схем.

При цьому компонується зміст схеми: силова схема, схема управління, механічна характеристика пуску, перелік елементів та головний напис.

Під час виконання слід дотримуватися: схема управління — тонкою лінією, товщина приблизно 0,5 мм; силова схема — суцільною товстою, товщиною приблизно 1мм; частини механічних характеристик, по яким відбувається робота двигуна — суцільною товстою, інші — тонкою лінією, механічна характеристика робочої машини — тонкою пунктирною лінією.

Над кожним графічним елементом або справа від його зображення записується позначення власне елемента чи його складових частин. Слід зауважити, що за наявності у схемах однакових елементів їх відрізняють за порядковим числом після позначення літерами, наприклад, F1 і F2, або SB1, SB2, SB3. Якщо елемент має кілька контактів (контактор, реле), то після позначення літерами стоїть цифра, що вказує на порядковий номер контакту цього елемента.

Наприклад, вираз КМ4.1 означає, що йдеться про перший контакт четвертого контактора, де КМ4 — котушка четвертого контактора; запис КТ2.3 — третій контакт реле часу КТ2.

Перелік елементів виконується за формою ГОСТ 2.701-84, в який вписують всі електричні елементи, застосовані в схемі-завданні, враховуючи те, що їх складові входять до їх конструкції.

Наприклад, контактор КМ1 вписуємо в перелік, а його контакти КМ1.1 та інше — не записуємо.

Характеристика роботи двигуна перекреслюється з карти завдання.

Після розшифрування карти згідно з поданим описом у варіанті завдання необхідно чітко з'ясувати принцип роботи схем і окремих елементів, а також послідовність процесу за механічними характеристиками.

Для поглибленого розуміння роботи схеми необхідно розглянути устрій існуючих двигунів та їх роботу, найпростіші схеми їх пуску, захисту, зупинки та інше, що наведені на початку цього посібника.

### **3.3.4. Графічна робота № 3**

Графічна робота № 3 — це скорегована схема схеми-завдання «Пуск двигуна ... Схема електрична принципова».

Вивчивши роботу схем (управління та силової), отриману при виконанні графічної роботи № 2, слід з'ясувати завдання на корегування цієї схеми. Його зміст наведено в кінці опису роботи схеми за варіантом.

Наступним етапом є корегування схем і механічної характеристики згідно з завданням. Хоча корегування має творчий характер, для його виконання достатньо знань послідовної роботи окремих елементів схеми-завдання.

У деяких випадках дається вказівка на використання необхідного елемента або ідеї, що зазначено в іншому варіанті.

На електричних схемах завдання повинні бути позначення всіх елементів схем, а на механічній характеристиці зафіксовані точки зміни режимів, тобто перехід з однієї характеристики на іншу, а також стрілками вказаний напрям зміни параметрів.

Беремо до уваги, що скорегована схема на графічній роботі № 3 буде відрізнятися від схеми графічної роботи № 2 змістом власне схеми, змістом переліку елементів та характеристикою пуску двигуна, а формат і зміст роботи № 3 той самий, що і роботи № 2.

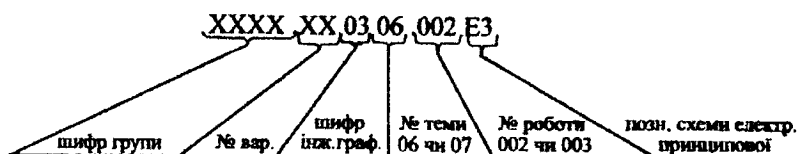
Чорновий варіант корегування, як і розшифрований варіант завдання, погоджується з викладачем, і лише після цього виконується чистовий варіант завдання № 3.

### 3.3.5. Компонівка змісту графічних робіт №2 і №3

На форматі А4 х 3 розташовується:

- зліва – силова схема і механічна характеристика пуску двигуна (механічна характеристика може бути розташована в іншому вільному місці формату), як це показано на рис. 15;
- на середній частині формату – схема управління роботою двигуна, як показано на рис. 16;
- праворуч внизу – головний напис і над ним перелік елементів, як показано на рис. 17.

У головному написі, у графі позначення, записують:



У графі «назва роботи» записують шрифтом №5 скорочене позначення двигуна: ДПС – двигун постійного струму, або АД – асинхронний двигун, а далі записують назву схеми за варіантом, починаючи зі слів «Пуск, реверс...», а під назвою шрифтом №3,5 строчним – назва виду і типу схеми «Схема електрична принципова».

Ліва частина формату А4 х 3 з компоновкою силової схеми і механічної характеристики пуску двигуна

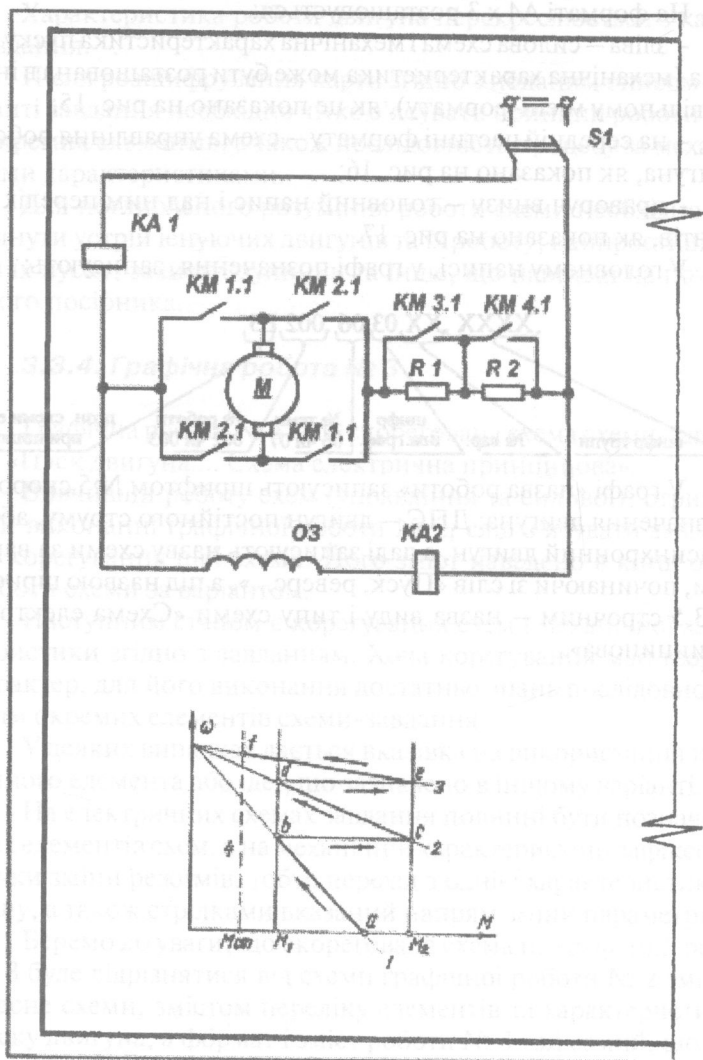


Рис. 15

Середня частина графічної роботи №2 та №3 формату А4 х 3

з компоновкою схеми управління

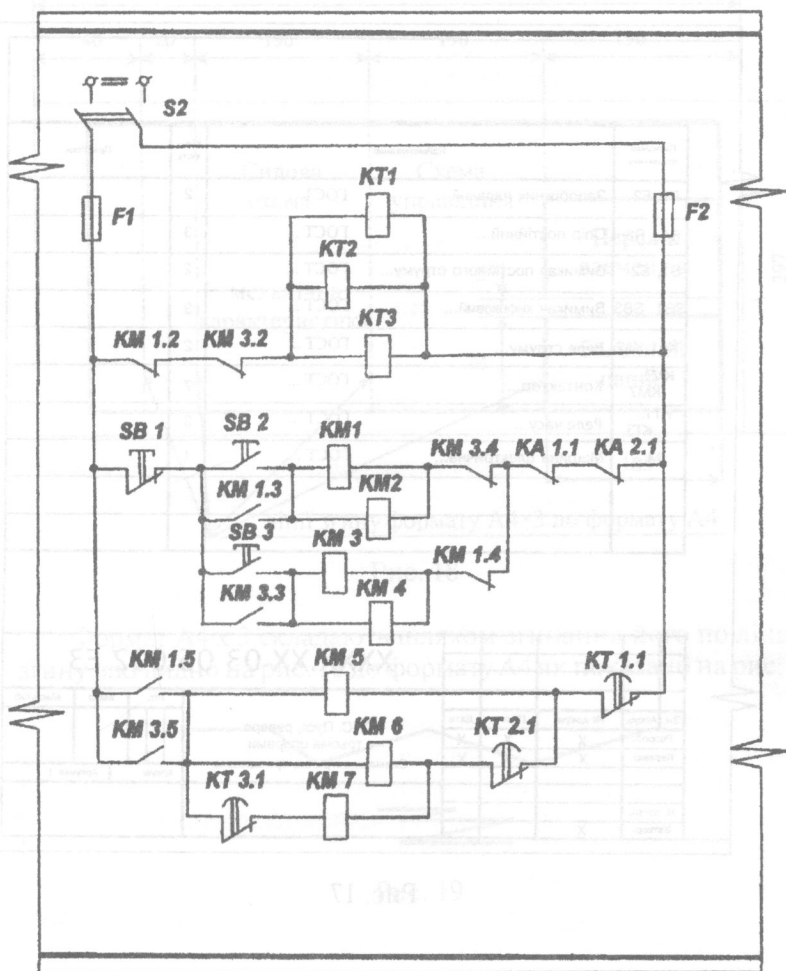


Рис. 16

Права частина графічної роботи №2 і №3 формату А4 х 3,  
на якій розташовують головний напис і перелік елементів

Позиційне позначення	Найменування		Кількість	Примітки
F1, F2	Запобіжник плавкий...	ГОСТ ...	2	
R1... R3	Опір постійний...	ГОСТ ...	3	
S1, S2	Вимикач постійного струму...	ГОСТ ...	2	
SB1...SB3	Вимикач кнопковий...	ГОСТ ...	3	
KA1, KA2	Реле струму...	ГОСТ ...	2	
KM1... KM7	Контактор...	ГОСТ ...	7	
KT1... KT3	Реле часу...	ГОСТ ...	3	
M	Машина електрична...	ГОСТ ...	1	

				XXXX.XX 03 06.002 E3			
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	X	X	X				
Перевір.	X	X	X				
Н. контр.							
Затвер.	X						

ДПС. Пуск, реверс  
з трьома опорами  
Схема електрична принципова

Аркуш      Аркушів 1

Рис. 17

Компоновка графічних робіт №2 і №3, розташування їх складових

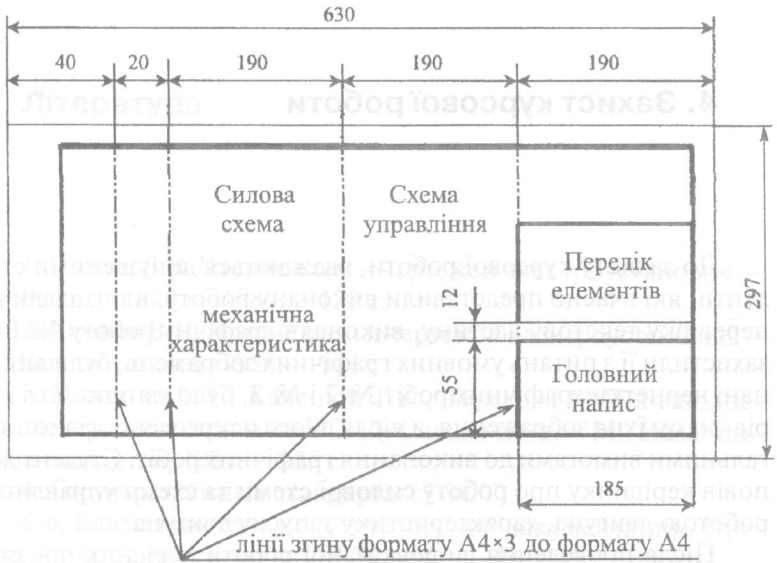


Рис. 18

Формат A4 x 3 складають шляхом згинання його по лініям згину, які видно на рис. 18 до формату A4 як показано на рис. 19

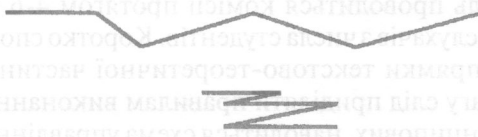


Рис. 19



## 4. Захист курсової роботи

До захисту курсової роботи вважаються допущеними студенти, які вчасно представили виконану роботу, в т.ч. здали на перевірку текстову частину, виконали графічну роботу № 1 та захистили її з питань умовних графічних зображень, були виконані чернетки графічних робіт № 2 і № 3, було узгоджено з керівником їхнє зображення, а після цього накреслено згідно з загальними вимогами до виконання графічних робіт. Студент доповів керівнику про роботу силової схеми та схеми управління роботою двигуна, характеристику запуску двигуна.

Після проведення вищевказаної роботи керівник призначає час захисту курсової роботи, приміщення, склад комісії та інше.

Перед захистом кожний доповідач виставляє на загальний огляд графічну частину роботи та пояснювальну текстово-теоретичну записку.

Доповідь проводиться комісії протягом 4-6 хвилин перед аудиторією слухачів з числа студентів. Коротко сповіщається про основні напрямки текстово-теоретичної частини, при цьому основну увагу слід приділяти правилам виконання схем електричних принципів, наводиться схема управління двигуном за своїм варіантом, стисло дається пояснення роботи схеми.

Після доповіді слухачі задають 3-5 питань по суті доповіді, на які доповідач дає короткі відповіді.

Коли всі питання задані, і на них почуті відповіді, головуєчий надає слово двом-трьом бажаним висловити своє враження про доповідь, про відповіді на запитання і дати свою оцінку роботі.

Надалі комісія, поспілкувавшись між собою, беручи до уваги хід виконання курсової роботи, доповідь, відповіді, думку слухачів, сповіщає оцінку доповідачу за виконану курсову роботу.

## **Література**

1. Гетвин Б.В. Чтение схем и чертежей электроустановок. — М.: Высшая школа, 1980. — 120 с.
2. Камнев В.Н. Чтение схем и чертежей электроустановок. — М.: Высшая школа, 1986. — 144 с.
3. Усатенко С.Т., Каченюк Т.К., Терехова М.В. Выполнение электрических схем по ЕСКД. Справочник. — М.: Издательство стандартов, 1989. — 325 с.
4. Государственные стандарты (ГОСТ).
  - 4-а. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения схем ГОСТ 2.701-84, ... , ГОСТ 2.711-82.
  - 4-б. Обозначения условные графические в схемах ГОСТ 2.721-74, ... , ГОСТ 2.758-81.

## Додатки

### Додаток 1

У цьому додатку наведено структуру курсової роботи, в якій:

- перший аркуш – титульний лист: “Курсова робота з інженерної графіки на тему “Схеми електричні”;
- другий аркуш – завдання на курсову роботу;
- третій аркуш – зміст курсової роботи;
- четвертий аркуш – вступ;
- п’ятий аркуш – мета і задачі;
- на наступних одному-двох аркушах – теоретична частина, загальні вимоги до виконання текстових документів;
  - на наступних трьох аркушах – види і типи схем;
  - на наступних (приблизно десяти) аркушах – загальні вимоги до виконання схем;
  - на наступних (приблизно одинадцяти) аркушах – правила виконання електричних схем;
  - на наступних двох аркушах – літерно-цифрові позначення елементів;
  - на наступному аркуші – “Література”;
  - на наступних трьох аркушах – графічна частина. Карта-завдання та опис роботи схеми-завдання;
  - на наступних двох аркушах (папір-ватман, формату А4) – Позначення умовні графічні в схемі-завданні (це і є графічна робота № 1);
    - на наступному одному аркуші (папір-ватман, формату А4х3) – Пуск двигуна ..... Схеми електрична принципова. (Схеми-завдання, яка і є графічною роботою № 2);
    - на наступному одному аркуші (папір-ватман, формату А4х3) – Пуск двигуна ..... Схеми електрична принципова (Скорегована схеми-завдання, яка і є графічною роботою № 3).

Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”

Кафедра нарисної геометрії, інженерної і комп’ютерної графіки

# КУРСОВА РОБОТА

З ІНЖЕНЕРНОЇ ГРАФІКИ  
НА ТЕМУ: “СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНІ”

Рекомендовано  
до захисту

“...” ..... 200... р.

Захищено

“...” ..... 200... р.

З оцінкою

“.....”

.....  
(підпис)

Виконав

студент ... ІЕЕ  
групи ... ОЕ-12  
Омельянчик І. О.

( П І Б )

.....  
(підпис)

Керівник

доц. Хмеленко О. С.  
( П І Б )

200 ... - 0 ... навч. рік.

Міністерство освіти і науки України

НТУУ "Київський політехнічний інститут"  
(назва учбового закладу)

Кафедра НАРИСНОЇ ГЕОМЕТРІЇ, ІНЖЕНЕРНОЇ ТА КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ  
Дисципліна ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА  
Спеціальність ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ  
Курс I Група ОЕ-12 Семестр I

### ЗАВДАННЯ

на курсову роботу студента

Омельяничка Івана Олександровича  
(прізвище, ім'я, по батькові)

- 1 Тема роботи: "Схеми електричні"
- 2 Строк здачі студентом закінченої роботи 30.04
- 3 Вихідні дані до роботи карта-завдання та опис роботи схеми-завдання  
"Пуск двигуна постійного струму в функції ЧАСУ", варіант № 15
- 4 Зміст текстово-теоретичної частини роботи (перелік питань, які підлягають висвітленню) Вступ, мета і задачі. Загальні вимоги до виконання схем. Правила виконання схем електричних принципових. Літерно-цифрові позначення елементів. Системи позначення ланцюгів.
- 5 Перелік графічного матеріалу:  
Графічна робота №1 "Позначення умовні графічні в схемі-завданні."  
Графічна робота №2 Схема завдання "Пуск двигуна постійного струму з двома пусковими опорами".  
Графічна робота №3 Скоєгована схема "Пуск двигуна постійного струму з трьома пусковими опорами".
- 6 Дата видачі завдання 14 лютого 2002р.

## Календарний план

Назва етапів курсової роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1 Ознайомлення з матеріалом К. Р.	23.02	
2 Вступ. Мета і задачі	23.02	
3 Загальні вимоги до виконання текстових документів	2.03	
4 Види і типи схем	2.03	
5 Загальні вимоги до виконання схем	9.03	
6 Правила виконання схем електричних принципових	16.03	
7 Літерно-цифрові позначення елементів	23.03	
8 Системи позначення ланцюгів	23.03	
9 Графічна робота №1	30.03	
10 Графічна робота №2	6.04	
11 Графічна робота №3	13.04	
12 Оформлення курсової роботи	20.04	
13 Підготовка до захисту	27.04	
14 Захист курсової роботи	30.04... 10.05	

Студент

(підпис)

Керівник

(підпис)

X МРЕЗЕНКО ОЛЕКСІЙ СТЕПАНОВИЧ  
 (прізвище, ім'я, по батькові)

14 " лютого 2002 р.

**Зміст курсової роботи**

стор.

Вступ.....

1. Мета і задачі.....

    1.1. Мета.....

    1.2. Задачі.....

2. Теоретична частина.....

    2.1. Загальні вимоги до виконання текстових документів.....

    2.2. Види і типи схем.....

    2.3. Загальні вимоги до виконання схем.....

    2.4. Правила виконання електричних принципових схем.....

    2.5. Літеро – цифрові позначення елементів.....

    2.6. Системи позначення ланцюгів.....

Література.....

3. Графічна частина.....

    3.1. Карта – завдання та опис роботи схеми – завдання.....

    3.2. Графічна робота №1.....

    3.3. Графічна робота №2.....

    3.4. Графічна робота №3.....

					<b>Курсова робота ЕЗ</b>			
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Схеми електричні</b>	Літ.	Арг.	Аркуші
Розроб		X	X	X				
Перевір.		X	X	X				
Редукт.								
П. Контр.								
Затверд.		X						

На аркуші 4, який оформлюють, як і всі наступні аркуші, рамкою і головним написом по формі 2<sup>а</sup> (185x15), наводять:

### Вступ

*(у вступі викладають відповіді на питання вимог п. 3.2.1)*

На аркуші 5 наводять:

### 1. Мета і задачі

1.1. Мета

1.2. Задачі

*(в цих пунктах викладають тему і задачі, наведені в п. 2.1)*

На наступних 6...36 аркушах наводять розділ:

### 2. Теоретична частина

*(за змістом у теоретичній частині необхідно навести відповіді на питання вимог п. 3.2.2)*

В тому числі на 1...2 аркушах:

#### 2.1. Загальні вимоги до виконання текстових документів

На наступних 3-х аркушах:

#### 2.2. Види і типи схем

На наступних—приблизно, 10 аркушах:

#### 2.3. Загальні вимоги до виконання схем

На наступних—приблизно 11 аркушах:

#### 2.4. Правила виконання електричних принципових схем

На наступних 2-х аркушах:

#### 2.5. Літерно-цифрові позначення елементів

Зм.	Арж.	№ док.	Підпис	Дата	

Курсова робота ЕЗ

Арж



На наступних 4-х аркушах:

## 2.6. Системи позначення ланцюгів

На наступному аркуші  
наводять:

### Література

*(наводиться список літератури, яка використовується  
при виконанні курсової роботи)*

На наступних 3-х аркушах  
наводять:

## 3. Графічна частина

*(графічні роботи виконуються згідно з рекомендаціями п.3.3)*

### 3.1. Карта-завдання та опис роботи схеми-завдання *(наводять креслення карти-завдання та опис роботи схеми- завдання виданого варіанту)*

На наступному аркуші  
наводять напис:

### 3.2. Графічна робота №1 Позначення умовні графічні в схемі-завданні *(виконуються згідно з рекомендаціями п. 3.3.2)*

На наступних 2-х аркушах  
ватману формату А4 наводять  
креслення "Позначення  
умовні..."

На наступному аркуші  
наводять напис:

### 3.3. Графічна робота №2 Схема-завдання Пуск двигуна...)\*

Схема електрична принципова  
*(зміст і компоновка роботи виконується згідно з  
рекомендаціями п. 3.3.3 та п. 3.3.5)*

Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата

Курсова робота ЕЗ

Арк.

На наступному аркуші, яким є аркуш ватману формату А4 х 3 (630х297), наводять креслення схеми-завдання

На наступному аркуші наводять напис:

**3.4. Графічна робота №3**  
**Скорегована схема**  
**Пуск двигуна...)\*\***  
**Схема електрична принципова**  
*(зміст і компоновка роботи виконується згідно з рекомендаціями п. 3.3.4 та п. 3.3.5)*

На наступному аркуші, яким є аркуш ватману формату А4 х 3 (630х297), наводять креслення скорегованої схеми

Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

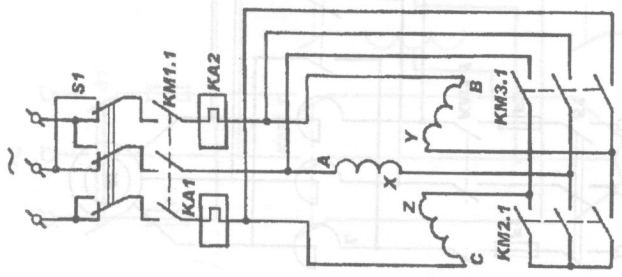
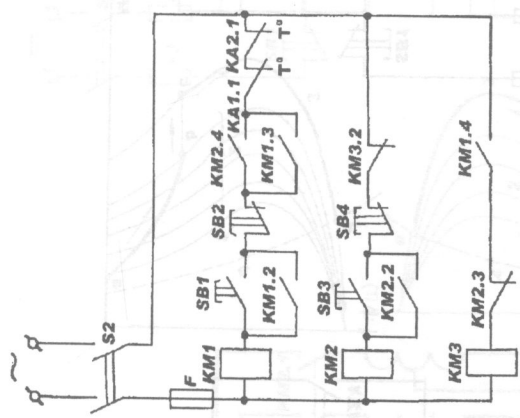
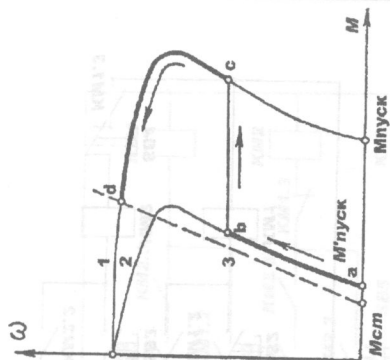
Курсова робота ЕЗ

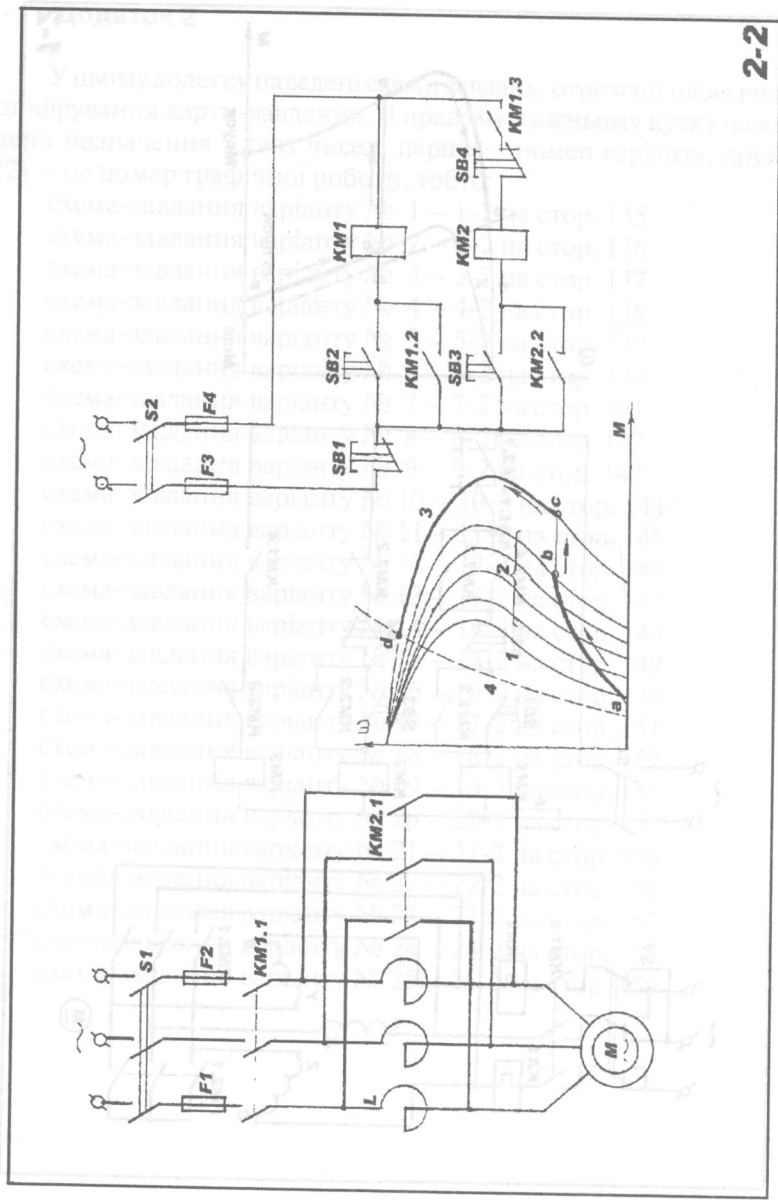
Арк.

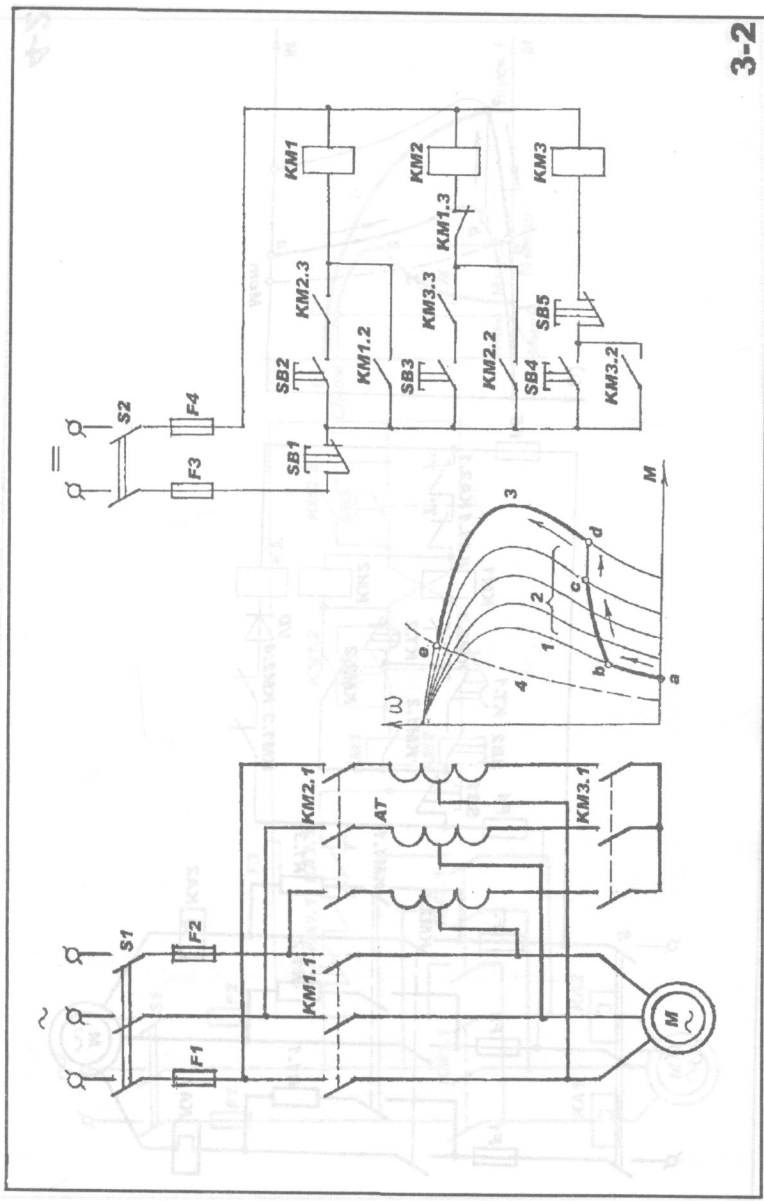
## Додаток 2

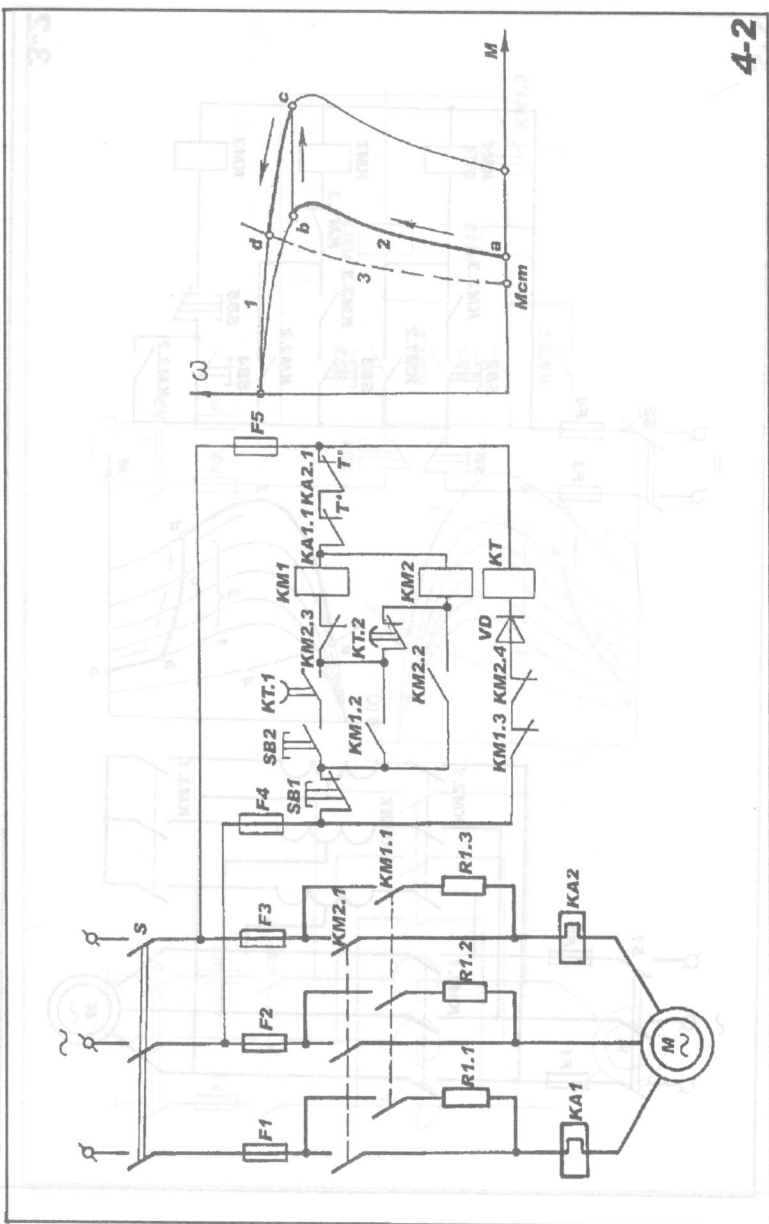
У цьому додатку наведені схеми завдань, отримані після розшифрування карти-завдання. В правому нижньому кутку наведено позначення з двох чисел, перше — номер варіанту, друге (2) — це номер графічної роботи, тобто:

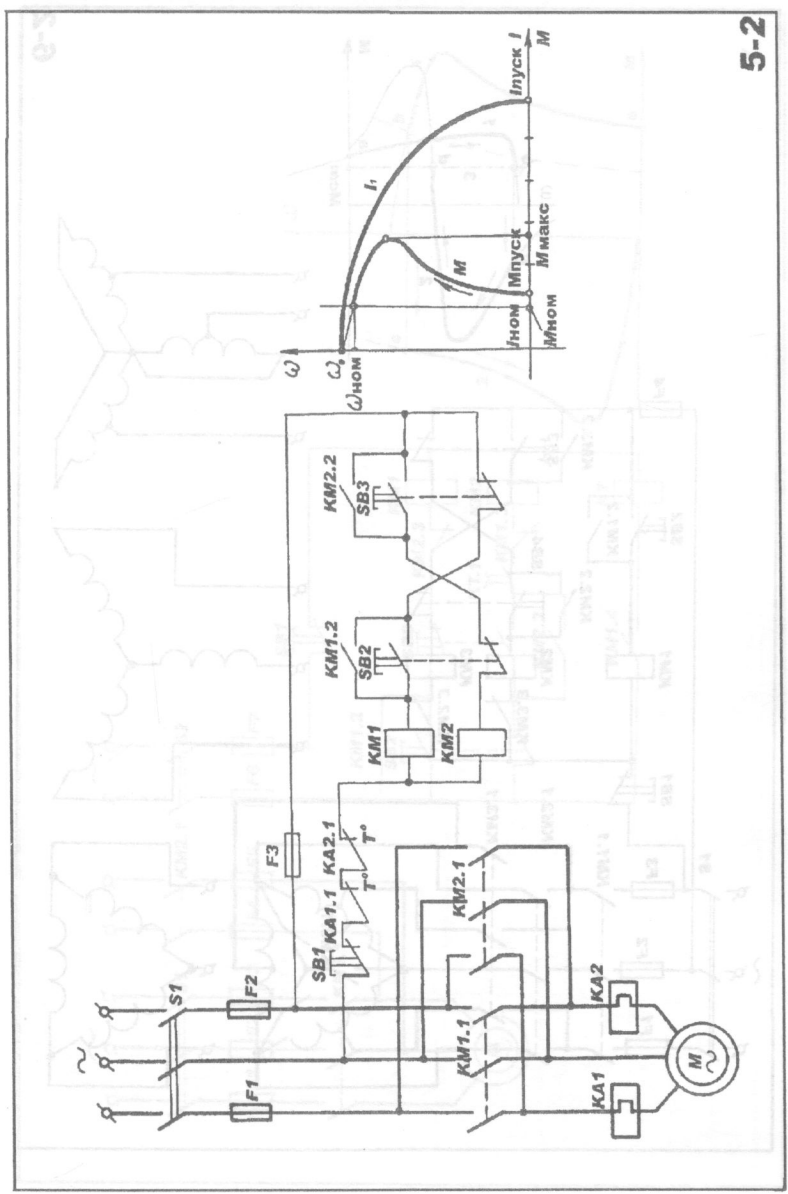
- схема-завдання варіанту № 1 — 1-2 на стор. 135
- схема-завдання варіанту № 2 — 2-2 на стор. 136
- схема-завдання варіанту № 3 — 3-2 на стор. 137
- схема-завдання варіанту № 4 — 4-2 на стор. 138
- схема-завдання варіанту № 5 — 5-2 на стор. 139
- схема-завдання варіанту № 6 — 6-2 на стор. 140
- схема-завдання варіанту № 7 — 7-2 на стор. 141
- схема-завдання варіанту № 8 — 8-2 на стор. 142
- схема-завдання варіанту № 9 — 9-2 на стор. 143
- схема-завдання варіанту № 10 — 10-2 на стор. 144
- схема-завдання варіанту № 11 — 11-2 на стор. 145
- схема-завдання варіанту № 12 — 12-2 на стор. 146
- схема-завдання варіанту № 13 — 13-2 на стор. 147
- схема-завдання варіанту № 14 — 14-2 на стор. 148
- схема-завдання варіанту № 15 — 15-2 на стор. 149
- схема-завдання варіанту № 16 — 16-2 на стор. 150
- схема-завдання варіанту № 17 — 17-2 на стор. 151
- схема-завдання варіанту № 18 — 18-2 на стор. 152
- схема-завдання варіанту № 19 — 19-2 на стор. 153
- схема-завдання варіанту № 20 — 20-2 на стор. 154
- схема-завдання варіанту № 21 — 21-2 на стор. 155
- схема-завдання варіанту № 22 — 22-2 на стор. 156
- схема-завдання варіанту № 23 — 23-2 на стор. 157
- схема-завдання варіанту № 24 — 24-2 на стор. 158
- схема-завдання варіанту № 25 — 25-2 на стор. 159



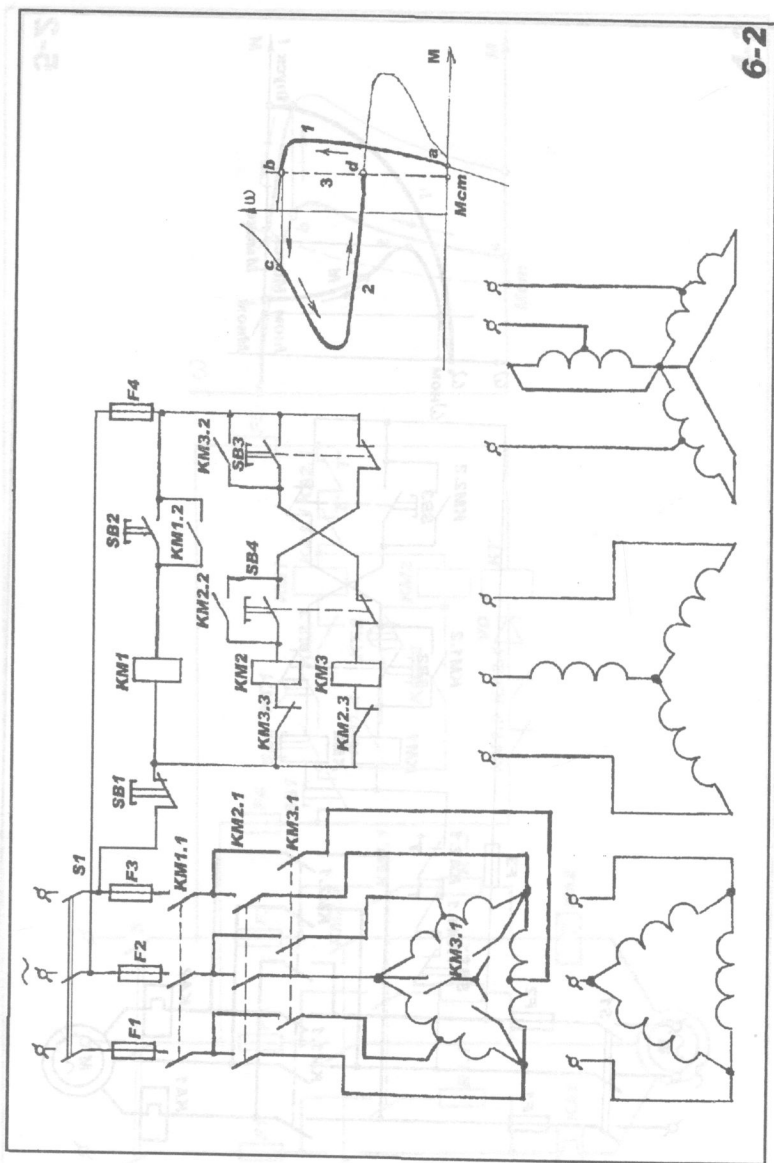




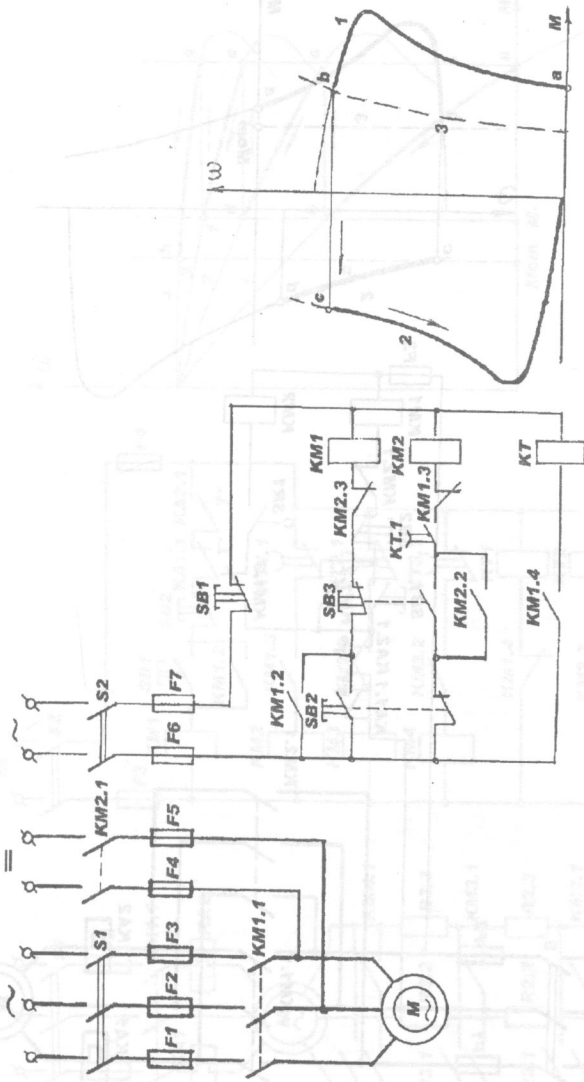






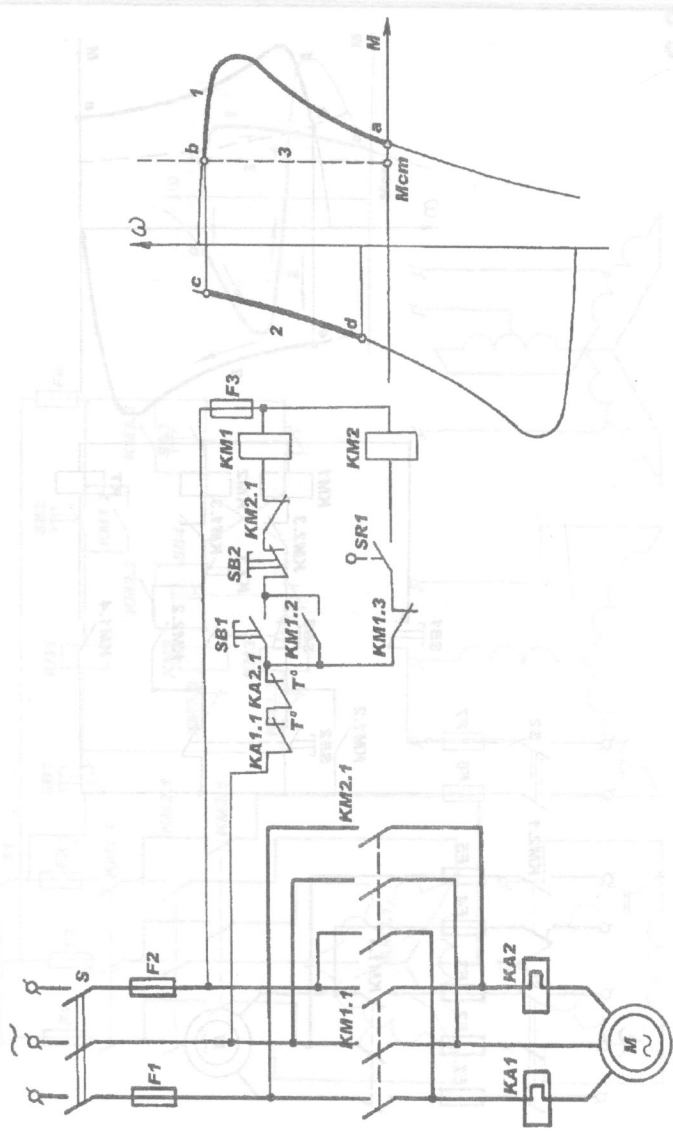


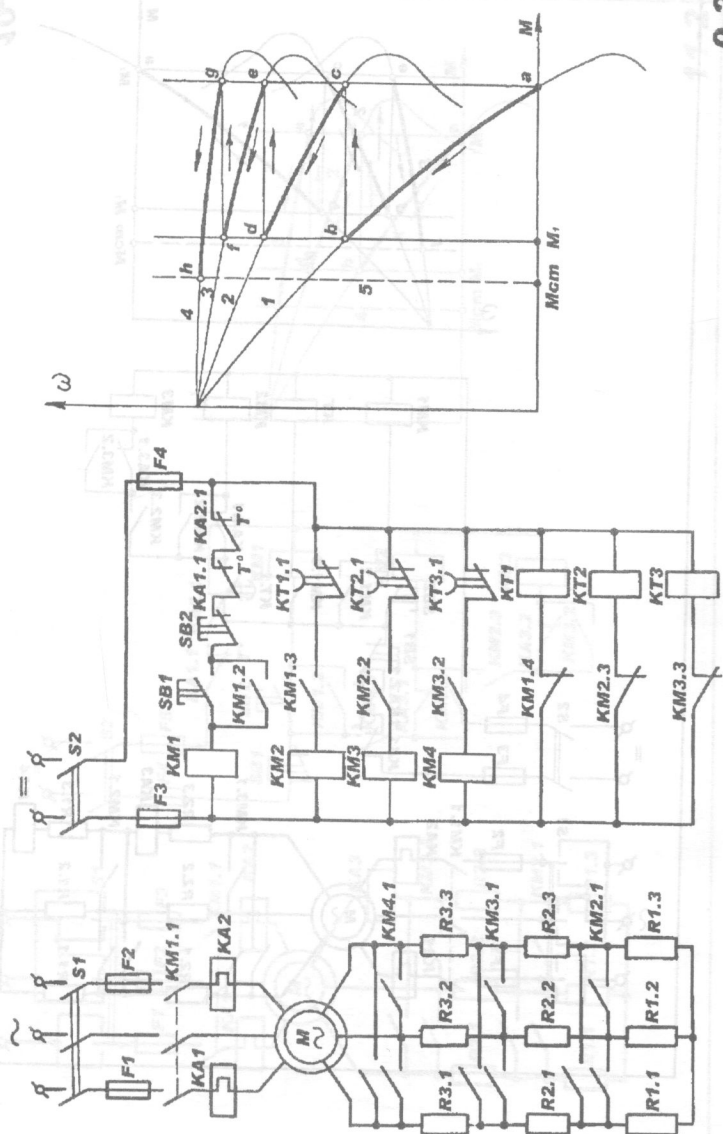
6-2

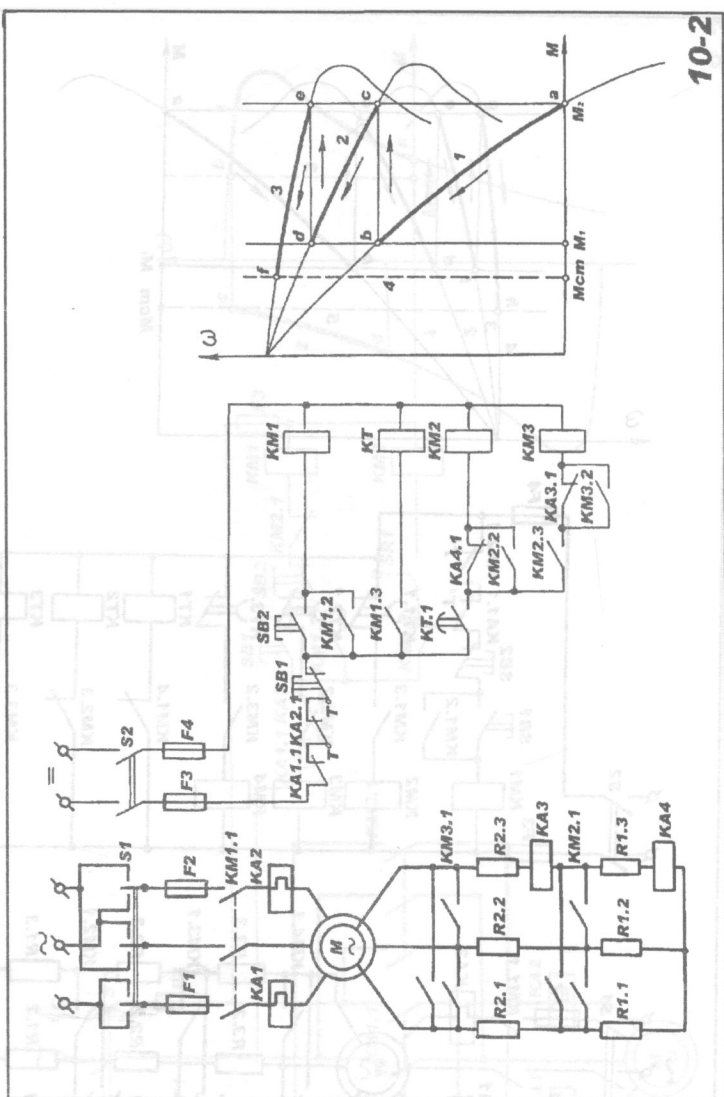


1-3

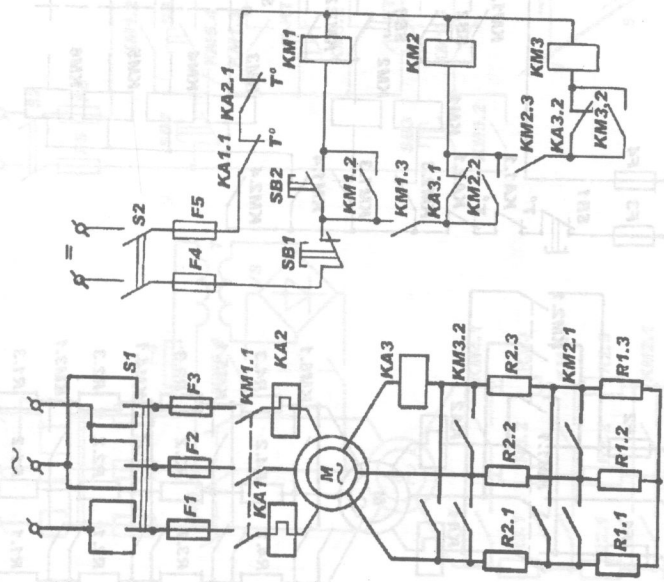
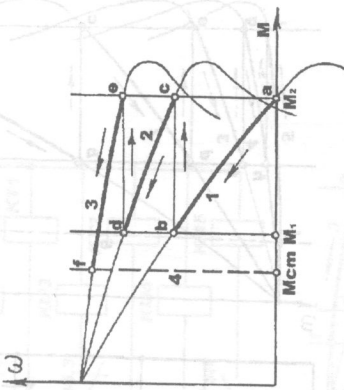
8-2

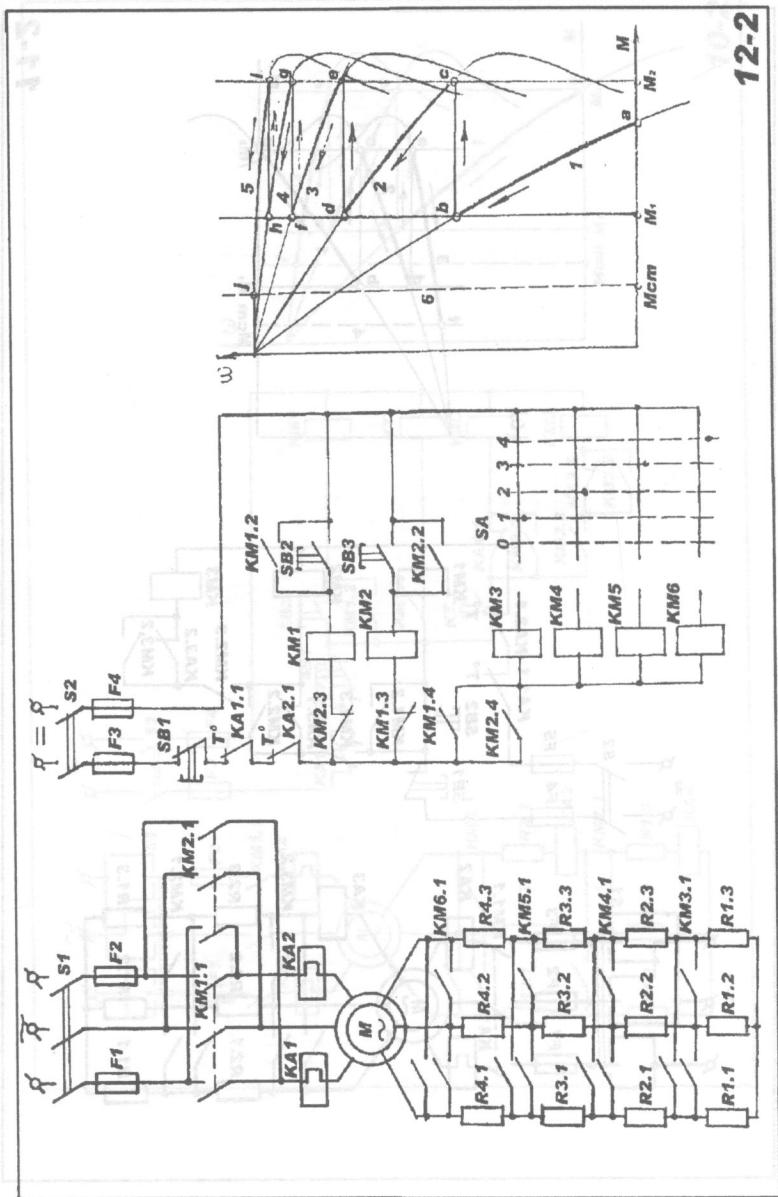






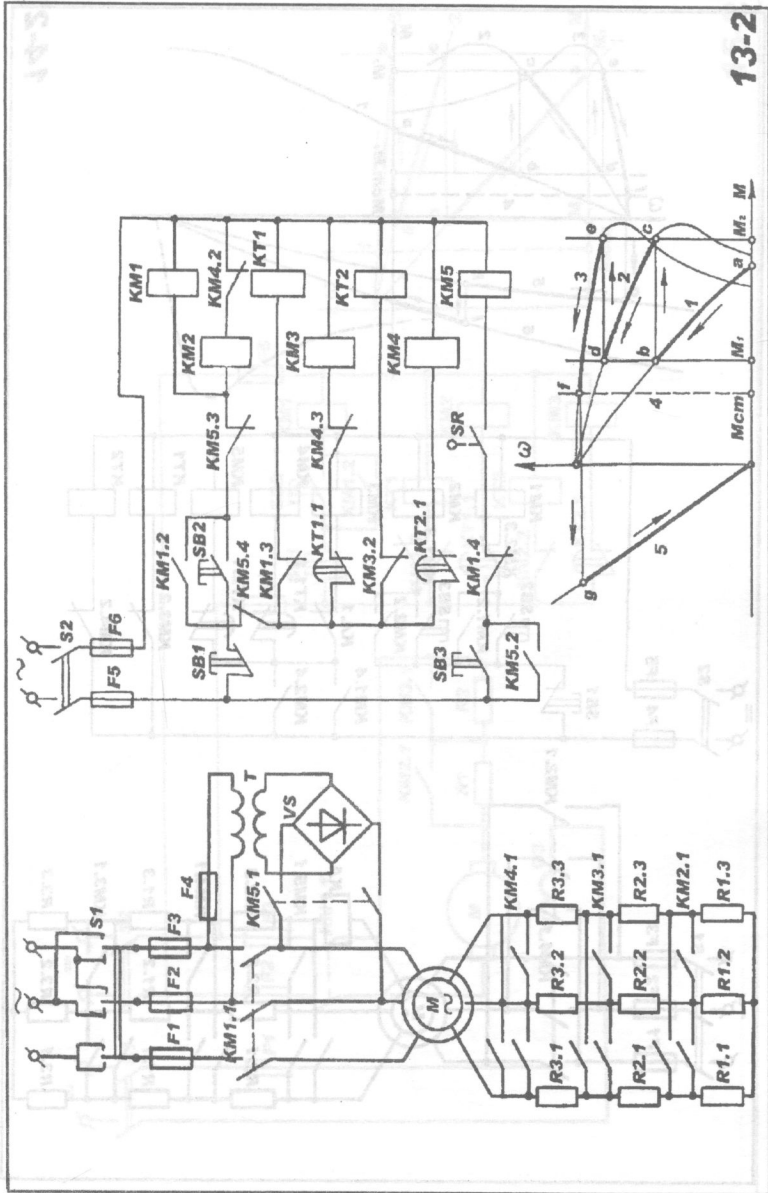
11-2



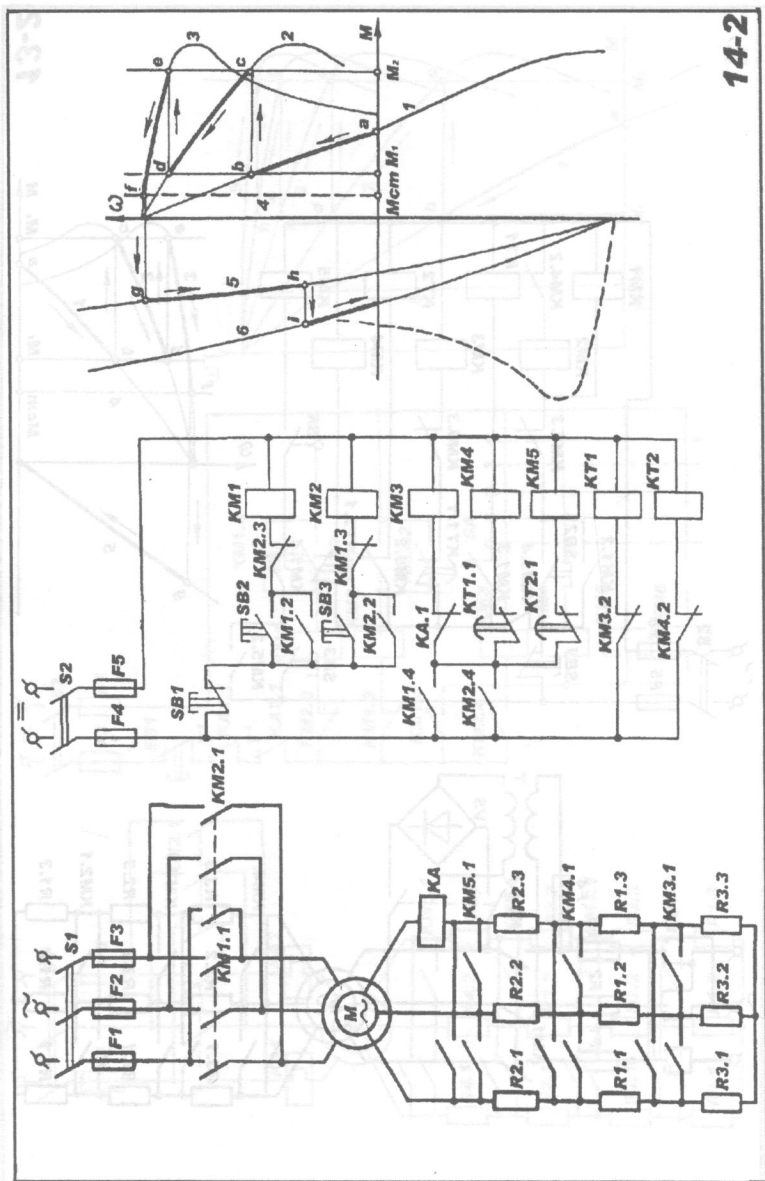


12-2

13-2

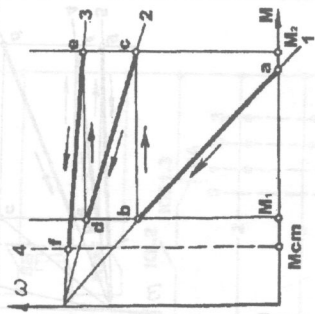
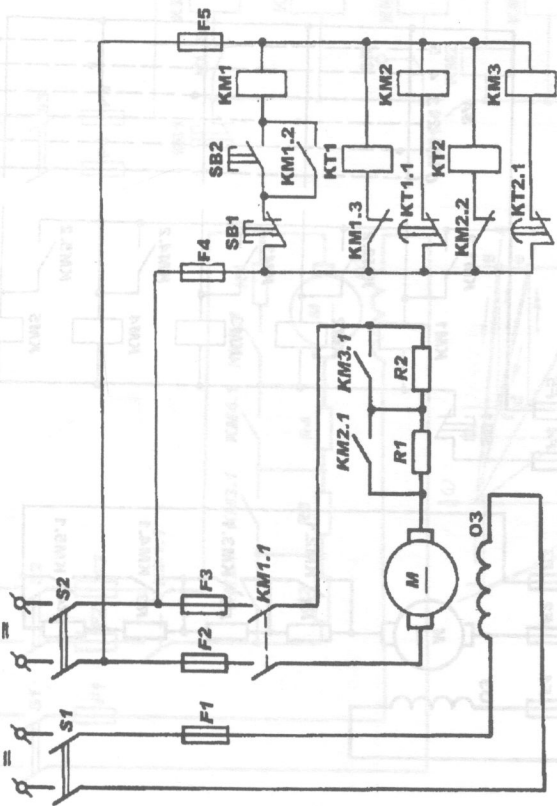


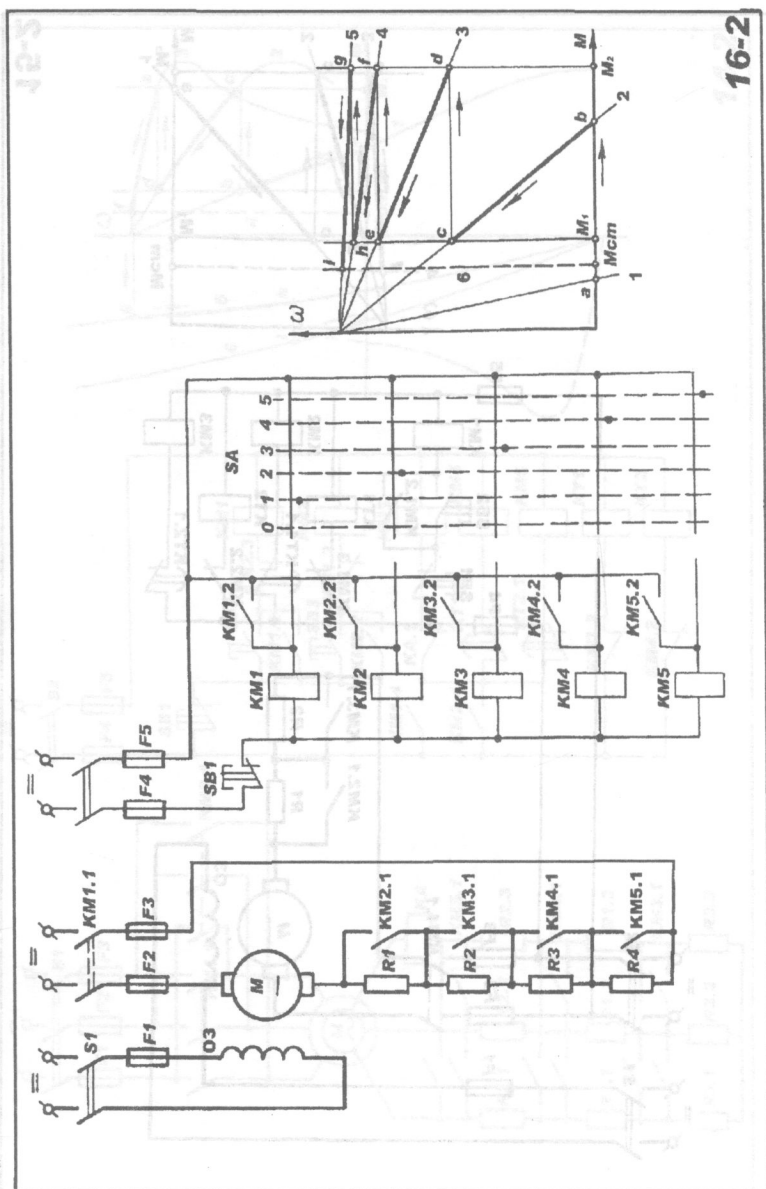




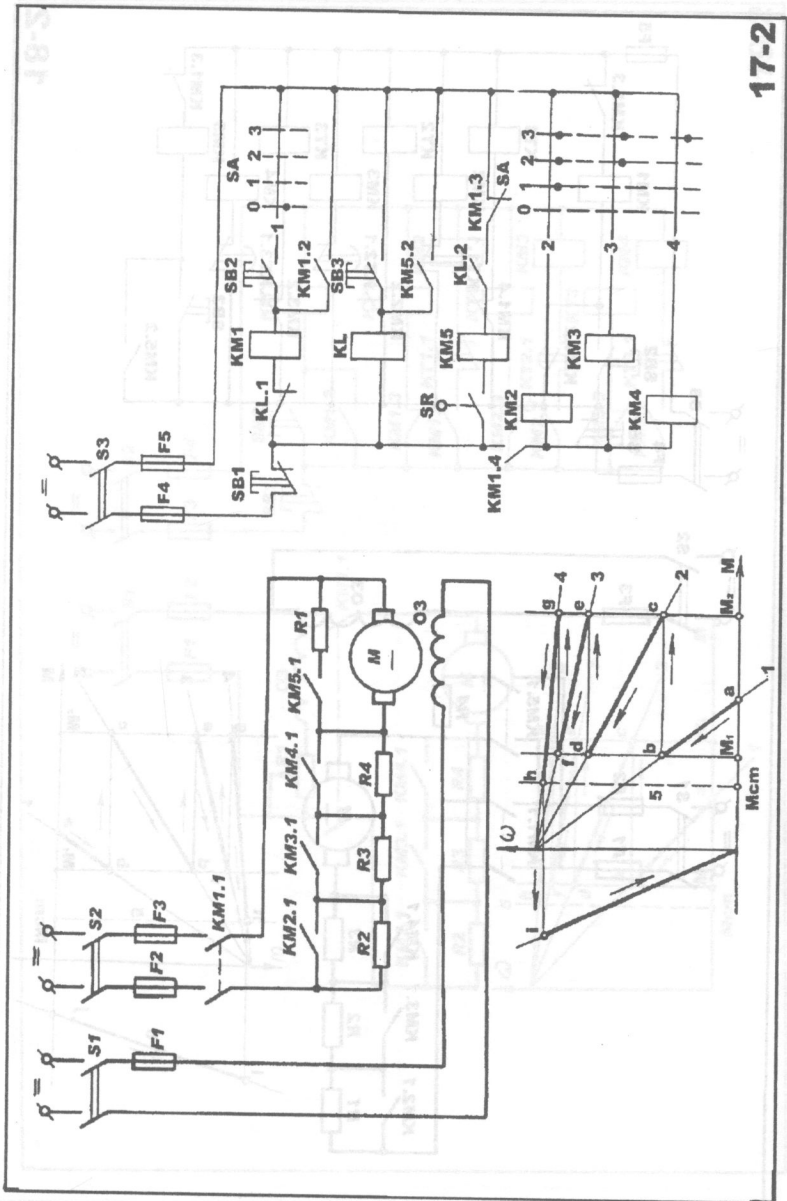
14-2

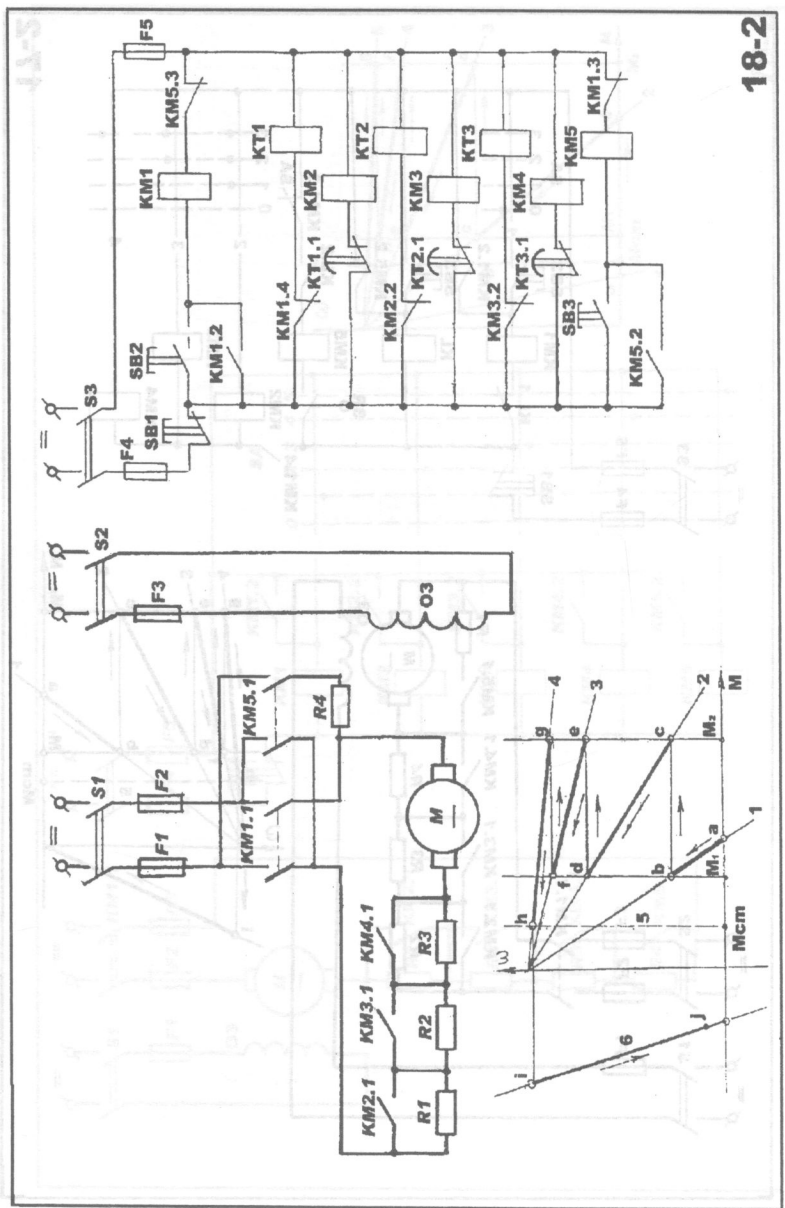
15-2



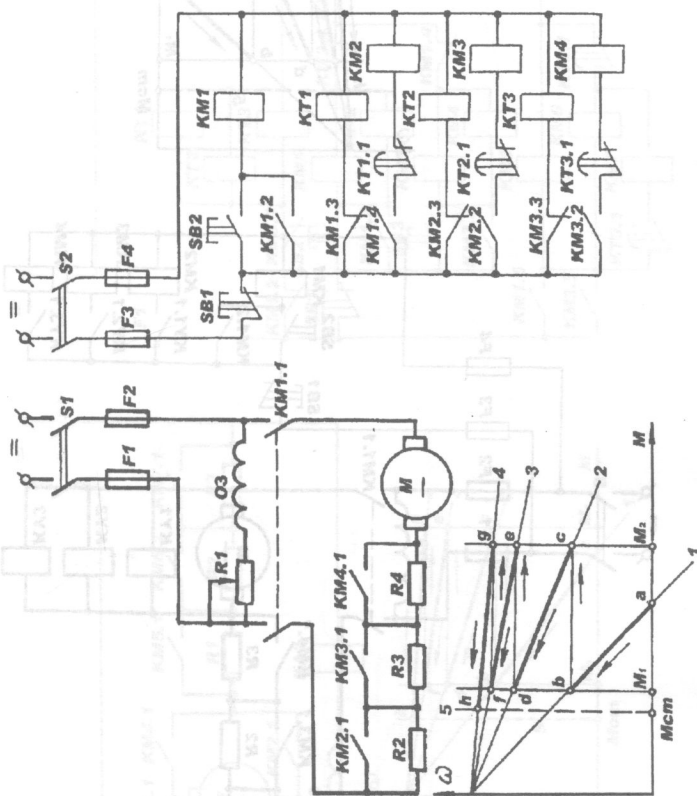


16-2

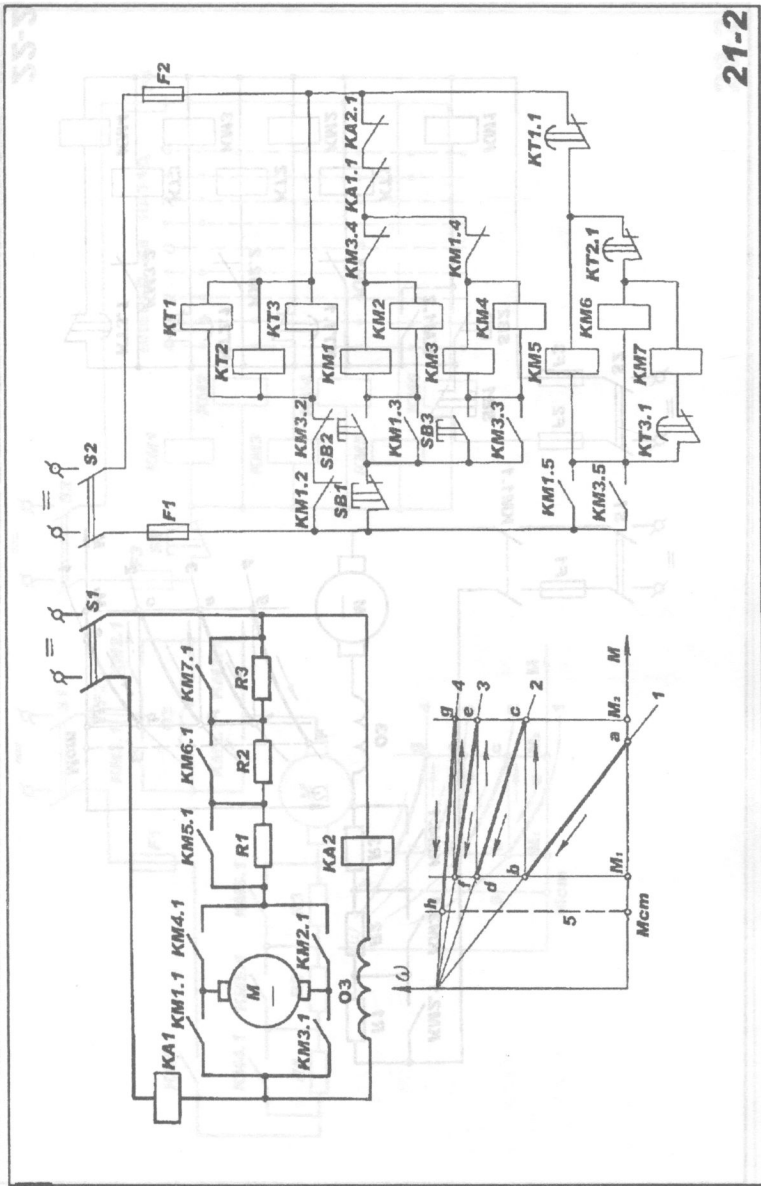




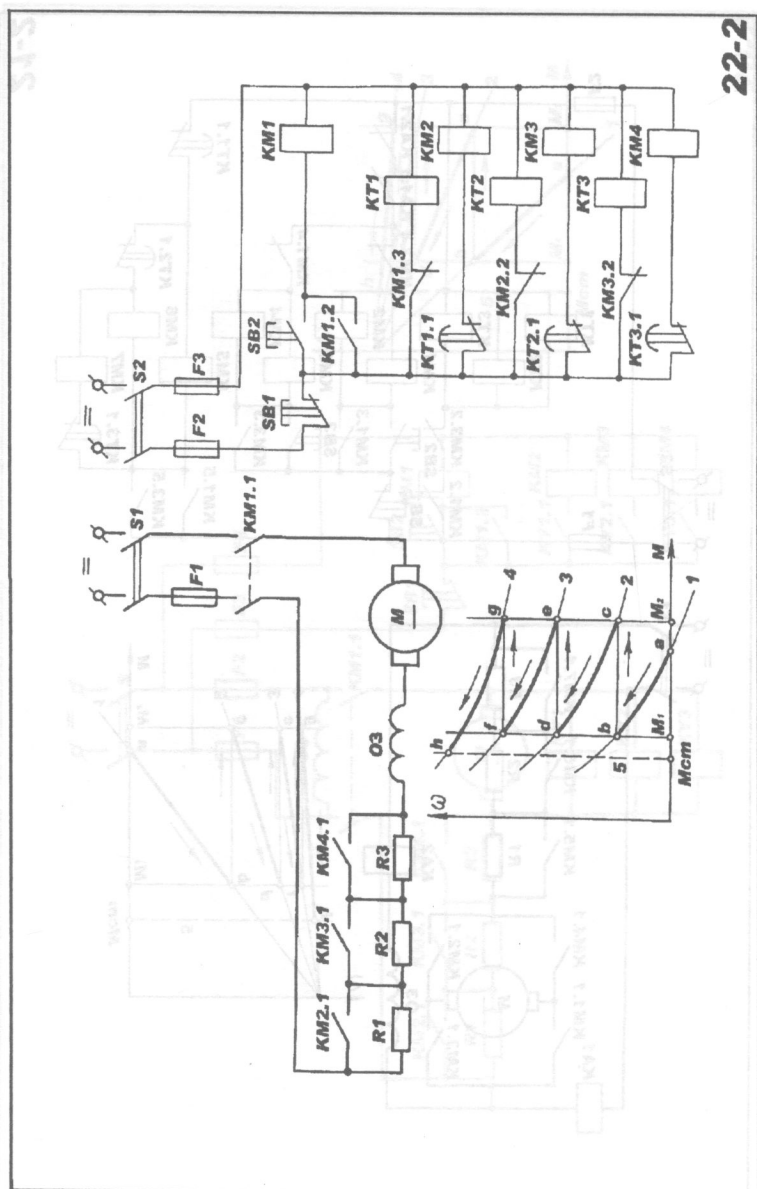
18-2



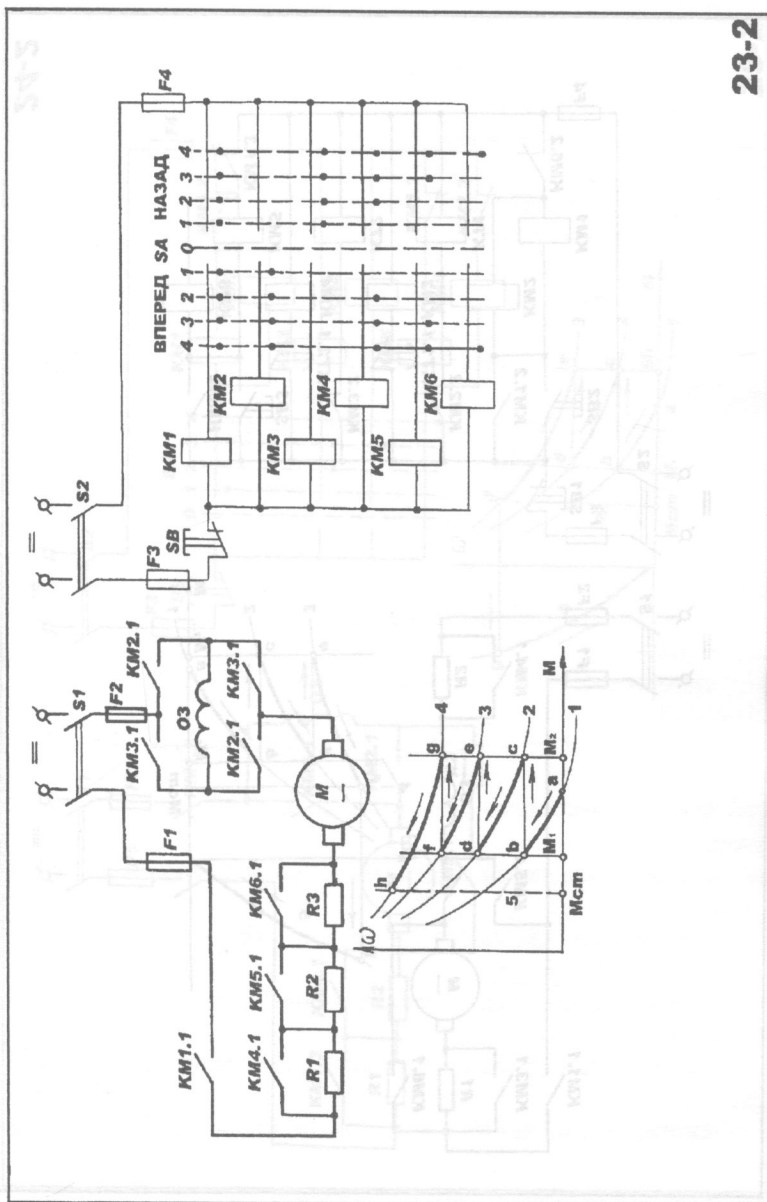


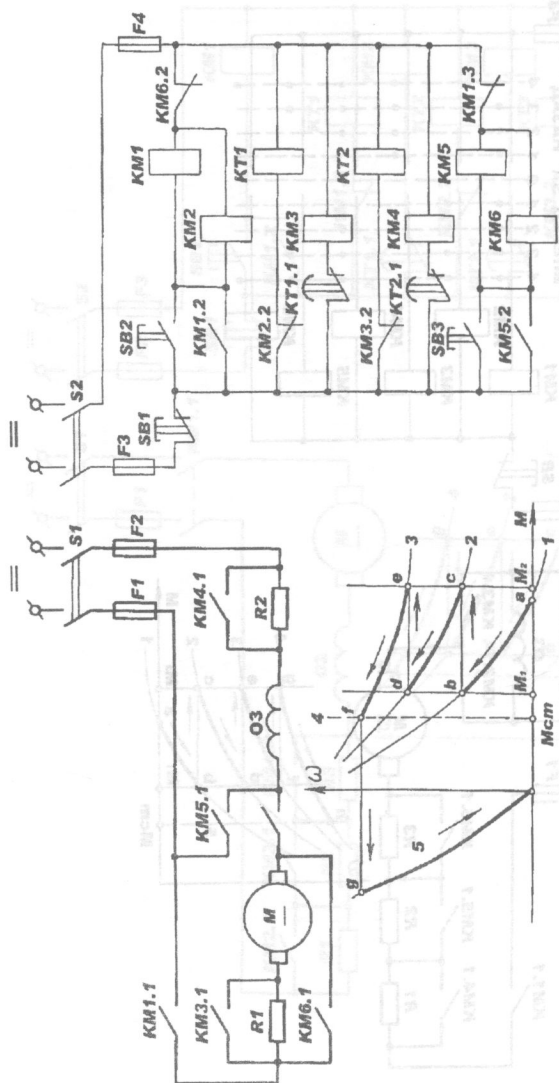


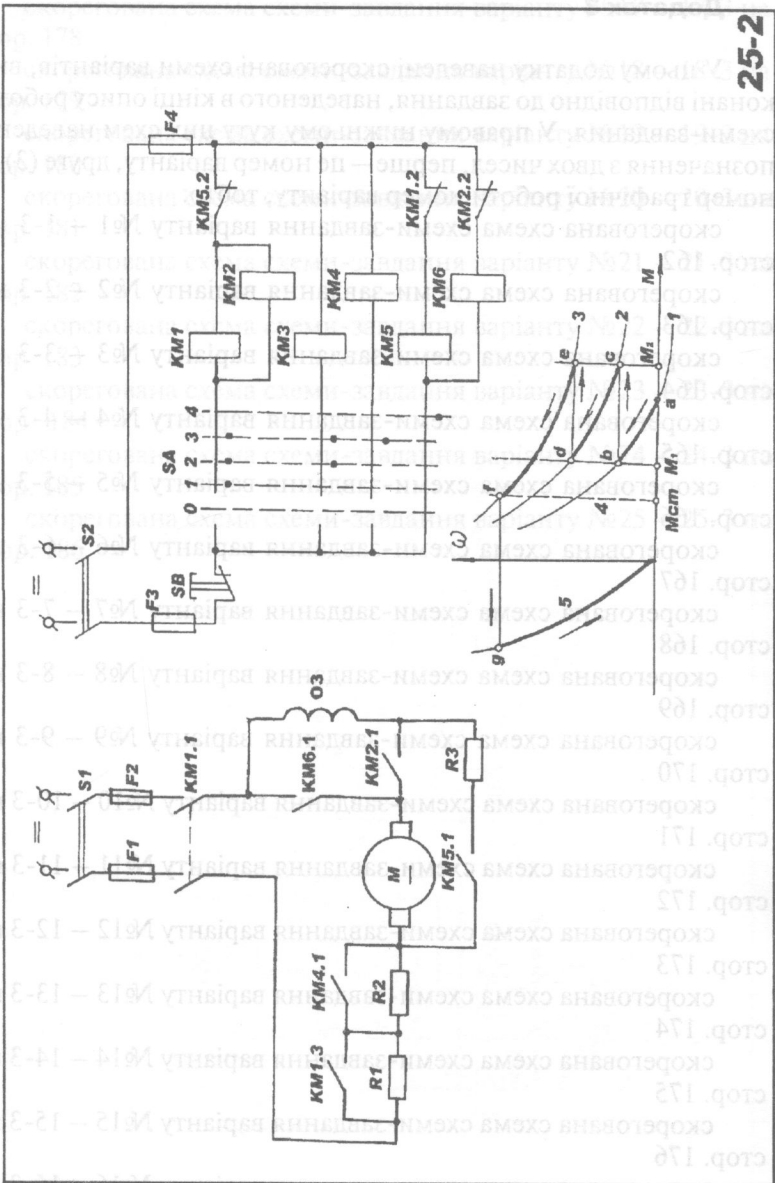




22-2







### Додаток 3

У цьому додатку наведені скореговані схеми варіантів, виконані відповідно до завдання, наведеного в кінці опису роботи схеми-завдання. У правому нижньому куту цих схем наведено позначення з двох чисел, перше — це номер варіанту, друге (3) — номер графічної роботи номер варіанту, тобто:

скорегована схема схеми-завдання варіанту №1 — 1-3 на стор. 162

скорегована схема схеми-завдання варіанту №2 — 2-3 на стор. 163

скорегована схема схеми-завдання варіанту №3 — 3-3 на стор. 164

скорегована схема схеми-завдання варіанту №4 — 4-3 на стор. 165

скорегована схема схеми-завдання варіанту №5 — 5-3 на стор. 166

скорегована схема схеми-завдання варіанту №6 — 6-3 на стор. 167

скорегована схема схеми-завдання варіанту №7 — 7-3 на стор. 168

скорегована схема схеми-завдання варіанту №8 — 8-3 на стор. 169

скорегована схема схеми-завдання варіанту №9 — 9-3 на стор. 170

скорегована схема схеми-завдання варіанту №10 — 10-3 на стор. 171

скорегована схема схеми-завдання варіанту №11 — 11-3 на стор. 172

скорегована схема схеми-завдання варіанту №12 — 12-3 на стор. 173

скорегована схема схеми-завдання варіанту №13 — 13-3 на стор. 174

скорегована схема схеми-завдання варіанту №14 — 14-3 на стор. 175

скорегована схема схеми-завдання варіанту №15 — 15-3 на стор. 176

скорегована схема схеми-завдання варіанту №16 — 16-3 на стор. 177

скорегована схема схеми-завдання варіанту №17 – 17-3 на стор. 178

скорегована схема схеми-завдання варіанту №18 – 18-3 на стор. 179

скорегована схема схеми-завдання варіанту №19 – 19-3 на стор. 180

скорегована схема схеми-завдання варіанту №20 – 20-3 на стор. 181

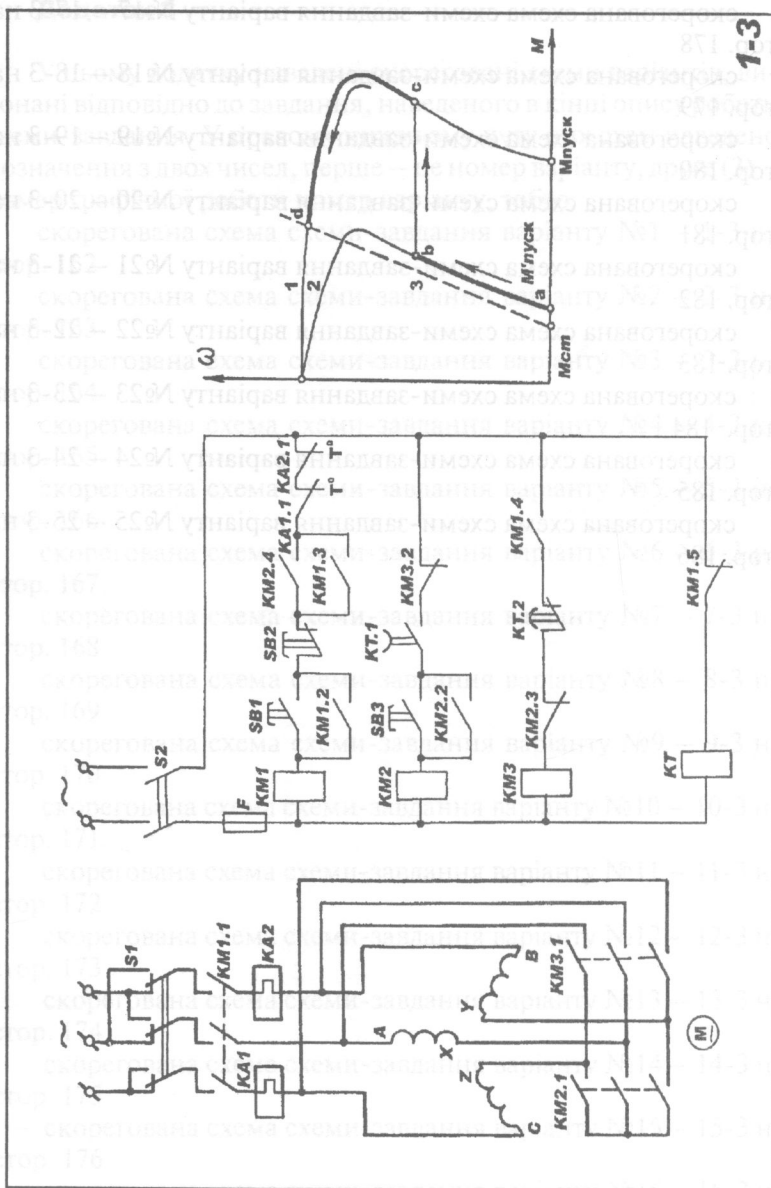
скорегована схема схеми-завдання варіанту №21 – 21-3 на стор. 182

скорегована схема схеми-завдання варіанту №22 – 22-3 на стор. 183

скорегована схема схеми-завдання варіанту №23 – 23-3 на стор. 184

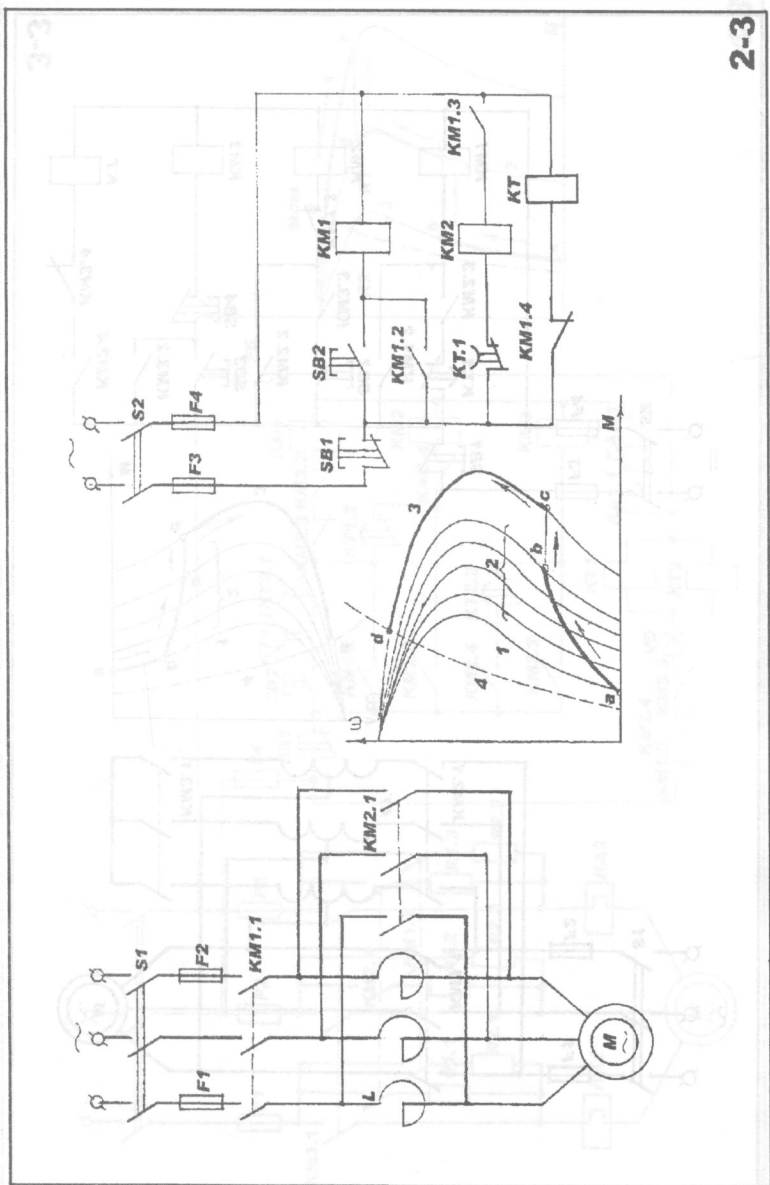
скорегована схема схеми-завдання варіанту №24 – 24-3 на стор. 185

скорегована схема схеми-завдання варіанту №25 – 25-3 на стор. 186

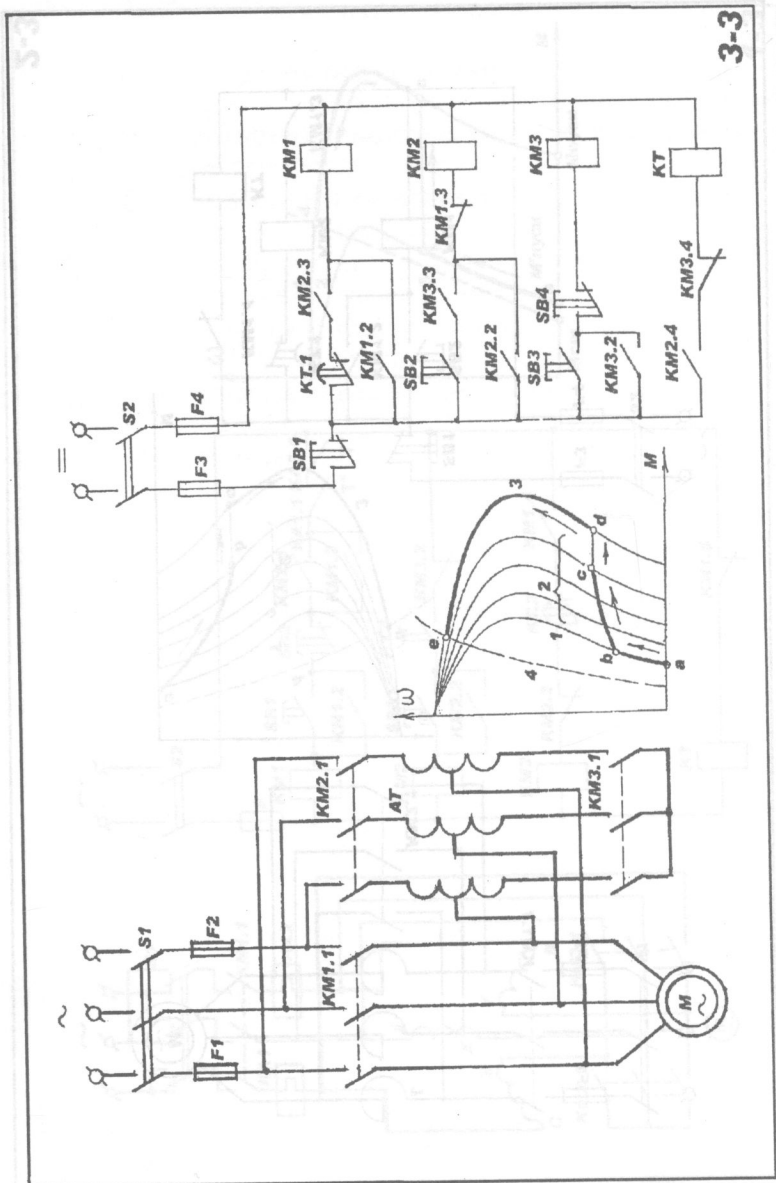


1-3

2-3

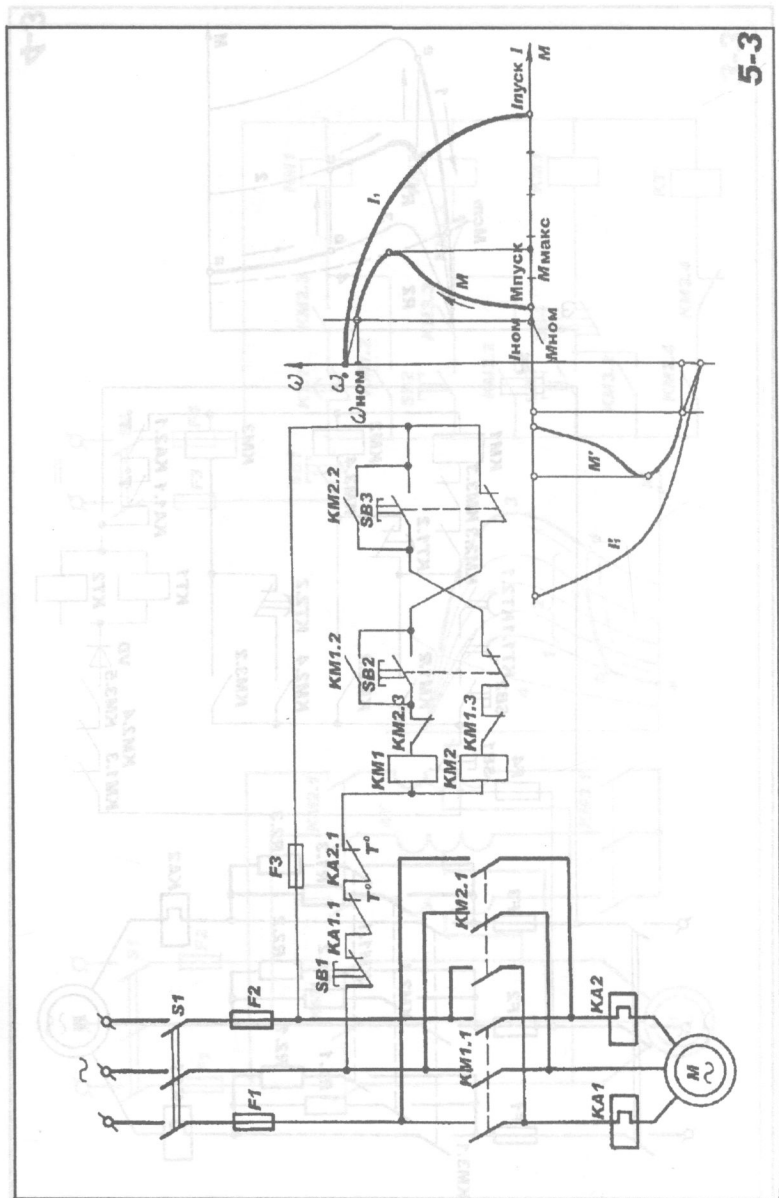


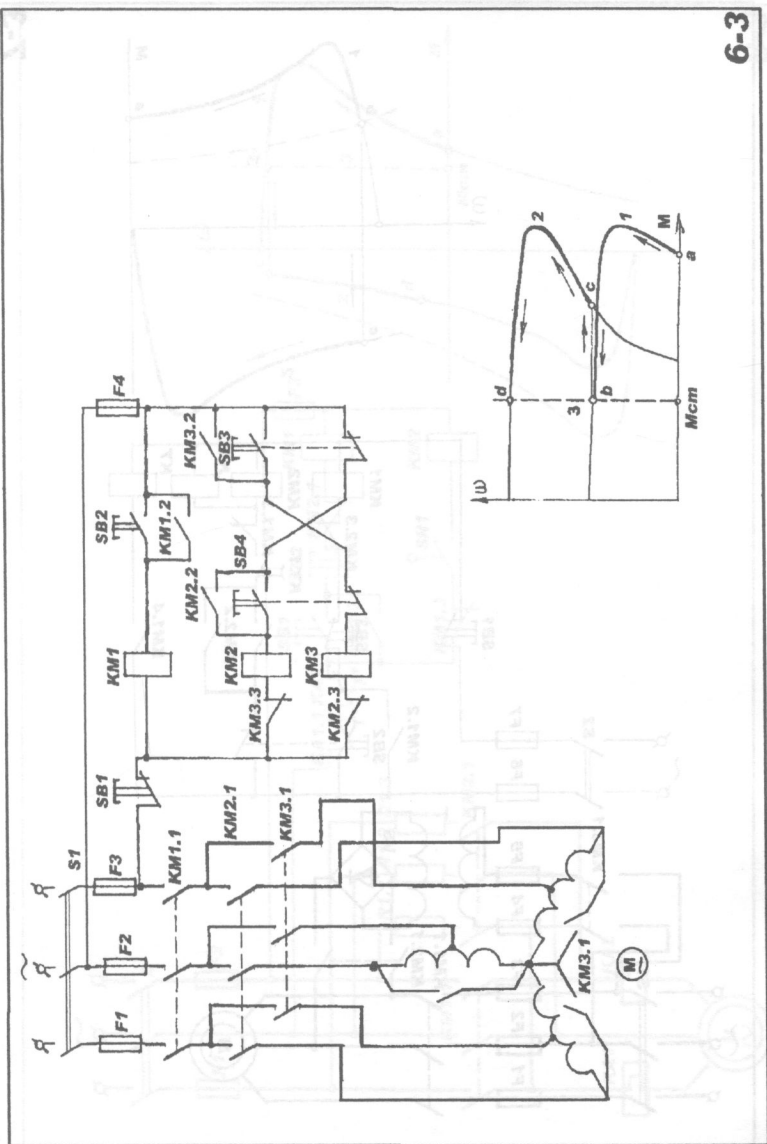


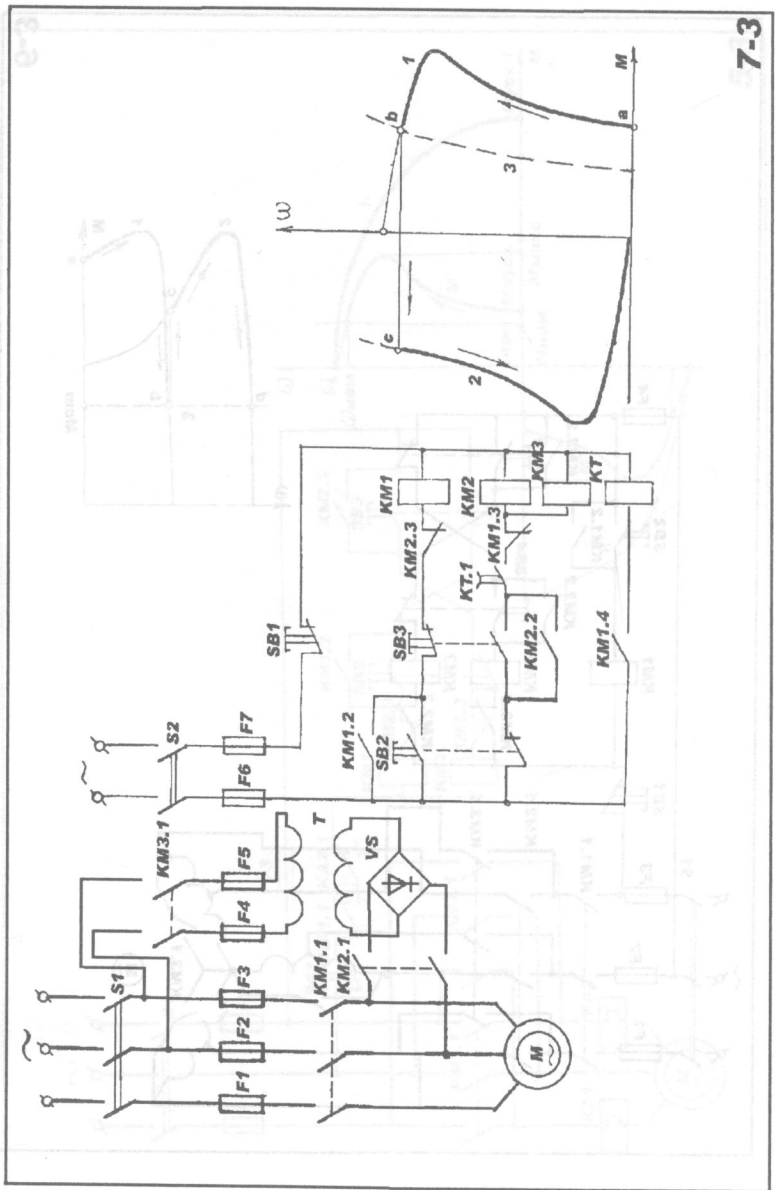


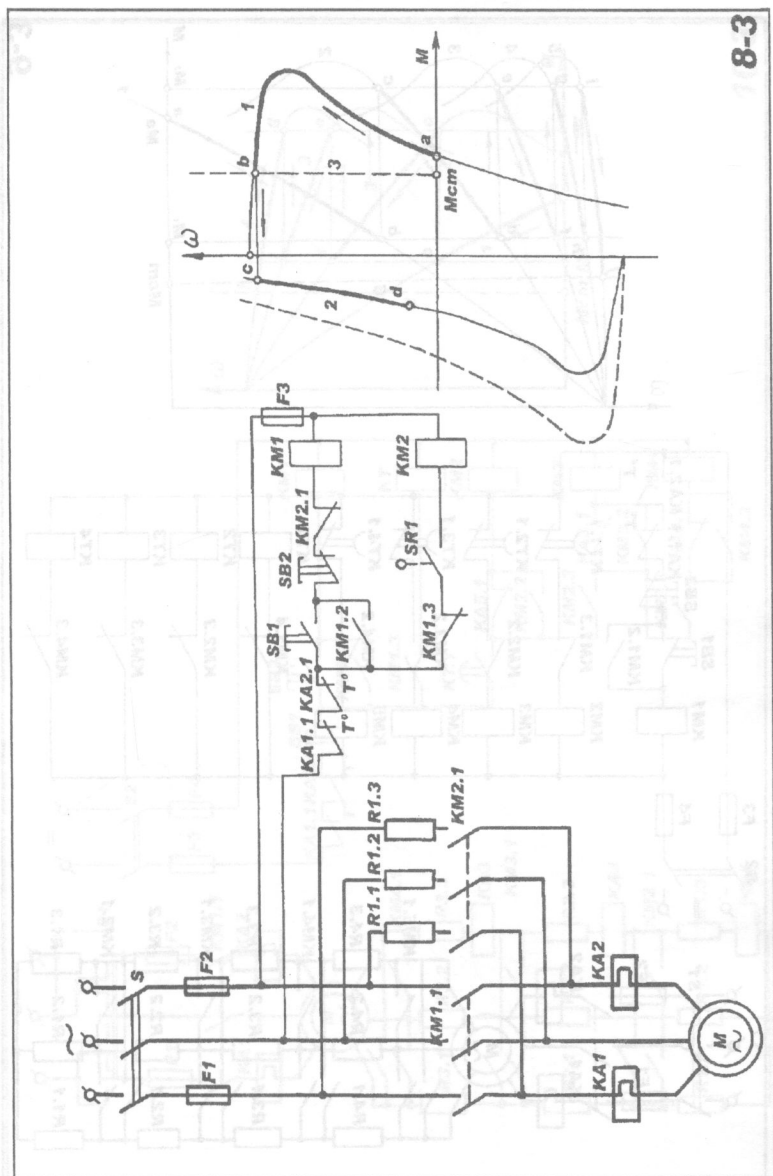
3-3



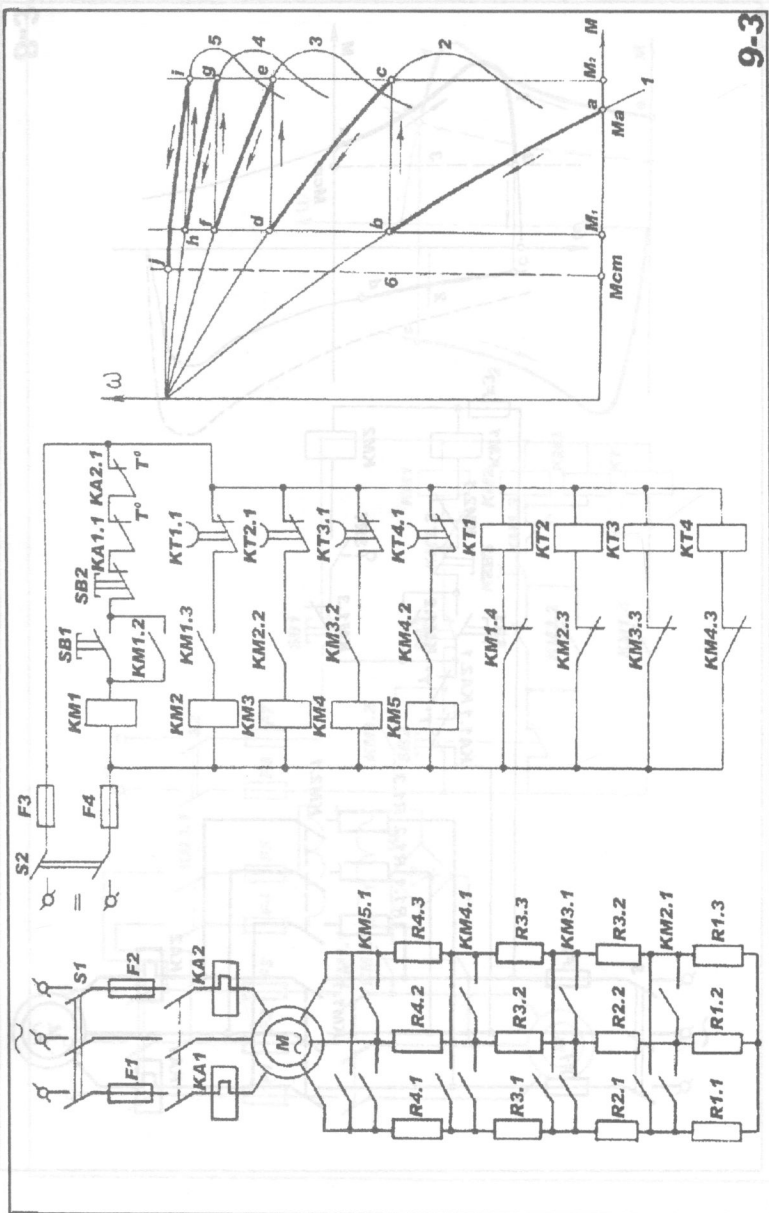




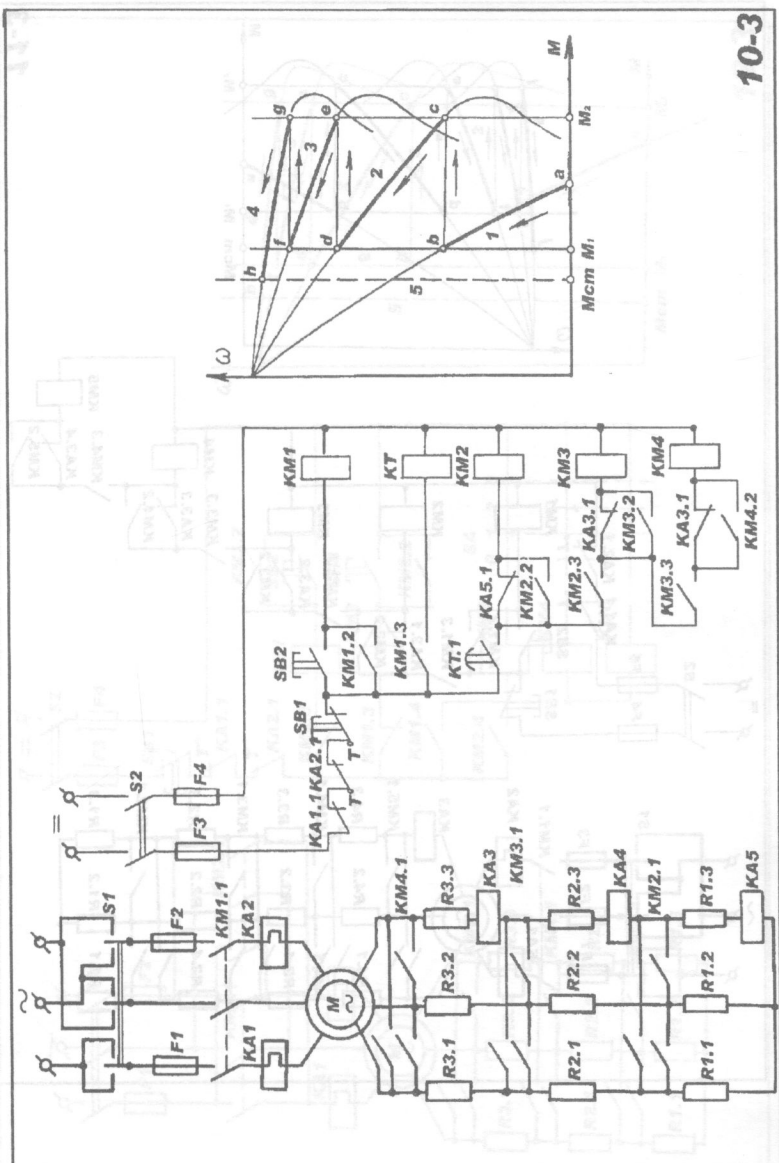




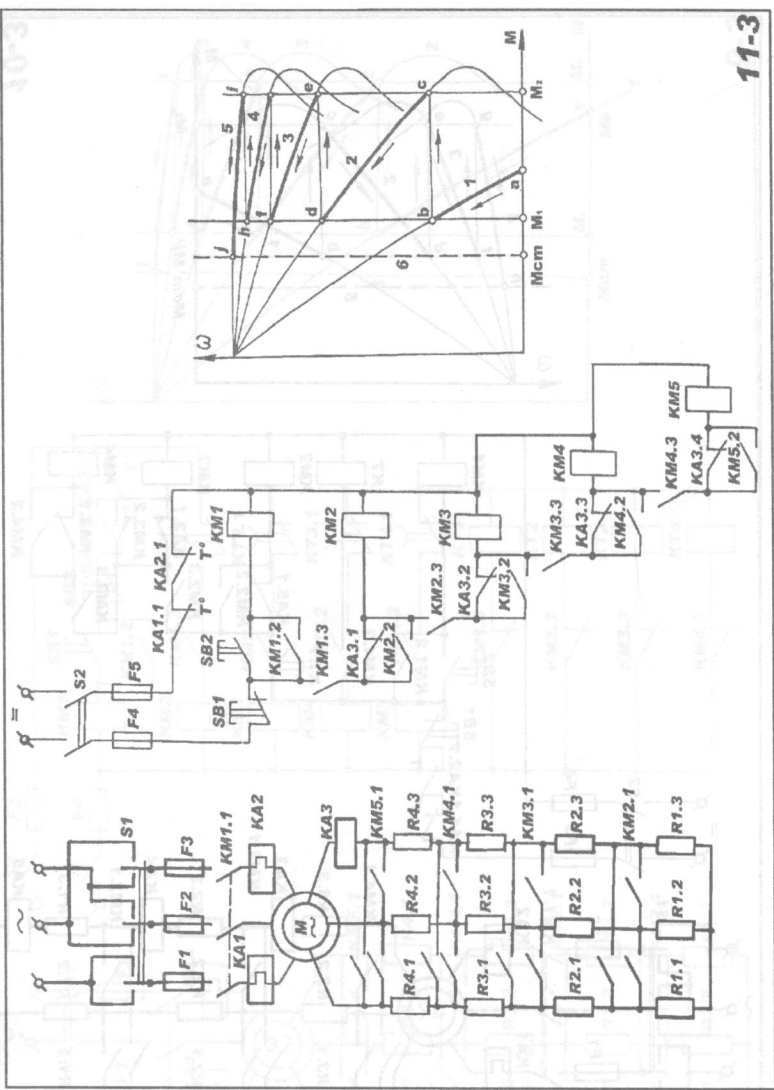
8-3

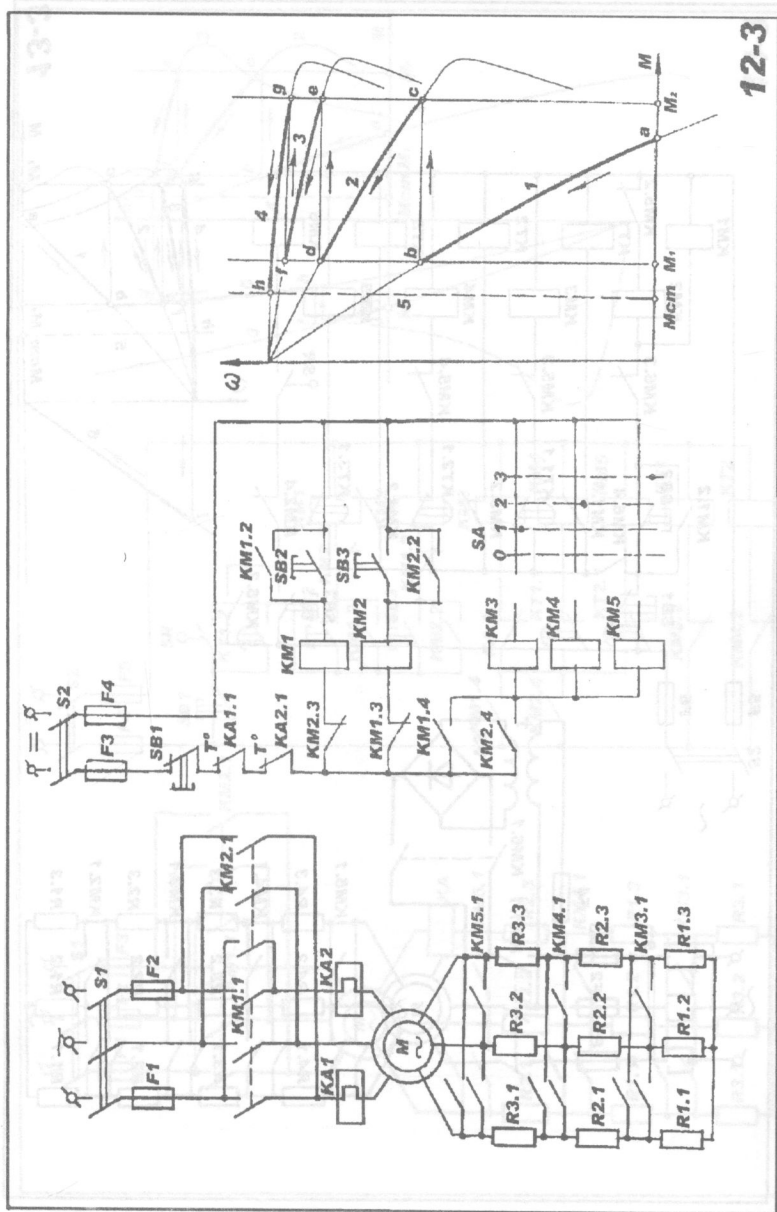


10-3

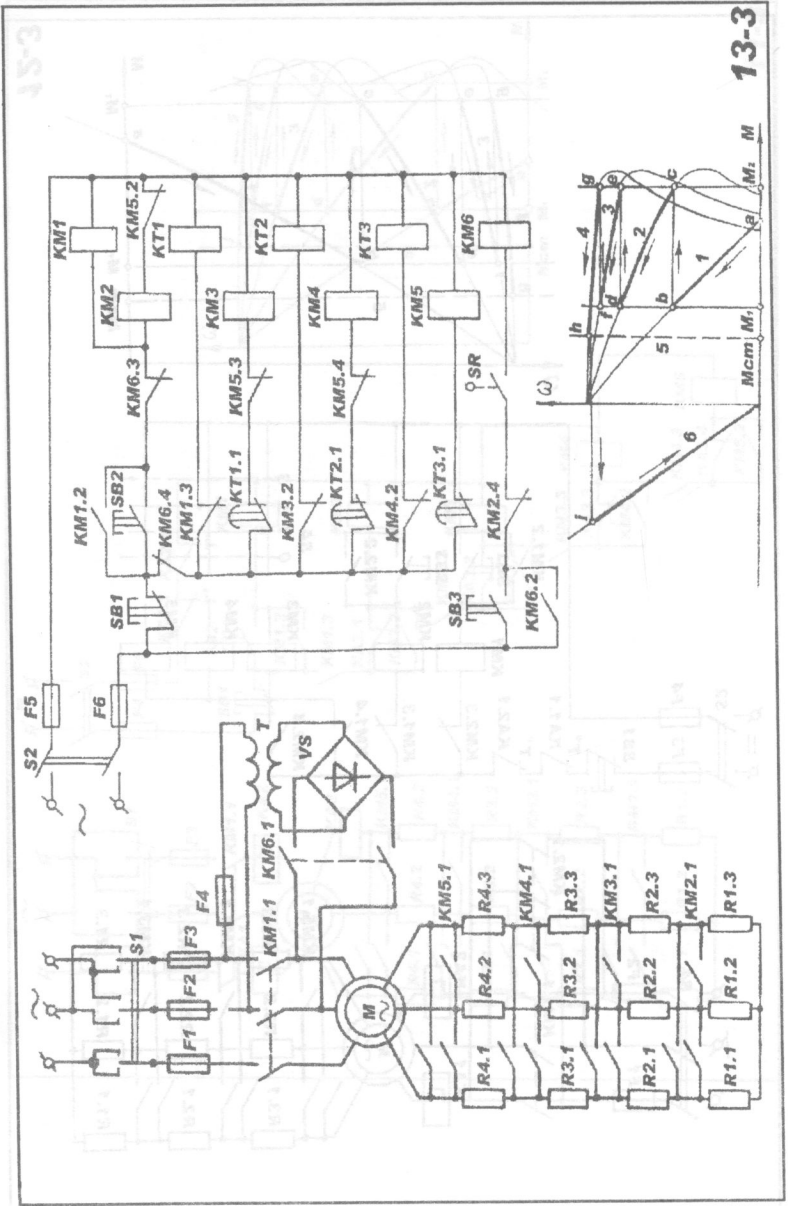




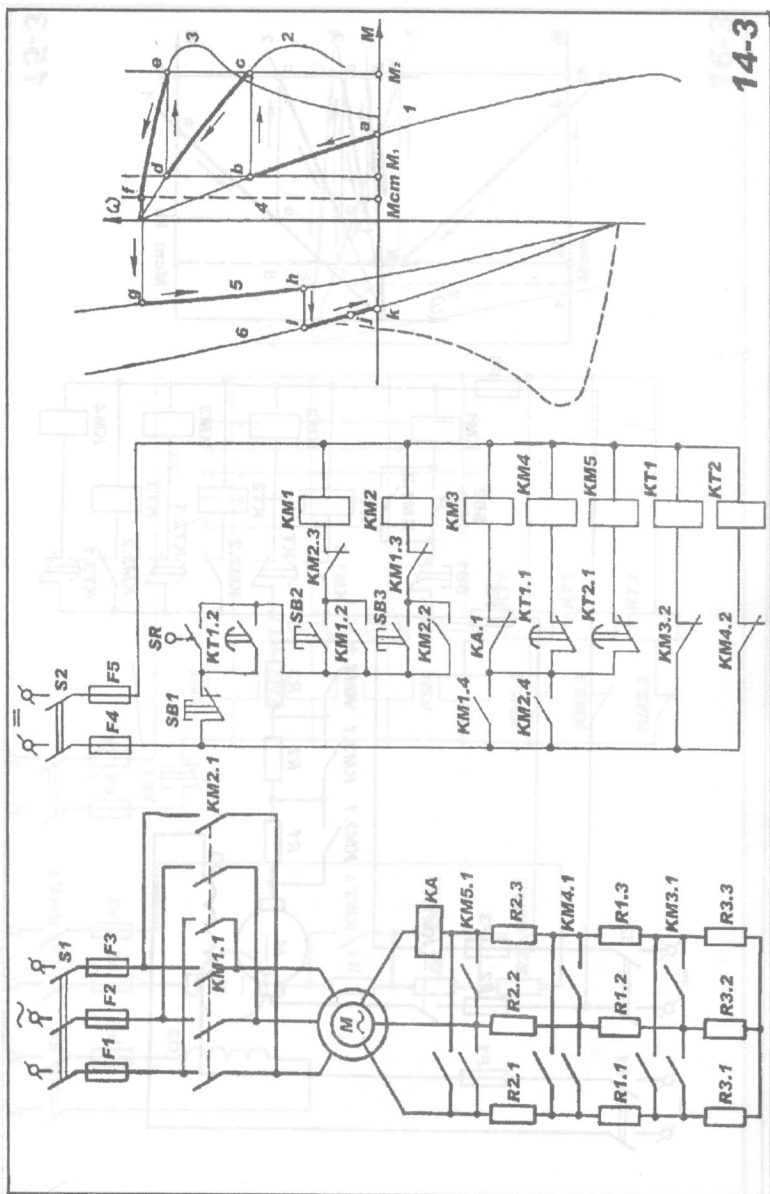




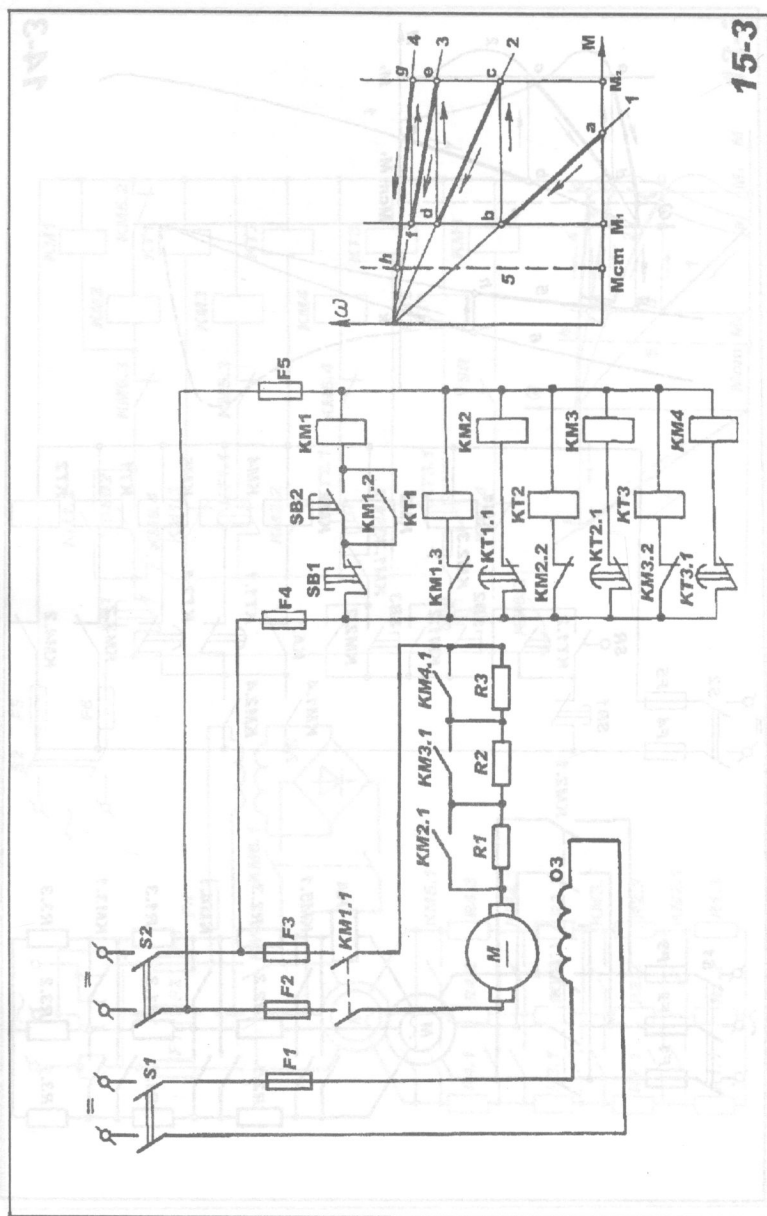
12-3

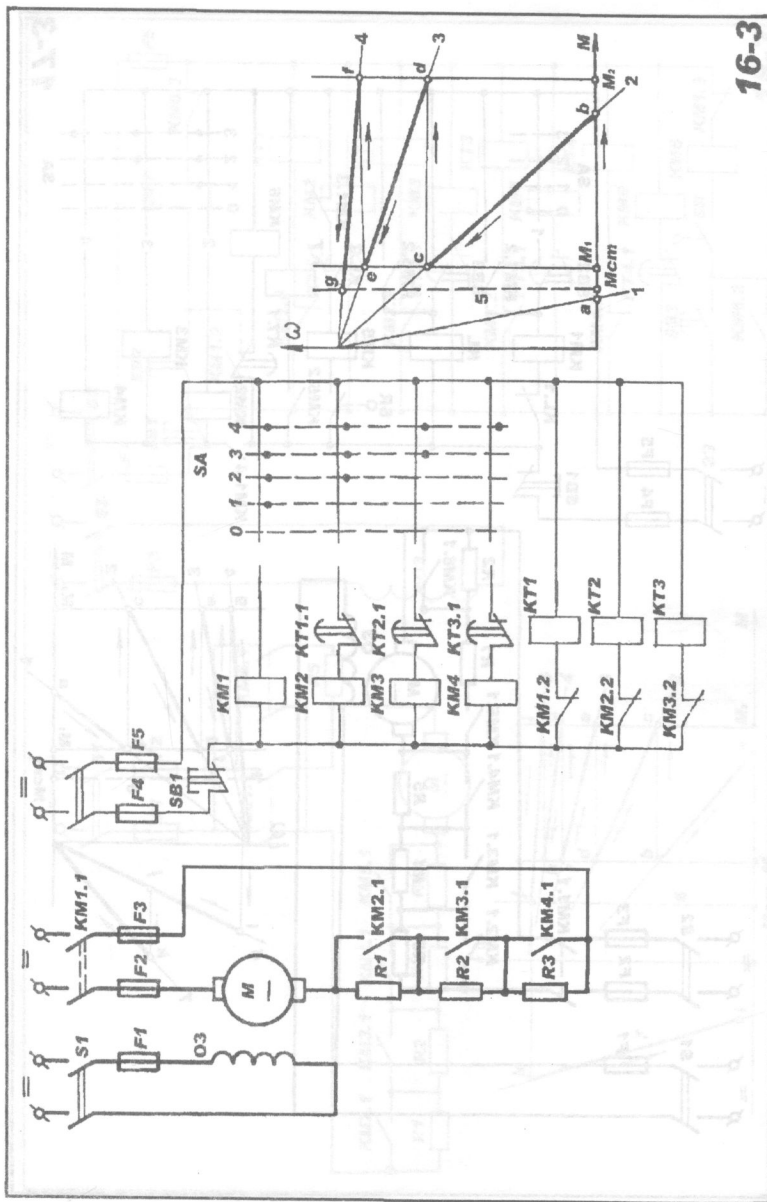


13-3

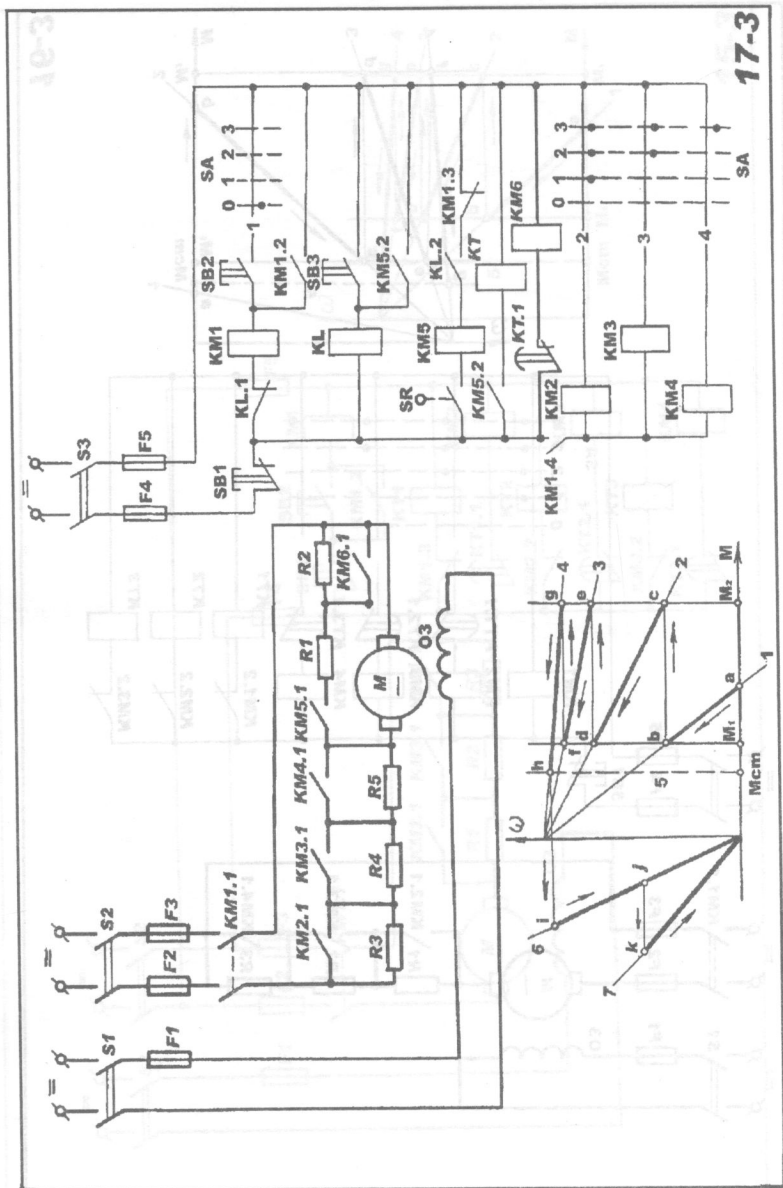


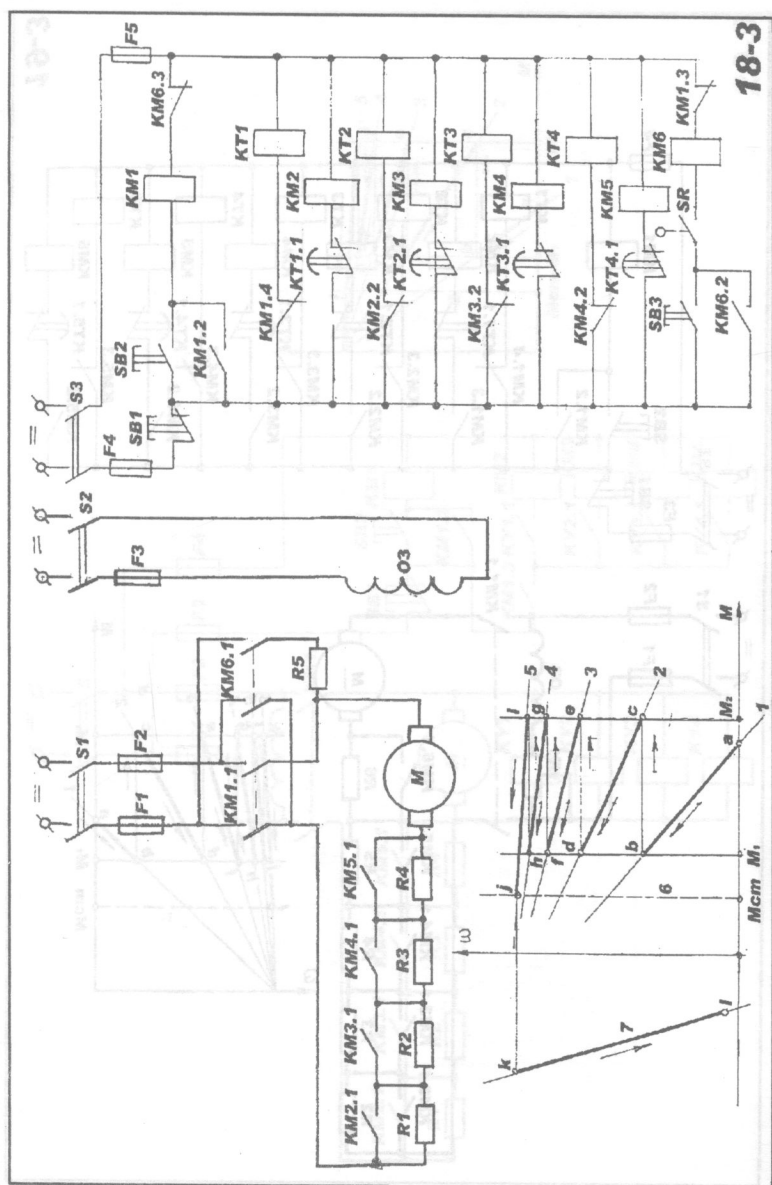
14-3



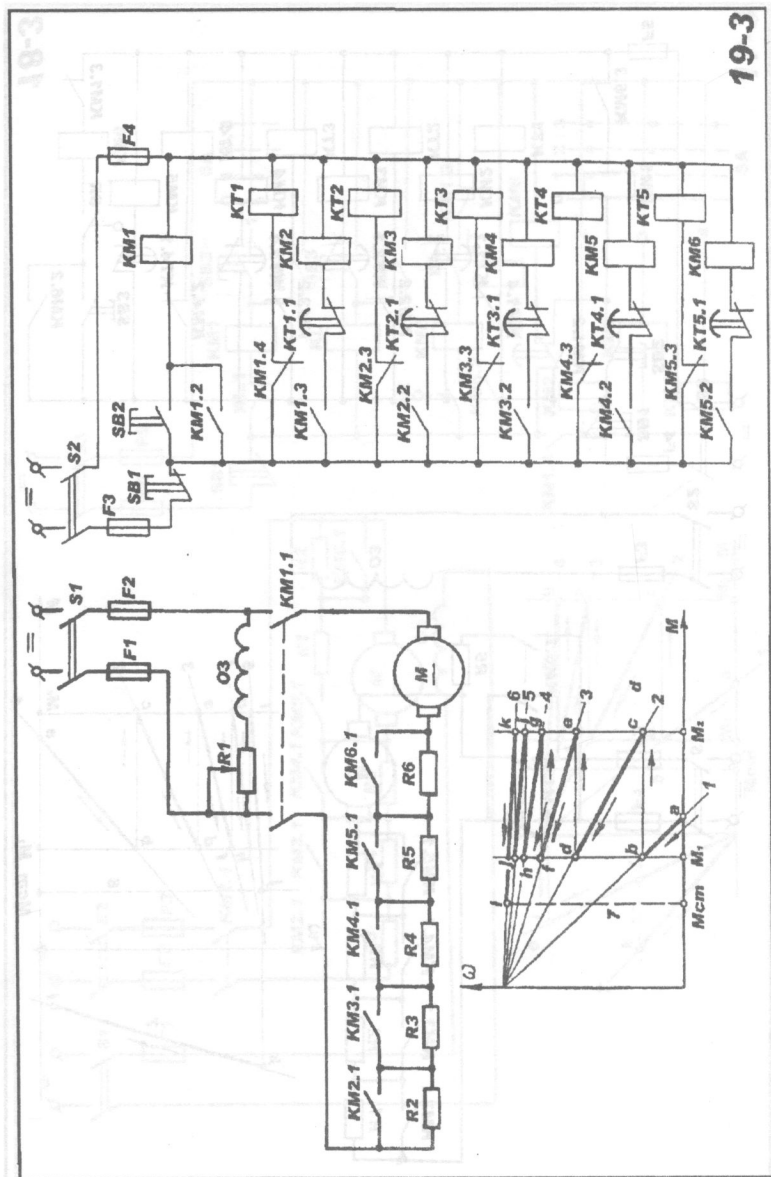


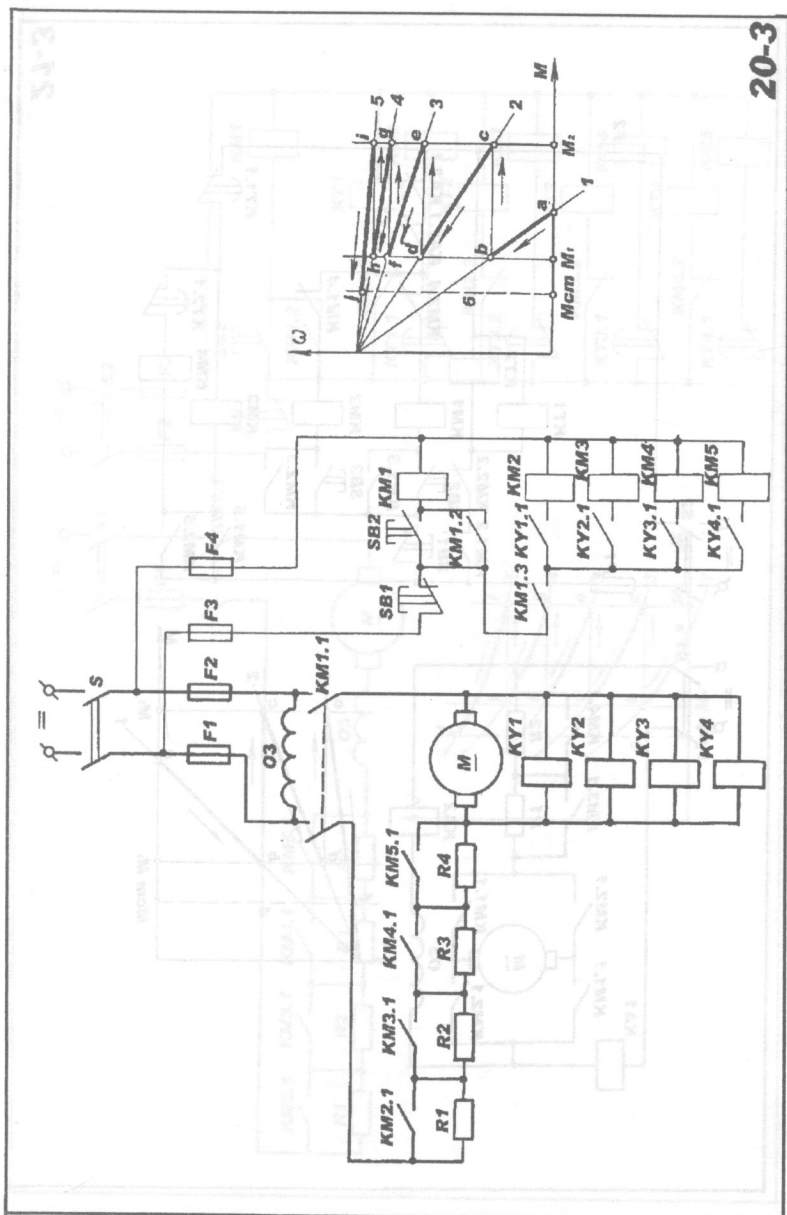
16-3



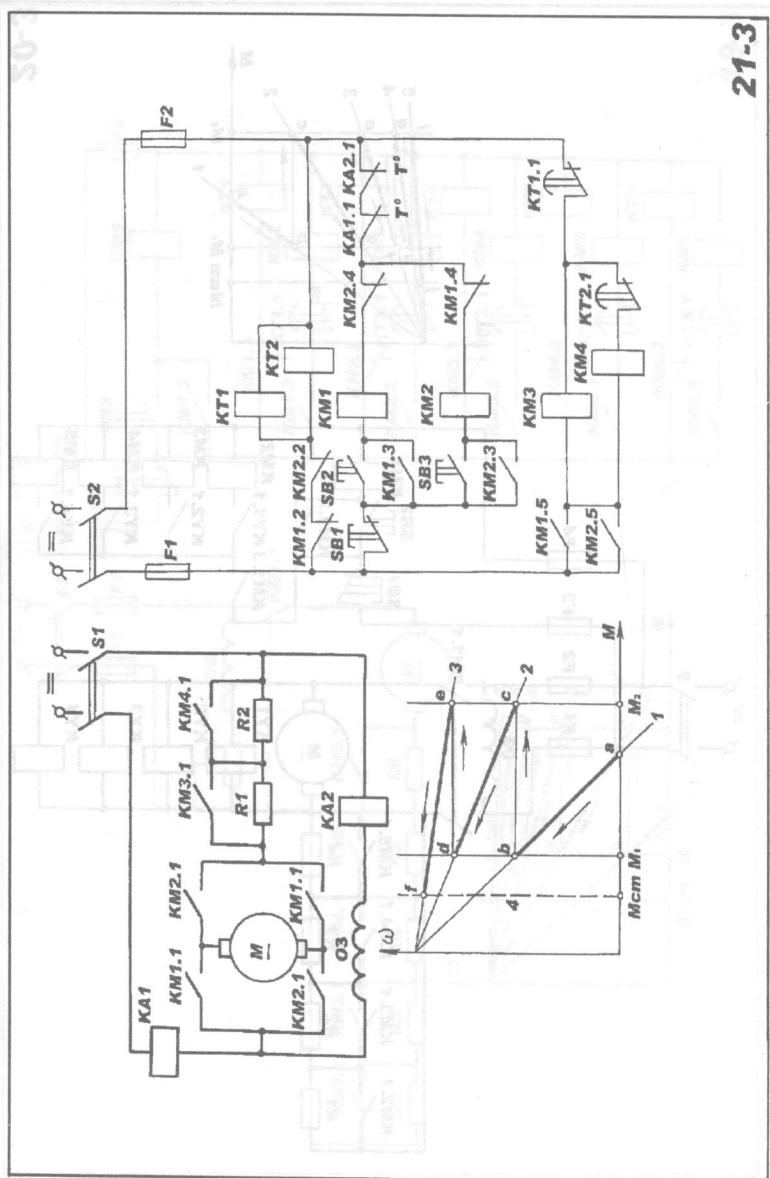


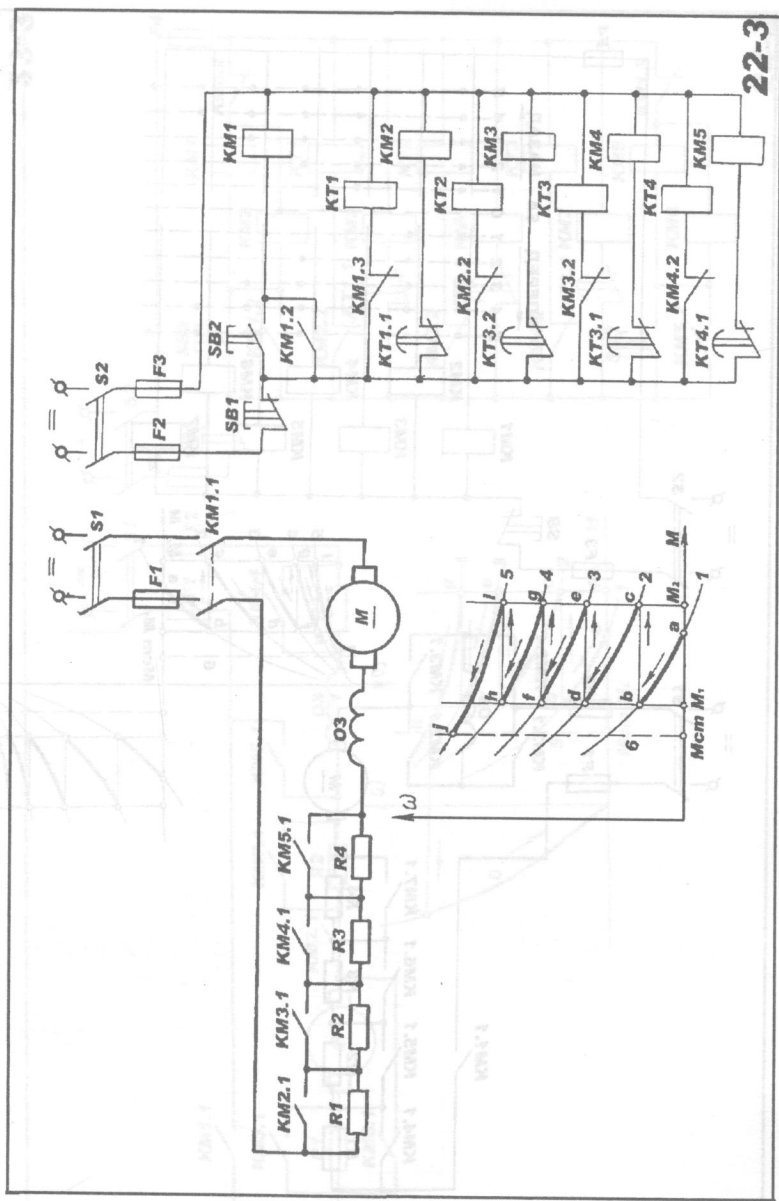




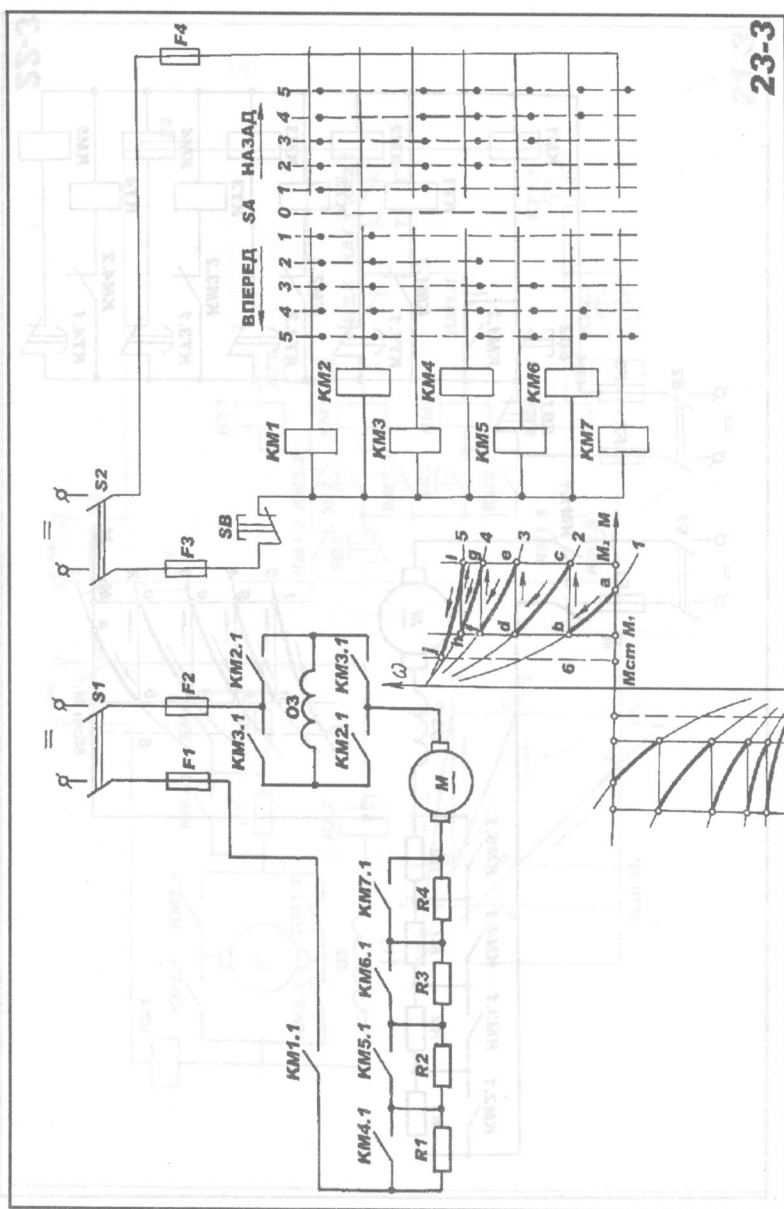


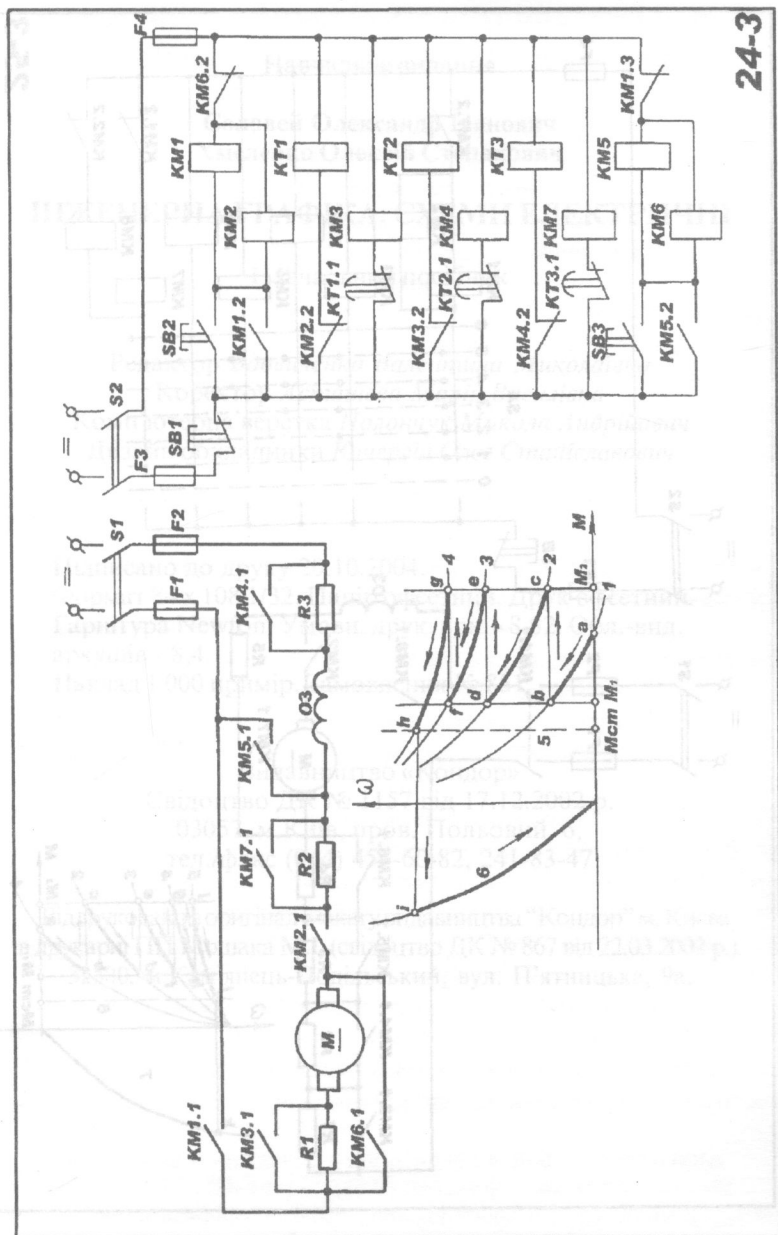
20-3



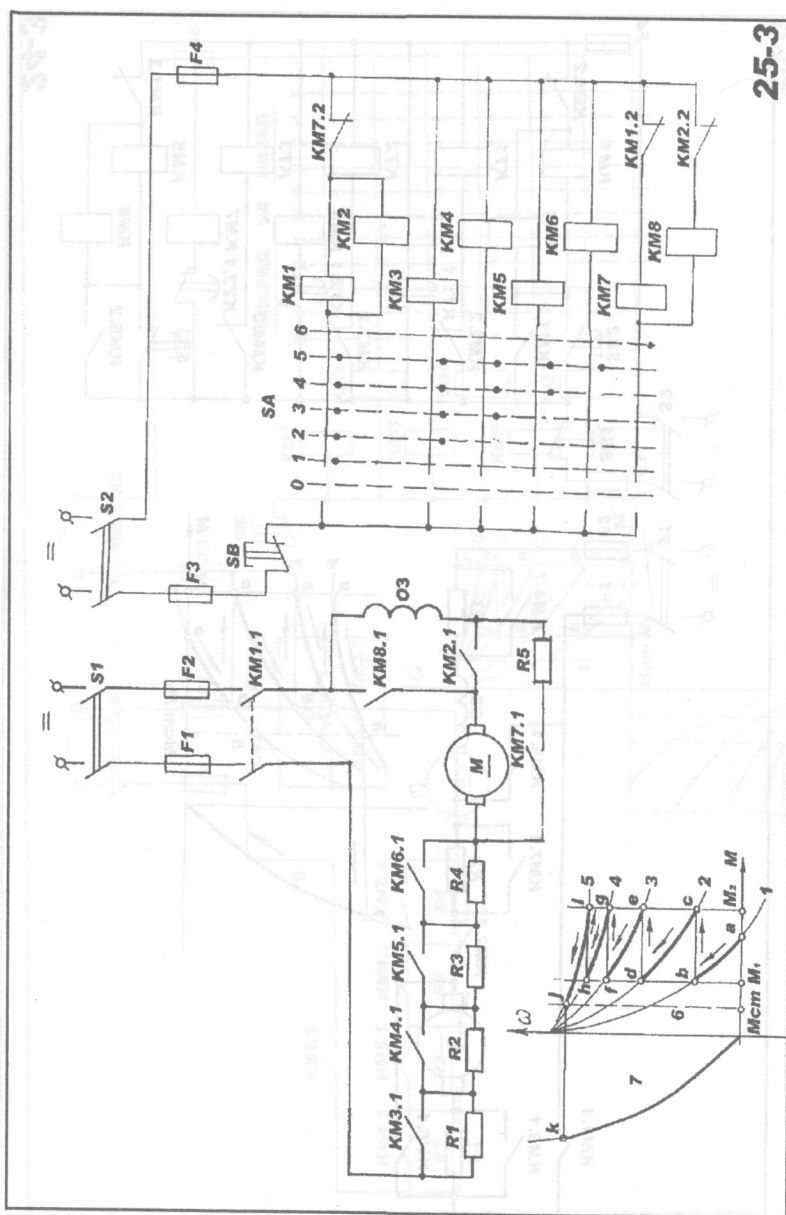


22-3





24-3



Навчальне видання

**Соловей Олександр Іванович**  
**Хмеленко Олексій Степанович**

## **ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА: СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНІ**

Навчальний посібник

Редактор *Вдовиченко Валентина Миколаївна*  
Коректор *Асташева Марія Василівна*  
Комп'ютерна верстка *Полончук Микола Андрійович*  
Дизайн обкладинки *Кочергін Олег Станіславович*

Підписано до друку 20.10.2004.

Формат 84 x 108 1/32. Папір офсетний. Друк офсетний.  
Гарнітура Newton. Умовн. друк. арк. - 8,82. Обл.-вид.  
аркушів - 8,4.

Наклад 1 000 примір. Замовлення № 851.

Видавництво «Кондор»  
Свідоцтво ДК № 1157 від 17.12.2002 р.  
03057, м.Київ, пров. Польовий, 6,  
тел./факс (044) 456-60-82, 241-83-47

Віддруковано з оригінал-макету видавництва «Кондор» м. Києва  
в друкарні ПП Мошака М.І. (свідоцтво ДК № 867 від 22.03.2002 р.).  
32300, м.Кам'янець-Подільський, вул. П'ятницька, 9а.



## **Книги видавництва «Кондор» завжди можна придбати у наших регіональних партнерів:**

- м. Київ, «Наукова думка», вул. Грушевського, 4, тел. (044) 228-06-96;
- м. Київ, «Знання», вул. Хрещатик, 44, тел. (044) 229-10-45;
- м. Київ, «Книголюб», вул. І. Кудрі, 31, тел. (044) 269-10-51;
- м. Київ, ДчП Книгарня №52, вул. Ю. Гагаріна, 13, тел. (044) 552-22-41;
- м. Київ, «Академкнига» № 7, вул. Стрітенська, 17, тел. (044) 212-34-72;
- м. Київ, ТОВ «Книгарня «Сяйво», вул. Велика Васильківська, 6, тел. (044) 235-43-66
- м. Вінниця, «Кобзар», вул. Привокзальна, 2/1, тел. (0432) 21-67-44;
- м. Житомир, «ЦНТЕІ», вул. Велика Бердичівська, 31, тел. (0412) 37-22-56;
- м. Запоріжжя, ТОВ «Сучасник ЛТД», просп. Леніна, 151, тел. (0612) 33-12-27;
- м. Івано-Франківськ, «Сучасна українська книга», Вічковий майдан, 3, тел. (03422) 3-04-60;
- м. Івано-Франківськ, КП «Букініст», Незалежності, 19, (03422) 2-38-28;
- м. Кіровоград, «Книжковий світ», вул. Набережна, 13, тел. (0522) 24-94-64;
- м. Кривий Ріг, «Букініст», пл. Визволення, 1, тел. (0564) 92-37-32;
- м. Львів, ТОВ «Ноти», просп. Шевченка, 16, тел. (0322) 72-67-96;
- м. Львів, «Еней», вул. Тургенєва, 52/7, тел. (0322) 35-12-93К
- м. Луганськ, «Глобус-книга», вул. Радянська, 58, (0642) 53-62-30;
- м. Луцьк, «Освіта», просп. Волі, 8, тел. (0332) 72-46-14;
- м. Луцьк, «Планета», просп. Волі, 8, тел. (0332) 22-39-58;
- м. Одеса, ДВАТ «Одесакнига», вул. Жуковського, 22, тел. (0482) 68-59-90, 22-91-15;
- м. Полтава, «Планета», вул. Жовтнева, 60а, тел. (05322) 7-20-19;
- м. Рівне, «ДККП Рівнекнига», вул. Островського, 16, тел. (0362) 22-41-05;
- м. Тернопіль, ТОВ «Дар», вул. Б. Хмельницького, 17, тел. (0352) 22-24-33;
- м. Тернопіль, «ДП Кооп-книга», Майдан Волі, 4/1, тел. (0352) 22-25-40;
- м. Харків, «Авіоніка», вул. Сумська, 51, тел. (0572) 14-04-70;
- м. Харків, «Вища школа», вул. Петровського, 6/8, тел. (0572), 47-80-20;
- м. Хмельницький, ТОВ «Проскурівкнига», вул. Володимирська, 63, тел. (0382) 76-29-36;
- м. Черкаси, ТОВ «Фірма «Світоч», вул. Б. Вишневецького, тел. (0472) 47-92-20;
- м. Чернівці, «Технічна книга», вул. Кобилянська, 45, тел. (03722) 2-74-96.

**Книготорговельним організаціям та оптовим покупцям звертатися за тел./факсом: (044) 241-66-07, 241-83-47.**

**E-mail: [condor@kiev ldc.net](mailto:condor@kiev ldc.net), [condor@public.ua.net](mailto:condor@public.ua.net).**

**<http://www.condor-books.com>**

### **Соловей Олександр Іванович –**

кандидат технічних наук, доцент, дійсний член Академії будівництва по відділенню “Енергоресурсозбереження”. Вся трудова діяльність пов’язана з Національним технічним університетом України “КПІ”.

З 1997 року займає посаду першого заступника директора Інституту енергозбереження та енергоменеджменту НТУУ “КПІ”.

У 1976-1980 роках був у закордонному відрядженні по лінії Мінвузу, читав лекції в Аннабінському університеті (АНДР).

Соловей О.І. вніс значний вклад у підготовку інженерних кадрів України, опублікував більше 40 наукових праць, 15 навчально-методичних розробок, є співавтором 10 Державних стандартів України і трьох книг, автором 10 навчальних курсів.



### **Хмеленко Олексій Степанович –**

кандидат технічних наук, доцент кафедри нарисної геометрії, інженерної та комп’ютерної графіки Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”.

32 роки працює зі студентами. Має десятки наукових робіт, навчальних посібників, патентів України та зарубіжних країн, автор нових розробок, які пройшли держвипробування.

ISBN 966-7982-45-9



9 789667 982454 >