

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Донецький національний університет економіки і
торгівлі імені Михайла Туган-Барановського

Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

О.В. Омельченко, Л.О. Цвіркун, В.В. Перекрест

**ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ
УСТАНОВОК**

Навчальний посібник

Кривий Ріг
2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Донецький національний університет економіки і
торгівлі імені Михайла Туган-Барановського

Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

О.В. Омельченко, Л.О. Цвіркун, В.В. Перекрест

ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Навчальний посібник

Затверджено на засіданні
кафедри загальноінженерних
дисциплін та обладнання
Протокол № 10
від «12» квітня 2022 р.

Рекомендовано навчально-
методичною радою ДонНУЕТ
Протокол № 9
від «28» квітня 2022 р.

Кривий Ріг
2022

Рекомендовано до видання Вченою радою Донецького національного університету економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (протокол № 10 від 12.04.2022 р.).

Рецензенти:

Хорольський В. П., д.т.н., професор кафедри загальноінженерних дисциплін та обладнання Донецького національного університету економіки та торгівлі ім. М. Туган-Барановського.

Погребняк А. В., доцент, д.т.н., професор кафедри транспортних технологій та міжнародної логістики, Університету митної справи та фінансів.

Омельченко О.В., Цвірун Л.О., Перекрест В.В.

О 67 Омельченко О.В., Цвірун Л.О., Перекрест В.В. Електрообладнання енергетичних установок: навч. посіб. Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2022. 114 с.

Пропонований навчальний посібник призначений для студентів спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування» у процесі вивчення дисципліни «Електрообладнання енергетичних установок». Навчальний посібник містить короткі теоретичні відомості з кожної теми, приклади розв'язування задач, завдання для самостійного виконання, тестові завдання. Наявність контрольних запитань із кожної теми надає студентам змогу самостійного контролю рівня засвоєння навчального матеріалу. Наведено список рекомендованої літератури.

УДК 338.487(072)

© Омельченко О.В., Цвіркун Л.О.,
Перекрест В.В. 2022

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ I. Електропостачання	8
1. Схеми електропостачання.....	8
2. Електричні навантаження і методи їх розрахунку.....	11
3. Електричні мережі.....	20
4. Розрахунок короткого замикання та вибір обладнання.....	30
5. Захист електрообладнання та електричних мереж.....	39
6. Вибір типу, кількості та потужності трансформаторів.....	49
РОЗДІЛ II. Системи керування електроприводами	60
7. Основні функції та класифікація систем керування електроприводами.....	60
8. Керування електроприводами за допомогою релейно-контакторної апаратури.....	66
9. Системи керування електроприводом постійного струму.....	76
10. Системи керування електроприводом змінного струму.....	87
11. Системи керування положенням виконавчого органу.....	96
12. Взаємопов'язані системи керування електроприводом.....	102
13. Основні відомості щодо організації адаптивних систем керування електроприводом.....	110
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	113

ВСТУП

Актуальність підготовки бакалаврів з енергетичного машинобудування обумовлена потребою у фахівцях готових застосовувати отримані знання в майбутній професійній діяльності, що вимагає сформованих навичок конструкторської діяльності, проектування, оцінювання, обслуговування техніки у відповідній галузі. На сьогодні компетентність фахівця в сучасних умовах визначається його професійною підготовкою, яка спрямована на формування вмінь орієнтуватися в мінливому виробничому середовищі.

Навчальний посібник розроблено відповідно до навчальної програми з дисципліни «Електрообладнання енергетичних установок». Він містить два розділи, які відповідають навчальній програмі. Кожна тема містить стислий обсяг теоретичного матеріалу, приклади поетапного розв'язування завдань з наведенням наочних зображень, задачі для самостійного розв'язання. Для закріплення теоретичних знань студентам рекомендується відповісти на контрольні запитання, які подано в кінці кожного розділу. Наявність контрольних запитань із кожної теми надає студентам змогу самостійного контролю рівня засвоєння навчального матеріалу.

Пояснення закономірностей процесу розв'язування базових задач дозволяє простежити теоретичні, практичні та технічні етапи виконання. Усвідомлення студентами мети та послідовності розв'язування запропонованої задачі сприятиме розвитку логічного мислення, професійних умінь, без яких неможлива подальша професійна діяльність.

Пропонований навчальний посібник призначений для роботи студентів на практичних заняттях, а також для самостійної підготовки до практичних занять з навчальної дисципліни «Електрообладнання енергетичних установок».

Мета дисципліни – формування у студентів професійних компетентностей щодо вмінь розрахунку та проектування обладнання для забезпечення надійної та ефективної роботи систем електропостачання енергетичних установок.

Завдання дисципліни полягає в теоретичній і практичній підготовці здобувачів ВО до професійної діяльності, **формування вмінь та навичок:** застосовування знань пов'язаних з призначенням і будову розрядників, обмежувачів перенапруги, високовольтних комутаційних апаратів, вимірювальних трансформаторів струму та напруги, системами керування електроприводами, перетворювальною технікою та силовим напівпровідниковим комутаційним обладнанням.

Предмет: вивчення основних положень, принципів і методів розрахунків електрообладнання енергетичних установок.

Опанування дисципліни дозволяє забезпечити:

1) формування:

- фахових програмних компетентностей:

здатність продемонструвати систематичне розуміння ключових аспектів та концепції розвитку галузі енергетичного машинобудування;

здатність застосовувати свої знання і розуміння для визначення, формулювання і вирішення інженерних завдань з використанням методів електричної інженерії;

здатність аналізувати інформацію з літературних джерел, здійснювати патентний пошук, а також використовувати бази даних та інші джерела інформації для здійснення професійної діяльності;

здатність розробляти енергозберігаючі технології та енергоощадні заходи під час проектування та експлуатації енергетичного і теплотехнологічного обладнання;

здатність вибирати основні й допоміжні матеріали та способи реалізації основних теплотехнологічних процесів при створенні нового обладнання в галузі енергомашинобудування і застосовувати прогресивні методи експлуатації теплотехнологічного обладнання для об'єктів енергетики, промисловості і транспорту, комунально-побутового та аграрного секторів економіки;

здатність виконувати роботи зі стандартизації, уніфікації та технічної підготовки до сертифікації технічних засобів, систем, процесів, устаткування й матеріалів, організувати метрологічне забезпечення теплотехнологічних процесів з використанням типових методів контролю якості продукції у галузі енергетичного машинобудування;

здатність брати участь у роботі над інноваційними проектами, використовуючи методи дослідницької діяльності.

2) досягнення **програмних результатів навчання:**

застосовувати інженерні технології, процеси, системи і обладнання відповідно до спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»; обирати і застосовувати придатні типові аналітичні, розрахункові та експериментальні методи; правильно інтерпретувати результати таких досліджень;

використовувати наукові бази даних та інші відповідні джерела інформації, здійснювати моделювання з метою детального вивчення і дослідження інженерних питань принаймні в одному з напрямів енергетичного машинобудування;

застосовувати нормативні документи і правила техніки безпеки при вирішенні професійних завдань;

застосовувати практичні навички вирішення завдань, що передбачають реалізацію інженерних проектів і проведення досліджень;

використовувати обладнання, матеріали та інструменти, інженерні технології і процеси, а також розуміння їх обмежень при вирішенні професійних завдань;

аналізувати розвиток науки і техніки.

3) набуття **результатів навчання** (згідно Дублінських дескрипторів):

- **знання:**

схеми електропостачання.

електричного навантаження і методів їх розрахунку;

електричних мереж;

розрахунків короткого замикання та вибору обладнання;

захисту електрообладнання та електричних мереж;

вибору типу, кількості та потужності трансформаторів;

якісних та економічних характеристик електропостачання;

основних функцій та класифікацій систем керування електроприводами;

керування електроприводами за допомогою релейно-контакторної

апаратури;

системи керування електроприводом постійного струму;
системи керування електроприводом змінного струму;
системи керування положенням виконавчого органу;
взаємопов'язаних систем керування електроприводом;
основних відомості щодо організації адаптивних систем керування електроприводом.

- уміння/навички:

виконувати розрахунок електричних навантажень;
здійснювати розрахунок втрат електричної енергії;
здійснювати розрахунок короткого замикання;
аналізувати захист електрообладнання;
виконувати розрахунок пристроїв електрозаземлення;
опанувати способи вибору типу та потужності трансформаторів;
опанувати способи керування електроприводами за допомогою релейно-контакторної апаратури;

аналізувати системи керування електроприводом постійного струму;
досліджувати системи керування електроприводом змінного струму;
аналізувати системи керування положенням виконавчого органу;
аналізувати взаємопов'язані системи керування електроприводом.

- комунікація:

ефективно встановлювати і підтримувати комунікацію в навчальних ситуаціях, типових для майбутньої професійної діяльності, використовуючи ситуативну взаємодію в обмеженому колі осіб;

підтримувати розмову та аргументувати відносно тем, що обговорюються під час дискусій та семінарів, представляти та обґрунтовувати свої погляди на теми обговорення, використовуючи мовні форми, властиві для ведення дискусій;

інтеграція до соціальних груп, здатність до ефективної роботи в команді, сприйняття критики, порад і вказівок;

пояснювати, комунікувати, передавати досвід колегам, керівникам тощо;
здатність ефективно формувати комунікативну стратегію;

- відповідальність і автономія:

демонструвати соціальну відповідальність за результати прийняття рішень;
належним чином поводити себе і реагувати у типових академічних, професійних, світських і повсякденного ситуаціях, а також знати правила взаємодії між людьми у різних ситуаціях.

РОЗДІЛ I. ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

ТЕМА 1. СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

План

1. Визначення та загальні положення.
2. Основні вимоги до систем електропостачання.
3. Характеристики споживачів електроенергії.
4. Приймачі електроенергії.

1. Визначення та загальні положення

Системою електропостачання називають сукупність взаємопов'язаних електроустановок, призначених для забезпечення споживачів електричною енергією. Споживачі підприємства, організації, територіально відокремлені цехи, будівельні майданчики, квартири у яких приймачі електроенергії приєднані і використовують електроенергію. За правилами улаштування електроустановок споживачем електроенергії називається електроприймач або їх група, об'єднані технологічним процесом і розміщуються на певній території.

Приймачем електроенергії називають пристрій (апарат, агрегат, механізм), в якому відбувається перетворення електричної енергії в інший вид енергії для її використання. За технологічним призначенням приймачі електроенергії класифікуються по виду енергії, в який даний електроприймач перетворює електроенергію, а саме: електродвигуни приводів машин і механізмів, електротермічні, електрохімічні і електросилові установки, установки електроосвітлення, установки електростатичного та електромагнітного поля тощо.

Електроустановками називають сукупність машин, апаратів, ліній і допоміжного обладнання, призначених для виробництва, перетворення, передачі, накопичення, розподілу електроенергії та перетворення її в інші види енергії. Електроустановка – комплекс взаємопов'язаного обладнання та споруд. Приклади електроустановок: електрична підстанція, лінія електропередачі, розподільна підстанція, конденсаторна батарея тощо.

2. Основні вимоги до систем електропостачання

Раціонально виконана сучасна система енергоспоживання повинна задовольняти технічним і економічним вимогам, а саме:

- забезпечення безпеки робіт як для електротехнічного персоналу, так й у повному електротехнічного;
- надійність електропостачання;
- якість електроенергії, що задовольняє вимогам;
- економічність;
- можливість частих перебудов технології виробництва і розвитку підприємства;
- відсутність шкідливого впливу на навколишнє середовище.

Ці вимоги забезпечуються при проектуванні і експлуатації систем

енергоспоживання.

Система енергоспоживання – частина енергосистеми і в енергетичному плані більш проста (більш низькі напруги, менша потужність і протяжність ліній, відсутність замкнених контурів тощо) і більш складна в плані використання та перетворення електроенергії в технологічних цілях промислового виробництва. Електроприймачі як електрична частина технологічних агрегатів входять невід’ємними елементами в систему енергоспоживання і багато в чому визначають роботу цієї системи і її параметри.

3. Характеристики споживачів електроенергії.

3. Характеристики промислових споживачів електроенергії

Споживачів електроенергії систематизують за експлуатаційно – технічними ознаками: виробничому призначенню, виробничим зв’язкам, режимам роботи, потужності і напрузі, роду струму, територіальному розміщенню, вимогам до надійності електропостачання, стабільності розташування електроприймачів.

Під час проектування енергоспоживання споживачів електроенергії в основному систематизують по надійності електропостачання, режимам роботи, потужності, напрузі і роду струму.

Надійність, як одна з вимог до систем енергоспоживання, визначається числом незалежних джерел живлення і схемою електропостачання. По надійності електропостачання відповідно до вимог ПВЕ електроприймачі поділяються на три категорії:

До I категорії відносять електроприймачі (ЕП), перерва в електропостачанні яких може спричинити за собою небезпеку для життя людей, значної шкоди народному господарству, підприємству, масовий брак продукції, розлад складного технологічного процесу та ін. Наприклад ЕП I категорії: насоси водопостачання та каналізації, газоочищення, приводи обертових печей, газорозподільні пункти, вентилятори промислові, аварійне освітлення.

Зі складу I категорії виділяється особлива група ЕП, безперебійна робота яких необхідна для безаварійної зупинки виробництва з метою запобігання загрози життю людей, вибухів, пожеж і пошкодження дорогого обладнання.

До II категорії відносяться ЕП, перерви в електропостачанні яких приведуть до масового недовипуску продукції, масовим простоїв робочих, механізмів і промислового транспорту.

До III категорії відносять всі інші ЕП, що не входять в I і II категорії. Це різні допоміжні механізми в основних цехах, цеху несерійного виробництва.

Електроприймачі I категорії повинні забезпечуватися електроенергією від двох незалежних взаємно резервують джерел живлення (ДЖ). Перерва в електропостачанні від одного з джерел живлення може бути допущений лише на час автоматичного відновлення живлення від іншого.

До числа незалежних ДЖ відносяться дві секції або системи шин однієї або двох електростанцій і підстанцій при одночасному дотриманні двох умов:

– кожна із секцій або систем шин, в свою чергу, має живлення від незалежного ДЖ;

– секції (системи) шин не пов'язані між собою або мають зв'язок, автоматично відключається при порушенні нормальної роботи однієї з секцій (систем) шин.

Електроприймачі II категорії повинні забезпечуватися електроенергією від двох незалежних ДЖ, перерва в електропостачанні яких допустимо на час, необхідний для вмикання резервного живлення черговим персоналом або виїзної оперативної бригадою.

Для електроприймачів III категорії електропостачання може виконуватися від одного ДЖ за умови, що перерва в електропостачанні, необхідний для ремонту або заміни пошкодженого елемента системи енергоспоживання, не перевищує одну добу.

За режимам роботи ЕП поділяють на групи за подібністю режимів, тобто за подібністю графіків навантаження.

Розрізняють три характерні групи ЕП:

– ЕП, що працюють в тривалому або малозмінному режимі навантаження, при цьому температура частин машини або апарата не перевищує довго допустиму (ПР);

– ЕП, що працюють в режимі короткочасних навантажень (КР). У цьому режимі температура машини або апарату під час роботи не досягає тривало допустимого значення, а під час зупинки охолоджуються до температури навколишнього середовища;

– ЕП, що працюють в режимі повторно-короткочасного навантаження (ПКР). В цьому режимі короткочасні робочі режими машини або апарату змінюються короткочасними періодами відключення. При цьому нагрів не перевищує тривало допустимої температури, а охолодження не досягає температури навколишнього середовища.

Прикладами роботи ЕП в тривалому режимі є електродвигуни компресорів, насосів, вентиляторів, механізмів безперервного транспорту. У короткочасному режимі працює більшість електроприймачів, гідравлічних затворів тощо.

У ПКР працюють електродвигуни мостових кранів, тельферів, підйомників, зварювальні установки тощо.

В режимах роботи необхідно враховувати також несиметричність навантаження по фазах.

Трифазні електродвигуни та печі – симетричні навантаження. До несиметричним навантаженням (одно- і двофазним) відносяться електричне освітлення, однофазні і двофазні печі, зварювальні агрегати.

За потужністю і напругою, в залежності від сумарної встановленої потужності ЕП, підприємства поділяються на три групи:

– великі, з сумарною встановленою потужністю ЕП, яка дорівнює або більше 75 МВт;

– середні, з встановленою потужністю 5-75 МВт;

– малі, встановлена потужність яких – до 5 МВт.

Для окремих ЕП одним з головних показників з їх номінальна потужність, у електродвигунів – їх номінальна потужність, виражена в кВт. Для електропечей, зварювальних установок їх номінальною (встановленою) потужністю є потужність що живлять трансформаторів.

Для ЕП, що працюють в ПКР, за номінальну приймається потужність, приведена до тривалого режиму.

За родом струму всі споживачі електроенергії поділяються на три групи:

- працюючі від промислової мережі 50 Гц;
- працюючі від мережі змінного струму підвищеної або зниженої частоти;
- працюючі від мережі постійного струму.

Більшість ЕП промислових підприємств працюють на змінному трифазному струмі частотою 50 Гц. Установки підвищеної частоти застосовуються для нагріву під загартування, кування, штампування металів і для їх плавки. У текстильній, деревообробній промисловості, харчовій та інших галузях для живлення високошвидкісних двигунів використовуються струми частотою 130-400 Гц. Для отримання частот до 10 кГц застосовуються тиристорні перетворювачі, для частот більше 10 кГц – електронні генератори.

Від мережі постійного струму, отриманого перетворенням змінного 50 Гц струму, живляться двигуни постійного струму, цехи електролізу і гальванопокриття, агрегати електролітичного отримання металів.

Додаткові вимоги на систему енергоспоживання накладають ЕП I категорії, ЕП особливої групи, ЕП із змінним та ударним навантаженням, наявність зон з агресивним та забрудненим середовищем.

4. Приймачі електроенергії

Ефективність роботи електроприймачів, тобто процес перетворення енергії з одного виду в інший, залежить від якості електроенергії, що надходить з мережі. У свою чергу, якість електроенергії і ефективність роботи промислових електричних мереж залежать від роботи ЕП. З цих позицій спільної роботи електричних приладів приймають таку класифікацію електроприймачів і споживачів електроенергії:

- асинхронні двигуни;
- синхронні двигуни;
- вентильні перетворювачі енергії змінного струму в енергію постійного струму (некеровані і керовані випрямлячі);
- електротехнологічні установки;
- установки електричного освітлення.

ТЕМА 2. ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ І МЕТОДИ ЇХ РОЗРАХУНКУ

План

1. Рівні системи електропостачання.
2. Графіки навантаження, параметри електроспоживання.
3. Розрахунок електричних навантажень.

1. Рівні системи електропостачання

Проектування і розрахунок електричних навантажень відбуваються за рівнями системи ЕСПП, оскільки на кожному рівні може бути свій метод розрахунку навантаження. В системі ЕСПП (рис. 2.1) розрізняють шість рівнів:

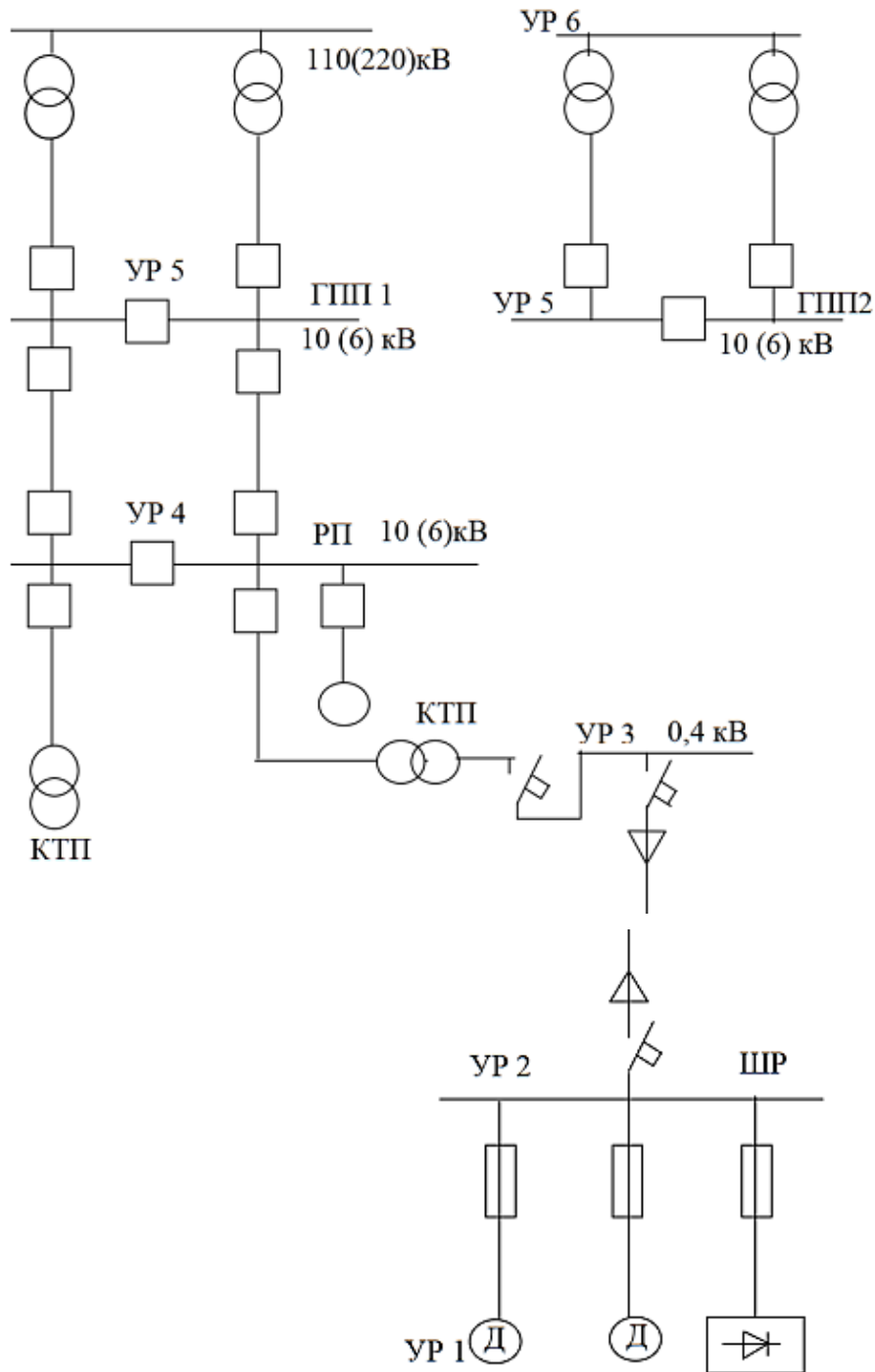


Рисунок 2.1 – Рівні (ступені) системи електропостачання підприємства

УР1 – окремі електроприймачі, апарати з багатодвигунним приводом або іншою групою електроприймачів, пов'язаних технологічно, що характеризуються паспортною потужністю;

УР2 – розподільні шафи, щити управління, шинопроводи, збірки напругою до 1 кВ змінного струму і постійного струму;

УР3 – щит низької напруги трансформаторної підстанції 10,4 кВ;

УР4 – шини 10,4 кВ трансформаторної підстанції і розподільних пунктів;

УР5 – межа поділу системи енергоспоживання підприємства і зовнішньої енергосистеми (заявлений, контрольний і звітний рівні підприємства).

Такий підхід застосовується також до системи ремонту і обслуговування електрообладнання, до завдань проектування і забезпечення функціонування системи ЕСПП.

З системою зовнішнього електропостачання УР5 пов'язаний лініями електропередачі, які приєднані до джерел живлення (ДЖ) енергосистеми.

Розрахунок електричних навантажень на різних рівнях проводиться загальноприйнятими методами, як правило, від нижчого рівня (УР2) до вищого (УР4, УР5), в комплексному методі, навпаки – від верхніх рівнів до нижніх.

2. Графіки навантаження, параметри електроспоживання

Електричне навантаження це електрична потужність $P(t)$ при рівномірному споживанні енергії A протягом часу t . Зміна навантаження протягом часу відображається графічно. Розрізняють такі графіки навантаження:

- індивідуальні, (графіки електроприймачів);
- групові, складені із індивідуальних графіків ЕП, пов'язаних технологічним процесом, групові графіки необхідні для вибору електрообладнання та провідників, що живлять групи ЕП (для УР2);
- споживачів електроенергії в цілому, що живляться від УР5 до УР4.

В індивідуальних графіках навантаження в більшій мірі, в порівнянні із іншими графіками, відображається режим роботи ЕП є можливість аналітичного формування групових графіків на основі індивідуальних, проте на виробництві це не практикується. Користуються, поряд з добовими $P(t)$, $Q(t)$ графіками електричних навантажень (рис. 2.2), змінними (найбільш завантаженої зміни) з півгодинним інтервалом усереднення, річними, поточними $P(t)$ і $Q(t)$ із годинним інтервалом усереднення і річними графіками навантажень за тривалістю.

Змінні графіки навантаження $P(t)$, $Q(t)$, як правило, будуються по УР2-УР4 для аналізу робіт цеху, дільниці, виробництва. Добові графіки навантаження $P(t)$ і $Q(t)$ – на УР4-УР5. В основу розрахунків підприємства з енергосистемою (договірні зобов'язання) закладаються дані добових графіків навантаження, зокрема $P_{\text{зmax}}$. Колись ще були зимовий і літній добові графіки навантаження, але останнім часом підприємство замовляє $P_{\text{зmax}}$ на кожен квартал. Крім ліміту із активної потужності, є обмеження для підприємства з боку енергосистеми і на споживання реактивної потужності в часи максимуму активної потужності в системі.

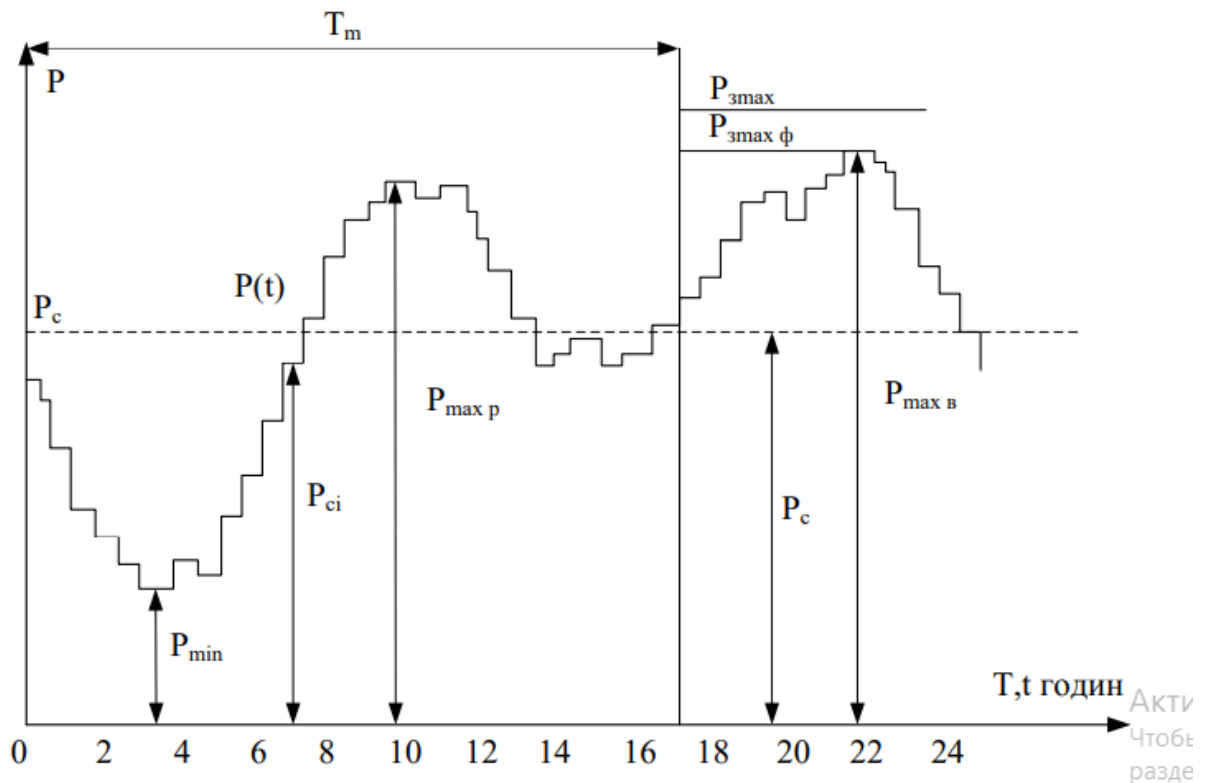


Рисунок 2.2 – Добовий $P(t)$ графік електричних навантажень

На рис. 2.2 позначено: P_{ci} – одне з 48 півгодинних усереднень; $P_{max\ \phi}$ – максимальне фактичне півгодинне навантаження за добу, що дорівнює $P_{max\ v}$ – максимальному навантаженні в вечірні години проходження максимуму в енергосистемі; $P_{max\ p}$ – ранковий максимум; P_{min} – мінімальне навантаження; P_c – середньодобове навантаження; $P_{з\ max}$ – заявлений максимум навантаження, рівний розрахунковому P_p ; T_m – число годин використання максимуму навантаження.

Для діючих підприємств на вищих рівнях системи ЕСПП УР5, УР4 є достовірний показник – витрата електроенергії A за звітний період: зміну, добу, місяць, квартал, рік.

3. Розрахунок електричних навантажень

Задача 1. У трифазну систему з нейтральним проводом увімкнуте навантаження: $R_a = 265\ \text{Ом}$, $X_{ca} = 70\ \text{Ом}$; $R_b = 220\ \text{Ом}$; $R_c = 345\ \text{Ом}$; $X_{Lc} = 160\ \text{Ом}$; $U_d = 380\ \text{В}$. Знайти струм у фазах, споживану потужність, побудувати векторну діаграму.

Знаходимо повний опір навантаження у фазах:

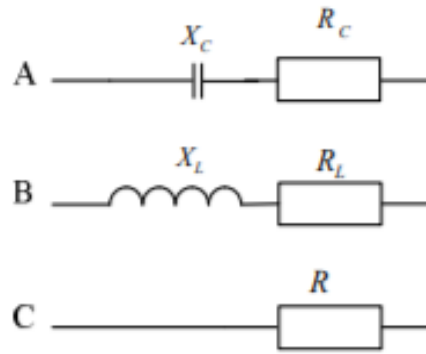


Рисунок 2.1 – Схема кола

$$Z_a = \sqrt{R_a^2 + X_{ca}^2} = \sqrt{265^2 + 70^2} = 274 \text{ Ом}$$

$$Z_B = R_b = 220 \text{ Ом}$$

$$Z_c = \sqrt{R_c^2 + X_{Lc}^2} = \sqrt{345^2 + 160^2} = 380 \text{ Ом}$$

Знаходимо струми у фазах:

$$I_a = \frac{U_A}{Z_a} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_a} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 274} = 0,81 \text{ A,}$$

$$I_B = \frac{U_B}{Z_B} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 220} = 1,0 \text{ A,}$$

$$I_C = \frac{U_C}{Z_C} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 380} = 0,85 \text{ A}$$

Знаходимо кут зсуву між напругою та струмом:

$$\varphi_A = \arctg \frac{X_{Ca}}{R_a} = \arctg \frac{70}{265} = \arctg 0,26; \varphi_a = 14^\circ$$
$$\varphi_B = 0$$

$$\varphi_C = \arctg \frac{X_{La}}{R_c} = \arctg \frac{160}{345} = \arctg 0,46; \varphi_c = 25^\circ$$

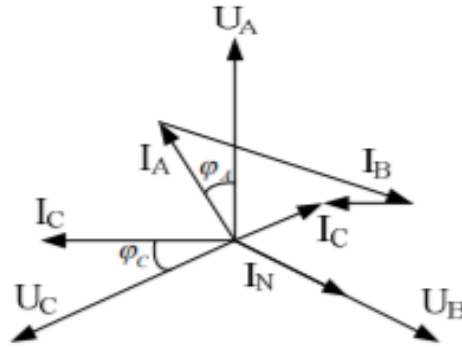
Спожита потужність:

$$P_a = U_a I_a \cos \varphi_a = 220 \cdot 0,81 \cdot \cos 14^\circ = 171 \text{ Вт,}$$

$$P_b = U_b I_B \cos \varphi_B = 220 \cdot 0,81 \cdot \cos 0 = 220 \text{ Вт},$$

$$P_C = U_C I_C \cos \varphi_C = 220 \cdot 0,58 \cdot \cos 25^\circ = 115 \text{ Вт},$$

$$P_\Sigma = P_a + P_b + P_C = 171 + 220 + 115 = 506 \text{ Вт}$$



Рисунку 2.2 – Векторна діаграма

Векторна діаграма зображена на рис. Струм у нейтральному провіднику знайдено графічним засобом.

Задача 2. У трифазну мережу з лінійною напругою 220 В увімкнено трикутником навантаження за даними задачі 1 (рис. 2.3).

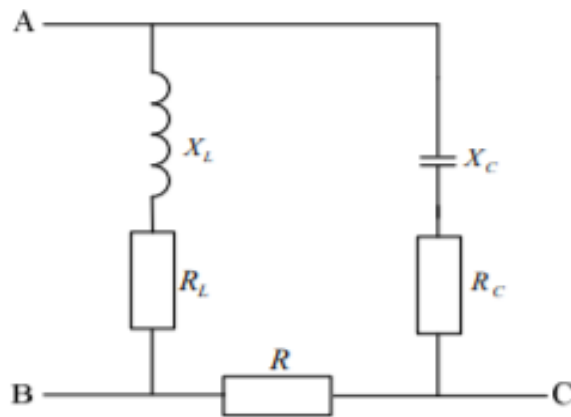


Рисунок 2.3 – Схема кола

$R_{AB} = 265 \text{ Ом}$, $X_{C(AV)} = 70 \text{ Ом}$; $R_{(BC)} = 220 \text{ Ом}$; $R_{(CA)} = 345 \text{ Ом}$; $X_{L,CA} = 160 \text{ Ом}$.

Повні опори та кути зсуву фаз навантаження такі самі, як і при з'єднанні зіркою.

$$Z_{AB} = 274 \text{ Ом}; Z_{BC} = 220 \text{ Ом}; Z_{CA} = 380 \text{ Ом}$$

$$\varphi_{ab} = 14^\circ; \varphi_{ac} = 0; \varphi_{ca} = 25^\circ$$

Діючи значення струму у фазах приймача:

$$I_{ab} = \frac{U}{Z_{ab}} = \frac{220}{275} = 0,81A; I_{bc} = \frac{U}{Z_{bc}} = 1A; I_{ca} = \frac{U}{Z_{ca}} = 0,58A$$

Векторна діаграма зображена на рис. Струм у лінійних провідниках знаходимо за допомогою геометричних побудов.

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}; I_B = I_{BC} - I_{ab}; I_C = I_{CA} - I_{BC}$$

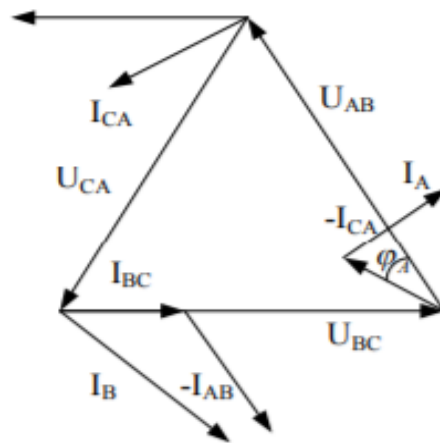


Рисунок 2.4 – Векторна діаграма

Завдання для самостійного розв'язування

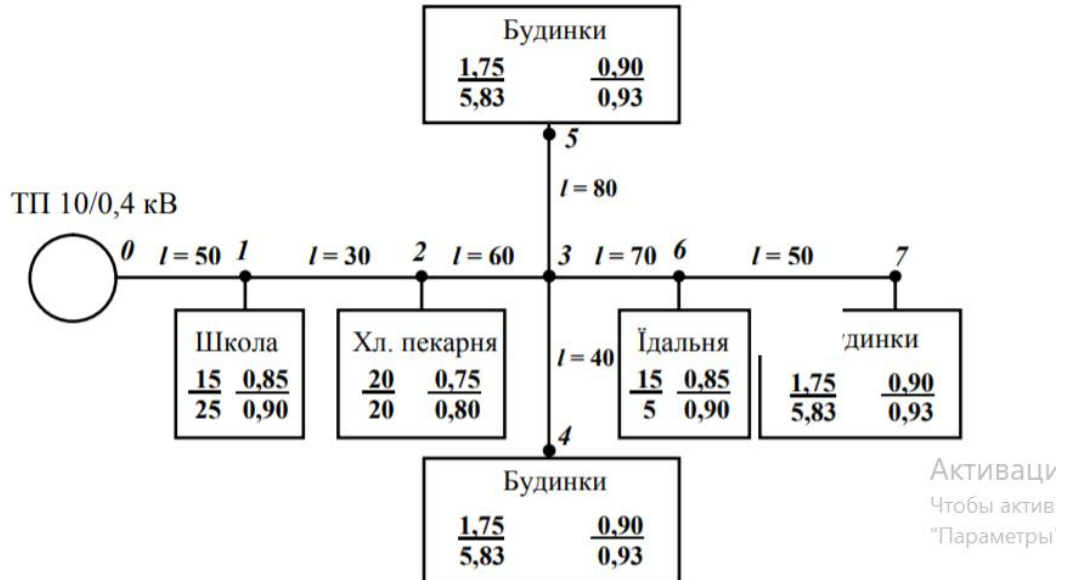
Задача 1. Варіанти для розв'язання з трифазних кіл наведено у табл. 2.1.

Символи Z_a, Z_b, Z_c – для з'єднання зіркою, Z_{AB}, Z_{BC}, Z_{CA} – для з'єднання трикутником.

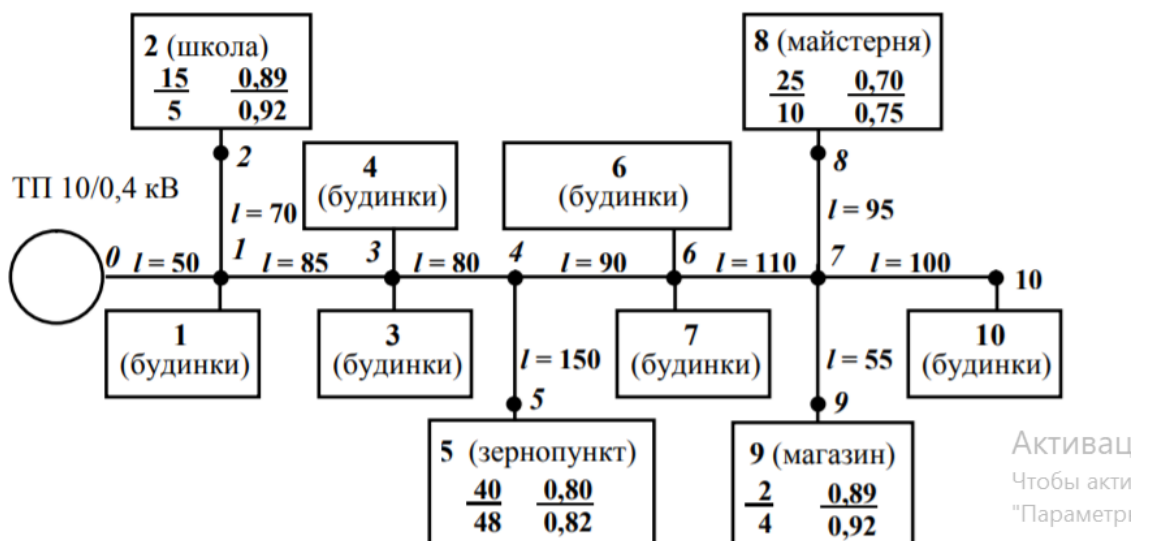
Таблиця 2.1 – Варіанти для розв'язування задач із трифазних кіл

Варіант	Опір фаз приймача								
	$Z_a (Z_{AB})$			$Z_b (Z_{BC})$			$Z_c (Z_{CA})$		
	R	X_L	X_C	R	X_L	X_C	R	X_L	X_C
1	10		10	15	10		25		
2	20	15		15	10	30	12	5	
3	12	9		12	9		12	9	
4	20	35	20			15	20		
5	12	5		12		5	13		
6	16	12		16	12		16	12	
7	60				60				60
8	40	30		40	10	40	20		
9	18	24		18	24		18	24	
10	32	24		44					24

Задача 2. П'ятнадцять житлових будинків в населеному пункті нової забудови без газифікації зібрані в три групи по п'ять будинків. Навантаження (P_d/P_v , кВт), коефіцієнт потужності ($\cos \varphi_d/\cos \varphi_v$) інших споживачів та довжини ділянок лінії 0,38 кВ (l , м) показані на розрахунковій схемі лінії (рис.). Визначити розрахункові навантаження на ділянках мережі (лінії) 0,38 кВ та загальну потужність зовнішнього освітлення вулиці.



Задача 3. Житлові будинки в населеному пункті переважно старої забудови без газифікації зібрані в групі по шість будинків. Навантаження (P_d/P_v , кВт), коефіцієнт потужності ($\cos \varphi_d/\cos \varphi_v$) інших споживачів та довжини ділянок лінії (l , м) вказані на розрахунковій схемі (рисунок). Визначити розрахункові навантаження на ділянках лінії 0,38 кВ для заданого варіанта лінії (таблиця) та загальну потужність зовнішнього освітлення вулиці.



Контрольні запитання

1. Рівні системи електропостачання.
2. Графіки навантаження, параметри електроспоживання і розрахункові коефіцієнти.
3. Розрахунок електричних навантажень комплексним методом.
4. Розрахунок електричних навантажень в мережі трифазного струму напругою до 1кВ методом впорядкованих діаграм.
5. Визначення розрахункових електричних навантажень від однофазних електроприймачів.
6. Розрахунок електричних навантажень на окремих ділянках лінії.
7. Коефіцієнт одночасності.
8. Коефіцієнт потужності.
9. Однорідні (неоднорідні) навантаження мережі .
10. Сумірні (несумірні) навантаження мережі.

Тестові завдання

Коефіцієнт потужності для групи споживачів визначається

- A. $\cos\varphi_{с.з.} = \sum(P_i \cos\varphi_i) / \sum P_i$
- B. $\cos\varphi_{с.з.} = \sum(P_i - \cos\varphi_i) / \sum P_i$
- C. $\cos\varphi_{с.з.} = \sum(P_i + \cos\varphi_i) / \sum P_i$
- D. $\cos\varphi_{с.з.} = \sum(P_i / \cos\varphi_i) / \sum P_i$

ΔP_m – надбавка від

- A. меншого навантаження
- B. більшого навантаження
- C. середнього навантаження
- D. нема вірної відповіді

Навантаження в мережі 0,38 кВ сумірні це коли

- A. не відрізняються більш ніж в два рази
- B. не відрізняються більш ніж в чотири рази
- C. не відрізняються більш ніж в п'ять разів
- D. не відрізняються більш ніж в шість разів

Навантаження окремої ділянки лінії $P_{max} = k_0 \sum P_i$, де k_0

- A. коефіцієнт одночасності
- B. коефіцієнт однорідності
- C. коефіцієнт сучасності
- D. нема вірної відповіді

Повна розрахункова потужність на ділянці лінії

- A. $S_{max} = k_0 P_{max} / \cos\varphi_{с.з.}$
- B. $S_{max} = P_{max} / \cos\varphi_{с.з.} + k_0$
- C. $S_{max} = P_{max} / \cos\varphi_{с.з.}$

$$D. S_{max} = P_{max} / \cos\varphi_{c.z.} - k_0$$

Коефіцієнти денного максимуму для виробничих споживачів приймаються наступним чином

- A. $k_d = 0,9$
- B. $k_d = 1,0$
- C. $k_d = 1,1$
- D. $k_d = 1,5$

Коефіцієнти вечірнього максимуму для виробничих споживачів приймаються наступним чином

- A. $k_b = 0,5$
- B. $k_b = 0,6$
- C. $k_b = 0,7$
- D. $k_b = 0,8$

Навантаження в мережі 0,38 кВ бувають

- A. однорідні
- B. сумірні
- C. неоднорідні
- D. усі відповіді вірні

ТЕМА 3. ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ

План

1. Основні вимоги до цехової електричної мережі.
2. Класифікація електричних мереж за конструктивними ознаками.
3. Схеми цехових електричних мереж.
4. Елементи цехових електричних мереж.

1. Основні вимоги до цехової електричної мережі

В процесі проектування і експлуатації цехова мережа повинна задовольняти вимогам економічності. Досягається це шляхом наближення високої напруги до споживачів електроенергії.

Поряд з вимогою економічності до цехової мережі пред'являються вимоги надійності роботи, можливості зростання навантажень, зміни місця розташування ЕП, тобто володіти гнучкістю. Крім зазначених вимог до цехової мережі при її проектуванні і монтажі, повинні враховуватися умови навколишнього середовища, ступінь займистості будівельних матеріалів і конструкцій будівлі, ступінь відповідальності установки, вимоги технічної естетики.

2. Класифікація електричних мереж за конструктивними ознаками

Електричні мережі напругою до 1 кВ різняться за конструкцією застосовуваних провідників, способам їх ізоляції і прокладки. Конкретне виконання мережі вибирається залежно від її призначення і умов навколишнього середовища. За способами ізоляції мережі діляться на дві групи: виконані голими проводами і шинами (повітряні лінії і струмопроводи) і виконані кабелями і ізольованими проводами. Останні отримали назва електропроводок. На рис. 3.1 наведено класифікацію мереж за конструктивними ознаками.

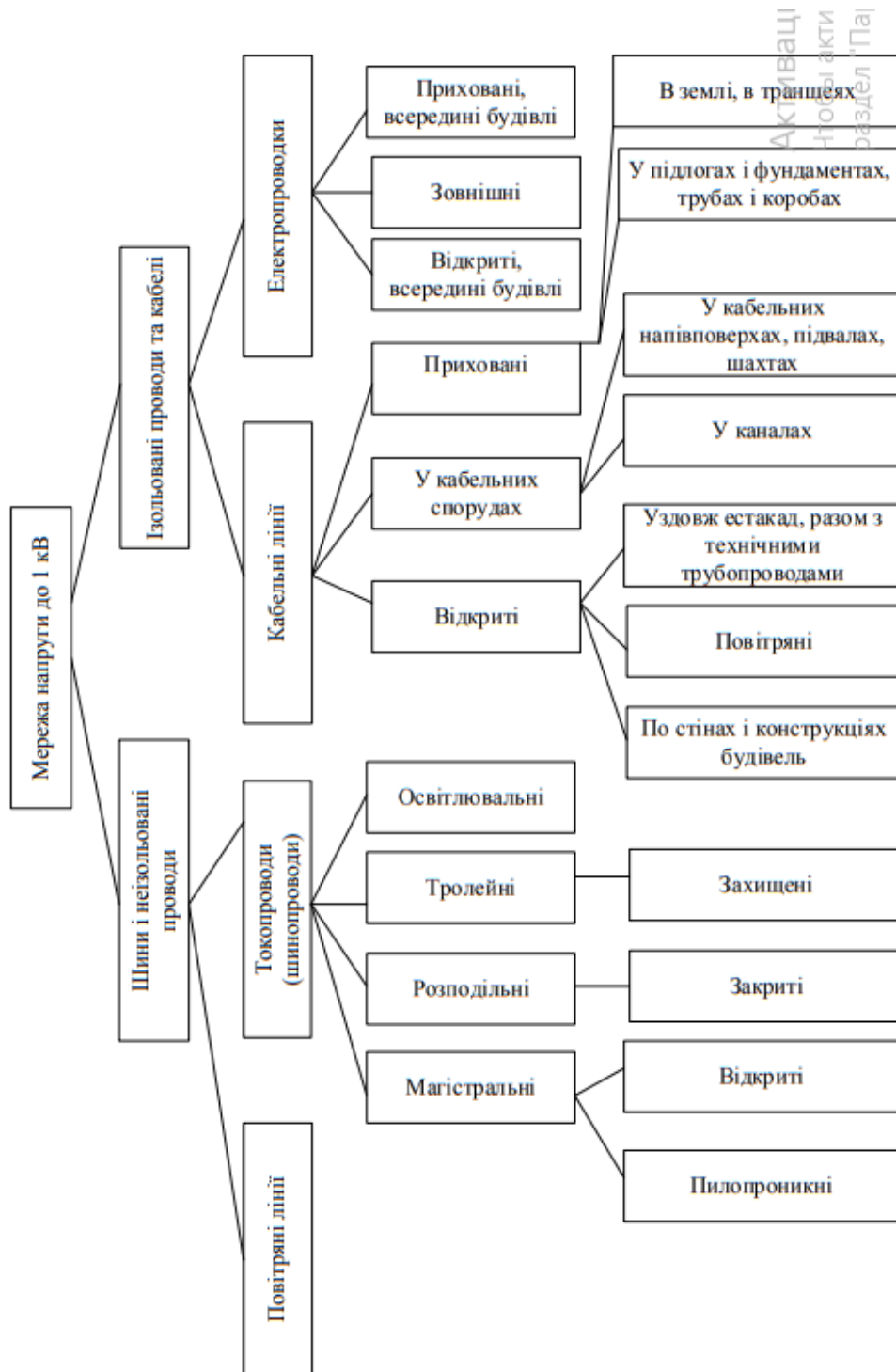


Рисунок 3.1 – Класифікація електричної мережі за конструктивними ознаками

Повітряні лінії напругою до 1 кВ застосовуються для розподілу електроенергії з міркувань економічності, зручності експлуатації. На

промислових підприємствах повітряні лінії знаходять обмежене застосування: для живлення окремих споживачів невеликої потужності і як мереж зовнішнього освітлення.

Струмопроводом є пристрій, призначений для передачі і розподілу електроенергії (рис. 3.1). Кабельні лінії найпоширеніші елементи в цехових електричних мережах. Електропроводка служить для живлення ЕП невеликої потужності, освітлювальних установок тощо. Провід й кабелі електропроводки можуть прокладатися відкрито по стінах будівель, стель, на тросах, ізоляторах, в лотках, трубах, коробках, гнучких металевих рукавах і приховано – всередині конструктивних елементів будівель, споруд.

3. Схеми цехових електричних мереж

Внутрішньо цехові мережі виконуються по радіальній, магістральній або змішаній схемі. Кожен вид схеми має свою найбільш доцільну область застосування.

Магістральні схеми широко застосовуються в приміщеннях з нормальним середовищем і рівномірним розподілом технологічного обладнання. При цьому нерідко трансформатор цехової підстанції не має розподільного щита на низькій стороні і магістральна мережа виконується за схемою блоку трансформатор-магістраль (рис. 3.2).

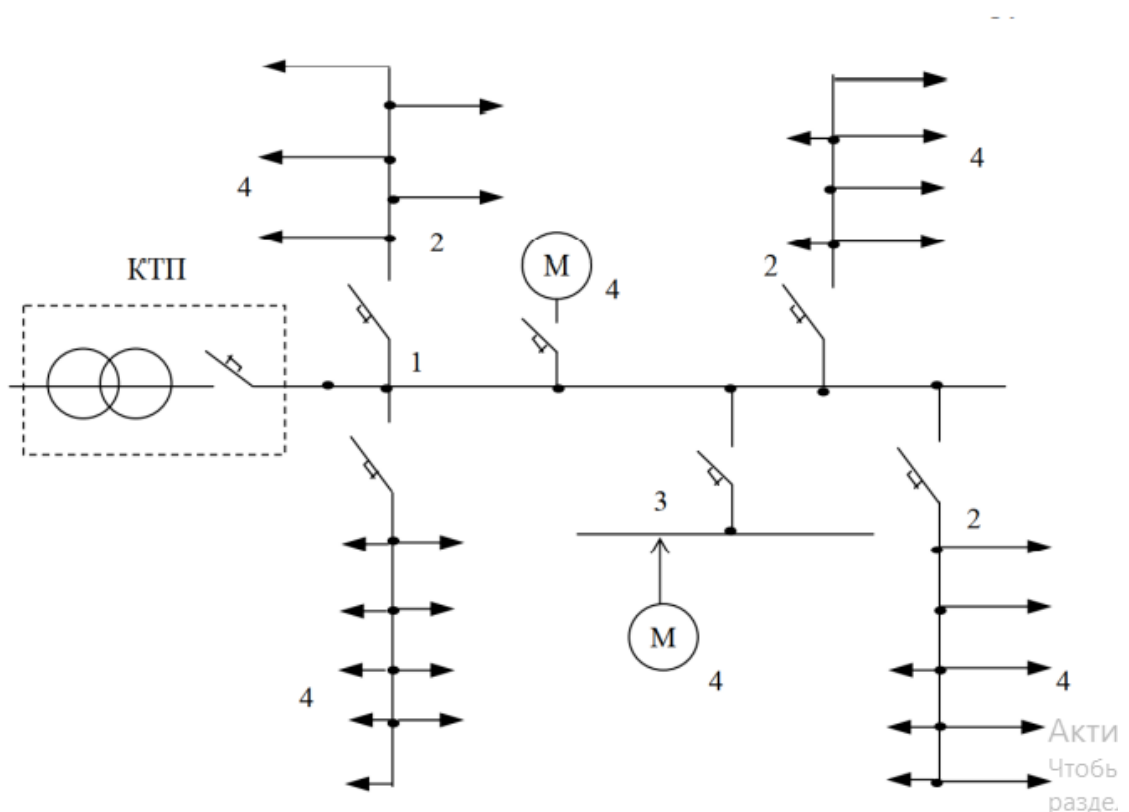


Рисунок 3.2 – Магістральна схема цехової електричної мережі: 1 – магістральний шинопровід; 2 – розподільний шинопровід; 3 – тролейний шинопровід; 4 – електроприймачі

Магістральну мережу найбільш просто виконати з використанням шинопроводів. Мережі, виконані з шинопроводів по гнучкості і універсальності є найбільш досконалими.

Як шинопроводи використовується комплектний шинопровід типу ШМА, як розподільний ШРА. В цехах, де є кілька підстанцій, для підвищення надійності електропостачання магістральні мережі живлять, як правило, від декількох підстанцій і секціонуючою нормально відключеними автоматичними вимикачами (рис. 3.3).

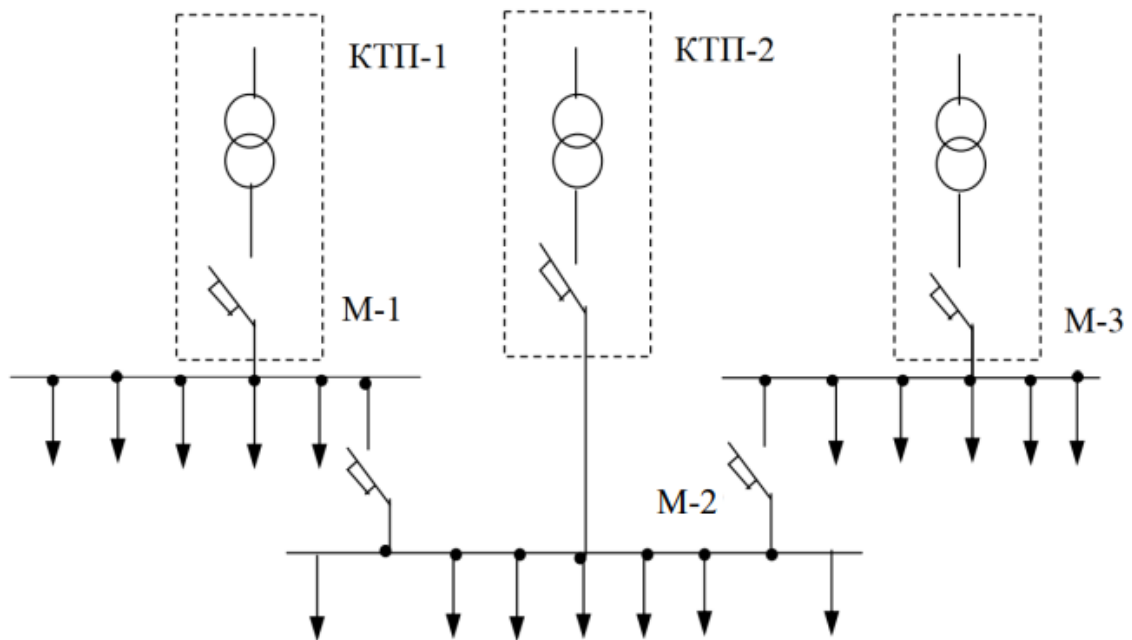


Рисунок 3.3 – Взаємне резервування магістралей

Для живлення кранових двигунів та іншого внутрішньо цехового електротранспорту застосовують тролейні лінії, виконані тролейних шинопроводами або тролєями голими проводами, чим забезпечується контакт з струмознімачем в будь-якому місці лінії.

Радіальні схеми живлення застосовуються в приміщеннях з будь-середовищем. Від ТП відходять лінії, що живлять безпосередньо потужні ЕП або розподільні шафи (пункти) ШР і силові шафи, від яких окремими лініями живлять більш дрібні ЕП (рис. 3.4). Як розподільних використовуються шафи типу ШР11 (СП62 і СПУ62) з вступним рубильником і запобіжниками на 6-8 приєднань до ЕП [3, 20], а також нові серії розподільних шаф ПР24 і ПР11, укомплектовані автоматичними вимикачами АЗ700 і АЕ2000.

Розподільні шафи зазвичай живляться від цехової ТП (КТП) кабелями, марка і спосіб прокладки яких визначаються характером середовища в приміщенні.

Перевагою радіальної схеми живлення в порівнянні з магістральною полягає в більш високій надійності електропостачання та зручність експлуатації. При коротких замикань (К.З.) припиняють роботу один або кілька ЕП, підключених до пошкодженої лінії, інші продовжують працювати.

Всі споживачі можуть втратити живлення тільки при пошкодженні на збірних шинах КТП, що мало ймовірно внаслідок досить надійної конструкції шаф КТП.

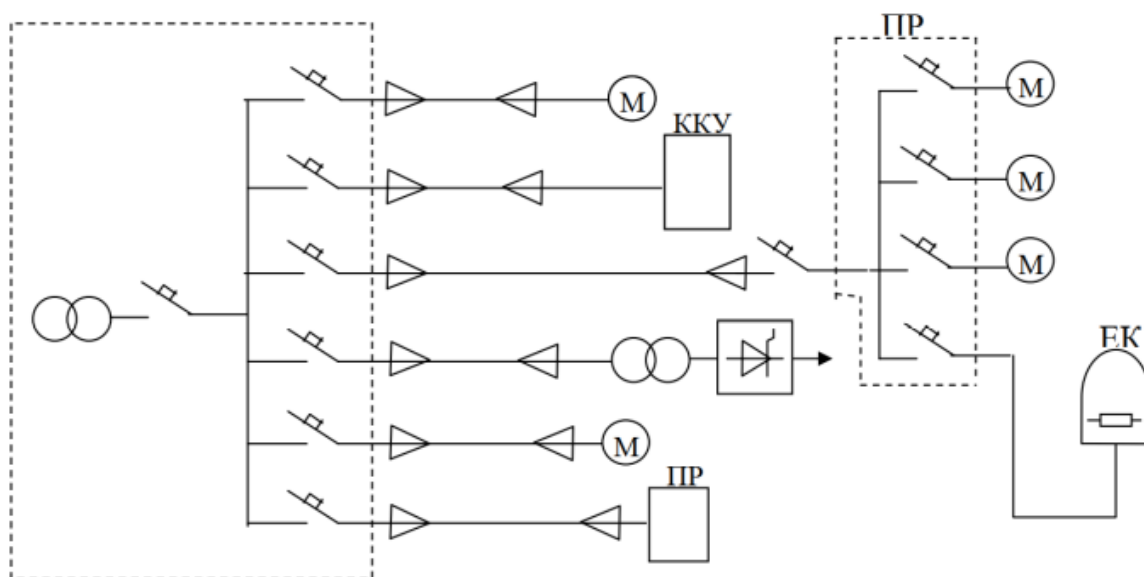


Рисунок 3.4 – Радіальна схема цехової електричної мережі: М – електродвигуни; ПР – шафи розподільчої серії ПР8501; СК – електропіч; ККУ – комплектна конденсаторна установка

Наявність на КТП і поблизу її комутаційно-захисних апаратів окремих з'єднань дозволяє легше вирішувати завдання автоматизації управління в цехової електричної мережі, ніж при розосереджених апаратах, що має місце в магістральною схемою.

Недолік радіальної схеми – це велика її вартість в порівнянні з магістральною, внаслідок великої кількості ліній до ЕП, збільшення протяжності цехової мережі, а отже, збільшення витрат кольорового металу і кількості комутаційно-захисних апаратів.

У чистому вигляді магістральні або радіальні схеми застосовуються не часто. На практиці найбільшого поширення набули змішані схеми. У цих схемах ШР часто живляться не від щита ТП, а від шинопровода.

Потужні ЕП зазвичай приєднуються безпосередньо до щита ТП або магістрального шинопровода (ШМА).

Для дистанційного керування ЕП можуть використовуватися станції управління, що представляють комплекти спільно встановлених апаратів управління, захисту, сигналізації і блокування. Як правило, станції управління виконуються відкритими, але можуть поставлятися і в захищеному виконанні в шафах. Щити станції управління ЦСУ зазвичай встановлюються в спеціальних приміщеннях, що називають приміщеннями станції управління (ПСУ).

Вибір конструкції мереж і способів їх виконання здійснюється при проектуванні на основі вивчення технології виробництва, умов довкілля, ступеня займистості конструкцій будівель, споруд.

Розташування технологічного обладнання на плані цеху, ступінь його важливості, U_q , потужності ЕП, відстань від центру живлення (ТП, КТП) до ЕП, характер навантаження (спокійне, різкозмінне) і його розподіл по площі цеху є визначальним фактором при виборі схеми цехової мережі. Вибір конструкції мереж здійснюється з урахуванням умов навколишнього середовища приміщень цехів.

4. Елементи цехових електричних мереж

Шинопроводи. За своїм призначенням шинопроводи на напругу до 1 кВ поділяються на магістральні змінного струму серії ШМА і постійного струму ШМАД, призначені для приєднання до них розподільних шинопроводів та силових розподільних шаф, щитів і окремих потужних ЕП; розподільні серії ШРА для приєднання до них ЕП; тролейні серії ШТА і ШТМ - для приєднання пересувних ЕП; освітлювальні серії ШОС – для приєднання світильників і ЕП невеликої потужності.

Те ж, що і в приміщеннях з сухою середовищем, але є пари води, здатні конденсуватися в рідкісних випадках при різких і глибоких зниженнях температури Те ж, що і в приміщеннях з вологим середовищем, але є пари води, здатні конденсуватися при невеликих зниженнях температури Температура, рівень запиленості та загазованості відповідають умовам нормального середовища, але постійно конденсуються пари води (стіни, підлога, стеля покриті вологою) С технологічна пил, що осідає на проводах і обладнанні, здатна проникати в машини і апарати Постійно або тривалий час утримуються активні гази, пари або речовина, що руйнують електроустановку, що перешкоджають нормальній роботі застосовуються або зберігаються горючі речовини За умовами технології можуть утворюватися вибухонебезпечні суміші. Кабелі й проводи. При маркуванні кабелів і проводів прийняті наступні позначення. Для ізольованих проводів і кабелів з мідними жилами не застосовуються позначення матеріалу жили; кабелі та проводи з алюмінієвими жилами мають букву А. Наприклад, провід ПР має мідну жилу, АПР – алюмінієву.

Аналогічно паперова ізоляція для кабелів не позначається, а інші види ізоляції для кабелів і проводів позначаються літерою, що відповідає першій букві: гумова Р, поліхлорвінілова В; поліетиленова – П. Матеріал оболонки кабелів маркується першою літерою: С – свинець, А – алюміній, В – поліхлорвініл, Н – негорюча гума.

Буква Г входить в позначення марок проводів, вказуючи, що вони є гнучкими (багатопровідна жила), і в позначення кабелів, у яких оболонка або захисна броня є неізольованими. Броньовані кабелі із стрічковою бронею мають букву Б, а з провідною бронею – П.

Для ізольованих проводів перша буква марки позначає матеріал проводу, друга буква П позначає провід, третя - матеріал ізоляції (Р, В, П). Також є букви, що характеризують інші елементи конструкції: Про – оплетення, Т – для прокладки в трубах, П – плоский, Ф – металева фальцювання оболонка.

Задача 1. Визначити річні втрати електричної енергії у системі електропостачання $\Delta W_{\Sigma CE}$, кВт · год (рисунок), яка складається з 2-х трансформаторів напругою 35/10 кВ потужністю $S_{н.пр.} = 1,6$ МВА з коефіцієнтом завантаження $k_3 = 0,9$ та з трьох повітряних ліній (ПЛ) напругою 10 кВ. Вихідні дані для розрахунку наведені в таблиці. Матеріал проводу ліній – алюміній.

Таблиця 3.1 – Розрахункові дані мережі

№ ПЛ	I, A	$l, км$	$F, мм^2$	$\cos \varphi$	$T, год$
ПЛ 1	30	10	35	0,75	3000
ПЛ 2	40	8	50	0,85	3000
ПЛ 3	34	7	35	0,87	3000

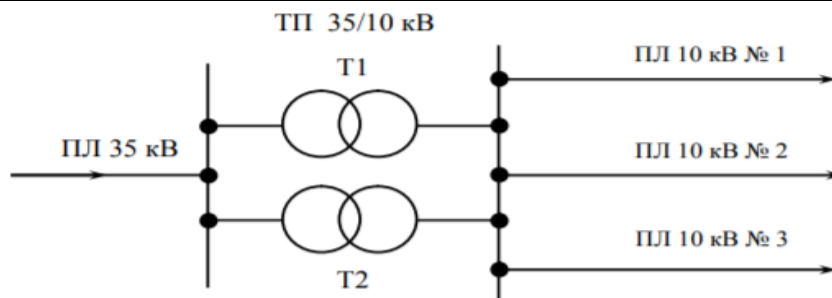


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема системи електропостачання

Розв'язання:

1. За літературними джерелами [3-5] для часу використання максимально навантаження T , год, визначаємо час максимальних втрат τ , год.

Для $T=3000$ год $\tau = 1500$ год

2. За літературними джерелами [3, 4, 11] визначаємо питомий опір проводів повітряної лінії: $r_{01} = 0,83$ Ом/км; $r_{02} = 0,58$ Ом/км; $r_{03} = 0,83$ Ом/км.

3. Визначаємо втрати електричної енергії в повітряних лініях:

$$\Delta W_d = 3r_d \cdot I_{\max d}^2 \cdot \tau$$

$$\Delta W_{ПЛ1} = 3 \cdot (0,83 \cdot 10) \cdot 30^2 \cdot 1500 = 33615000 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 33615,0 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$\Delta W_{ПЛ2} = 3 \cdot (0,58 \cdot 8) \cdot 40^2 \cdot 1500 = 333408000 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 33408,0 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$\Delta W_{ПЛ3} = 3 \cdot (0,83 \cdot 7) \cdot 34^2 \cdot 1500 = 30223620 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 30223,6 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

4. Визначаємо сумарні втрати енергій в повітряних лініях.

$$\Delta W_{\Sigma ПЛ} = \sum \Delta W_{ПЛи}$$

$$\Delta W_{\Sigma\text{ПЛ}} = 33615 + 33408 + 30223,6 = 97246,6 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

5. Визначаємо втрати електричної енергії в трансформаторах:

$$\Delta W_{\text{тр}} = \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{мн}} \left(\frac{S_{\text{max тр}}}{S_{\text{н тр}}} \right)^2 \tau + n \cdot \Delta P_x \cdot 876$$

$$\Delta P_{\text{мн}} = 12,2 \text{ кВт}; \quad \Delta P_x = 2,5 \text{ кВт} \quad [2, 3, 9]$$

$$\Delta W_{\text{тр}} = \frac{1}{2} \cdot 12,2 \left(\frac{1,6 \cdot 0,9}{1,6} \right)^2 \cdot 1500 + 2 \cdot 2,5 \cdot 8760 = 52035 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

6. Визначаємо сумарні втрати енергій в системі електропостачання

$$\Delta W_{\Sigma\text{СЕ}} = \Delta W_{\Sigma\text{ПЛ}} + \Delta W_{\text{тр}}$$

$$\Delta W_{\Sigma\text{СЕ}} = 97246,6 + 52035,0 = 149281,6 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Завдання для самостійного розв'язування

Задача 1. Визначити річні втрати електричної енергії в системі електропостачання $\Delta W_{\Sigma\text{СЕ}}$, кВт · год, що складається з силових трансформаторів напругою 35/10 кВ та повітряних ліній напругою 10 кВ. Вихідні дані по варіантам наведені в таблиці. Матеріал проводу – алюміній.

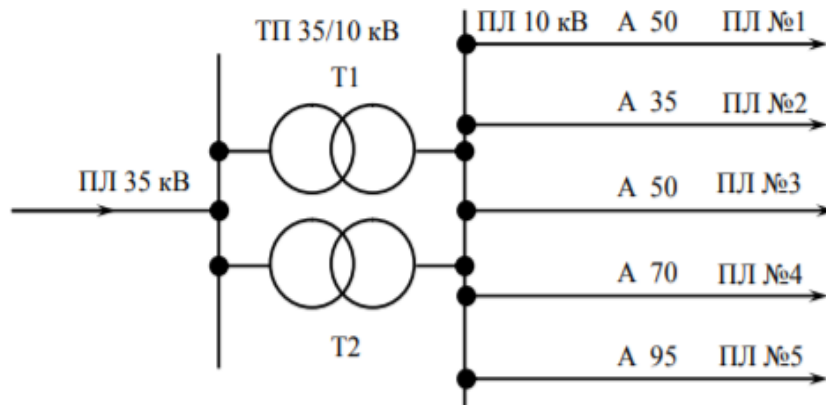


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема системи електропостачання

Таблиця 3.2 – Параметри елементів системи електропостачання

Варіант	Кількість трансформ-в	$S_{\text{н.тр.}}$, МВА	κ_3	№ лінії	Параметри лінії			№ лінії	Параметри лінії			T , год
					P , кВт;	L , км	$\cos \varphi$		P , кВт;	L , км	$\cos \varphi$	
1	2	2,5	0,95	1	450	5	0,98	4	50	5	0,90	2500
2	1	10,0	0,80	2	510	6	0,95	3	40	8	0,85	2000
3	2	4,0	0,90	3	560	7	0,90	5	58	6	0,82	3500
4	1	6,3	0,85	4	620	7	0,85	2	35	9	0,80	3000

5	2	1,6	0,70	5	770	6	0,82	2	45	10	0,78	4000
6	1	6,3	0,75	1	380	8	0,80	5	67	5	0,75	4500
7	2	1,0	0,90	2	430	9	0,78	5	55	6	0,71	5000
8	1	4,0	0,80	3	490	9	0,75	4	75	5	0,98	5200
9	2	2,5	0,70	4	600	5	0,71	5	80	3	0,85	3200
10	1	1,6	0,85	5	710	4	0,98	3	55	10	0,75	2800

Задача 2. У колі з паралельним з'єднанням елементів (рис.) визначити значення струмів окремих ланок, побудувати векторну діаграму, визначити потужність ланок та загальну потужність кола. $I_1 = 2 \text{ A}$; $R_1 = 13 \text{ Ом}$; $X_{C_1} = 18 \text{ Ом}$; $R_2 = 17 \text{ Ом}$; $X_{L_1} = 23 \text{ Ом}$; $X_{L_2} = 15 \text{ Ом}$; $X_{C_1} = 40 \text{ Ом}$.

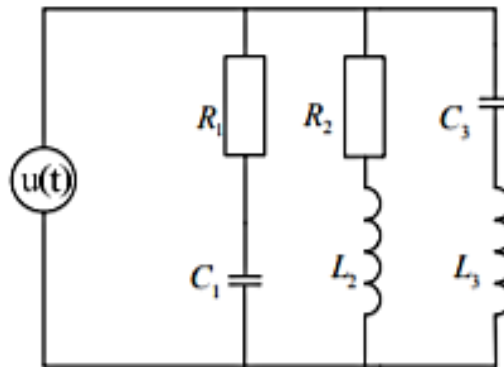


Рисунок 3.3 – Схема паралельного електричного кола

Задача 3. У нерозгалуженому колі з елементів R, L, C (рис.) дана напруга на елементів C. Знайти струм у колі, загальну напругу та напругу на елементах, побудувати векторну діаграму, визначити активну, реактивну та повну потужність кола. $R=10 \text{ Ом}$; $L=20 \text{ мГн}$; $C=600 \text{ мкФ}$; $U_C=20 \text{ В}$; $f=50 \text{ Гц}$.

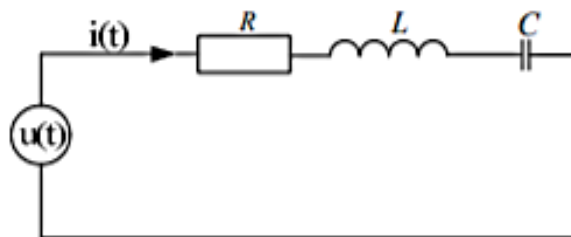


Рисунок 3.4 – Схема електричного кола

Контрольні запитання

1. Основні вимоги до цехової електричної мережі.
2. Класифікація електричних мереж за конструктивними ознаками.
3. Схеми цехових електричних мереж.
4. Картограми навантажень і центр електричних навантажень.
5. Вибір конструкції електричних мереж.
6. Елементи цехових електричних мереж.
7. Мережі захисного заземлення.
8. Коефіцієнт потужності навантаження.
9. Максимальне навантаження (потужність) лінії.

10. Питомий опір проводу.

11. Сумарні втрати потужності в трансформаторі.

Тестові завдання

В трифазній лінії з навантаженням в кінці втрати енергії ΔW , Вт·год, визначають за виразом

- A. $\Delta W = 3r_{\text{л}}^2 I_{\text{max}}^2 \tau.$
- B. $\Delta W = 3r_{\text{л}}^2 + I_{\text{max}}^2 \tau.$
- C. $\Delta W = 3r_{\text{л}}^2 - I_{\text{max}}^2 \tau.$
- D. $\Delta W = 3r_{\text{л}}^2 / I_{\text{max}}^2 \tau.$

Опір однієї фази лінії електропередачі визначається за виразом

- A. $r_{\text{л}} = r_0 l$
- B. $r_{\text{л}} = r_0 / l$
- C. $r_{\text{л}} = r_0 + l$
- D. $r_{\text{л}} = r_0 - l$

Сумарні втрати потужності в трансформаторі

- A. $\Delta P_{\text{тр.}} = \Delta P_{\text{м.н.}} \left[\frac{S_{\text{тр.}}}{S_{\text{н.тр.}}} \right]^2 + \Delta P_{\text{х}}$
- B. $\Delta P_{\text{тр.}} = \Delta P_{\text{м.н.}} + \left[\frac{S_{\text{тр.}}}{S_{\text{н.тр.}}} \right]^2 + \Delta P_{\text{х}}$
- C. $\Delta P_{\text{тр.}} = \Delta P_{\text{м.н.}} \left[\frac{S_{\text{тр.}}}{S_{\text{н.тр.}}} \right]^2 - \Delta P_{\text{х}}$
- D. $\Delta P_{\text{тр.}} = \Delta P_{\text{м.н.}} \left[\frac{S_{\text{тр.}}}{S_{\text{н.тр.}}} \right]^2 / \Delta P_{\text{х}}$

Втрати холостого ходу в трансформаторі вважаються

- A. постійними
- B. компенсаційними
- C. змінними
- D. немає вірної відповіді

Втрати потужності в провіднику згідно із законом

- A. Джоуля-Ленца
- B. Ома
- C. Ампера
- D. Герца

Електричний струм, в жилах кабельних ліній викликає втрати потужності та енергії, що проявляється у їх

- A. нагріванні
- B. руйнуванні
- C. охолодженні
- D. немає вірної відповіді

k_c – коефіцієнт допустимого систематичного навантаження трансформатора

A. $k_c = k_{c.T} - \alpha(t_{п} - t_{п.т.})$

B. $k_c = k_{c.T} - \alpha(t_{п} + t_{п.т.})$

C. $k_c = k_{c.T} \alpha(t_{п} - t_{п.т.})$

D. $k_c = k_{c.T} / \alpha(t_{п} - t_{п.т.})$

Фактичне коливання напруги визначається за виразом

A. $\Delta U_{\text{факт}} = \frac{Z_m}{Z_m + Z_{a.d.}} 100\%$

B. $\Delta U_{\text{факт}} = \frac{Z_m}{Z_m - Z_{a.d.}} 100\%$

C. $\Delta U_{\text{факт}} = U_{\text{ср}} \frac{Z_m}{Z_m + Z_{a.d.}} 100\%$

D. $\Delta U_{\text{факт}} = U_{\text{ср}} + \frac{Z_m}{Z_m + Z_{a.d.}} 100\%$

Номінальна потужність трансформатора визначається за шкалою

A. економічних інтервалів навантажень

B. фізичних інтервалів навантажень

C. штучних інтервалів навантажень

D. немає правильної відповіді

При проектуванні мережі прагнуть зменшити втрати енергії в її елементах. Однак при незмінному коефіцієнті потужності цього можна досягти лише за рахунок збільшення

A. перерізу проводів

B. довжини проводів

C. кількості проводів

D. немає вірної відповіді

ТЕМА 4. РОЗРАХУНОК КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ

План

1. Особливості розрахунку цехових електричних мереж.

2. Розрахунок струмів короткого замикання.

1. Особливості розрахунку цехових електричних мереж

Основним завданням електричних розрахунків є вибір перетинів кабелів, проводів, шинопроводів і захисних апаратів для всіх рівнів системи електропостачання напругою до 1 кВ. Вибраний перетин повинен забезпечувати допустимі відхилення напруги на клеммах всіх ЕП, нормовані стандартом за якістю електроенергії. Для кожної ділянки цехової мережі за розрахованим півгодинним максимумом навантаження і значенням максимального пускового або пікового струму вибирається перетин провідника, а також тип і значення

запобіжних уставок апаратів захисту від ненормальних режимів в мережі: тривалих, не передбачених перевантажень мережі і коротких замикань.

Вихідними даними для проведення розрахунків є схема цехової електричної мережі з розташуванням апаратів захисту, розрахункові півгодинні максимуми навантаження кожної ділянки мережі P_{max} (пускові) струми на різних рівнях схеми, номінальні потужності ЕП.

Вибір перерізу провідника пов'язаний з вибором апаратів захисту, тому вибір перерізу провідника цехової мережі і захисних апаратів виконується спільно.

Для мереж напругою до 1 кВ визначальним у виборі перерізу провідника є не економічні, а технічні вимоги та умови: нагрів провідників, їх механічна міцність, втрати напруги, термічна стійкість до струмів КЗ.

Згідно рекомендацій ПУЕ розрахунку по економічній густині струму не підлягають силові мережі до 1 кВ при числі годин використання максимуму навантаження (T_m) менше 4000-5000 годин і все освітлювальні мережі.

У зв'язку з різноманітним режимом роботи ЕП (за T_m) спільним живленням силового та освітлювального навантажень в проектній практиці при розрахунку цехових мереж напругою до 1 кВ будь-якого призначення фактор економічної густини струму, як правило, не враховується. Практично по економічній густині струму розраховуються лише мережі постійного струму в електролізних установках, для яких $T_m > 8000$ годин. Практика показала, що обрані з економічної густини струму перетин провідників в мережах напругою до 1 кВ в 2 – 3 рази перевищують розрахункові параметри поперечного перетину за технічними умовами.

2. Розрахунок струмів короткого замикання

Задача 1. Визначити струм та потужність трифазного короткого замикання в точках К1 та К2 електричної мережі, що наведена на рисунку. Активним опором елементів мережі знехтувати. Вихідні дані для розрахунку наведені на схемі. Задачу розв'язати методом практичних та відносних одиниць.

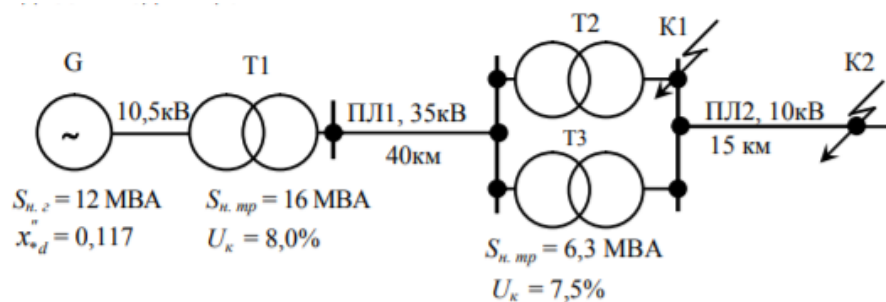


Рисунок 4.1 – Розрахункова схема електричної мережі

Розв'язання

За розрахунковою схемою (рисунок) складаємо еквівалентну схему заміщення мережі і зводимо її до простішого виду (рис. 4.2)

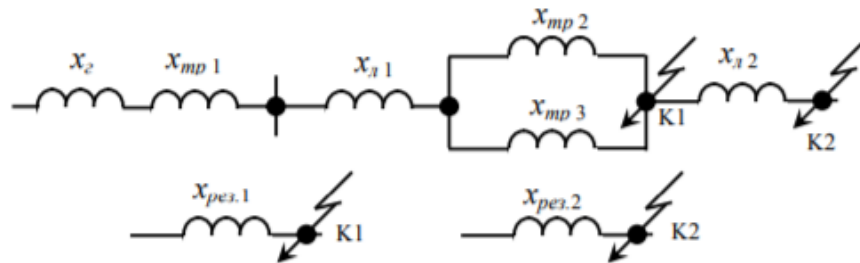


Рисунок 4.2 – Еквівалентні схеми заміщення мережі

Розрахунок в практичних одиницях

1. Приймаємо базисну напругу

$$U_6 = 1,05 \cdot U_n \qquad U_6 = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ}$$

2. Визначаємо опір елементів мережі в практичних одиницях приведені до базисної напруги.

Опір генератора:

$$x_{Г(6)} = x_{*d}^n \cdot \frac{U_6^2}{S_{НГ}} \qquad x_{Г(6)} = 0,117 \cdot \frac{10,5^2}{12} = 1,07 \text{ Ом}$$

Опір підвищувального трансформатора Т1:

$$x_{Тр(6)} = \frac{U_K\%}{100} \cdot \frac{U_6^2}{S_{Н\text{ тр}}} \qquad x_{Тр1(6)} = \frac{8,0}{100} \cdot \frac{10,5^2}{16,0} = 0,55 \text{ Ом}$$

Опір повітряної лінії напругою 35 кВ (ПЛ1):

$$x_{л(6)} = x_o \cdot l \cdot \left(\frac{U_6}{U_{с.н}} \right)^2; \text{ приймаємо, що } x_o = 0,4 \text{ Ом/км, тоді}$$

$$x_{1л(6)} = 0,4 \cdot 40,0 \cdot \left(\frac{10,5}{37,0} \right)^2 = 1,29 \text{ Ом}$$

Опір знижувальних трансформаторів Т2 та Т3:

$$x_{Тр2(6)} = x_{Тр3(6)} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{10,5^2}{6,3} = 1,31 \text{ Ом}$$

Опір повітряної лінії напругою 10 кВ (ПЛ2):

$$x_{2л(6)} = 0,4 \cdot 15,0 \cdot \left(\frac{10,5}{10,5} \right)^2 = 6,0 \text{ Ом}$$

3. Визначаємо результуючий опір до точки К1:

$$Z_{\text{рез}(б)} = \sqrt{\left(\sum r_{(б)i}\right)^2 + \left(\sum x_{(б)i}\right)^2}$$

Так як ми знехтували активним опором проводів, то записуємо:

$$Z_{\text{рез}1(б)} = x_{\text{рез}1(б)} = x_{\Gamma(б)} + x_{\text{тр}1(б)} + x_{\text{л}1(б)} + \frac{x_{\text{тр}2(б)}}{2}$$

$$x_{\text{рез}1(б)} = 1,07 + 0,55 + 1,29 + \frac{1,31}{2} = 3,56 \text{ Ом}$$

4. Визначаємо результуючий опір до точки К2:

$$x_{\text{рез}2(б)} = x_{\text{рез}1(б)} + x_{\text{л}2(б)} \quad x_{\text{рез}2(б)} = 3,56 + 6,0 = 9,56 \text{ Ом}$$

5. Визначаємо струм трифазного короткого замикання в точці К1:

$$I_k^{(3)} = \frac{U_б}{\sqrt{3} \cdot x_{\text{рез}(б)}} \quad I_k^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 3,56} = 1,70 \text{ кА}$$

6. Визначаємо струм трифазного короткого замикання в точці К2:

$$I_k^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 9,56} = 0,63 \text{ кА}$$

7. Визначаємо потужність трифазного короткого замикання:

$$S_k^{(3)} = \sqrt{3} \cdot U_б \cdot I_k^{(3)}$$

в точці К1: $S_{k1}^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 1,7 = 30,9 \text{ МВА}$

в точці К2: $S_{k2}^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,63 = 11,4 \text{ МВА}$

Розрахунок у відносних одиницях.

1. Задаємося базисними умовами:

$$U_{б1} = 1,05 \cdot 35 = 37,0 \text{ кВ}; \quad U_{б11} = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ}; \quad S_б = 100 \text{ МВА}$$

2. Визначаємо опір елементів мережі у відносних одиницях приведений до базисних умов.

Опір генератора:

$$x_{*Г(б)} = x_{*d}^n \cdot \frac{S_б}{S_{нг}} \quad x_{*Г(б)} = 0,117 \cdot \frac{100}{12} = 0,98$$

Опір підвищувального трансформатора Т1:

$$x_{*тр(б)} = \frac{U_k\%}{100} \cdot \frac{S_б}{S_{ннн}} \quad x_{*тр(б)} = \frac{8,0}{100} \cdot \frac{100}{16} = 0,50$$

Опір повітряної лінії напругою 35 кВ (ПЛ1):

$$x_{*л1(б)} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_б}{U_{бл}^2} \quad x_{*л1(б)} = 0,4 \cdot 40,0 \cdot \frac{100}{37^2} = 1,17$$

Опір знижувальних трансформаторів Т2 та Т3:

$$x_{*тр2(б)} = x_{*тр3(б)} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{100}{6,3} = 1,19$$

Опір повітряної лінії напругою 10 кВ (ПЛ2):

$$x_{*л2(б)} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_б}{U_{бн}^2} \quad x_{*л2(б)} = 0,4 \cdot 15,0 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 5,44$$

3. Визначаємо результуючий опір до точки К1:

$$Z_{*рез1(б)} = x_{*рез1(б)} = x_{*Г(б)} + x_{*тр1(б)} + x_{*л1(б)} \frac{x_{*тр2(б)}}{2}$$

$$x_{*рез1(б)} = 0,98 + 0,50 + 1,17 + \frac{1,19}{2} = 3,25$$

4. Визначаємо результуючий опір до точки К2:

$$x_{*рез2(б)} = x_{*рез1(б)} + x_{*рл2(б)} \quad x_{*рез2(б)} = 3,25 + 5,44 = 8,69$$

5. Визначаємо струм трифазного короткого замикання в точці К1:

$$I_k^{(3)} = \frac{I_б}{x_{*рез(б)}}; \quad I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3}U_б}; \quad I_б = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА}$$

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{5,5}{3,25} = 1,70 \text{ кА}$$

6. Визначаємо струм трифазного короткого замикання в точці К2:

$$I_{k2}^{(3)} = \frac{5,5}{8,69} = 0,63 \text{ кА}$$

7. Визначаємо потужність трифазного короткого замикання:

$$S_k^{(3)} = \frac{S_\sigma}{x_{*\text{рез}(\sigma)}}$$

в точці К1: $S_{k1}^{(3)} = \frac{100}{3,25} = 30,8 \text{ МВА}$

в точці К2: $S_{k2}^{(3)} = \frac{100}{8,69} = 11,5 \text{ МВА}$

Завдання для самостійного розв'язування

Задача 1. Споживач ТП 10/0,4 кВ (рисунок) отримує живлення від районної трансформаторної підстанції (РТП) 35/10 кВ лінією 10 кВ довжиною l_2 , км, що виконана проводом АС перерізом F_2 , мм². РТП 35/10 кВ із n трансформаторами, потужністю $S_{н.тр.}$, МВА, приєднана до системи електропостачання С, що має потужність к.з. $S_{к.с.}$, МВА, повітряною лінією 35 кВ довжиною l_1 , км, що виконана проводом марки АС перерізом F_1 , мм². Визначити струм трифазного та двофазного к.з., ударний струм та потужність трифазного к.з. в точках К1 та К2. Вихідні дані для розрахунку за варіантами наведені в табл. 4.1.

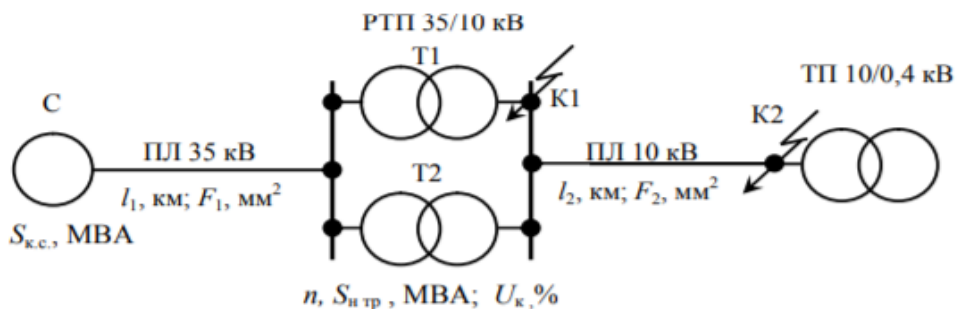


Рисунок 4.3 – Розрахункова схема мережі

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для розрахунку

Вар.	$S_{к.с.},$ МВА	$l_1,$ км	$F_1,$ мм ²	$n,$ шт	$S_{н.тр.},$ МВА	$U_k,$ %	$l_2,$ км	$F_2,$ мм ²
1	100	20,0	АС-120	2	6,3	7,5	3,0	АС-35
2	130	15,0	АС-120	1	10,0	7,5	4,0	АС-50
3	160	10,0	АС-95	2	2,5	6,5	6,0	АС-35
4	190	4,0	АС-70	1	6,3	7,5	8,0	АС-70
5	220	30,0	АС-120	2	1,0	6,5	10,0	АС-95
6	250	26,0	АС-120	1	2,5	6,5	12,0	АС-95
7	280	35,0	АС-95	2	1,6	6,5	14,0	АС-70
8	310	17,0	АС-95	1	1,0	6,5	16,0	АС-50
9	340	33,0	АС-150	2	10,0	7,5	17,0	АС-120
10	370	11,0	АС-95	1	1,0	6,5	2,0	АС-70

Задача 2. Повітряна лінія напругою 0,38 кВ відходить від шин споживчої трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ. Розрахункові дані наведені на схемі мережі (рисунок). Визначити струм трифазного к.з. в точці К1 та струм однофазного к.з. в точці К3.

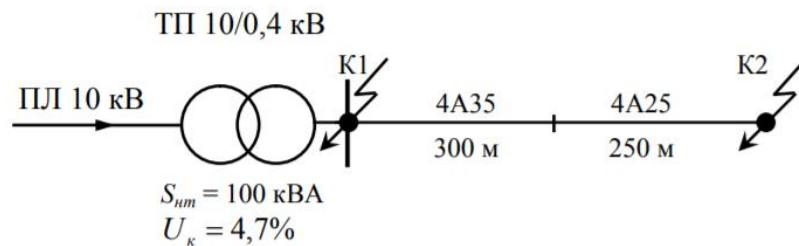


Рисунок 4.4 – Розрахункова схема мережі

Задача 3. Повітряна лінія напругою 0,38 кВ (рисунок) приєднана до шин 0,4 кВ споживчої ТП 10/0,4 кВ із n трансформаторами потужністю $S_{н.тр.},$ кВА. Опір системи не відомий. Розрахувати максимальні та мінімальні значення струмів к.з. мережі 0,38 кВ в розрахункових точках. Вихідні дані для розрахунку за варіантами наведені в табл. 4.2.

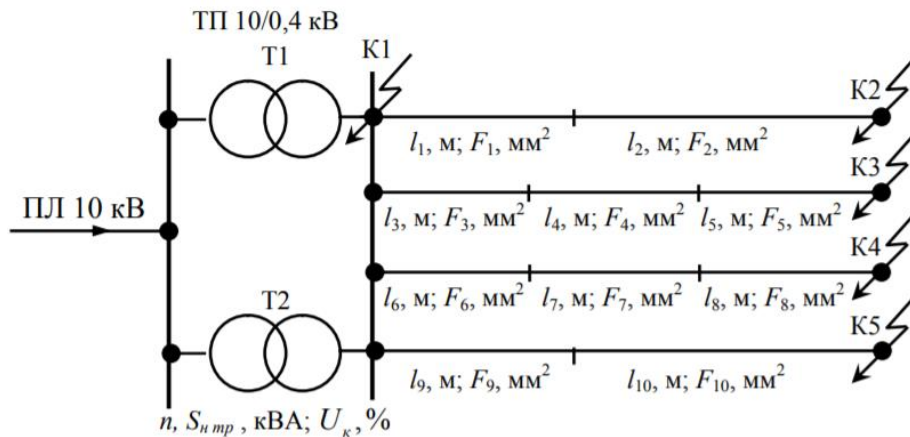


Рисунок 4.2 – Розрахункова схема мережі

Таблиця 4.2 – Вихідні дані електричної мережі

Варіанти	n, шт	S _{н.тр.} , кВА.	Ділянки лінії									
			1		2		3		4		5	
			l ₁ , м	F ₁ , мм ²	l ₂ , м	F ₂ , мм ²	l ₃ , м	F ₃ , мм ²	l ₄ , м	F ₄ , мм ²	l ₅ , м	F ₅ , мм ²
1	1	250	200	70	100	50	510	70	220	35	100	16
2	2	160	100	35	200	25	200	70	100	50	150	35
3	1	100	300	50	200	35	100	35	200	25	220	16
4	2	400	400	70	170	50	310	50	200	35	180	25
5	1	63	250	25	100	16	400	70	170	50	330	35
6	2	25	150	35	250	25	250	35	100	25	120	16
7	1	630	350	70	300	35	150	35	250	25	50	16
8	2	40	450	70	180	25	350	70	300	35	150	16
9	1	160	500	50	250	35	450	70	180	25	80	16
10	2	250	220	35	100	25	500	70	250	50	180	25

Контрольні запитання

1. Особливості розрахунку цехових електричних мереж.
2. Розрахунок електричної мережі напругою до 1 кВ за умовами нагріву і захисту.
3. Розрахунок електричної мережі напругою до 1 кВ за умовами термічної стійкості до струмів короткого замикання.
4. Розрахунок електричної мережі по втраті напруги.
5. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі напругою до 1 кВ.
6. Метод відносних (умовних) одиниць.
7. Метод практичних одиниць.
8. Результуючі опори до точок к.з.
9. Базисна напруга.

Тестові завдання

При визначенні струмів замикання в мережах низької напруги треба враховувати

- А. індуктивний опір
- В. активний опір
- С. пасивний опір
- Д. вірні перша та друга

До несиметричних к.з. можна віднести

- А. двофазне
- В. двофазне через землю
- С. однофазне к.з..
- Д. усі відповіді вірні

Для визначення максимальних струмів к.з. в заданих точках мережі приймають ряд припущень

- A. всі джерела живлення включені і працюють із номінальним навантаженням
- B. всі синхронні генератори електростанцій оснащені пристроями автоматичного регулювання збудження (АРЗ) і мають форсування збудження
- C. розрахункова напруга кожного ступеня мережі на 5% більша від номінальної
- D. усі відповіді вірні

Для того щоб знайти еквівалентний опір мережі необхідно привести всі опори елементів мережі до однієї напруги, яку називають

- A. базисною
- B. максимальною
- C. мінімальною
- D. усі відповіді вірні

Базисна напруга визначається як: A. $U_6 = 1,05U_H$

B. $U_6 = 1,15U_H$

C. $U_6 = 1,2U_H$

D. $U_6 = 1,25U_H$

При коротких замиканнях на шинах 35 та 10 кВ підстанцій із напругою вищого ступеня 110 кВ і більше ударний коефіцієнт дорівнює

- A. 1,7
- B. 1,75
- C. 1,8
- D. 1,9

Діюче значення повного струму трифазного к.з. за перший період визначається за виразом

A. $I_y = I_k \sqrt{1 + 2(k_y - 1)^2}$

B. $I_y = I_k / \sqrt{1 + 2(k_y - 1)^2}$

C. $I_y = I_k \sqrt{1 + 2(k_y + 1)^2}$

D. $I_y = I_k \sqrt{1 - 2(k_y - 1)^2}$

Струм двофазного к.з. (мінімальний струм к.з. в мережах напругою 6...35 кВ)

A. $I_k^{(2)} = 0,85I_k^{(3)}$

B. $I_k^{(2)} = 0,87I_k^{(3)}$

C. $I_k^{(2)} = 0,9I_k^{(3)}$

D. $I_k^{(2)} = 0,95I_k^{(3)}$

**Потужність трифазного КЗ. визначається за наступними виразами:
– в практичних одиницях**

- A. $S_k^{(3)} = \sqrt{3}U_6 I_k^{(3)}$
- B. $S_k^{(3)} = \sqrt{2}U_6 I_k^{(3)}$
- C. $S_k^{(3)} = \sqrt{3}U_6 / I_k^{(3)}$
- D. $S_k^{(3)} = \sqrt{3}U_6 + I_k^{(3)}$
- E.

У відносних одиницях

- A. $S_k^{(3)} = \frac{S_6}{x_{*рез(6)}} + I$
- B. $S_k^{(3)} = \frac{S_6}{x_{*рез(6)}} - U$
- C. $S_k^{(3)} = K \frac{S_6}{x_{*рез(6)}}$
- D. $S_k^{(3)} = \frac{S_6}{x_{*рез(6)}}$

ТЕМА 5. ЗАХИСТ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

План

1. Захист електрообладнання.
2. Захист цехових електричних мереж.

1. Захист електрообладнання

У цехових мережах можуть виникати такі ненормальні за струмом режими роботи:

- збільшення струму внаслідок перевантаження;
- збільшення струму в момент пуску або самозапуску двигунів;
- збільшення струму внаслідок КЗ.

Короткі замикання можуть призвести до вибуху або навіть вибуху, якщо не вжити заходів до швидкого відключення пошкодженої ділянки лінії, ЕП

Менш небезпечні для лінії перевантаження. Невеликі за величиною і короткочасні перевантаження провідників не являють для них безпосередньої небезпеки, проте тривалі перевантаження ведуть до старіння ізоляції і зниження її ізоляційних властивостей. В результаті можливі травми в разі дотику людини до проводу з пошкодженою ізоляцією або КЗ з зазначеними вище наслідками.

Захист від струмів КЗ є обов'язковою для всіх елементів мережі, час його дії повинен бути мінімальним для зменшення термічного і динамічного ефектів від струму КЗ і необхідно, щоб забезпечувалася селективність (вибірковість).

Перевантаження є менш небезпечною і в ряді випадків допускається відмова від застосування захисту провідників від перевантаження. Згідно ПУЕ захист від перевантаження обов'язковий:

- для мереж всередині приміщень, виконаних відкрито прокладеними провідниками з горючою зовнішньою оболонкою або ізоляцією;
- освітлювальних мереж у житлових і громадських будівлях, торгових приміщеннях, службово-побутових приміщеннях промислових підприємств, включаючи мережі для побутових і переносних ЕП, а також в пожежонебезпечних зонах;
- силових мереж на промислових підприємствах, в житлових і громадських будівлях, торгових приміщеннях тільки у випадках, коли за умовами технологічного процесу або за режимом роботи мережі може виникати тривале перевантаження провідників;
- провідників силових, освітлювальних і вторинних кіл у мережах напругою до 1 кВ у вибухонебезпечних зонах класів В-1, В-1а, В-П і В-Па. Автоматами захисту електродвигунів, провідників і шинопроводів від впливу великих струмів в мережах напругою до 1 кВ, зазвичай служать плавкі запобіжники (з набором плавких вставок) і автоматичні вимикачі з електромагнітними, напівпровідниковими або комбінованими розмелювачами пристроями, що забезпечують відключення автомата при ненормальних за струмом режимах в мережі.

2. Захист цехових електричних мереж

Запобіжник складається з корпусу, в якому знаходиться металева пластинка або нитку, яка є штучною ослабленою ланкою в колі струму. Струм, що перевищує нормальний, нагріває плавку вставку, викликаючи її розплавлення. Чим більше струм, тим швидше підвищується температура вставки і тим менше потрібно часу, щоб вставка розплавилася.

За конструктивними ознаками запобіжники на напругу до 1 кВ поділяються на дві групи:

- без наповнювача розбірні (ПР-1, ПР-2):
- з наповнювачем (насіпні) не розбірні і розбірні (НПН-2, ПИ-2). За матеріалом вставки розрізняють запобіжники:
 - з великою тепловою інерцією (свинець, його сплави), що витримують значні короткочасні перевантаження по струму (рис. 5.1, а);
 - безінерційні, з малою тепловою інерцією, тобто з обмеженою здатністю до перевантажень (мідь, срібло, цинк).

Запобіжники мають в порівнянні з іншими апаратами захисту (автоматичними вимикачами) рядом переваг, а саме: простота і надійність в експлуатації, велика швидкодія, струмообмежувальна здатність, менша вартість.

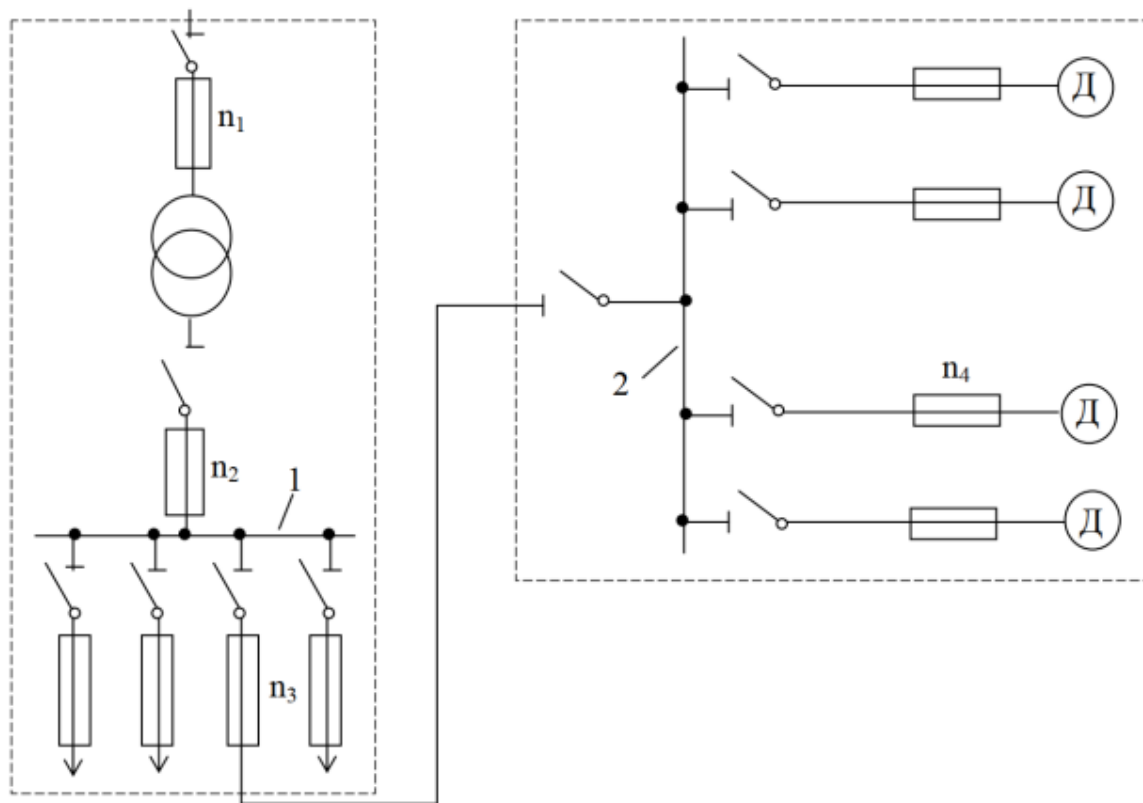


Рисунок 5.1 – Розташування запобіжників за радіальною схемою

Захист автоматичними вимикачами. Вони призначаються для заміни рубильників і запобіжників і є більш досконалішими апаратами захисту в мережах напругою до 1 кВ, так як після відключення вони готові до швидкого повторного вмикання. Це апарати багаторазового дії, забезпечені пристроями витримки часу, щоб забезпечити виборчу дію захисту. Всі автомати мають в кожній фазі максимальне струмове реле прямої дії – розцеплювач. Він складеться з двох елементів: нагрівального на основі біметалічної пластини, що здійснює захист від перевантаження з витримкою часу, його називають тепловим, і електромагнітного елемента, що здійснює максимальний струмовий захист з витримкою або без витримки часу – відсічення при токах КЗ. Деякі типи автоматів, наприклад серії ВА-50, АЕ-2000 та ін. Крім зазначених розцеплювачів, мають ще незалежні і мінімальні. Незалежні - для дистанційного відключення автомата. Розцеплювач мінімальної напруги працює аналогічно реле мінімальної напруги і відключає вимикач при зниженні напруги в мережі. Деякі серії автоматів випускаються з дистанційним приводом вмикання і відключення, що дозволяє автоматизувати управління цеховими ЕП. Ряд серій автоматів (А3700, ВА62, «Електрон») замість теплового розцеплювача максимального струму містять напівпровідниковий (може бути також і електромагнітний розцеплювач).

Задача 1. В майстерні встановлені електродвигуни та освітлювальні установки. За технологією можливе перенавантаження двигуна М1. Лінія ТП-ТЩ (рис. 5.2) прокладена кабелем з паперовою ізоляцією в каналі при $t_{01} = 20^{\circ}\text{C}$. На інших ділянках проводка виконана проводом АПВ в трубах. Освітлювальне навантаження та електродвигун М2 захищене плавки

запобіжниками FU1...FU3 та FU4...FU6, інші споживачі – автоматами QF1, QF2. Температура в приміщенні майстерні $t_{02} = 30^{\circ}\text{C}$. Напруга мережі 380 В. Коефіцієнт одночасності на ділянці ТП-РЩІ прийняти рівним 0,9. Параметри споживачів електроенергії наведені в таблиці.

Вибрати параметри захисних апаратів та переріз проводів і кабелю за допустимим нагріванням.

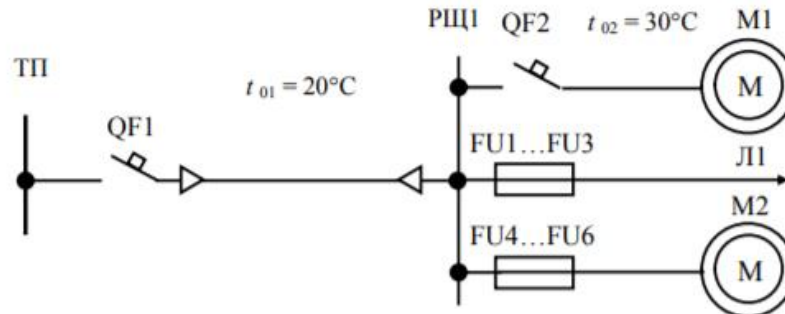


Рисунок 5.2 – Розрахункова схема мережі

Таблиця 5.1 – Параметри споживачів електроенергії

Параметри	Споживач		
	М1	М2	Л1
$P_{\text{н}}$, кВт	55,0	15,0	11,0
Тип	фазний ротор	к.з. ротор	-
k_j	1,5	7,0	1,0
$\eta_{\text{м}}$	0,84	0,89	1,0
$\cos \varphi_{\text{н}}$	0,88	0,9	1,0
k_3	0,85	1,0	1,0

Розв'язування

Ділянки мережі РЩІ-М1:

1. Визначаємо номінальний струм електродвигуна М1:

$$I_{\text{н.дв.}} = \frac{P_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}}}; \quad I_{\text{н.дв.}} = \frac{55,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,84 \cdot 0,88} = 113,2 \text{ А}$$

2. Робочий (розрахунковий) струм лінії:

$$I_p = k_3 \cdot I_{\text{н.дв.}}; \quad I_p = 0,85 \cdot 113,2 = 96,2 \text{ А}$$

3. Вибираємо тип автоматичного вимикача: ВА51.

4. Номінальна напруга автомата:

$$U_{\text{н.авт.}} \geq U_{\text{н.мер.}}; \quad U_{\text{н.авт.}} = 660 \text{ В}; \quad 660 > 380$$

5. Номінальний струм автомата:

$$I_{\text{н.авт}} > I_p; \quad I_{\text{н.авт}} = 100 \text{ А}; \quad 100 > 96,2$$

6. Номінальний струм теплового розчіплювача:

- умова 1:

$$I_{\text{н.т.р.}} \geq I_p; \quad I_{\text{н.т.р.}} = 100\text{А}; \quad 100 > 96,2$$

- умова 2:

$$I_{\text{н.т.р.}} \geq \frac{I_{\text{max.}}}{\alpha}; \quad I_{\text{н.т.р.}} = 80\text{А}; \quad 80 > \frac{169,8}{2,5} = 67,9$$

$$I_{\text{max.}} = k_i \cdot I_{\text{н}}; \quad I_{\text{max.}} = 1,5 \cdot 113,2 = 169,8\text{А}$$

Остаточно приймаємо $I_{\text{н.т.р.}} = 100\text{А}$ (за умовою 1).

7. Струм справцювання електромагнітного розчіплювача:

$$I_{\text{с.ем.р}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{max.}}; \quad I_{\text{с.ем.р}} = k_{\text{відс}} \cdot I_{\text{н.т.р.}};$$

$$I_{\text{с.ем.р}} = 7 \cdot 100 = 700\text{А}; \quad 700 > (1,25 \cdot 169,8) = 212,3$$

8. Допустимий струм проводу АПВ (три одножильних проводів прокладені в трубі) при захисті від короткого замикання та перевантаження:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{у.а}}; \quad I_{\text{доп}} \geq 100\text{А};$$

$$F = 50 \text{ мм}^2; \quad I_{\text{доп.табл}} = 130\text{А}$$

9. Вибраний переріз проводу необхідно перевірити за умовою:

$$I_{\text{доп.табл}} \cdot k_t \geq I_{\text{у.дв}}$$

Для проводу АПВ $t = 70^\circ\text{C}$. При температурі повітря $t_0 = 30^\circ\text{C}$, $k_t = 0,94$ [1-5; 10]. Тоді:

$$0,94 \cdot 130 = 122,2 > 113,2\text{А}$$

Умова виконується.

На ділянці РЩІ-МІ приймаємо до встановлення автоматичний вимикач ВА51-31-34. Лінію виконуємо проводом АПВ 3x50, прокладеним в трубі.

Ділянки мережі РЩ1-М2:

$$1. I_{н.дв.} = \frac{15,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,89 \cdot 0,9} = 28,5 \text{ А}$$

$$2. I_p = 1,0 \cdot 28,5 = 28,5 \text{ А}$$

3. Приймаємо запобіжник типу ПН2-100

$$4. U_{н.авт.} = 380 \text{ В}; \quad 380 = 380$$

$$5. I_{н.авт} = 100 \text{ А}; \quad 100 > 28,5$$

6. $I_B \geq 100 \text{ А}$ (умова 1);

$$I_B \geq \frac{7 \cdot 28,5}{2,5} = 79,8 \text{ А (умова 2);}$$

Приймаємо $I_B = 80 \text{ А}$; $80 > 79,8$

$$7. I_{доп} \geq 0,33 \cdot I_B; \quad I_{доп} \geq 0,33 \cdot 80 = 26,4 \text{ А}$$

$$F = 4 \text{ мм}^2; \quad I_{доп.табл} = 28,0 \text{ А}; \quad k_t = 0,94$$

$$0,94 \cdot 28,0 = 25,5 < I_{н.дв.} = 28,5 \text{ А}$$

Умова не виконується. Приймаємо провід більшого перерізу.

$$F = 6 \text{ мм}^2; \quad I_{доп.табл} = 32,0 \text{ А}; \quad k_t = 0,94$$

$$0,94 \cdot 32,0 = 30,1 > 28,5 \text{ А}$$

Умова виконується.

На ділянці РЩ1-М2 приймаємо запобіжник ПН2-100, $I_B = 80 \text{ А}$. Лінію виконуємо проводом АПВ 3х6, прокладені в трубі.

Ділянка РЩ1-Л1:

$$1. I_{н.} = I_p = \frac{11,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 16,7 \text{ А}$$

2. Вибираємо запобіжник типу НПН2-60

$$3. U_{н.зап.} = 380 \text{ В}; \quad 380 = 380$$

$$4. I_{н.зап} = 63 \text{ А}; \quad 63 > 28,5$$

$$5. I_B = 20A \quad 20 > 16,7$$

$$6. I_{\text{доп}} = 1,25 \cdot I_B; \quad I_{\text{доп}} \geq 1,25 \cdot 20 = 25,0A$$

$$F = 5 \text{ мм}^2; \quad I_{\text{доп.табл}} = 27 \text{ A}; \quad k_t = 0.94$$

$$0.94 \cdot 27.0 = 25,4 > 16,7 \text{ A}$$

Умова виконується.

На ділянці РЩ1-Л1 приймаємо запобіжник НПН2-60, $I_B = 20 \text{ A}$. Лінію виконуємо проводом АПВ 4х5, прокладеним в трубі.

Ділянка мережі ТП-РЩ1:

$$1. I_p = k_0 \cdot \sum I_p; \quad I_p = 0,9 \cdot (96.1 + 28.5 + 16.7) = 127.2A$$

$$2. I_{\text{max}} = \sum I_{p(n-1)} + I_{\text{пуск}}; \quad I_{\text{max}} = (28.5 + 16.7) + 1.5 \cdot 113.2 = 215.0A$$

3. Приймаємо автомат ВА51

$$4. U_{\text{н.авт.}} = 660 \text{ В}; \quad 660 > 380$$

$$5. I_{\text{н.авт}} = 160 \text{ A}; \quad 160 > 127,5$$

$$6. I_{\text{н.т.р}} = 125 \text{ A}; \quad 160 > 127,5 \text{ (умова 1)}$$

$$I_{\text{н.т.р}} = 100 \text{ A}; \quad 160 > \frac{215,0}{2,5} = 86,0 \text{ (умова 2)}$$

Приймаємо $I_{\text{н.т.р}} = 125A$

$$7. I_{\text{с.ем.р.}} = 10 \cdot I_{\text{н.т.р.}}; \quad I_{\text{с.ем.р.}} = 10 \cdot 160 = 1600A$$

$$I_{\text{с.ем.р.}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{max}}; \quad 1600 > 1.25 \cdot 215.0 = 268.8$$

$$8. I_{\text{доп.}} \geq I_{\text{н.т.р.}}; \quad I_{\text{доп.}} \geq 160A$$

$$F = 50 \text{ мм}^2; \quad I_{\text{доп.табл}} = 180 \text{ A}; \quad k_t = 1,04$$

$$1,04 \cdot 180 = 187,2 > 127,2 \text{ A}$$

Умова виконується.

На ділянці ТП-РЩ1 приймаємо автоматичний вимикач ВА51-33-34. Лінію виконуємо кабелем СБ 3х50+1х35, який прокладено в каналі.

Завдання для самостійного розв'язування

Задача 1. У виробничому приміщенні встановлені електродвигуни із короткозамкненим ротором та освітлювальні установки. Двигун М1 працює без перевантаження, М2 – з перевантаженням. Лінія ТП-РЩІ (рисунок) прокладена кабелем в каналі при $t_{01} = 20^\circ\text{C}$. На інших ділянках проводка виконана проводом ПВ в трубах. Освітлювальне навантаження Л1 та Л2 захищене плавкими запобіжниками, інші споживачі – автоматами. Температура в приміщенні майстерні t_{02} . Напруга мережі 380 В. Коефіцієнт одночасності на ділянці ТП-РЩІ - k_0 . Параметри споживачів електроенергії та вихідні дані для розрахунку наведені в таблиці. Вибрати параметри захисних апаратів та переріз проводів і кабелю за допустимим нагріванням

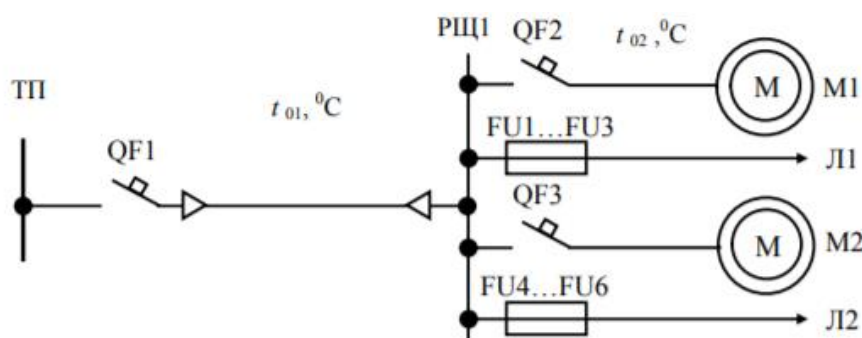


Рисунок 5.3 – Розрахункова схема мережі

Таблиця 5.2 – Розрахункові параметри мережі

Пара метр	Варіант													
	1		2		3		4		5		6		7	
	М1	М2	М1	Л1	М2	Л2	М1	Л2	М2	Л1	М1	М2	М1	Л2
Приміщ	Майстерня		Пилограма		Кормоцех		Млин		Пилограма		Млин		Майстерня	
$P_H, \text{кВт}$	7,5	5,5	22,0	8,0	11,0	11,0	18,5	11,0	30,0	2,0	11,0	22,0	4,0	6,0
k_t	7,0	7,0	7,0	1,0	6,5	1,0	7,0	1,0	7,5	1,0	7,5	7,0	7,5	1,0
η_H	0,86	0,86	0,90	1,0	0,90	1,0	0,91	1,0	0,91	1,0	0,88	0,91	0,87	1,0
$\cos \varphi_H$	0,81	0,86	0,87	1,0	0,83	1,0	0,90	1,0	0,90	1,0	0,87	0,89	0,88	1,0
k_3	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0	0,7	0,9	0,7	1,0
k_0	0,85		0,9		0,95		0,95		0,85		0,9		0,95	
$t_{01}, ^\circ\text{C}$	15		20		10		15		20		10		20	
$t_{02}, ^\circ\text{C}$	20		25		15		25		30		20		25	

Задача 2. У виробничому приміщенні встановлені електродвигуни із короткозамкненим ротором та освітлювальні установки. Двигуни М1 та М2 працюють без перевантаження. Лінія ТП-РЩІ (рисунок) прокладена кабелем в землі при $t_{a1}, ^\circ\text{C}$. На інших ділянках проводку виконано проводом АПВ в трубах. Проводка мережі захищена автоматичними вимикачами. Температура в приміщенні $t_{a2}, ^\circ\text{C}$. Напруга мережі 380 В. Коефіцієнт одночасності на ділянці ТП-РЩІ - k_e . Параметри споживачів електроенергії та вихідні дані для розрахунку наведені в таблиці. Вибрати параметри захисних апаратів та переріз проводів і кабелю за допустимим нагріванням.

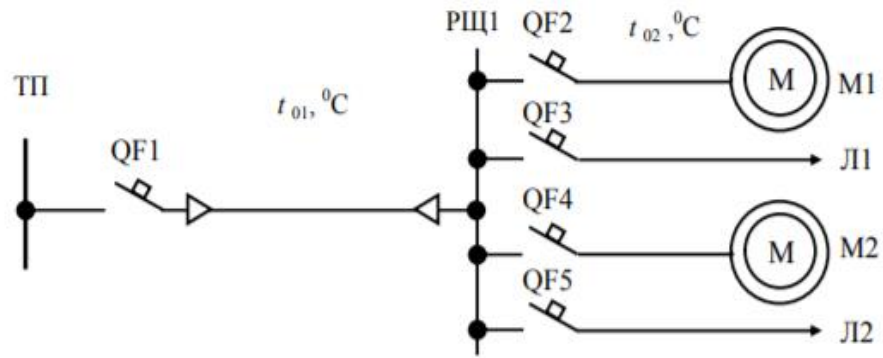


Рисунок 5.4 – Розрахункова схема мережі

Таблиці 5.3 – Розрахункові параметри мережі

Пара метр	Варіант													
	1		2		3		4		5		6		7	
	M1	M2	M1	Л1	M2	Л2	M1	Л2	M2	Л1	M1	M2	M1	Л2
Приміщ	Майстерня		Ферма ВРХ		Кормоцех		Млин		Насосна		Котельня		Свинарник	
$P_H, \text{кВт}$	3,0	2,2	5,5	4,0	30,0	8,0	22,0	7,0	15,0	1,0	4,0	3,0	7,5	4,0
k_t	7,5	6,5	7,0	1,0	7,0	1,0	7,0	1,0	7,0	1,0	7,5	7,0	7,5	1,0
η_H	0,85	0,81	0,85	1,0	0,92	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0	0,87	0,85	0,88	1,0
$\cos \varphi_H$	0,88	0,83	0,80	1,0	0,87	1,0	0,87	1,0	0,89	1,0	0,88	0,88	0,86	1,0
k_z	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,6	1,0
k_a	0,8		0,85		0,9		0,95		0,85		0,85		0,9	
$t_{01}, ^\circ\text{C}$	10		15		20		5		15		20		10	
$t_{02}, ^\circ\text{C}$	25		30		35		40		20		25		30	

Контрольні запитання

1. Захист електрообладнання.
2. Захист цехових електричних мереж.
3. Місця установки апаратів захисту і вказівки до розрахунку цехової мережі.
4. Захист плавкими запобіжниками.
5. Захист автоматичними вимикачами.
6. Вибір автоматичних вимикачів.
7. Карта селективної дії апаратів захисту.
8. Опір розтіканню струму.
9. Пристрій заземлення.
10. Занулення, заземлення.
11. Глухе заземлення нейтралі.

Тестові завдання

Температура проводу не повинна перевищувати наступні значення для неізольованих проводів

- A. 50 °C
- B. 60 °C
- C. 70 °C
- D. 80 °C

Температура проводу не повинна перевищувати наступні значення для кабелів із паперовою ізоляцією в металевій оболонці

- A. 60 °C
- B. 70 °C
- C. 80 °C
- D. 90 °C

Якщо проводка захищена запобіжниками або автоматами, то розрахунок електричної мережі починають з вибору

- A. витратою коштів
- B. апаратів захисту
- C. типів мережі
- D. усі відповіді вірні

Вибір плавкої вставки запобіжника за номінальним струмом для електродвигуна:

- A. $I_p = k_3 \frac{P_H}{\sqrt{3}(U_H \cos \varphi_H \eta_H)}$
- B. $I_p = k_3 \frac{P_H}{\sqrt{3}(U_H + \cos \varphi_H \eta_H)}$
- C. $I_p = k_3 \frac{P_H}{\sqrt{3}(U_H - \cos \varphi_H \eta_H)}$
- D. $I_p = k_3 \frac{P_H}{\sqrt{3}(U_H \cos \varphi_H / \eta_H)}$

Вибір плавкої вставки запобіжника за номінальним струмом для освітлювального навантаження

- A. $I_p = \frac{P_l}{\sqrt{3}U_H} + I$
- B. $I_p = \frac{P_l}{\sqrt{3}U_H} k$
- C. $I_p = \frac{P_l}{\sqrt{3}U_H} - I$
- D. $I_p = \frac{P_l}{\sqrt{3}U_H}$

Від перевантаження необхідно захищати

- A. всі мережі у вибухонебезпечних приміщеннях
- B. освітлювальні мережі в житлових та суспільних приміщеннях, в торговельних та службово-побутових приміщеннях виробничих підприємств та у пожежонебезпечних зонах
- C. мережі будь-якого призначення, виконані проводами із горючою ізоляцією, які прокладені відкрито
- D. усі відповіді вірні

Для автоматів з електромагнітним розчіплювачем умови чутливості за наступними співвідношеннями

Для $I_{н.а.} > 100A$

- A. 1,1
- B. 1,15
- C. 1,2
- D. 1,25

Для $I_{н.а.} \leq 100A$

- A. 1,3
- B. 1,4
- C. 1,5
- D. 1,6

ТЕМА 6. ВИБІР ТИПУ, КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ

План

1. Вибір типу, кількості та потужності трансформаторів.
2. Розрахувати заземлювальний пристрій трансформаторної підстанції.

1. Вибір типу, кількості та потужності трансформаторів

При вирішенні цього питання користуються такими положеннями:

- число трансформаторів на підстанції визначаються з умови надійності живлення з урахуванням категорії споживачів електроенергії;
- намічаються можливі варіанти потужності трансформаторів з урахуванням допустимої їх перевантаження в робочому і після аварійних режимах і на підставі техніко-економічного зіставлення вибирається прийнятний варіант з урахуванням можливого збільшення навантажень.

Трансформаторні підстанції повинні розміщуватися якомога ближче до центру електричних навантажень. Для цього повинні застосовуватися внутрішньо цехові ТП, а також вбудовані в будівлю цеху або прибудовані до нього ТП, що живлять окремі цехи або частини їх.

ТП повинні розміщуватися поза цехом тільки при неможливості розміщення всередині його або при розташуванні частини навантажень поза цехом. Застосування зовнішніх окремо розташованих цехових ТП доцільно

- при живленні від однієї ТП кількох цехів;
- при наявності в цехах вибухонебезпечних виробництв;
- при неможливості розташування ТП всередині цеху з міркувань виробничого характеру.

Однотрансформаторні цехові ТП застосовуються при ЕП, що допускають перерву в електропостачанні на час доставки «складського» резерву, або при резервуванні, що здійснюються перемичками обмоток вторинної напруги.

Двотрансформаторні цехові ТП застосовуються при живленні споживачів 1 і 2 категорій, а також при наявності нерівномірного добового або річного графіка навантажень.

Цехові ТП з числом трансформаторів більше двох застосовуються при обґрунтуванні необхідності їх застосування, а також у випадках встановлення роздільних трансформаторів для живлення силових і освітлювальних навантажень.

Радіальне живлення невеликої потужності однострансформаторних ТП (до 630 кВА) проводиться по одиночній радіальній лінії без резервування по високій напрузі при відсутності споживачів 1 категорії. Взаємне резервування в обсязі 25-30% на однострансформаторних ТП слід здійснювати перемичками напругою до 1 кВ (при схемі «трансформатор – магістраль») для окремих ТП, де резервування необхідно.

Радіальні схеми цехових двотрансформаторних безшинних ТП слід здійснювати від різних секцій РП, живлячи кожен трансформатор окремою лінією. Кожну лінію і трансформатор розраховують на покриття навантажень 1 категорії та основних навантажень 2-категорії при аварійному режимі. При відсутності даних про характер навантажень кожна лінія і кожен трансформатор цехової ТП вибирається попередньо з розрахунку: потужність трансформатора повинна становити 80-90% від розрахункової потужності навантажень, що підключаються до ТП.

Магістральні схеми живлення ТП повинні застосовуватися:

– при лінійному розташуванні ТП, що забезпечує пряме проходження магістралей від джерела живлення до споживачів. Число трансформаторів, приєднаних до однієї магістралі, має бути 2-3 при потужності трансформатора 1600-2500 кВА і 4-5 при потужності 250-630 кВА%;

– при необхідності резервування ТП від іншого проекту в разі планового або аварійного виходу з роботи основного пункту живлення;

– у всіх інших випадках, коли магістральні схеми мають техніко-економічні переваги в порівнянні з іншими схемами.

При виборі числа і потужності трансформаторів цехових ТП рекомендовано: застосовувати трансформатори потужністю понад 1000 кВА при наявності групи ЕП великої потужності (наприклад електропечей) або значного числа однофазних ЕП, а також при наявності ЕП з частими піками навантажень (наприклад електрозварювальних установок) і в цехах з високою густиною навантаження;

– прагнути до можливо більшої однотипності трансформаторів цехових ТП;

визбирати при двотрансформаторних ТП, а також при однострансформаторних ТП з магістральною схемою електропостачання потужність кожного трансформатора з таким розрахунком, щоб при виході з роботи одного трансформатора залишений в роботі міг нести все навантаження споживачів 1 і 2-категорій, споживачі 3 категорії тимчасово відключаються. В цьому випадку при завантаженні трансформатора на 0,7 його номінальної потужності при відключенні одного з них на ТП залишився в роботі трансформатор буде завантажений до 1,4.

Рекомендується застосовувати такі коефіцієнти завантаження трансформаторів:

– при домінуванні навантажень 2-категорії на двотрансформаторних ТП КЗ = 0,65-0,7;

– при домінуванні навантажень 2-категорії на двотрансформаторних ТП і взаємне резервування вторинної напруги КЗ = 0,7-0,8;

– при домінуванні навантажень 2-категорії і наявності складського резерву трансформаторів, а також при навантаженнях 3-категорії КЗ = 0,9-0,95.

При виборі числа і потужності трансформаторів цехових ПП одночасно має вирішуватися питання про економічно доцільну величину реактивної потужності (Q), що передається цими трансформаторами в мережу напругою до 1 кВ. Для полегшення таких розрахунків була розроблена нова методика, що дозволяє вести розрахунки за допомогою графіків і номограм, але в цьому випадку втрачається фізична складова розрахунків і в цьому посібнику нею не будемо користуватися.

2. Розрахувати заземлювальний пристрій трансформаторної підстанції

Задача 1. Розрахувати заземлювальний пристрій трансформаторної підстанції напругою 35/10 кВ із одним трансформатором потужністю 2500 кВА. Сумарна довжина електрично зв'язаних ліній напругою 35 кВ – 90 км. Від РП 10 кВ підстанції відходить три повітряні лінії напругою 10 кВ сумарною довжинбою 44, 33 та 38 км. До шин 10 кВ приєднано трансформатор власних потреб напругою 10/0,4 кВ, нейтраль якого приєднана до контуру заземлення підстанції. Заземлювальний контур підстанції виконати у вигляді прямокутника 20 x 13 м. Значення питомого опору ґрунту, що виміряне в дощовий осінній період, становить $\rho_{\text{вимір}} = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$

Розв'язання:

Довідкові дані для розв'язання задачі наведено в додатку В.

1. Загальна довжина електрично зв'язаних ліній напругою 10 кВ:

$$l_{\text{ПЛ}10} = \sum l_i \qquad l_{\text{ПЛ}10} = 44 + 33 + 38 = 115 \text{ км}$$

2. Визначаємо розрахунковий струм замикання на землю:

$$I_3 = \frac{U_n \cdot l_{\text{ПЛ}}}{350}$$

- для ПЛ 35 кВ: $I_3 = \frac{35 \cdot 90}{350} = 9,0 \text{ А}$

- для ПЛ 10 кВ: $I_3 = \frac{10 \cdot 115}{350} = 3,3 \text{ А}$

Приймаємо для розрахунку більше із отриманих значень $I_3 = 9,0 \text{ А}$

3. Так як заземлювальний пристрій виконують спільним для електрообладнання підстанцій напругою та понад 1000 В то опір заземлення:

$$R_3 \leq \frac{67}{I_3} \quad R_3 = \frac{67,0}{9,0} = 7,4 \text{ Ом}$$

Так як до контуру заземлення підстанції приєднано нейтраль трансформатора власних потреб, опір контуру заземлення не повинен перевищувати 4 Ом. Для подальших розрахунків приймаємо $R_3 = 4 \text{ Ом}$

4. Заземлювальний пристрій підстанції виконуємо електродами із кутової сталі 50x50x4 мм, довжиною 2,5 м, що заглиблені на 0,7 м від поверхні землі і зв'язані між собою сталюю смугою перерізом 40x4 мм на глибині 0,8 м.

5. Розрахунковий питомий опір ґрунту із врахуванням коефіцієнта сезонності $k_c = 1,1$ (таблиця) та коефіцієнта $k_1 = 1,15$ (таблиця):

$$\rho_{\text{розр}} = k_c \cdot k_1 \cdot \rho_{\text{вимір}}$$

$$\rho_{\text{розр}} = 1,1 \cdot 1,15 \cdot 100 = 127 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

6. Визначаємо опір вертикального заземлювача (кутника):

$$R_B = 0,366 \frac{\rho_{\text{розр}}}{l_{\text{ст}}} \cdot \left(\lg \frac{k_B \cdot l_{\text{ст}}}{d} + \frac{1}{2} \cdot \frac{4h_c + l_{\text{ст}}}{4h_c - l_{\text{ст}}} \right);$$

$$R_B = 0,366 \frac{127}{2,5} \cdot \left(\lg \frac{2,1 \cdot 2,5}{0,05} + \frac{1}{2} \cdot \frac{4(0,7 + 1,25) + 2,5}{4(0,7 + 1,25) - 2,5} \right) = 40,3 \text{ Ом}$$

7. Визначаємо опір смуги зв'язку (горизонтального заземлювача):

$$R_{\Gamma} = \frac{0,366 \cdot \rho_{\text{розр}}}{l_{\text{см}}} \cdot \lg \frac{k_{\Gamma} \cdot l_{\text{см}}^2}{d_{\text{см}} \cdot h_{\text{см}}}$$

Для горизонтального заземлювача $k_c = 1,4$ та $k_1 = 1,6$ (таблиця), тоді $\rho_{\text{розр}} = 1,4 \cdot 1,6 \cdot 100 = 224 \text{ Ом} \cdot \text{м}$

$$R_{\Gamma} = \frac{0,366 \cdot 224}{(2 \cdot 20 + 2 \cdot 13)} \cdot \lg \frac{2 \cdot (2 \cdot 20 + 2 \cdot 13)^2}{0,04 \cdot 0,88} = 6,7 \text{ Ом}$$

8. Визначаємо теоретичне число стержнів (кутників):

$$n_m = \frac{R_B}{R_3}; \quad n_m = \frac{40,3}{4} \approx 10 \text{ шт}$$

9. Відстань між стержнями (кутниками) при $l_{\text{перим}} = 66 \text{ м} (2 \times (20 + 13))$

$$a = \frac{l_{\text{перим}}}{n_m} \quad a = \frac{66}{10} = 6.6 \text{ м}$$

10. Находимо дійсне число кутників

При $n = 10$ та $\frac{a}{l_{\text{см}}} = \frac{6,6}{2,5} = 2,64$ находимо за таблицями $\eta_B = 0,74$ (таблиця), $\eta_\Gamma = 0,5$

$$n_{\text{дійсне}} = \frac{R_B \cdot \eta_\Gamma \cdot \left[\frac{1}{R_3 \cdot \eta_\Gamma} - \frac{1}{R_\Gamma} \right]}{\eta_B}$$

$$n_{\text{дійсне}} = \frac{40,3 \cdot 0,5 \cdot \left[\frac{1}{4 \cdot 0,5} - 6,7 \right]}{0,74} = 0,96 \text{ шт}$$

Приймаємо остаточно для пристрою заземлення 10 електродів (кутників).

11. Визначаємо розрахунковий опір заземлювального пристрою при $n = 10$; $a = \frac{66}{10} \text{ м}$; $\frac{a}{l} = \frac{6,6}{2,5}$; $\eta_B' = 0,74$, $\eta_\Gamma' = 0,5$

$$R_3 = \frac{R_B \cdot \eta_\Gamma'}{n_{\text{дійсне}} \cdot \eta_\Gamma'} \quad R_3 = \frac{40,3 \cdot 0,5}{10 \cdot 0,74} = 2,7 \text{ Ом}$$

2,7 Ом < 4 Ом . Умова виконується

Задача 2. На підприємстві передбачається спорудження ГПП і цехових ТП. Вихідні дані наведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Вибір цехових ТП

Цех	$S_{pб}$ кВ · А	F , м ²	$S_{\text{НОМ.Т.}} = 630 \text{ кВ} \cdot \text{А}$		$S_{\text{НОМ.Т.}} = 1000 \text{ кВ} \cdot \text{А}$	
			N , ШТ	k_3	N , ШТ	k_3
Цех №1	557	3780	1	0,88	1	0,56
Цех №2	1708	15120	3	0,90	2	0,85
Цех №3	1745	15120	3	0,92	2	0,87
Всього	4010	34020	7		5	

Розв'язування

Визначимо загальне значення максимальної потужності цехів і їх загальну площу

$$S_\Sigma = \sum_{i=1}^3 S_{pi} = 557 + 1708 + 1745 = 4010 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

$$F_\Sigma = \sum_{i=1}^3 F_i = 3780 + 15120 + 15120 = 34020 \text{ м}^2$$

Середнє питоме навантаження на 1 м² площі

$$S_{\text{пит}} = \frac{S_{\Sigma}}{F_{\Sigma}} = \frac{4010}{34020} \approx 0,12 \text{ кВ} \cdot \text{А/м}^2$$

Розглянемо два варіанти спорудження однострансформаторних підстанцій з $S_{\text{ном.т.}} = 630 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ та $S_{\text{ном.т.}} = 1000 \text{ кВ} \cdot \text{А}$

1. Якщо $S_{\text{ек.}} = S_{\text{ном.т.}} = 630 \text{ кВ} \cdot \text{А}$, економічна кількість ТП

$$N_{\text{ек}} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{\text{ек.}} \cdot k_3} = \frac{4010}{630 (0,9 \dots 0,95)} = 6,7 \div 7,1 \text{ шт}$$

Отже, необхідно встановити сім ТП-630 кВ·А

2. Якщо $S_{\text{ек.}} = S_{\text{ном.т.}} = 1000 \text{ кВ} \cdot \text{А}$, $N_{\text{ек}}$ буде дорівнювати

$$N_{\text{ек}} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{\text{ек.}} \cdot k_3} = \frac{4010}{1000 (0,9 \dots 0,95)} = 4,2 \div 4,5 \text{ шт}$$

У цьому випадку треба встановити п'ять ТП

Коефіцієнти завантаження трансформаторів наведено в табл.

Для остаточного вибору потрібно провести техніко-економічні розрахунки як цехових мереж, так і заводської.

Завдання для самостійної розв'язування

Задача 1. Виконати вибір обладнання для шафи повітряної лінії 10 кВ (рис. 6.1), що відходить від районної трансформаторної підстанції 35/10 кВ та обладнання на стороні 10 кВ споживчої ТП 10/0,4 кВ; роз'єднувачі QS1, QS2 (шинний та лінійний), високовольтний вимикач Q1, трансформатори струму ТА1 та ТА2, лінійний роз'єднувач зовнішнього встановлення QS3, високовольтні запобіжники FU1...FU4. Вихідні дані для розрахунку за варіантами наведено в табл. 6.3.

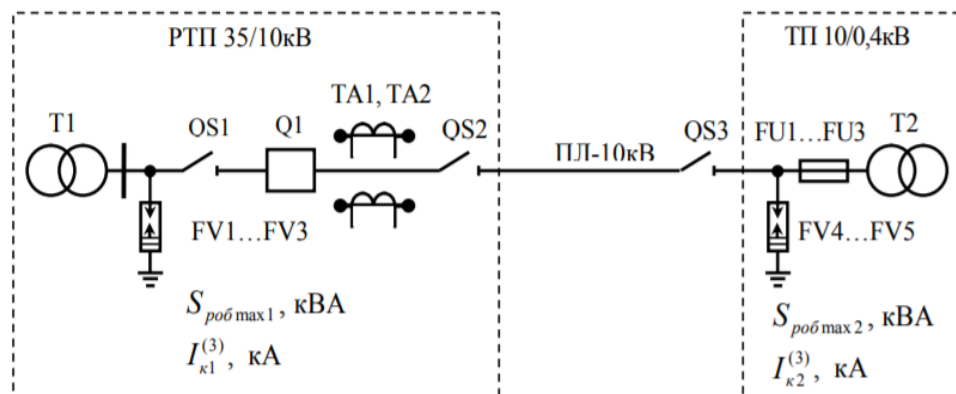


Рисунок 6.1 – Однолінійна схема електричної мережі напругою 10 кВ

Таблиця 6.3 – Параметри електричної мережі 10 кВ

Варіант	$S_{\text{роб max 1}}$, кВА	$I_{r1}^{(3)}$, кА	$S_{\text{роб max 2}}$, кВА	$I_{r2}^{(3)}$, кА
1	860	3,48	40	0,77
2	920	1,59	52	1,23
3	1210	2,15	70	1,94
4	2830	2,00	130	3,08
5	1350	2,31	200	4,9*2
6	2100	1,78	300	7,69
7	1410	2,46	510	12,30
8	1050	2,89	650	19,40
9	700	2,62	30	0,77
10	1120	3,27	42	1,23

Задача 2. Розрахувати заземлювальний пристрій трансформаторної підстанції напругою 35/10 кВ із одним трансформатором потужністю $S_{\text{н.тр}}$, кВА. Сумарна довжина електрично зв'язаних ліній напругою 35 кВ - $l_{\Sigma 35}$, км. Від РП 10 кВ підстанції відходить $N_{\text{мін 10}}$, шт, повітряних ліній напругою 10 кВ сумарною довжиною $l_{\Sigma 10}$, км. До шин 10 кВ приєднано трансформатор власних потреб підстанції напругою 10/0,4 кВ, нейтраль якого приєднана до контуру заземлення підстанції. Заземлювальний контур підстанції виконати у вигляді прямокутника $a \times b$, м. Значення питомого опору ґрунту, що виміряне в певний період року, становить $\rho_{\text{вимір}}$, Ом · м. Вихідні дані для розрахунку за варіантами наведено в таблиці.

Таблиця 6.4 – Вихідні дані для розрахунку

Варіант	$S_{\text{н.тр}}$, кВА	$l_{\Sigma 35}$, км	$N_{\text{мін 10}}$, шт	$l_{\Sigma 10}$, км	$a \times b$, м	Стан ґрунту	$\rho_{\text{вимір}}$, Ом · м
1	1000	90	2	60	18x14	Сильно волог	50
2	1600	80	3	90	20x14	Вологий	70
3	2500	70	3	80	22x14	Сухий	90
4	4000	60	4	120	22x16	Сильно волог	110
5	6300	50	5	110	24x18	Вологий	130
6	10000	100	6	150	25x18	Сухий	150
7	1000	110	2	40	18x14	Сильно	180

						ВОЛОГ	
8	1600	120	3	50	20x14	Вологий	200
9	2500	130	3	70	22x14	Сухий	230
10	4000	140	4	100	22x16	Сильно ВОЛОГ	250

Задача 3. Розрахувати заземлювальний пристрій трансформаторної підстанції напругою 35/10 кВ із двома трансформаторами потужністю, 1000 і 1600 кВА. Сумарна довжина електрично зв'язаних ліній напругою 35 кВ – 1,5 км. Від РП 10 кВ підстанції відходить 2 шт., повітряних ліній напругою 10 кВ сумарною довжиною 6 км. До шин 10 кВ приєднано трансформатор напругою 10/0,4 кВ, нейтраль якого приєднана до контуру заземлення підстанції. Заземлювальний контур підстанції виконати у вигляді трикутника 15, м. Значення питомого опору ґрунту, що виміряне в певний період року, становить 90, Ом·м

Задача 4. Розрахувати заземлювальний пристрій обладнання потужністю 12 кВт напругою 380 В. Якщо ґрунт знаходиться на відстані 50 м і має опір 110 Ом м.

Задача 5. Розрахувати опір горизонтальних з'єднувальних штаб (смуг зв'язку), якщо довжина смуги зв'язку 12м; діаметр круглої сталі або ширина смуги прямокутного перерізу, 0,045м; глибина залягання горизонтального заземлювача (смуги), 5 м; коефіцієнт горизонтального заземлювача; для круглого перерізу 1.

Задача 6. За даними трансформатора знайти: коефіцієнт трансформації; номінальний струм обмоток; Струм ХХ; Струм КЗ; залежність ККД від β і побудувати графік залежності; залежність напруги на вихідних затискачах від β і побудувати зовнішню характеристику.

Дані трансформатора: $S_H = 63$ кВ А; $U_{1H} = 380$; $U_{1h} = 133$; $I_{XX} = 5,8\%$; $P_o = 320$ Вт; $P_k = 1800$ Вт; $U_{кз} = 4,7\%$; $\cos \varphi_H = 0,7$

Задача 7. Вибрати трансформатори ГПП 35/6 кВ підприємства. Розрахункове максимальне навантаження $S_M = 5,26$ МВ·А.

Задача 8. За параметрів $S_c = 900$ кВт, $\sigma = 180$ кВт цехового навантаження і неперервної роботи цеху визначити допустимість перевантаження олівного трансформатора $S_{ном.т} = 1000$ кВ·А однострансформаторної ТП.

Контрольні запитання

1. Опір розтіканню струму.
2. Пристрій заземлення.
3. Занулення, заземлення.
4. Глухе заземлення нейтралі.
5. Коефіцієнтом трансформації.
6. ККД трансформатора.
7. Потужність холостого ходу (ХХ).
8. Коефіцієнт навантаження.

Тестові завдання

В результаті електричного удару у людини можуть настати судороги, втрата свідомості, зупинитися дихання і кровообіг, при U рівному

- A. 9 В
- B. 12 В
- C. 220 В
- D. 380 В

В електроустановках із глухозаземленою нейтраллю напругою понад 1000 В (від 110 до 750 кВ) заземлювальний пристрій повинен мати опір не більше

- A. 0,3 Ом
- B. 0,5 Ом
- C. 0,8 Ом
- D. 1,5 Ом

При використанні заземлювального пристрою лише для електроустановок напругою вище 1000 В з ізолюваною нейтраллю, опір заземлювального пристрою (Ом) визначають за виразом

- A. $R_3 \leq \frac{250}{I_3}$
- B. $R_3 \leq \frac{300}{I_3}$
- C. $R_3 \leq \frac{350}{I_3}$
- D. $R_3 \leq \frac{150}{I_3}$

Загальний опір усіх заземлювачів, що приєднані до PEN-провідника кожної лінії, у тому числі і природних заземлювачів, для лінійної напруги 380 В трифазного струму не повинен перевищувати

- A. 5 Ом
- B. 10 Ом
- C. 15 Ом
- D. 20 Ом

Заземлювачі бувають:

- A. штучні
- B. природні
- C. саморобні
- D. вірні А і В

Опір заземлення одного забитого в землю заземлювача здебільшого становить

- A. 10...30 Ом
- B. 20...50 Ом
- C. 30...60 Ом
- D. 40...70 Ом

Опір заземлення буде стабільним за умовою:

- A. глибини
- B. матеріалу
- C. порі року
- D. нема вірної відповіді

Розрахунковий опір ґрунту визначають за виразом:

- A. $\rho_{\text{розр}} = k_c k_i \rho_{\text{ВИМ}}$
- B. $\rho_{\text{розр}} = k_c / k_i \rho_{\text{ВИМ}}$
- C. $\rho_{\text{розр}} = k_c k_i / \rho_{\text{ВИМ}}$
- D. $\rho_{\text{розр}} = k_c + k_i \rho_{\text{ВИМ}}$

Коефіцієнтом трансформації називається відношення

- A. чисел витків
- B. напруг
- C. пугжностей
- D. струмів

Значення ККД трансформатора знаходиться з формули

- A. $\eta = \frac{\beta S_{\text{НОМ}} \cos \varphi_{\text{H}}}{\beta S_{\text{НОМ}} \cos \varphi_{\text{H}} + P_0 + \beta^2 P_k}$
- B. $\eta = \frac{\beta S_{\text{НОМ}} \cos \varphi_{\text{H}}}{\beta S_{\text{НОМ}} \cos \varphi_{\text{H}} - P_0 \beta^2 P_k}$
- C. $\eta = \frac{\beta S_{\text{НОМ}} \cos \varphi_{\text{H}}}{\beta S_{\text{НОМ}} \cos \varphi_{\text{H}} + P_0 - \beta^2 P_k}$
- D. $\eta = \frac{\beta S_{\text{НОМ}} \cos \varphi_{\text{H}}}{\beta S_{\text{НОМ}} \cos \varphi_{\text{H}} + P_0 / \beta^2 P_k}$

Номинальну потужність трансформаторів двотрансформаторних підстанцій вибирають з умови

- A. $S_{\text{НОМ}} = (0,3-0,5)S_p$
- B. $S_{\text{НОМ}} = (0,4-0,6)S_p$
- C. $S_{\text{НОМ}} = (0,5-0,7)S_p$
- D. $S_{\text{НОМ}} = (0,6-0,8)S_p$

Необхідну номінальну потужність трансформаторів однострансформаторних підстанцій визначають за формулою

- A. $S_{\text{НОМ}} = (0,6-0,8)S_p$
- B. $S_{\text{НОМ}} = (0,7-0,9)S_p$
- C. $S_{\text{НОМ}} = (0,75-0,8)S_p$
- D. $S_{\text{НОМ}} = (0,5-0,7)S_p$

Силкові трансформатори і багатооб'ємні масляні вимикачі на напругу 35 кВ і вище мають вбудовані трансформатори струму, які використовують

- A. приєднання релейного захисту
- B. вимірювальних приладів
- C. збільшення напруги
- D. вірні A і B

У трифазних трансформаторах алгебраїчна сума миттєвих значень синусоїдальних магнітних потоків в осерді дорівнює

- A. нулю
- B. нескінченності
- C. постійною
- D. змінною

Природне масляне охолодження (М) виконується для трансформаторів потужністю до

- A. 10000 кВА
- B. 12000 кВА
- C. 16000 кВА
- D. 20000 кВА

Правилами технічної експлуатації (ПТЕ) температура масла у верхніх, найбільш нагрітих шарах не повинна перевищувати

- A. + 85 ° C.
- B. + 90 ° C.
- C. + 95 ° C.
- D. + 105 ° C.

Автотрансформатор є багатообмотувальний трансформатор, у якого дві обмотки пов'язані

- A. електрично
- B. механічно
- C. емпірично
- D. нема вірної відповіді

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ

7. ОСНОВНІ ФУНКЦІЇ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ

План

1. Класифікація систем автоматичного керування (СУЕП).
2. Основні функції СУЕП.
3. Додаткові функції СУЕП.
4. Електричні схеми СУЕП і вимоги до них вимоги.

1. Класифікація систем автоматичного керування (СУЕП)

Сучасний автоматизований електропривод (АЕП) – складна система автоматичного управління (САУ), яка може входити до складу складнішої САУ.

Ці системи повинні збирати інформацію про перебіг технологічного процесу, обробити її на підставі заданого алгоритму, виробляти та видавати керуючі впливи на пристрій, що забезпечує доцільний перебіг технологічного процесу.

Інтенсифікація технологічного прогресу у різних галузях промисловості пов'язана з технологією виробництва, що ускладнюється, з підвищенням вимог до якості продукції при більш складних процесах технічного виготовлення, що призвело до великої кількості різноманітних систем управління електроприводами. У зв'язку з цим виникає необхідність їх класифікації, що дозволяє більш раціональне їхнє вивчення.

Системи управління розрізняють за призначенням: підтримки сталості регульованої змінної, системи програмного управління та стежать системи. Ця класифікація відноситься до замкнених систем. Вона не включає найпростіших систем і не враховує систем, що забезпечують оптимізацію, самоналаштування та комплексну автоматизацію.

Системи управління розрізняють за родом апаратури: релейно-контакторні, електромашинними підсилювачами, з магнітними підсилювачами, з електронними та напівпровідниковими перетворювачами. Не завжди зручно, бо сучасні системи, що мають апаратуру, можуть будуватися за однаковими принципами і будуть змінюватися при переході від одного класу систем до іншого.

Найбільш доцільно групувати СУЕП за тими основними функціями, які вони виконують у виробничому процесі. Вимоги до СУЕП можуть бути простими для окремих нескладних технологічних механізмів та досить складними для технологічних комплексів, що виконують різні операції при обробці матеріалів та деталей.

Вимоги виробництва лежать у основі функцій, що виконуються САУ.

Прості функції відповідають простим вимогам, більш складні – складніші систем та функцій.

Групування систем за основними функціями досить складно щодо систем управління, то класифікація їх за основними функціями є більш доцільною та з методичної точки зору. У цьому випадку кожен клас системи відрізняється від інших класів структурною схемою, принципами дії, способами побудови, а також своїми розрахунками та типовими схемами.

Крім основних функцій, виділяються додаткові, кожна з яких викликає створення лише додаткових вузлів у СУЕП.

Далі наводиться опис основних функцій, куди діляться СУЕП. Системи, виконують складні функції, можуть виконувати більш прості. Однак необхідно стежити, щоб більш простим функціям на практиці відповідали і простіші схеми СВЕП.

2 Основні функції СУЕП

Властивості будь-якої системи описуються її зв'язками з навколишнім середовищем, її структурою, тобто. елементами системи та його взаємозв'язками, і навіть роботою системи. На рис. 7.1 показано зв'язок СУЕП з навколишнім середовищем та його типова структура.

Отже, електропривод – електромеханічний пристрій, за допомогою якого наводяться в рух робочі органи машин, і забезпечується управління енергією, перетвореною з електричної на механічну.

Ручне управління здійснюється за допомогою найпростіших комутаційних апаратів шляхом безпосереднього на них оператора (людини). Автоматичне управління відбувається без безпосередньої участі людини, яка може давати лише перший командний імпульс виконання певного режиму приводу та контролювати його. Але і перший командний імпульс може подаватися для окремої машини також автоматичними пристроями.

Автоматичне керування ЕП – виконання системою керування без безпосередньої участі оператора заданого режиму роботи в статичних та динамічних умовах відповідно до вимог виробничого процесу. Сукупність технічних засобів, що забезпечують автоматичне керування, утворюють автоматичний керуючий пристрій (АУУ).

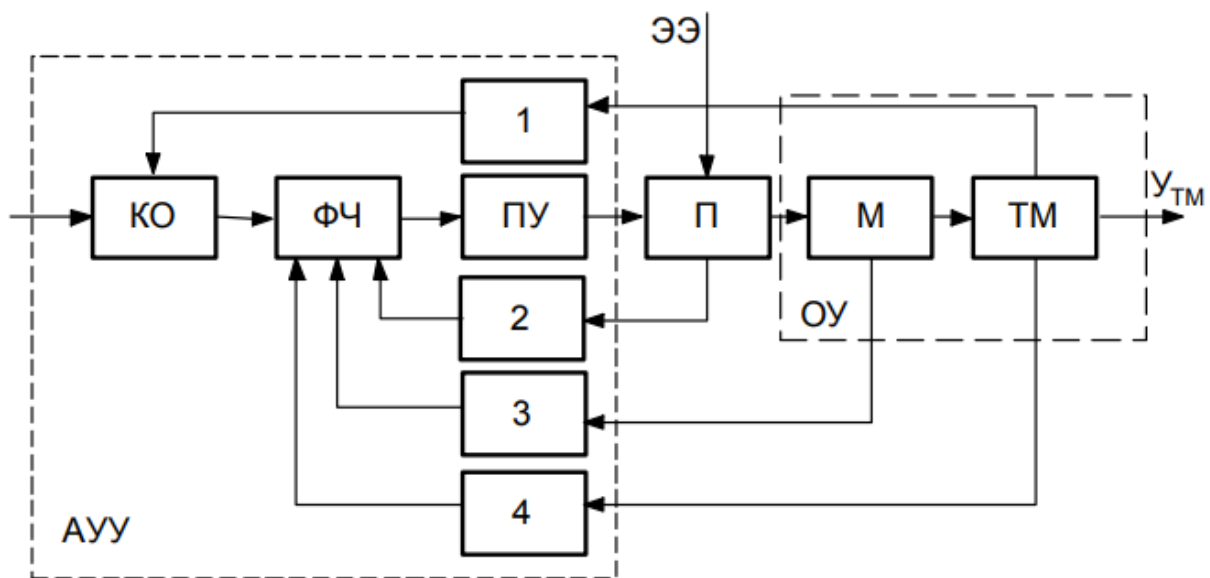


Рисунок 7.1 – Схема електромеханічної системи керування

На рис. 7.1 зображено: КО – командний орган; ФЛ – функціональна частина (може включати електронний блок, в якому йде обробка та перетворення зворотних зв'язків); ПУ – проміжний підсилювач; М-електрична авто; П – перетворювач; ТМ – технологічний механізм; 1 - головний зворотний зв'язок (ОС), жорстка; 2-4 - допоміжні ОС, (гнучкі); ЕЕ-електрична енергія; ОУ – об'єкт управління.

ОУ, П, АУУ у своїй взаємодії можна розглядати як електромеханічну автоматичну систему управління ЕП, або СУЕП.

АУУ складається з КО, що подає сигнали управління на завдання чи зміну режиму роботи, ФЧ, яка перетворює командні сигнали, формуючи потрібний

закон управління та виконує основну функцію АУУ, ПУ, що посилює сигнал управління до необхідного значення управління перетворювачем П. Перетворена ЕЕ у силовому перетворювачі П надходить на електродвигун М і далі у вигляді механічної енергії надходить з кінематичних зв'язків на технологічну машину ТМ. Елементи структури охоплені зворотні зв'язки 1-4 для підтримання або зміни режиму роботи ТМ.

Режими роботи ЕП визначаються величинами, що характеризують рух робочого органу технологічної машини (чи валу машини), тобто. швидкістю, прискоренням, кутом повороту, моментом, потужністю тощо. Координата руху повинна змінюватися по необхідному закону у часі чи функції іншої величини, тобто. регулюватись. В реальних СУЕП завжди існують величини (обурююча дія або обурення), що відхиляють регульовану величину від необхідного закону її зміни. Основним обуренням у СУЕП зазвичай є статичний момент МС. До інших обурень відносяться коливання напруги мережі живлення; нестабільність характеристик елементів системи (транзисторів у підсилювальному режимі); всілякі перешкоди (ланцюгом ОС, по силового ланцюга).

Кожну СУЕП можна розглянути як систему, яка приймає та переробляє інформацію. Залежно від кількості використовуваних у СУЕП каналів інформації та їх структури розрізняють 3 види автоматичного управління: по розімкнутому циклу, по замкнутому циклу, по комбінованому циклу.

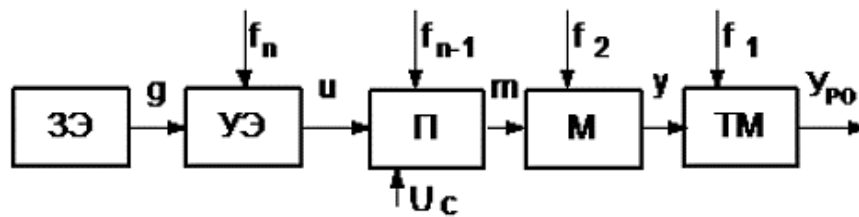


Рисунок 7.2 – Система, що працює за розімкненим циклом

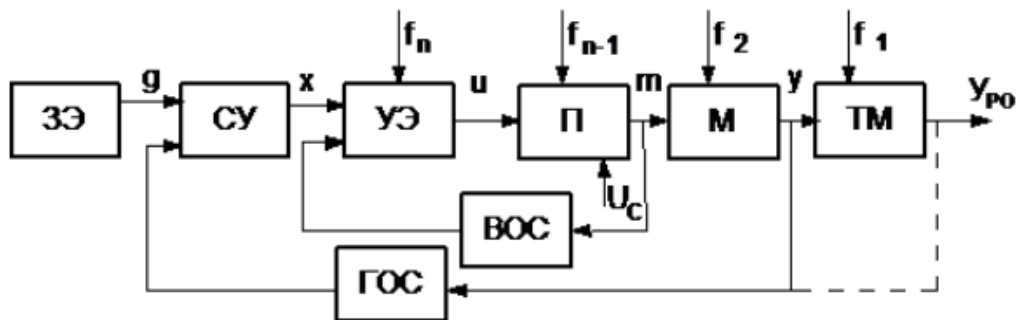


Рисунок 7.3 – Система, що працює за замкненим циклом

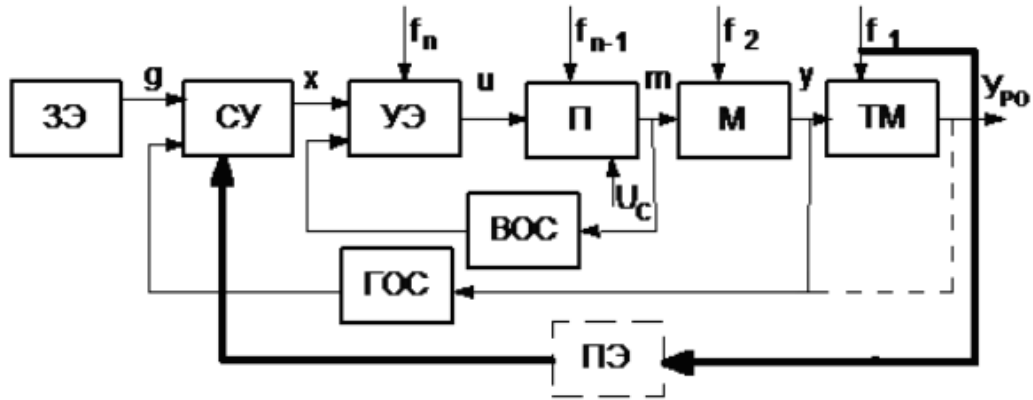


Рисунок 7.4 – Система, що працює за комбінованим циклом

На схемах (рис. 7.2-7.4) введено такі позначення: ПЕ – перетворювальний елемент; U_c – напруга мережі живлення; U – регульована величина; m – регулююча дія; g – сигнал інформації, що задає; f_1-f_n – обурення; ЗЕ – задає елемент; СУ – підсумовуючий пристрій; УЕ – керуючий елемент; П – силовий перетворювач; М – електрична машина; ДЕРЖ – головна ОС; ВОС – допоміжна ОС.

Для систем, що працюють за розімкненим циклом (рис. 7.2) характерна відсутність всякого виміру та контролю кінцевого значення регульованої величини U .

Регулююча дія від регульованої величини не залежить. У цих системах маємо лише один канал інформації – канал завдання, точність виконання заданого режиму невелика. Така система використовується для пуску та гальмування двигунів, регулювання швидкості у невеликих межах.

3. Додаткові функції СУЕП

Системи автоматичного регулювання виконують додаткові функції, крім розглянутих у шести групах. До них відносяться функції сигналізації, що повідомляють про ході технологічного процесу про включення механізмів, справності та несправності їх, самих СУЕП, кількості продукції, сигналах, переданих операторами тощо.

Для виконання цих функцій відбивається на пультах управління, спеціальних табло, мнемосхемах та ін., а також за допомогою звукових сигнальних пристроїв. Додаткові функції включають: дистанційне керування; блокування, що забезпечують строгу послідовність операцій включення та відключення окремих механізмів, вузлів та елементів; захист двигунів та іншого електрообладнання від струмів короткого замикання, неприпустимих тривалих та короткочасних навантажень.

4. Електричні схеми СУЕП і вимоги до них вимоги

Електричною схемою СУЕП називається схема електричних ланцюгів, що входять до неї електричних машин, перетворювачів, апаратів та пристроїв.

Механічні деталі та зв'язку, як правило, не показуються. Іноді зображаються ці зв'язку розуміння принципу роботи схеми.

Електричні ланцюги, що входять до схем, складаються з умовних зображень машин, апаратів приладів та пристроїв, здебільшого відповідно до прийнятих у практиці проектними організаціями. Електричні машини, перетворювачі, апарати, прилади та пристрої СУЕП різноманітні. Вони, у свою чергу, складаються з окремих деталей (елементів). Наприклад, до складових елементів контактора відносяться: котушка, головні та блокувальні контакти, система дугогасіння.

Незважаючи на різноманітність машин, перетворювачів, апаратів, приладів та пристроїв СУЕП, їх елементи мають значну спільність. Різні електромагнітні реле мають в якості основних елементів лише котушки та контакти. Введення умовних зображень тільки для котушок контактів дозволяє зображати численні призначення та різноманітні за конструктивним виконанням реле в електричних схемах.

Завдяки спільності елементів у схемах СУЕП застосовується відносно невелике кількість умовно-графічних зображень цих елементів.

В електричних схемах усі контакти апаратів зображуються у нормальному положенні, за яке приймається стан елементів апарату, до яких не додано будь-яких електричних, електромагнітних або механічних зусиль та впливів.

Електричні з'єднання між зображеннями машин, апаратів приладів та пристроїв у схемах СУЕП виконуються товстими та тонкими лініями. Товстими лініями зображуються силові ланцюги, у тому числі ланцюги якорів, статорів та роторів ЕМ, вихідні ланцюги силових перетворювачів електроенергії, ланцюги силових трансформаторів. Тонкими лініями виконуються всі ланцюги управління, у тому числі ланцюги котушок реле напруги, обмоток керування ЕМУ, МУ, сельсинів, тахогенераторів. У місцях з'єднання ставляться точки. Кожний ЕМ, перетворювачу, апарату та пристрої в електричній схемі надається своє літерне позначення.

Проектування СУЕП починається зі складання технічного завдання. Технічне Завдання слід пов'язувати з технологією роботи об'єкта автоматизації та його конструкцією.

Найкраще рішення з погляду продуктивності виходять тоді, коли для автоматизації приймається найкращий варіант електрообладнання, технології та конструкції, оцінений спільно. Кожна електрична схема повинна створюватися за певного технічного завдання. Технічне завдання визначає основні функції, які має виконувати дана СУЕП, і як наслідок, попередньо визначає її блок-схему та основні вузли. Технічне завдання має дати можливість вибору роду струму, напруги, типу машин та перетворювачів відповідно до теорії електроприводу.

Технічне завдання визначає технологічні режими роботи об'єкта управління, а отже режими роботи машин та пристроїв системи управління, які необхідно виконувати. Технічне завдання задає значення допустимих статичних та динамічних помилок при автоматичному регулюванні швидкості, відпрацюванні заданих переміщень робочого органу, яке необхідно витримувати за заданих обурення. Виконання цієї вимоги призводить до необхідності правильного вибору параметрів та характеристик електричних машин, апаратів,

приладів та пристроїв та визначення необхідних режимів роботи. У зв'язку з цим виникають завдання синтезу всієї СУЕП або окремих її частин та вузлів, внаслідок якого уточнюється попередньо обрана структурна схема, вводяться вузли, що коректують перехідні процеси та процеси усталеного руху. Електрична схема, покликана виконувати певне завдання з автоматичного управління тим чи іншим об'єктом, можливо складена у великій кількості варіантів. Слід вибирати найкращі варіанти з урахуванням вимог:

1. Простота та надійність управління. Найбільша простота досягається мінімальною кількістю машин, апаратів приладів та пристроїв, а також мінімальною кількістю елементів, з яких вони складаються (контактів, котушок, транзисторів, тиристорів та ін.). Найбільша простота досягається використанням простих та однотипних машин, апаратів приладів та пристроїв.

Максимальна надійність електричної схеми досягається її простотою, застосуванням безвідмовно працюючих машин, апаратів приладів та пристроїв, що забезпечують високу міцність і довговічність, велика кількість включень до повного зносу незамінних елементів, незмінність параметрів і властивостей машин і інших компонентів.

Надійність схеми суттєво залежить від прийнятого принципу дії схеми та її монтажу (передбачається захист, монтаж на панелях слід здійснювати жорстким дротом), а також підвищується за рахунок застосування безконтактних елементів, застосування доцільних електричних та механічних блокувань.

2. Гнучкість та зручність управління.

Полегшує та прискорює роботу операторів, дозволяючи швидко змінювати режими роботи та усувати пошкодження. Система автоматичного управління є гнучкою, якщо вона дозволяє швидкі та прості переходи від управління одними механізмами до керування іншими, від автоматичного керування одними виробничими процесами управління іншими виробничими процесами.

3. Простий контроль справності схеми та зручності знаходження пошкоджень. Для контролю справності окремих вузлів та знаходження пошкоджень складні електричні схеми секціонуються, і окремі секції живляться через свої запобіжники та вимикачі. Застосовується сигналізація для показу стану тієї чи іншої машини, апарату, поява або зникнення напруги на окремих ділянках схеми. Для швидкого знаходження несправності необхідно проводити маркування ланцюгів схеми, монтаж виконувати різнокольоровими проводами та фарбувати шини відповідні кольори.

4. Чіткість дії при нормальних та аварійних режимах.

СУЕП за будь-яких режимах роботи має забезпечити строгу послідовність роботи машин, апаратів і повинні бути відсутні хибні ланцюги (що виникають при згорянні котушок, приварювання контактів тощо). Будь-яке з цих пошкоджень не повинно викликати розвиток аварії.

5. Зручність монтажу, експлуатації та ремонту.

Монтаж складних СУЕП ділять на низку проміжних операцій: монтувати окремо вузли, блоки, налаштовувати їх та налаштованими доставляти на місце монтажу, планові ремонти (середній та капітальний) складних пристроїв проводяться у спеціальних цехах, майстернях, лабораторіях. У процесі експлуатації потрібне переналагодження, чищення та заміна окремих деталей,

контроль за роботою системи за допомогою вбудованих у неї та переносних контрольно-вимірювальних приладів, провадження деяких операцій вручну. У цьому випадку система повинна передбачати зручність проведення всіх цих операцій. Всі апарати та машини повинні бути доступні як для заміни окремих елементів, так і апаратів, а також повинні мати налагоджувальні перемикачі, деталі налаштування реле та інших апаратів, підстроювальні потенціометри.

6. Мінімальні розміри та вартість пристроїв управління.

7. Безпека обслуговування та інші вимоги (вони визначені у ПУЕ, ПТЕ та ПТБ, правила пожежної безпеки, правила обслуговування вибухонебезпечних установок).

ТЕМА 8. КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНОЇ АПАРАТУРИ.

План

1. Основні положення.
2. Вузли пуску та гальмування електродвигунів, що працюють за принципом струму.
3. Типові вузли схем автоматичного керування електродвигунами змінного та постійного струму.

1. Основні положення

Проектування СУЕП починається, як правило, із складання елементної схеми управління відповідно до технічного завдання. Схема управління складається з типових апробованих вузлів. Перший варіант елементної електричної схеми піддається розгляду згідно з вимогами технічного завдання до складання схеми. На підставі цього проводиться вибір типу та параметрів всіх елементів, що входять до схеми та приймаються рішення щодо зміни окремих вузлів. Елементна схема отримує остаточний вигляд.

Після проектування елементної схеми СУЕП за потребою складаються монтажні схеми та виконується конструктивна розробка з розміщення електрообладнання в шафах, на панелях, технологічних машинах відповідно до завданням.

При розгляді типових вузлів електричних схем СУЕП, що здійснюють пуск, гальмування та реверсування електродвигуна необхідно розглядати принципи, яким вони працюють. Найчастіше виділяють принципи часу, швидкості (ЕРС), струму, шляхи та ін.

2. Вузли пуску та гальмування електродвигунів, що працюють за принципом струму

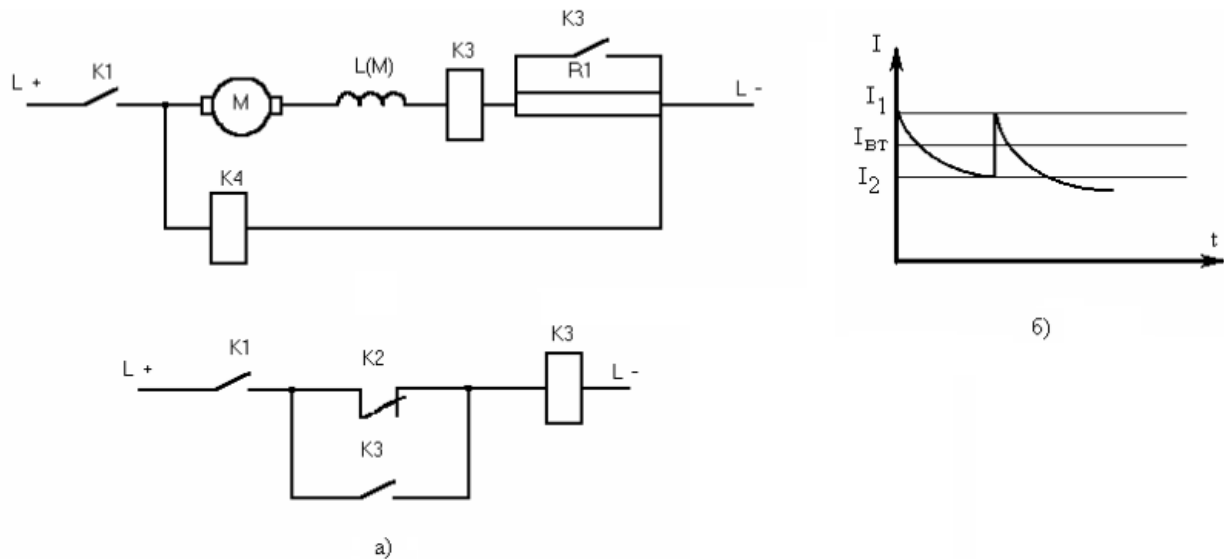


Рисунок 8.1 – Пуск та гальмування за принципом струму (а) – схема пуску; б) – графік струму).

Управління функції струму реалізується застосуванням реле мінімального струму. Ці реле включають контактори прискорення в моменти досягнення струмом двигуна заданого значення I_2 .

Вузол такої схеми наведено на рис. 8.1 у застосуванні до ДПТ послідовного збудження, там же наведено криву струму якоря при пуску. Після замикавання контакту лінійного контактора $K1$ в головному ланцюзі починає протікати пусковий струм, постійно що зменшується від значення I_1 . Реле прискорення $K2$ має струмову котушку і спрацьовує в початку пуску, розмикаючи свій контакт, що розмикається в ланцюгу котушки контактора $K3$. Струм втягування цього реле менше I_1 , а струм відпускання дорівнює струму перемикавання I_2 .

У ланцюгу котушки контактора прискорення є замикаючий контакт блокувального реле $K4$, що не дозволяє контактору прискорення увімкнутися відразу після включення контактора $K1$. Власний час увімкнення реле $K4$ вибирається великим або рівним свого часу включення реле прискорення $K2$. Контакт реле $K2$ скорочується контактом контактора $K3$, отже, при другому кидку пускового струму контактор $K3$ залишається увімкненим.

Принцип струму знайшов досить широке застосування під час управління полем двигуна незалежного збудження в режимах автоматичного пуску, гальмування та реверсування. На рис. 8.2 (а, б) представлений вузол схеми запуску двигуна з використанням принципу струму при розгоні двигуна до заданої швидкості, що перевищує номінальну.

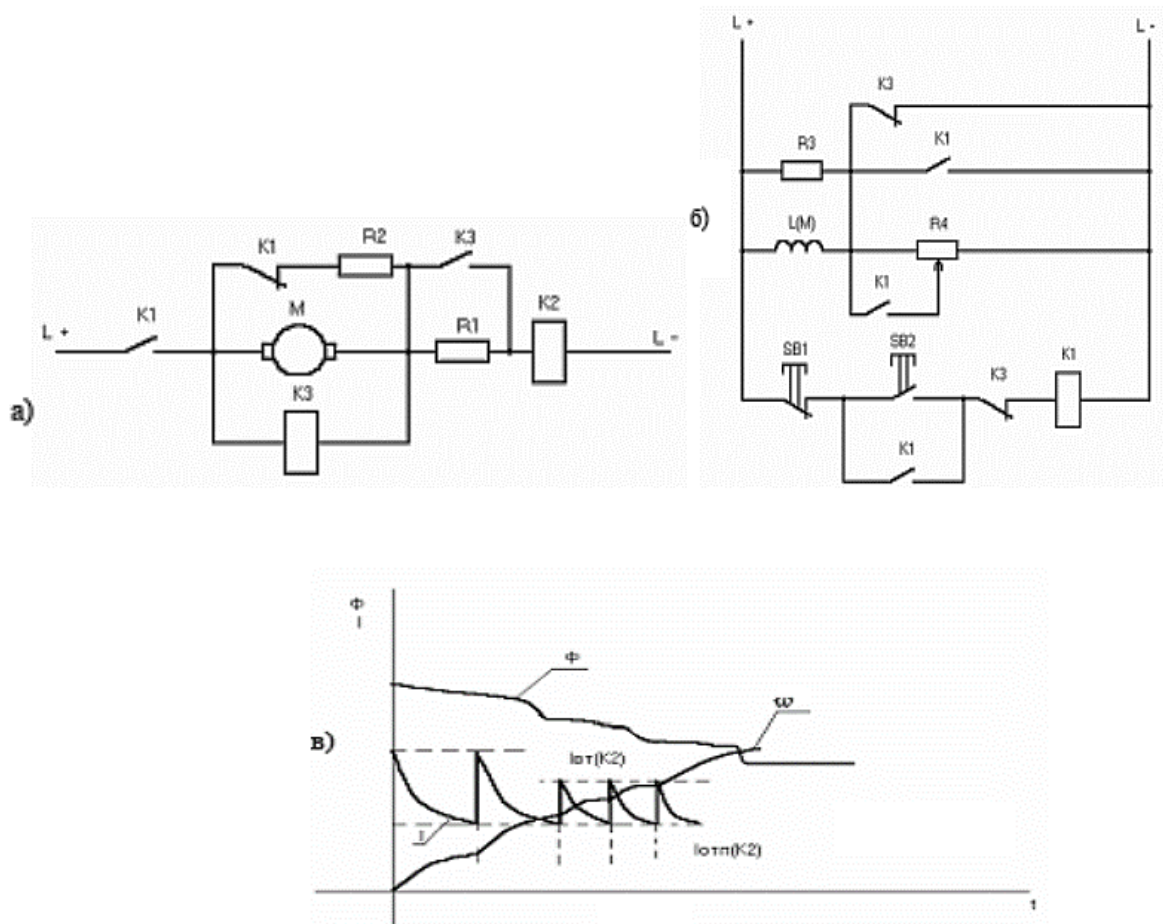


Рисунок 8.2 – Вузол пуску ЕП до функцій струму при розгоні двигуна до швидкості, вище номінальною (а) – схема силової частини; б) – схема управління ЕП; в) – графіки перехідних процесів).

У вихідному положенні обмотка збудження $L(M)$ обтікається максимальним струмом, двигун має номінальний магнітний потік Φ_n . Натискання кнопки $SB2$ (пуск) призводить до включення якоря двигуна з послідовним опором $R1$ напруга мережі. Починається пуск двигуна, і реле управління полем $K2$ закриває свій контакт у ланцюзі збудження двигуна. За певної швидкості обертання включається контактор прискорення $K3$, після чого двигун працює відповідно зі своєю природною характеристикою. Коли струм якоря зменшиться до струму "відпадання" реле $K2$ відкриває свій контакт і починається процес ослаблення поля. Якщо при цьому струм у якорі досягне струму втягування, то реле $K2$ закриє свій контакт і почне зростання магнітного потоку за одночасного збільшення швидкості двигуна, бо струм якоря перевищує струм, що викликається моментом опору M_c в режимі, що встановився. Реле $K2$ може спрацьовувати кілька разів, перш ніж двигун досягне швидкості, заданої регулятором збудження $R4$.

3. Типові вузли схем автоматичного керування електроприводами змінного та постійного струму

Якщо мережа живлення і сама машина допускають пряме включення на повне напруга, то здійснюється прямий пуск підключенням статора асинхронної машини короткозамкнутим ротором до мережі живлення. Для асинхронних двигунів $I_{\text{пуск}} = (5-7) I_{\text{н}}$.

В інших випадках вдаються до схем (рис. 8.3)

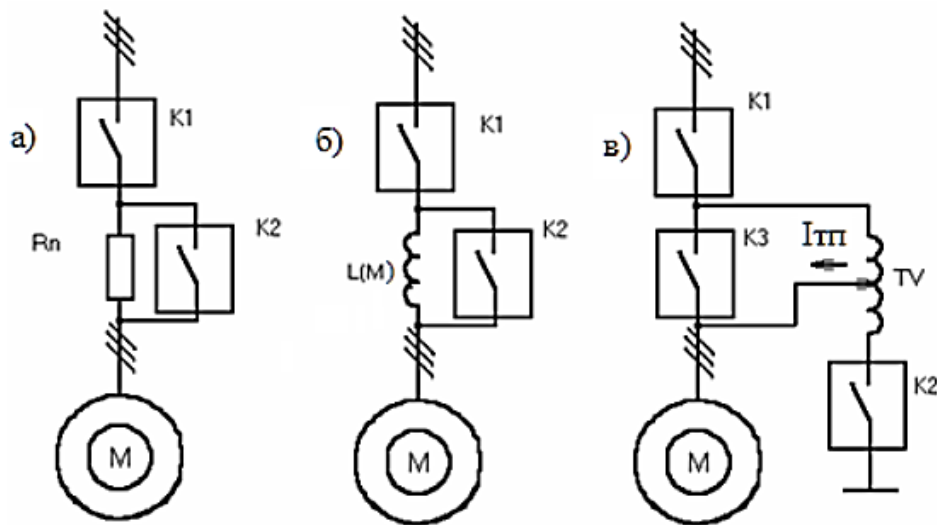


Рисунок 8.3 – Схеми запуску асинхронних двигунів

а) – з активними опорами;

б) – з дроселями (реакторами);

в) – автотрансформаторами. Вузол схеми включає тільки головні ланцюги машин, два вимикачі K1 та K2, які для низьковольтних машин замінюються контакторами.

Для великих високовольтних машин до 1000 кВт і вище 1000 В втрати енергії пускових опорів значні, тому їх замінюють індуктивними елементами (дроселями, реакторами).

Увімкнення R та L служить для обмеження пускового струму та моменту. Управління вимикачами K1, K2 здійснюється у функції часу, струму.

Для забезпечення максимального пускового моменту при заданому обмеженні поштовхів струму застосовується вузол автотрансформаторного запуску. Вмикається K2, замикаючи нульову точку трансформатора, а потім K1 – машина підключається на знижену напругу.

Автоматичний пуск двигунів з контактними кільцями зазвичай провадиться з послідовним закорочуванням окремих щаблів пускових опорів контакторами. Найчастіше використовуються такі вузли схем (рис. 8.4).

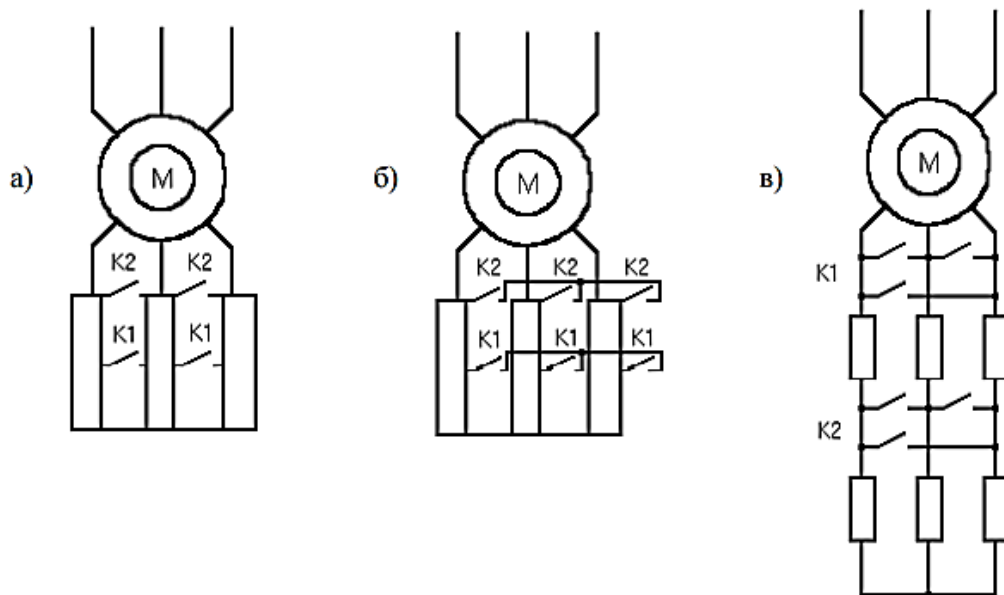


Рисунок 8.4 – Схеми пуску асинхронних двигунів із фазним ротором

Такі вузли схем застосовуються для машин малої, середньої та великої потужностей номінальним струмом ротора до 900 А. Вузол схеми 3.13,а має найбільше поширення, бо він вимагає мінімальної кількості контактів контакторів і відрізняється простотою монтажу.

Вузли (рис. 8.4 б, в) мають на 50% більше контактів. При вимкненні забезпечують розмикання будь-якого ланцюга двома контакторами К1, К2. Монтаж ускладнюється незначно. Схема застосовується зрідка за порівняно високих напругах на роторі.

При збільшенні струму роторного ланцюга вище 900 А, застосовуються два паралельні ланцюги роторних опорів.

Крім контакторних схем пуску, гальмування, регулювання швидкості у роторній ланцюги останнім часом застосовують безконтактні методи (за допомогою тиристорів).

Задача 1. Розрахувати геометричні розміри електромагнітного реле клапанного типу з двома розмикаючими й одним замикаючим контактами, що при зазорі $\delta = 5 \cdot 10^{-4}$ м розвиває силу тяги $F_{max} = P_{max} k_{зап}$. Режим роботи обмотки – тривалий, коефіцієнт розсіювання σ приймається від 1,5 до 2,5, причому менші значення приймаються для магнітних систем з малим ходом якоря (приблизно до 5...8 мм), великі - для магнітних систем з великим ходом якоря.

Розв'язування

Приймемо, що поле в робочому зазорі рівномірне.

Для зручності вибору форми електромагніту в проектному розрахунку вводиться поняття конструктивного фактора. Ця величина для магнітних систем з постійними ампер-витками визначається з виразу

$$k. \Phi. = \sqrt{\frac{0,1 \cdot F_{\Pi}}{\delta}}, \text{ Н}^{1/2}/\text{см.}$$

де F_{Π} – початкове зусилля притягання електромагніту, Н;
 δ – хід якоря електромагніту, см.

$$F_{\Pi} = P_{\text{мех}} \cdot k_3$$

де $P_{\text{мех}}$ – початкове значення загальної механічної характеристики;
 k_3 – коефіцієнт запасу для реле керування може бути рекомендована в межах: 1,5...2.

За значеннями конструктивного фактора по таблицям, вибираємо форму електромагніту. Потім із кривих визначаємо значення індукції в повітряному зазорі B_{Π} і відношення висоти до ширини катушки $t=l/h$.

Задаємось індукцією в сталі B_c . Для магнітних систем реле B_c змінюється від 0,4 Тл до 0,7 Тл.

Визначаємо площу поперечного перерізу полюсного наконечника

$$S_H = \frac{F_k \cdot \mu_0}{B_{\Pi}^2}$$

де $F_k = P_{\text{мех,мак}} k_3$,

$P_{\text{мех,мак}}$ – максимальне значення загальної механічної характеристики,

k_3 – коефіцієнт запасу для реле, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнітна проникність повітряного зазору

σ – коефіцієнт розсіювання магнітної системи дорівнює

$$\sigma = \frac{\Phi}{\Phi_B}$$

Переріз сердечника визначиться з рівняння

$$S_c = \frac{\delta \cdot B_{\Pi} \cdot S_H}{B_c}$$

$$\text{де } S_c = \frac{\pi \cdot d_c^2}{4}$$

Визначаємо діаметр сердечника електромагніту, чисельно рівного внутрішньому діаметру котушки D_k

$$d_c = \sqrt{\frac{4 \cdot S_c}{\pi}}$$

діаметр полюсного наконечника електромагніту

$$d_H = \sqrt{\frac{4 \cdot S_H}{\pi}}$$

Магніторушійна сила котушки витрачається на робочий повітряний зазор F_B , на паразитні зазори F_{Π} і втрати в сталі F_C .

Величина м.р.с., що губиться в паразитних зазорах і в сталі, складає зазвичай від 15 до 35% від повної м.р.с. котушки. Тоді магніторушійна сила котушки електромагніту визначиться з рівняння

$$F_{M.K} = F_B + k_{\Pi} \cdot F_{M.K.}$$

де $k_{\Pi} = 0,15 \dots 0,35$, а оскільки в першому наближенні провідність робочого повітряного зазору

$$G_B = \frac{\mu_0 \cdot S_c}{\delta}$$

то повна м.р.с. котушки визначиться з виразу $F_{M.K} = \frac{B_B \cdot \delta}{\mu_0 \cdot (1 - k_{\Pi})}$

Визначаємо площу поперечного перерізу ярма:

$$S_{яр} = \frac{S_c}{\sigma}$$

Конструктивно задаємось одним з розмірів ярма, яке має прямокутну форму. Товщина ярма змінюється в межах від 4мм до 8 мм. Задаємось товщиною, а ширину розраховуємо .

Визначимо інші розміри магнітопроводу:

$$D_1 = d + 2h_k = (3,6 + 1,2) \cdot 10^{-2} = 4,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$S_{Kop} \approx S_C$$

При цьому, вважаючи магнітне поле розсіювання плоско-паралельним, одержимо

$$B_{Kop} \approx B_P$$

$$D_2 = \sqrt{d_c^2 + D_1^2} = 10^{-2} \sqrt{(3,6)^2 + (4,8)^2} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Виходячи з того, що середній переріз якоря дорівнює перерізу сердечника, тобто $S_{я.ср} = S_C = \pi \cdot a_{я} \cdot D_{ср} = \pi \cdot a_{я} \cdot (d_C + h_K)$, де $D_{ср} = (d_C + D_I)/2$, визначають товщину якоря:

$$a_{я} = \frac{\pi \cdot d_C^2}{4 \cdot \pi \cdot (d_C + h_K)} = \frac{(3,6 \cdot 10^{-2})^2}{4 \cdot (3,6 + 0,6) \cdot 10^{-2}} = 0,77 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

У розглянутому електромагніті робочий зазор малий, потоки розсіювання незначні, тому товщину фланця a_ϕ можна взяти рівною чи небагато більшою товщини якоря. Беремо $a_\phi = 0,8 \cdot 10^{-2}$ м (коефіцієнт розсіювання рівним $\sigma = 1,04$).

Завдання для самостійного розв'язування

Задача 1. Номінальна напруга U_H В; м. р. с. нагрітої котушки F_M , А; внутрішній діаметр котушки $D_{вн}$, 20 мм. Провести повний розрахунок котушки на нагрівання з визначенням розмірів котушки, обмотувального проводу і числа витків. Температура навколишнього середовища T_0 , °С.

№ Вар.	U_H , В	F_M , А	$D_{вн}$, мм	T_0 , °С
1	110	3300	18	36
2	120	3200	20	30
3	110	3400	22	32
4	120	3500	25	38
5	220	3600	18	40
6	120	3500	22	42
7	110	3300	20	37
8	120	3600	24	30
9	220	3200	18	40
10	110	3400	25	36

Задача 2. Розрахувати максимальний струмовий захист (МСЗ) та струмову відсічку (СВ) повітряної лінії напругою 10 кВ. Максимальний робочий струм на головній ділянці лінії $I_{роб.мах} = 41,3$ А, найбільш потужна підстанція лінії $S_H = 160$ кВА, сумарна потужність трансформаторів ТП 10/0,4 $\Sigma S_{H,TP} = 1320$ кВА. Параметри мережі наведено на рис. 8.5.

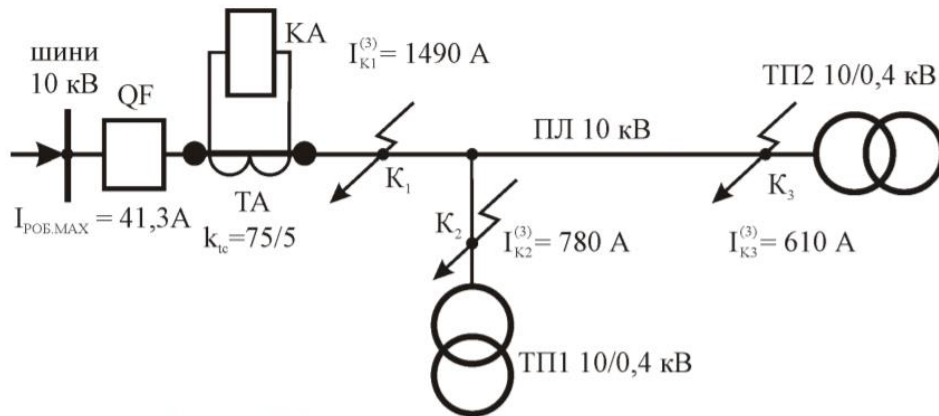


Рисунок 8.5 – Розрахункова схема повітряної лінії 10 кВ

Задача 3. Розрахувати розміри електромагніта контактора постійного струму.

Вихідними даними для електромагнітного пристрою є: номінальний струм – 400 А, номінальна напруга – 440 В, число включень на годину – 1200.

Задача 4. Розрахувати максимальний струмовий захист (МСЗ) та струмову відсічку (СВ) повітряної лінії напругою 10 кВ (рис.). Параметри електричної мережі за варіантами наведено в табл. 8.1.

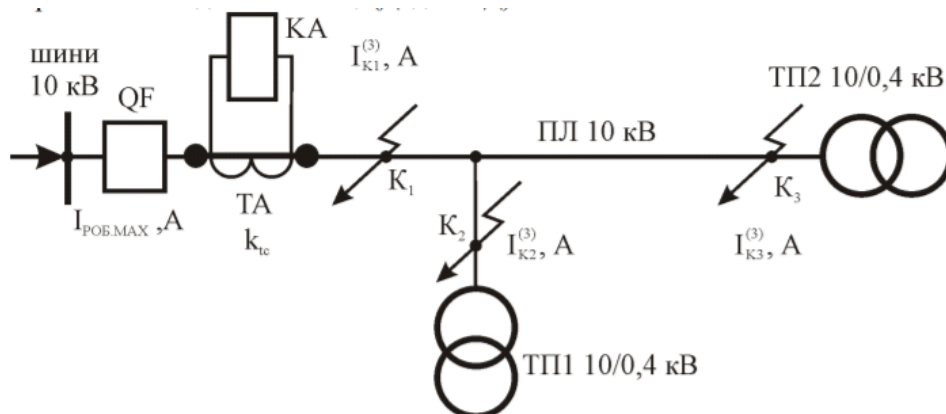


Рисунок 8.6 – Розрахункова схема повітряної лінії 10 кВ

Таблиця 8.1 – Параметри електричної мережі 10 кВ

Варіант	$I_{роб.мах}, A$	$I_{к1}^{(3)}, A$	$I_{к2}^{(3)}, A$	$I_{к2}^{(3)}, A$	$\sum S_{н.тр},$ кВА	$S_{н.мах},$ кВА	$k_{тс}$
1	20,5	1590	720	420	1320	160	50/5
2	70,1	2150	980	580	1720	100	100/5
3	23,8	2000	890	610	1883	160	50/5
4	68,1	2310	870	520	1820	250	100/5
5	22,2	1780	630	390	2120	160	50/5
6	66,3	2460	890	480	2170	100	100/5
7	38,9	2890	1030	630	2145	160	75/5
8	65,0	2620	920	700	2393	100	100/5
9	18,4	3270	1050	740	2280	160	30/5
10	19,3	3100	1010	800	2145	250	50/5

Контрольні запитання

1. Основні положення.
2. Вузли пуску та гальмування електродвигунів, що працюють за принципом часу.
3. Вузли пуску та гальмування двигунів, що працюють за принципом швидкості.
4. Вузли пуску та гальмування електродвигунів, що працюють за принципом струму.
5. Вузли пуску та гальмування електродвигунів, що працюють за принципом шляху.
6. Типові вузли схем автоматичного керування електроприводами змінного та постійного струму.
7. Вузли захисту, що застосовуються в СУЕП.
8. Блокування та сигналізації, що застосовуються в СУЕП.
9. Основні схеми вузлів статорних ланцюгів асинхронних двигунів короткозамкненим ротором.
10. Вузли пускових роторних опорів асинхронних машин.
11. Вузли схем, що забезпечують пуск синхронних машин.
12. Вузли схем головних ланцюгів машин постійного струму.
13. Номінальною напругою контактора називається.

Тестові завдання

Для контакторів постійного струму з номінальним струмом 630 А час включення складає

- A. 0,3 с
- B. 0,34 с
- C. 0,37 с
- D. 0,4 с

У контакторах постійного струму з номінальним струмом 100 А власне час відключення становить

- A. 0,03 с
- B. 0,05 с
- C. 0,07 с
- D. 0,1 с

Мінімально можлива різниця між часом спрацьовування суміжного захисту, що враховує точність роботи реле

- A. Ступінь селективності
- B. Ступінь спроможності
- C. Ступінь відбору
- D. Ступінь реагування

Розрахунок площі шини

$$A. S = I_{K3} \sqrt{\frac{t_{K3}}{A_{K3} - A_H}}$$

$$B. S = I_{K3} / \sqrt{\frac{t_{K3}}{A_{K3} - A_H}}$$

$$C. S = I_{K3} \sqrt{\frac{t_{K3}}{A_{K3} + A_H}}$$

$$D. S = I_{K3} / \sqrt{\frac{t_{K3}}{A_{K3} + A_H}}$$

Електромагнітна система, незалежно від типу, складається з

- A. сердечника
- B. якоря
- C. котушки
- D. усі відповіді вірні

Механічна зносостійкість контакторів визначається

- A. числом циклів включення-відключення контактора без ремонту і заміни його вузлів і деталей
- B. тривалістю роботи контактора без ремонту і заміни його вузлів і деталей
- C. тривалістю роботи контактора до повного руйнування
- D. немає вірної відповіді

До регулярних методів відносяться методи повного перебору

- A. Декарта
- B. Гауса-Зейделя
- C. Фрідкіна
- D. Ейлера

Коефіцієнт додаткових втрат для постійного струму приймається

- A. $k_d = 0,5$
- B. $k_d = 1,0$
- C. $k_d = 1,5$
- D. $k_d = 2,0$

ТЕМА 9. СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

План

1. Електричні машини постійного струму.
2. Машини постійного струму з незалежним збудженням.
3. Машини постійного струму послідовного збудження.

1. Електричні машини постійного струму

Електричною машиною постійного струму прийнято вважати машину, яка генерує в мережу або споживає з неї постійний струм. Робота машини постійного струму, як і машин змінного струму, ґрунтована на законі електромагнітної індукції. Облаштування машини постійного струму подібно до облаштування оберненої синхронної машини, у якій нерухома частина - індуктор - створює основний магнітний потік Φ_v , а в що знаходиться усередині якорі відбувається процес електромеханічного перетворення енергії: електричною в механічну(двигун) або назад - механічну в електричну(генератор).

Під механічною характеристикою двигуна прийнято розуміти залежність його швидкості обертання від моменту навантаження.

Механічні характеристики машини з незалежним збудженням при різних опорах в якорному ланцюзі показані на рис. 9.1., механічні характеристики при різних потоках представлені на рис.9.2. а., а при різній напрузі на якорі - на рис. 9.2. б.

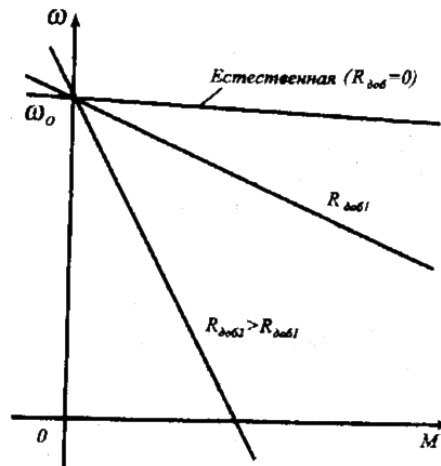


Рисунок 9.1. – Механічні характеристики машини з незалежним збудженням при різних опорах в якорному ланцюзі

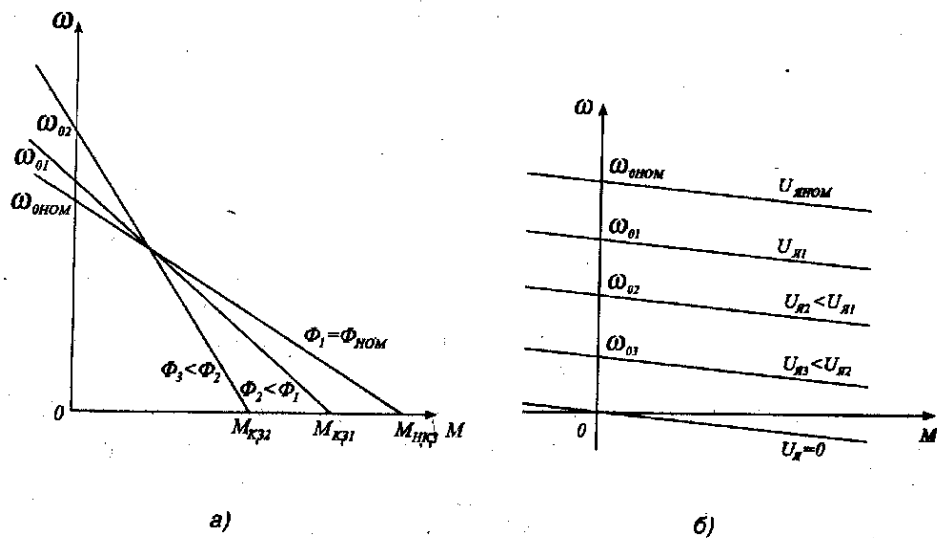


Рисунок 9.2 – Механічні характеристики при різних потоках (а), а при різній напрузі на якорі (б)

Вид цих характеристик визначає і область їх використання при регулюванні швидкості обертання двигуна постійного струму: в області швидкостей, менших номінальною використовується регулювання напруги на якорі, а в області великих – зменшення магнітного потоку машини.

Робочі характеристики двигуна постійного струму є залежностями моменту, швидкості обертання, струму якоря і коефіцієнта корисної дії від вихідної потужності двигуна. Якісний вид цих характеристик для двигунів з паралельним збудженням представлений на рис. 9.3.

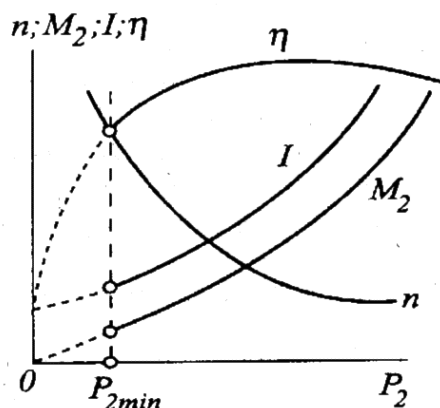


Рисунок 9.3 – Якісний вид цих характеристик для двигунів з паралельним збудженням

2. Машини постійного струму з незалежним збудженням

Модель включає джерела постійної напруги (V1 – для живлення якоря машини, V2 – для живлення обмотки збудження з бібліотеки Power System Blockset/Electrical Sources), блок Moment для завдання моменту навантаження (блок Constant з бібліотеки Simulink/Sources), саму машину постійного струму (блок DC Machine з бібліотеки Power System Blockset/Machines), блок для виміру змінних стану машини Display і осцилограф Scope для візуального спостереження процесів з бібліотеки Simulink/Sinks.

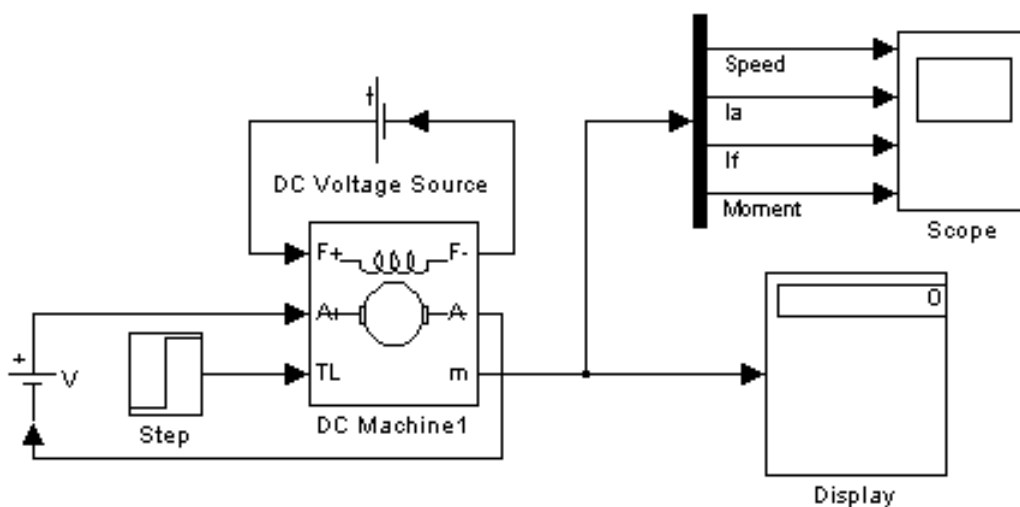


Рисунок 9.4 – Модель для дослідження машини постійного струму з незалежним збудженням

Ланцюг якоря і ланцюг збудження видно з графічного накреслення блоку. На вхід ТЛ подається момент навантаження, вихід m призначений для виміру і спостереження змінних стану машини в наступній послідовності: кутова швидкість (рад/с), струм якоря I_a (А), струм збудження I_f (А), електромагнітний момент (Нм).

У полях налаштування машини задаються:

- параметри обмотки якоря - R_a (Ом), L_a (Гн);
- параметри обмотки збудження - R_f (Ом), L_f (Гн);
- коефіцієнт L_{af}
- сумарний момент інерції машини і навантаження – J (кгм²). Слід підкреслити, що параметри $B L_f$, J) важливі при дослідженні перехідних процесів. На режими, що встановилися, вони не впливають;
- коефіцієнт в'язкого тертя - $(\text{Нм}\cdot\text{с})$;
- коефіцієнт сухого тертя - (Нм)
- початкова швидкість.

Взаємна індуктивність між обмотками збудження і якоря визначається з виразів:

$$I_g = \frac{U_g}{R_g}, M_n = \frac{P_n}{\omega_n}, I_{я.н} = \frac{P_n}{U_{я.н} \cdot \eta_n} - I_g, L_{af} = \frac{M_n}{I_{я.н} \cdot I_g}$$

Індуктивність обмотки при дослідженні процесів, що встановилися, може бути прийнятою близькою до нуля. При дослідженні перехідних процесів значення для машин звичайного виконання вибирається з нерівності

$$L_g \geq (2-5) \frac{L_a \cdot R_g}{R_a}$$

Момент інерції для двигунів звичайного виконання визначається з нерівності

$$J \geq \frac{(5-10) \cdot L_a \cdot P_n^2}{R_a^2 \cdot \omega_n^2 \cdot I_{я.н.}^2}$$

Момент сухого тертя і коефіцієнт в'язкого тертя визначаються з наступних міркувань. Загальні механічні втрати для машин звичайного виконання складають $\Pi_{мех} = (0,5-2\%)P_n$. Крім того ці втрати рівні $\Pi_{мех} = T_f \cdot \omega_n + B_m \cdot \omega_n^2$. Якщо вважати, що втрати на тертя і вентиляційні втрати приблизно рівні, то

$$T_f \approx \frac{\Pi_{мех}}{2 \cdot \omega_n}, B_m \approx \frac{\Pi_{мех}}{2 \cdot \omega_n^2}$$

Паспортні параметри машин постійного струму приведені в табл. 9.1.

Таблиця 9.1 – Паспортні параметри машин постійного струму

Тип двигуна	P_n [кВт]	U_n [В]	n_n [об/хв]	h_n [%]	R_γ [Ом]	R_σ [Ом]	L_γ [мГн]
1	2	3	4	5	6	7	8
2ПН-0.17	0,17	220	750	48,5	27,2	162	514
2ПН-0.25	0,25	220	1120	57	15,47	612	297
2ПН-0.37	0,37	220	1500	61,5	10,61	612	190
2ПН-0.71	0,71	220	2360	70	3,99	123	70
2ПН-1.0	1	220	3000	72,5	2,52	92	48

3. Машини постійного струму послідовного збудження

У двигунах з послідовним збудженням потік і момент залежать від струму якоря. Розрахувати механічні характеристики послідовного збудження, у зв'язку з нелінійністю кривої намагнічення машини, дуже скрутна. У каталогах наводяться природні характеристики і. Вид статистичних характеристик двигуна постійного струму послідовного збудження при різній величині опору в ланцюзі якоря і величини живлячої напруги показані на рис. 9.5 а, б.

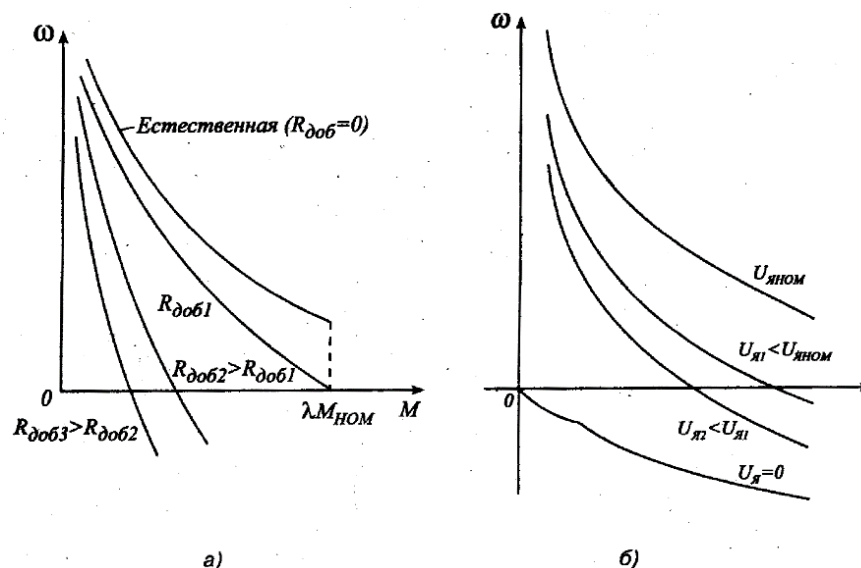


Рисунок 9.5 – Характеристика двигуна постійного струму послідовного збудження при різній величині опору в ланцюзі якоря (а) і величини живлячої напруги (б)

Робочі характеристики двигуна постійного струму є залежностями моменту, швидкості обертання, струму якоря і коефіцієнта корисної дії від вихідної потужності двигуна. Якісний вид цих характеристик для двигунів з послідовним збудженням представлений на рис. 9.6.

Віртуальна лабораторна установка включає джерела постійної напруги (V – для живлення машини з бібліотеки Power System Blockset/Electrical Sources), блок Moment для завдання моменту навантаження (блок Constant з бібліотеки Simulink/Sources), саму машину постійного струму (блок DC Machine з бібліотеки Power System Blockset/Machines), блок для виміру змінних стану машини Display з бібліотеки Simulink/Sinks.

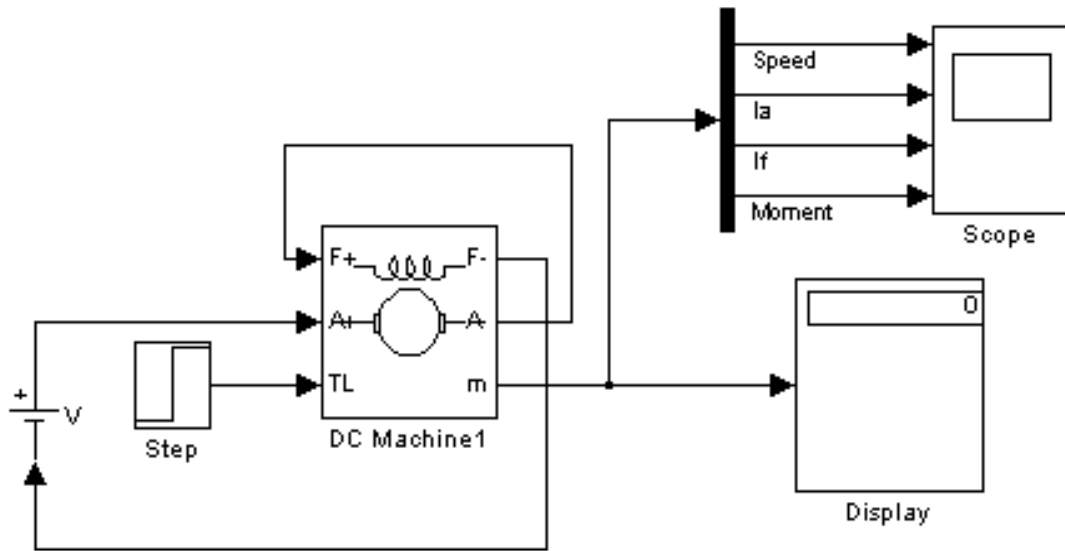


Рисунок 9.6 – Модель для дослідження машини постійного струму з послідовним збудженням

Задача 1. Для двигуна типу 2ПФ1600М4ХЛ з технічними даними $P_{\text{ном}} = 10,5 \text{ кВт}$; $U_{\text{м}} = 440\text{В}$; $n_{\text{н}} = 3000 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$; $n_{\text{мех}} = 4000 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$; $R_{\text{а}} = 0,564 \text{ Ом}$; $R_{\text{об}} = 256 \text{ Ом}$; $\eta = 85\%$

1. Розрахувати та побудувати дійсну механічну характеристику
2. Розрахувати та побудувати характеристику при зміні напруги на 60%
3. Розрахувати та побудувати механічну характеристику при послабленні магнітного потоку на 30%.
4. Розрахувати та побудувати механічну характеристику при введенні опору в обмотку якоря, яка рівна: де, номер варіанту.

1. Розрахувати та побудова дійсної механічної характеристики

1. Схема ввімкнення двигуна постійного струму паралельного збудження при регулювальних властивостях:

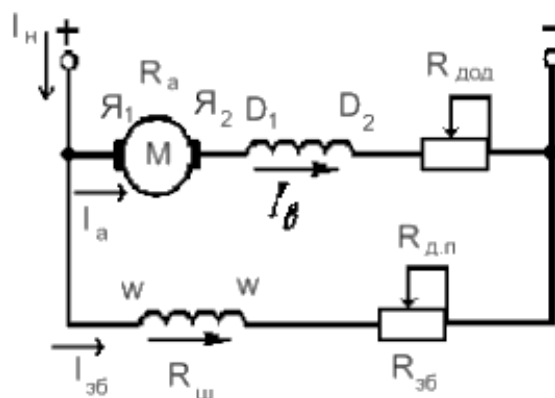


Рисунок 9.7 – Схема ввімкнення двигуна постійного струму

2. Визначаємо номінальний момент M_H двигуна:

$$P \cdot 10^3$$

$$M_H = 9,556 \cdot \frac{P_H \cdot 10^3}{n_H}$$

$$M_H = 9,556 \cdot \frac{10,5 \cdot 10^3}{3000} = 33,45 \text{ Нм}$$

3. Визначаємо значення струмів:

а. Струм збудження: $I_B = \frac{U_H}{R_3}$

$$I_B = \frac{440}{256} = 1,718 \text{ А}$$

б. Номінальний струм:

$$I_H = \frac{P_H}{U_H \cdot \eta_H}$$

$$I_H = \frac{10500}{440 \cdot 0,85} = 28,1 \text{ А}$$

в. Струм якоря:

$$I_a = I_H - I_B$$

$$I_a = 28,1 - 1,72 = 26,38 \text{ А}$$

4. Визначаємо добуток коефіцієнта машини на магнітний потік з формули електромеханічної характеристики:

$$n_H = \frac{U_H - I_H \cdot R_{як}}{C_c \Phi}$$

де n_H - номінальна швидкість двигун, об/хв

U_H - номінальна напруга, В

$R_{як}$ - опір якорного кола, Ом

$C_c \Phi$ - добуток коефіцієнта машини на магнітний потік, Вхв/об

$$C_c \Phi = \frac{U_H - I_H \cdot R_{як}}{n}$$

$$C_c \Phi = \frac{440 - 28,1(0,564 \cdot 0,336)}{n} = 0,138 \text{ Вхв/об}$$

5. Визначаємо значення швидкості ідеального холостого ходу:

$$n_0 = \frac{U_H}{C_c \Phi}$$

де n_0 – швидкість ідеального холостого ходу двигун, об/хв

$$n_0 = \frac{440}{0,138} = 3219 \text{ об/хв}$$

6. За даними розрахунками будуюмо механічну характеристику двигуна:

$$M_I = 0 \text{ м} \quad n_0 = 3219 \text{ об/хв}$$

$$M_{II} = 25,8 \text{ Нм} \quad n_H = 3000 \text{ об/хв}$$

та електромеханічну характеристику, якщо перша точка $I_0 = 0, n_0 = 3219$ об/хв; друга точка: $I_H = 28,1 \text{ А}, n_H = 3000$ об/хв

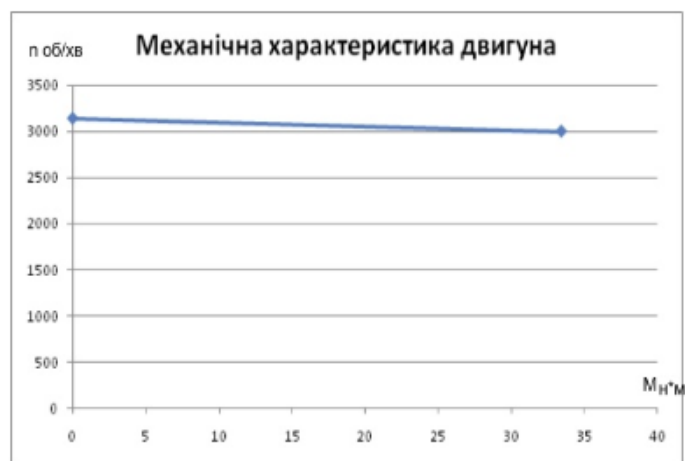


Рисунок 9.8 – Механічні характеристика двигуна постійного струму при зміні параметрів

2. Розрахунок та побудова штучної характеристику при пониженні напруги на 60%

2.1 Визначаємо значення ідеального ходу при зміні напруги на 60% де $U=0,4$:

$$n'_0 = \frac{U'_H}{C_c \Phi}$$

де U'_H – понижена напруга, В.

$$n'_0 = \frac{0,4 \cdot 440}{0,14} = 1257 \text{ об/хв}$$

2.2 Визначаємо швидкість двигуна при номінальному навантаженні та понижений напрузі:

$$n_H = \frac{U'_H}{C_c \Phi} - \frac{I_a \cdot (R_{д.п.} + R_a)}{C_c \Phi}$$

$$n_H = 1257 - \frac{26,38 \cdot (0,336 + 0,564)}{0,14} = 1074 \text{ об/хв}$$

$$I_H = 28,1\text{А}; \quad n_H = 1187 \text{ об/хв}$$

3. *Розрахунок та побудова штучної характеристики при послабленні потоку на 30%*

3.1 Визначаємо значення ідеального холостого ходу при послабленні потоку на 30%:

$$n''_0 = \frac{U_H}{C_c \Phi'}$$

де $C_c \Phi'$ – понижений магнітний потік, Вхв/об.

$$n''_0 = \frac{440}{0,7 \cdot 0,14} = 4490 \text{ об/хв}$$

3.2 Визначаємо швидкість двигуна при номінальному навантаженні та послабленому магнітному потоці, об/хв:

$$n_H = \frac{U_H}{C_c \Phi'} - \frac{I_a \cdot (R_{д.п.} + R_a)}{C_c \Phi'}$$

$$n_H = 4490 - \frac{26,38 \cdot (0,336 + 0,564)}{0,7 \cdot 0,14} = 4337 \text{ об/хв}$$

Зданим розрахунків будемо електромеханічну характеристику двигуна при послаблення магнітного потоку: перша точка $I_0=0\text{А}$, $n_0=4490$ об/хв, друга точка $I_H=28,1\text{А}$, $n_H=4437$ об/хв

4. *Розрахунок та побудова штучної характеристики при введенні опору в обмотку ротора що рівний, де*

4.1 Визначаємо швидкість двигуна при номінальному навантаженні та введеному опору, що рівний 6,9 Ом

$$n'''_H = \frac{U_H}{C_c \Phi} - \frac{I_a \cdot (R_{д.п.} + R_a + R_{дод})}{C_c \Phi}$$

$$n_H = \frac{440}{0,14} - \frac{26,38 \cdot (0,336 + 0,564 + 6,9)}{0,14} = 1647 \text{ об/хв}$$

Завдання для самостійного розв'язування

Задача 1. Для двигуна типу: Д806, з технічними даними $P_H = 16 \text{ кВт}$, $I_H = 86 \text{ А}$, $n_H = 690 \text{ об/хв}$, $U_H = 440 \text{ В}$, $\omega = 73 \text{ 1/с}$, $\eta = 85\%$, $I_{зб} = 6,3 \text{ А}$

Розрахувати пускові та гальмові опори

№ вар.	P_H , кВт	I_H , А	n_H , об/хв	U_H , В	ω , 1/с	η , %	$I_{зб}$, А
1	13	86	910	440	73	85	6,1
2	16	91	840	420	76	87	6,3
3	22	84	740	400	84	83	7,0
4	13	91	910	420	76	85	6,1
5	16	86	740	440	73	87	6,8
6	22	91	840	400	84	83	6,3
7	13	84	740	460	76	85	6,1
8	16	86	910	440	73	83	6,8
9	22	91	840	420	76	86	6,5
10	16	84	740	460	84	85	6,3

Задача 2. Для двигуна постійного струму паралельного збудження необхідно скласти автоматизовану схему керування електроприводом, яка б задовольняла такі умови: пуск на три ступені у функції ЕРС, з гальмуванням противмиканням у функції швидкості; нереверсивною схемою та кнопковим керуванням; в схемі присутні захисти від обриву поля, перевантаження, короткого замикання та нульовий. Якщо двигун типу Д30 $P_H = 19 \text{ кВт}$; $U = 220 \text{ В}$, $\eta = 86\%$, $I_H = 1023 \text{ А}$, $n_H = 1000 \text{ об/хв}$ $GD^2 = 3,2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$

Задача 3. Двигун постійного струму 4ПФ132S має наступні номінальні паспортні дані: $P_{ном} = 11 \text{ кВт}$, напруга живлення $U_{ном} = 220 \text{ В}$, струм якоря $I_{ном} = 61,5 \text{ А}$, $n_{ном} = 1060 \text{ об / хв}$, $\eta = 78\%$. Розрахуйте номінальний момент і швидкість ідеального холостого ходу.

Задача 4. Складіть схему управління, яка забезпечує прямий пуск АД і його гальмування противовключенням в функції часу.

Задача 5. Побудуйте схему пуску ДПТ в один щабель в функції часу.

Контрольні запитання

1. СУЕП з керованими вентильними перетворювачами.
2. СУЕП із спільним управлінням групами вентилів перетворювача.
3. СУЕП із роздільним управлінням перетворювача.
4. СУЕП із двозонним регулюванням швидкості.
5. СУЕП з імпульсним керуванням двигунами постійного струму.
6. Типова система «керований перетворювач-двигун» з підсумовуючим підсилювачем.

7. Підтримка швидкості обертання двигуном постійного струму із зворотним зв'язком за напругою.
8. Робота типового вузла струму в СУЕП.
9. Підтримка швидкості обертання двигуна із зворотним зв'язком за швидкістю.
10. Система управління електроприводами з декількома зворотними зв'язками, що підтримують сталість швидкості двигуна.
11. Структурна схема СУЕП.
12. Статичні характеристики СУЕП із відсіченнями.
13. Системи керування електроприводами з електромашинними підсилювачами.
14. Системи керування з магнітними підсилювачами.
15. Типові СУЕП із підлеглим регулюванням координат.

Тестові завдання

Режимом короткого замикання двигуна називається такий режим його роботи, при якому кутова швидкість двигуна, підключеного до джерела напруги

- A. постійна
- B. рівна нулю
- C. перемінна
- D. немає вірної відповіді

Характеристика двигуна, яка виходить за відсутності зовнішніх резисторів в якірному колі і номінальних значеннях напруги і магнітного потоку двигуна називається

- A. природною характеристикою
- B. реостатною характеристикою
- C. динамічною характеристикою
- D. немає вірної відповіді

Для природної механічної характеристики значення моменту короткого замикання $M_{кз}$ є

- A. найбільшим
- B. найменшим
- C. рівним нулю
- D. немає вірної відповіді

Швидкості ідеального холостого ходу ω_0 і визначається виразом

- A. $\omega_0 = U / k\Phi$
- B. $\omega_0 = I / k\Phi$
- C. $\omega_0 = E / k\Phi$
- D. $\omega_0 = (U + E) / k\Phi$

Знаходження оптимальних налаштувань регулятора аналітичним шляхом (на етапі розробки АСР) базується на використанні частотного

- A. критерію Найквіста.
- B. критерію Гауса-Зейделя
- C. критерію Циглера-Нікольса
- D. критерію Ейлера.

Момент на валу двигуна буде менше електромагнітного моменту на значення, відповідне

- A. втратам в сталі і механічним втратам
- B. температурним втратам
- C. втратам в напрузі
- D. усі відповіді вірні

Наведеної в якорі ЕРС обертання E

- A. $E = k \omega \Phi$,
- B. $E = k \omega U$
- C. $E = k \omega I$
- D. $E = k \omega IU$

Різниця значень сталих швидкостей електроприводу до і після прикладення заданого статичного навантаження називається

- A. статичним падінням (перепадом) швидкості електроприводу
- B. циклічним падінням (перепадом) швидкості електроприводу.
- C. динамічним падінням (перепадом) швидкості електроприводу.
- D. нема вірної відповіді

Динамічна характеристика визначає залежність зміни вихідного параметра об'єкта від

- A. часу під впливом вхідної величини
- B. тиску під впливом вхідної величини
- C. часу під впливом вихідної величини
- D. тиску під впливом вихідної величини.

ТЕМА 10. СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЗМІННОГО СТРУМУ

1. Особливості та класифікація управління електроприводів змінного струму.
2. Трифазні асинхронні машини з короткозамкнутим ротором.
3. Трифазні синхронні машини.

1. Особливості та класифікація управління електроприводів змінного струму

Системи управління електроприводів змінного струму будуються так само, як і система постійного струму, за принципом «керований перетворювач-двигун» з різними зворотними зв'язками, що дозволяють безперервно контролювати керовані координати електроприводи.

Керованими перетворювачами у таких системах є перетворювачі змінної напруги та перетворювачі частоти (ПЧ). Простий маловентильний перетворювач змінної напруги (ТПН) дозволяє створити систему керування типу ТПН-АТ, що дозволяють регулювати швидкість електроприводу в невеликих межах, формувати необхідні статичні та динамічні характеристики та покращувати енергетичні та техніко-економічні показники.

Використання в системах управління електроприводів змінного струму та перетворювачів частоти дозволяє створювати системи асинхронного або синхронного електроприводів: ПЧ-АД або ПЧ-СД, системи з двигунами подвійного живлення, що забезпечують частотне управління швидкістю та моментом електроприводу. В якості перетворювачів частоти використовуються перетворювачі частоти з безпосередньою зв'язком (НПЧ) та зі ланкою постійного струму, з автономними інверторами напруги (АІН) та струму (АІТ). Такі системи, побудовані за принципом підлеглого регулювання координат з векторним і, зокрема, частотно-струмовим управлінням, забезпечують високі діапазони регулювання швидкості в статичних режимах та високе швидкодія в динамічних.

2. Трифазні асинхронні машини з короткозамкнутим ротором

Асинхронною машиною називається електромеханічний перетворювач, в якому виникнення моменту на валу ротора можливо лише при різних швидкостях обертання магнітного поля і ротора. Трифазні асинхронні машини з короткозамкнутим ротором завдяки своїй технологічності, надійності, низької вартості і великому терміну служби складають основну долю світового парку електричних машин. Основними елементами конструкції асинхронної машини є статор і ротор.

Для оцінки властивостей асинхронного двигуна використовується його механічна характеристика (залежність швидкості обертання ротора машини n від обертаючого моменту M).

Побудувавши криву $M = f(s)$ (рис. 10.1.) і використовуючи вираження для ковзання, можна отримати механічну характеристику $n = f(M)$ (рис. 10,2.).

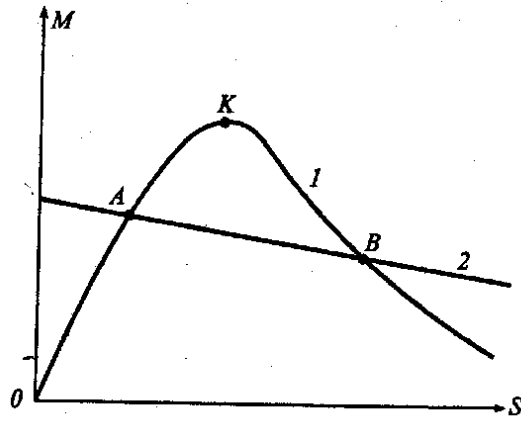


Рисунок 10.1 – Залежність моменту від ковзання

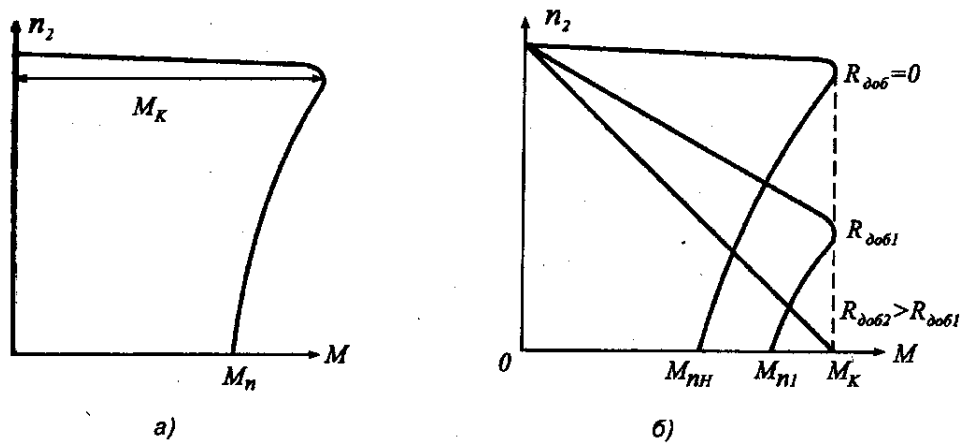


Рисунок 10.2 – Механічна характеристика асинхронної машини (а) і механічні характеристики асинхронної машини з фазним потоком(б)

Робочі характеристики залежностей (рис. 10.3.):

- швидкості обертання ротора $n = f(P_2)$;
- моменту, що обертає, на валу машини $M_2 = f(P_2)$;
- струму статора $I_1 = f(P_2)$;
- коефіцієнт корисної дії $\cos\varphi_1 = f(P_2)$.

Ці характеристики дозволяють знаходити усі основні величини, які визначають режими роботи двигуна при різних навантаженнях. Їх можна отримати або шляхом за схемою заміщення, або експериментально.

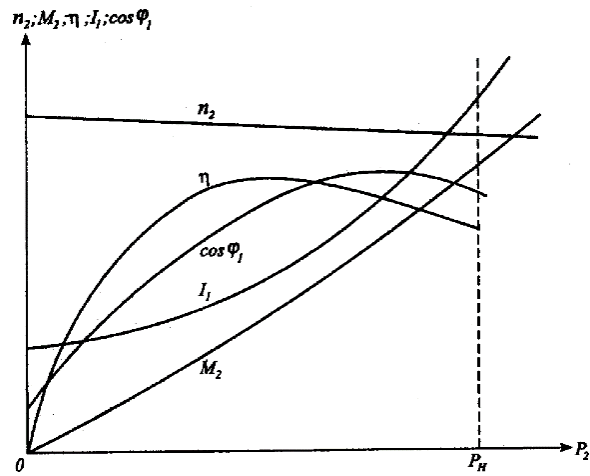


Рисунок 10.3 – Робочі характеристики асинхронного двигуна

Асинхронна машина працює в генераторному режимі, якщо вал її ротора яким-небудь іншим двигуном в напрямі і із швидкістю, тієї, що перевищує швидкість обертання магнітного поля. Величина ковзання машини, очевидно, в цьому випадку, негативною. За умовами механічної міцності, обмеження втрат, нагріву і збереження високого ККД в генераторному режимі можливі значення абсолютних величин ковзання такого ж порядку, як і в руховому.

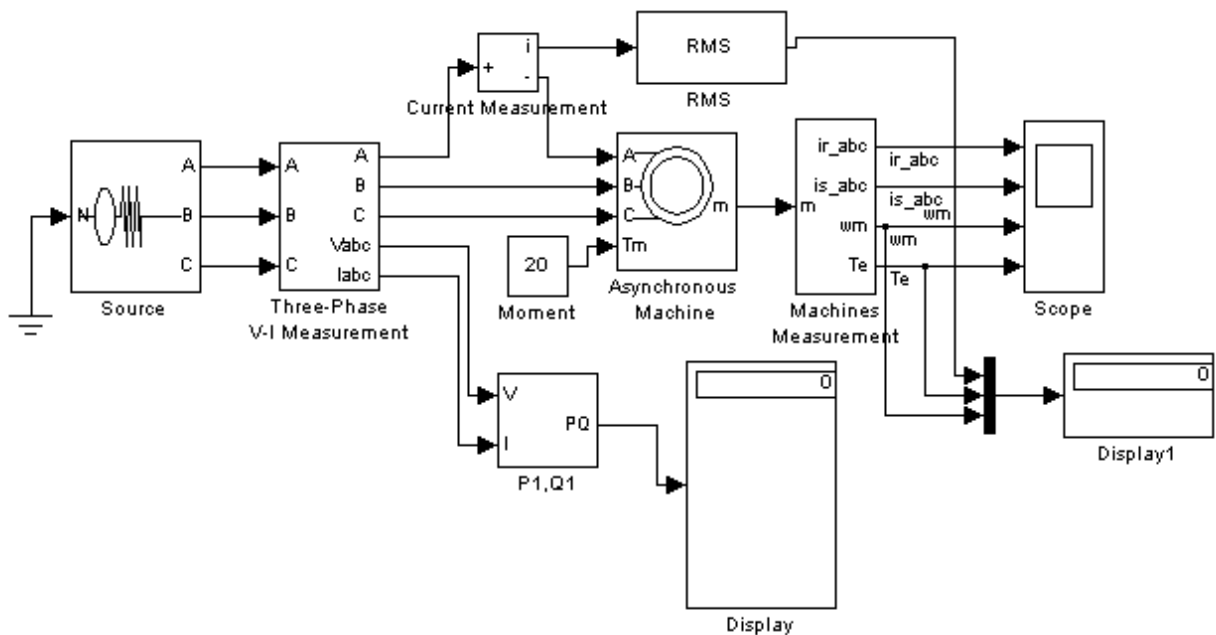


Рисунок 10.4 – Модель асинхронної машини

Вона містить:

- джерело змінної трифазної напруги Source з бібліотеки Power System Blockset /Extras/Electrical Sources;
- вимірник трифазної напруги і струму Three - Phase V - I Measurement з бібліотеки Power System Blockset/Extras/Measurement;
- досліджувану трифазну асинхронну машину Asynhronous Machine з бібліотеки Power System Blockset/Machines;

- вимірник активної і реактивної потужності P1, Q1 з бібліотеки Power System Blockset/Extras/Measurement;
- блок Display для кількісного представлення вимірних потужностей і блок Scope для спостереження струму ротора і статора, а також швидкості і моменту асинхронної машини з головної бібліотеки Simulink/Sinks;
- блок Moment для завдання механічного моменту на валу машини з головної бібліотеки Simulink/Source;
- блок Machines Measurement з бібліотеки Power System Blockset/Machines;
- блок Display1 для кількісного представлення вимірних електромагнітного моменту(Нм) і швидкості(радий/с) машини з головної бібліотеки Simulink/Sinks;
- блок Mux, що об'єднує три сигнали в один векторний з головної бібліотеки Simulink/Signal & System.

У полях вікна налаштування параметрів асинхронної машини послідовно задаються:

- тип ротора(Rotor Type), у випадковому меню цього поля можна задати або короткозамкнутий, або фазний ротор;
- система відліку при аналізі(Reference frame);
- потужність, номінальна діюча лінійна напруга і частота;
- параметри схеми заміщення статора;
- параметри схеми заміщення ротора;
- параметри гілки намагнічення;
- момент інерції, коефіцієнт в'язкого тертя, число пар полюсів;
- початкові умови для моделювання (ковзання, положення ротора, струми статора і їх початкові фази).

Параметри асинхронної машини, табл. 10.1.

Таблиця 10.1 – Параметри трифазних асинхронних машин

Тип двигуна	P_n [кВт]	n [об/х в]	η [%]	$\cos\varphi$	I_n [А]	$k_1 = \frac{I_n}{I_n}$	$m_n = \frac{M_n}{M_n}$	$m_{max} = \frac{M_{max}}{M_n}$	J [кгм ²]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RA71B2	0,55	2850	74	0,84	1,8	6,5	2,3	2,4	0,0005
RA80A2	0,75	2820	74	0,83	2	5,3	2,5	2,7	0,0008
RA80B2	1,1	2800	77	0,86	2	5,2	2,6	2,8	0,0012
RA80A4	0,55	1400	71	0,8	1	5	2,3	2,8	0,0018
RA80B4	0,75	1400	74	0,80	2	5	2,5	2,8	0,0023
RA90S2	1,5	2835	79	0,87	3	6,5	2,8	3	0,0010
RA132SA2	5.5	2895	86	0.89	11	6.5	2.4	3	0.0155
RA132SB2	7.5	2895	87	0.89	15	7.0	2.5	3.2	0.0185
RA160MA2	11.0	2940	88	0.89	22	6.8	2.0	3.3	0.0438
RA160L2	18.5	2940	90	0.88	35	7.5	2.0	3.2	0.0533

3. Трифазні синхронні машини

Синхронною називають машину змінного струму, в якій швидкість обертання ротора дорівнює швидкості обертання магнітного поля в її робочому проміжку. Часто синхронну машину використовують як двигун з незмінною швидкістю обертання ротора, того, що приводить в обертання великі вентилятори, компресори, відцентрові насоси і генератори постійного струму і так далі. Крім того, синхронну машину використовують як компенсатор для підвищення коефіцієнта потужності живлячої електричної мережі, а також для регулювання її реактивної складової потужності.

Конструкція статора синхронної машини, практично нічим не відрізняється від конструкції статора асинхронної машини. Основна відмінність синхронної машини полягає в облаштуванні ротора(індуктора) , яким бути явнополюсний або неявнополюсний електромагніт, обмотка якого через контактні кільця і щітки живиться від зовнішнього джерела. В якості індуктора в синхронній машині може використовуватися постійний магніт.

Робочі характеристики (рис. 10.5.) є залежностями струму I_a , електричної потужності P_1 , що поступає в обмотку якоря, ККД η , і $\cos \varphi$ від механічної потужності P_2 , що віддається, при $U_1 = \text{const}$, $f_1 = \text{const}$ і незмінному струмі збудження.

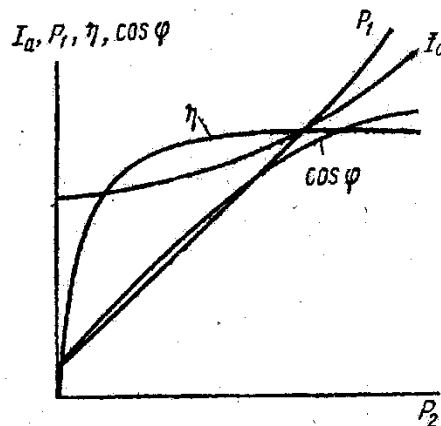


Рисунок 10.5 – Робоча характеристика синхронного двигуна

Оскільки швидкість обертання двигуна постійна, залежність $n = f(P_2)$ зазвичай не наводиться; не наводиться також і залежність $M = f(P_2)$, оскільки M , що обертає момент, пропорційний P_2 . Залежності $I_a = f(P_2)$ і $P_1 = f(P_2)$ мають характер, близький до лінійного. Струм холостого ходу I_{a0} визначається реактивною складовою і активним струмом, компенсуючим втрати в сталі і механічні втрати. Потужність холостого ходу P_0 дорівнює сумі втрат, що виникають при цьому режимі. Крива $\eta = f(P_2)$ має характер, загальний для усіх електричних машин.

Задача 1. Трифазний двигун увімкнений у трифазну мережу з частотою $f_1 = 50$ Гц. Технічні дані двигуна: число полюсів $2p=6$; номінальне ковзання $S = 0,11$; перевантажна здатність $\lambda_m = 2,2$; номінальна потужність на валу $P_2=0,18$ кВт; номінальна лінійна напруга $U=380$ В. Кратність пускового струму $m_1=3$; номінальний ККД $\eta_{\text{ном}} = 0,56$; коефіцієнт потужності $\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,62$.

Визначити синхронну частоту обертання поля статора, номінальну і критичну частоту обертання ротора, номінальну потужність, споживану двигуном із мережі, номінальний і пусковий струм двигуна.

Знаходимо номінальні електричні параметри.

Номінальна потужність, споживана двигуном у мережі:

$$P_{3\text{НОМ}} = \frac{P_{2\text{НОМ}}}{\eta_{\text{НОМ}}} = \frac{0,18 \cdot 10^3}{0,56} = 321,4\text{e}$$

Номінальний лінійний струм двигуна:

$$I_{\text{ОМНМ}} = \frac{P_{2\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi_{\text{НОМ}} \cdot \eta_{\text{НОМ}}} = \frac{180}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,62 \cdot 0,56} = 0,79\text{A}$$

Пусковий струм двигуна:

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000\text{n}^{-1}$$

Синхронна частота обертання поля статора:

$$n_{2\text{НОМ}} = n_1(1 - S_{\text{НОМ}}) = 1000(1 - 0,11) = 890\text{n}^{-1}$$

Критичне ковзання:

$$S_{\text{ЖТ}} = S_{\text{НОМ}} = \left(\lambda_{\text{м}} + \sqrt{\lambda_{\text{м}}^2 - 1} \right) = 0,11 \left(2,2 + \sqrt{2,2^2 - 1} \right) = 0,45$$

Критична частота обертання ротора:

$$n_{;n} = n_1(1 - S_{\text{ЖТ}}) = 1000(1 - 0,45) = 550\text{m}^{-1}$$

Завдання для самостійного розв'язування

Задача 1. Дані задачі для самостійного вирішування наведені в табл. 10.2.

Таблиця 10.2 – Вихідні дані для розрахунку

Варіант	$P_{2\text{НОМ}},$ кВт	$2p$	$S_{\text{НОМ}}$	$\lambda_{\text{м}} = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{НОМ}}}$	$M_I = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{НОМ}}}$	$\eta_{\text{НОМ}}$	$\cos \varphi_{1\text{НОМ}}$
1	0,25	2	0,075	2,2	4	0,68	0,77
2	0,25	4	0,008	2,2	4	0,68	0,65
3	0,37	2	0,083	2,2	4,5	0,7	0,86
4	0,37	4	0,09	2,2	4	0,68	0,69
5	0,37	8	0,089	1,7	3,5	0,61	0,65
6	0,55	2	0,085	2,2	4,5	0,73	0,86
7	0,75	4	0,075	2,2	4,5	0,72	0,73

8	1,1	2	0,063	2,2	5,5	0,77	0,87
9	1,1	4	0,054	2,2	5	0,75	0,81
10	1,1	6	0,08	2,2	4	0,7	0,74

Задача 2. Визначити час пуску приводу вентилятора та побудувати графік $\omega = f(t)$, використовуючи метод площ. Привід здійснюється від короткозамкненого двигуна типу А2-72-2, $P_{\text{ном}} = 40$ кВт, $\omega_{\text{ном}} = 305 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, $(n_{\text{ном}} = 2900 \frac{\text{об}}{\text{хв}})$, $J = \text{---}$ кг · м².

Таблиця 10.3 – Вихідні дані для розрахунку

Варіант	J , кг · м ²
1	0,1
2	0,12
3	0,14
4	0,16
5	0,18
6	0,2
7	0,22
8	0,24
9	0,26
10	0,28

Задача 3. Для асинхронного двигуна з фазним ротором необхідно скласти схему автоматизованого керування, яка б задовольняла такі умови:

1. пуск в один ступінь у функції струму;
2. гальмування – динамічне у функції швидкості реверсивної схеми;
3. керуванням командоконтролером живлення кола керування змінним струмом;
4. захист нульовий, від короткого замикання та при перевантаженнях.

Двигун типу МТН-211-6 $P_n=8,2$ кВт, $n_n=900$ об/хв., $I_1=24,6$ А, $\cos \varphi=0,7$, $\eta=72\%$, $I_2=23$ А, $U_2=236$ В, $M_{\text{max}}=200$ Н·м²

Задача 4. Трифазний двигун увімкнутий у трифазну мережу з частотою $f_1 = 50$ Гц. Технічні дані двигуна: число полюсів $2p=6$; Номінальне ковзання $S=0,11$; перевантажна здатність $\lambda_M = 2,2$; номінальна потужність на валу $P_2=0,18$ кВт; номінальна лінійна напруга $U=380$ В; Кратність пускового струму $m_I = 3$; номінальний ККД $\eta_{\text{ном}}=0,56$; коефіцієнт потужності $\cos \varphi_{1\text{ном}} = 0,62$.

Визначити синхронну частоту обертання поля статора, номінальну і критичну частоту обертання ротора, номінальну потужність, споживану двигуном із мережі; номінальний і пусковий струм двигуна.

Контрольні запитання

1. Типова система «керований перетворювач-двигун» з підсумовуючим підсилювачем.
2. Підтримка швидкості обертання двигуном постійного струму із зворотним зв'язком за напругою.
3. Робота типового вузла струму в СУЕП.
4. Підтримка швидкості обертання двигуна із зворотним зв'язком за швидкістю.
5. Система управління електроприводами з декількома зворотними зв'язками, що підтримують сталість швидкості двигуна.
6. Структурна схема СУЕП.
7. Статичні характеристики СУЕП із відсіченнями.
8. Системи керування електроприводами з електромашинними підсилювачами.
9. Системи керування з магнітними підсилювачами.
10. Типові СУЕП із підлеглим регулюванням координат.

Тестові завдання

Ковзання s - це величина, яка показує, наскільки синхронна частота n_1 магнітного поля статора :

- A. більше, ніж частота обертання ротора n_2
- B. менше, ніж частота обертання ротора n_2
- C. більше, ніж частота напруги
- D. немає вірної відповіді

Номинальний лінійний струм двигуна:

- A. $I_{\text{ном M}} = \frac{P_{2\text{ном}}}{\sqrt{3}U \cos\varphi_{1\text{ном}} \eta_{\text{ном}}}$
- B. $I_{\text{ном M}} = \frac{P_{2\text{ном}}}{\sqrt{2}U \cos\varphi_{1\text{ном}} \eta_{\text{ном}}}$
- C. $I_{\text{ном M}} = \frac{P_{2\text{ном}}}{\sqrt{3}U \sin\varphi_{1\text{ном}} \eta_{\text{ном}}}$
- D. $I_{\text{ном M}} = \frac{P_{2\text{ном}}}{\sqrt{3}I \cos\varphi_{1\text{ном}} \eta_{\text{ном}}}$

Значення ковзання для асинхронних двигунів загального призначення становить в номінальному режимі:

- A. 1 – 8 %
- B. 2 – 5 %
- C. 5 – 10 %
- D. 3 – 8 %

Регулювання частоти обертання АД

- A. шляхом зміни частоти живлячої напруги
- B. шляхом зміни числа пар полюсів
- C. шляхом включення в ланцюг ротора реостата
- D. всі відповіді вірні

Принцип роботи асинхронного двигуна полягає

- A. у взаємодії обертового магнітного поля статора і струмів, що наводяться цим магнітним полем в роторі.
- B. у взаємодії обертового моменту статора і струмів в роторі.
- C. у взаємодії обертового магнітного поля статора і напруги, що наводяться цим магнітним полем в роторі.
- D. немає вірної відповіді

Асинхронні двигуни з фазним ротором застосовуються значно рідше двигунів з короткозамкненим ротором. Вони використовуються в наступних випадках

- A. коли двигуни з короткозамкненим ротором не можуть бути використані за умовами регулювання частоти обертання
- B. коли статичний момент опору на валу більше пускового моменту короткозамкнутого двигуна
- C. коли двигуни з короткозамкненим ротором не можуть бути використані за умовами регулювання числа пар полюсів
- D. вірні A і B

Розбіжність частотних характеристик у часовому аналізі означає

- A. розбіжність напрямку дії керування на виході компенсатора в порівнянні з необхідним
- B. збіжність напрямку дії керування на виході компенсатора в порівнянні з необхідним
- C. розбіжність напрямку дії керування на виході регулятора в порівнянні з необхідним
- D. усі відповіді вірні

Обмотка ротора буває

- A. короткозамкнута
- B. фазна
- C. вірні A і B
- D. немає вірної відповіді

ТЕМА 11. СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПОЛОЖЕННЯМ ВИКОНАВЧОГО ОРГАНУ

1. Принципи побудови систем управління виконавчого органу.
2. Розв'язування задач.

Системи регулювання становища мають дуже широкий спектр призначення. Вони застосовуються в різних промислових установках та роботах як системи наведення антен, оптичних радіотелескопів. Багато виконавчих двигунів від одиниць до сотень кВт, їхнє харчування здійснюється від електромашинних, тиристорних перетворювачів, транзисторних підсилювачів потужності. Контроль положення здійснюється за допомогою датчиків, які в аналоговій або дискретній формі дають інформацію про переміщення робочого органу протягом усього шляхи. Як датчики використовуються сельсини, імпульсні та цифрові датчики та ін.

Найчастіше потужні промислові системи управління приводи будуються за принципами підлеглого регулювання під час харчування ДПТ від ТП. На рис. 11.1 СУ положенням у якому при перемиканні перемикача П здійснюється замикання аналогового чи цифрового контуру.

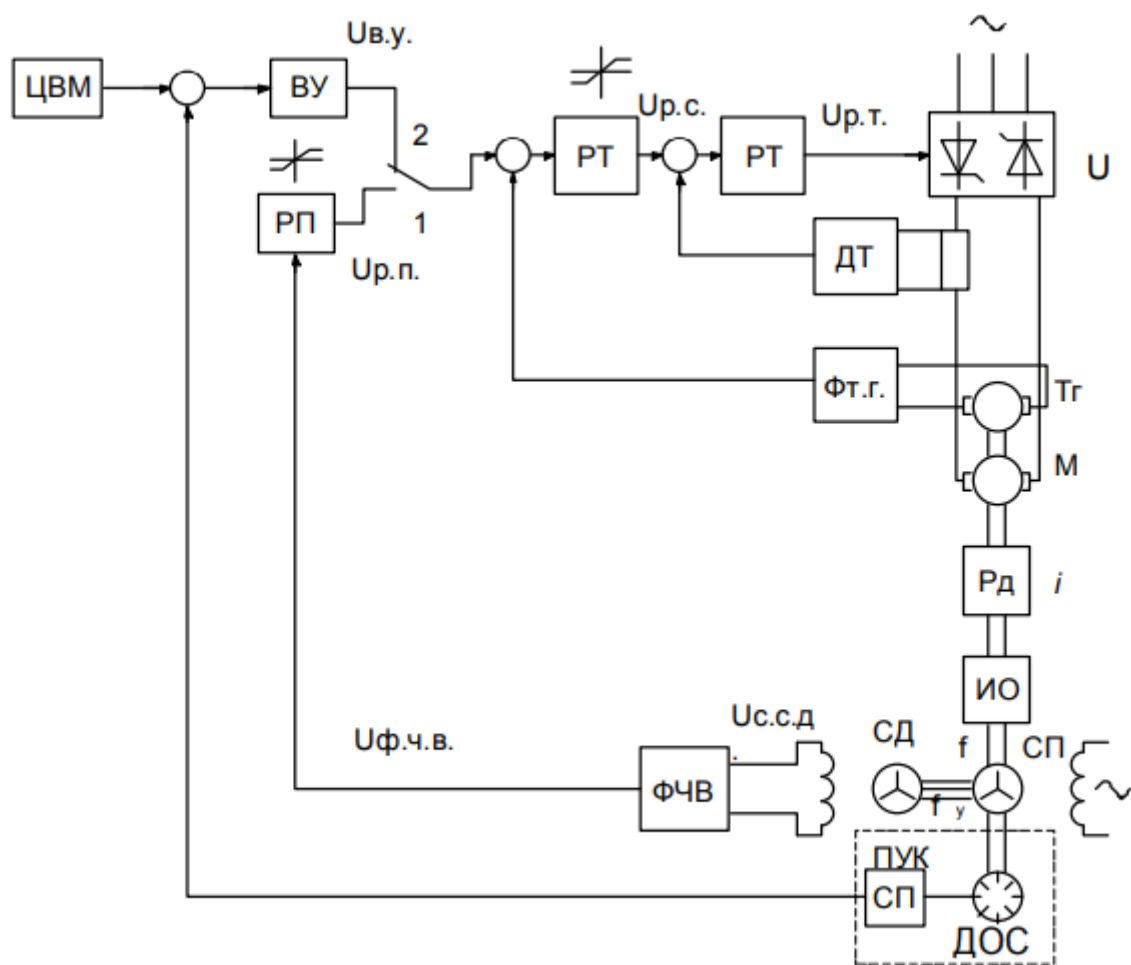


Рисунок 11.1 – Схема системи керування слідуванням

У першому випадку вимірювальними елементами є сельсини, що працюють у трансформаторний режим. Сельсин-приймач (СП) пов'язаний з виконавчим органом (ІВ), який наводиться від двигуна М через редуктор РД. Подача на вхід управителя впливу, яким є поворот сельсина датчика (ЦД) на деякий кут φ_u щодо СП, викликає появу на його однофазній обмотці напруги змінного струму $U_{сд}$, значення якого визначається значенням кута неузгодженості γ_u , а фаза – напрямом повороту (знаком кута). Фазочутливий

випрямляч (ФЧВ) напруга випрямляється, полярність $U_{\text{фчв}}$ визначається знаком неузгодженості.

Задача 1. Знайти коефіцієнти підсилювання по струму K_i , напрузі K_u та потужність K_p , а також R_{ax} підсилювача, виконаного по схемі з загальним емітером. У робочій точці h -параметри дорівнюють $h_{11}=1,1$ кОм; $h_{12}=32$; $h_{22}=18,5 \cdot 10^{-6}$ 1/Ом; $h_{21}=2,8 \cdot 10^{-4}$; навантажувальний опір $R_u=2$ кОм.

Розв'язування

1. Коефіцієнт підсилення по струму

$$K_i = \frac{h_{21}}{1 + h_{22}R} = \frac{32}{1 + 18,5 \cdot 10^{-6} \cdot 2000} = 31$$

2. Коефіцієнт підсилення по напрузі

$$K_u = \frac{h_{21}R}{h_{11}(1 + h_{22}R) - h_{12}h_{21}R}$$

$$= \frac{32 \cdot 2000}{1100(1 + 18,5 \cdot 10^{-6} \cdot 2000) - 2,8 \cdot 10^{-4} \cdot 32 \cdot 2000} = 57$$

3. Коефіцієнт підсилення по потужності

$$K_p = K_i \cdot K_u = 31 \cdot 57 = 1770$$

4. Вхідний опір

$$R_{ax} = \frac{h_{11}(h_{22} + 1/R) - h_{12}h_{21}}{h_{22} + 1/R} = \frac{1100(18,5 \cdot 10^{-6} + 1/2000)}{18,5 \cdot 10^{-6} + 1/2000} = 1080$$

Дані задач для самостійного розв'язання наведені в табл. 11.1.

Таблиця 11.1 – Вхідні дані для самостійного розв'язування задач

Вар.	Тип транзистора	Схема вмикання	h_{11}	h_{12} , Ом	h_{21}	h_{22}	R_H , кОм	R_G , кОм
1	П416	ОБ	15,8	$30 \cdot 10^{-3}$	-0,97	$3,7 \cdot 10^{-6}$	8	10
2	П416	ОЕ	650	$32 \cdot 10^{-3}$	40	$1,5 \cdot 10^{-4}$	3,5	15
3	П416	ОК	632	1	-40	$2,4 \cdot 10^{-4}$	1,5	25
4	П14	ОБ	31	$3,2 \cdot 10^{-4}$	-0,96	$0,8 \cdot 10^{-6}$	10	15
5	П14	ОЕ	775	$3 \cdot 10^{-4}$	24	$20 \cdot 10^{-6}$	2,5	20
6	П14	ОК	775	1	-25	$20 \cdot 10^{-6}$	1,25	30
7	ГТ322А	ОБ	5,79	$0,2 \cdot 10^{-3}$	-0,98	$1,1 \cdot 10^{-6}$	10,5	10
8	ГТ322А	ОЕ	330	$1,6 \cdot 10^{-4}$	56	$6 \cdot 10^{-6}$	5,5	15

9	ГТ332А	ОК	331	1	-57	$1 \cdot 10^{-6}$	2	25
10	П16	ОБ	15,8	$30 \cdot 10^{-3}$	-0,9	$3,7 \cdot 10^{-6}$	12	5

Задача 2. Знайти значення опорів для диференційного підсилювача, щоб реалізувати рівняння:

$$U_{\text{вих}} = 0,3U_1 + 2U_2 + 1,5U_3 - 2U'_1 - U'_2$$

Розв'язання

Розрахунок відбувається у такій послідовності:

$$R_1 = \frac{R_{33}}{a_1}; R_1' = \frac{R_{33}}{b_1}$$

Розв'язання задачі:

- а) приймаємо $R_{\Sigma} = 5 \text{ кОм}$;
- б) знаходимо $\sum a = 3,8$
- в) знаходимо $\sum b = 3,8$
- г) $\sum b + 1 > \sum a$, тому потрібен резистор R_b
- д) знаходимо значення резистора зворотного зв'язку

$$R_{33} = (\sum b + 1) \cdot R_z = 4 \cdot 5 = 20 \text{ кОм}$$

е) знаходимо резистор R_b

$$R_b = \frac{R_{33}}{\sum b + 1 - \sum a} = \frac{20}{0,2} = 100 \text{ кОм}$$

ж) знаходимо значення відповідних резисторів

$$R_1 = \frac{20}{0,3} = 66,7 \text{ кОм}; \quad R_2 = \frac{20}{2} = 10 \text{ кОм};$$

$$R_3 = \frac{20}{1,5} = 13,3 \text{ кОм}; \quad R_1' = \frac{20}{2} = 10 \text{ кОм};$$

$$R_2' = \frac{20}{1} = 20 \text{ кОм}$$

Задачі для самостійного розв'язування

Задача 1. Варіанти розв'язання задач наведені в табл. 11.2.

Таблиця 11.2 – Вхідні дані для самостійного розв'язування задач

Варіант	Формула для розрахунку
1	$U = 0,6U_1 + 0,8U_2 + 3U_3 - 2U'_1 - 4U'_2$
2	$U = 0,1U_1 + 0,4U_2 + 1,5U_3 - 3U'_1 - U'_2$
3	$U = 2U_1 + 1,5U_2 - 3U'_1 - 2U'_2 - 0,8U'_3$

4	$U = 4U_1 + 2U_2 - 6U'_1 - 8U'_2 - 1,25U'_3$
5	$U = 5,6U_1 + 4U_2 + 6,3U_3 - 2,5U'_1 - 6,1U'_2$
6	$U = 6,6U_1 + 4,4U_2 + 2,4U_3 - 2,7U'_1 - 3,9U'_2$
7	$U = 2,5U_1 + 5,2U_2 - 8,8U'_1 - 2,1U'_2 - 0,8U'_3$
8	$U = 3,2U_1 + 0,2U_2 + 2,3U_3 - 6,7U'_1 - 0,9U'_2 - 0,5U'_3$
9	$U = 3,8U_1 + 2,9U_2 + 6,2U_3 - 0,8U'_1 - 13U'_2 - 7,9U'_3$
10	$U = 7U_1 + 6,9U_2 + 0,7U_3 - 3,4U'_1 - 5,9U'_2 - 7U'_3$

Задача 2. Дана мостова схема з середньою точкою. Потужність випрямляча $P=100$ Вт, стала напруга на виході $U_n=36$ В. Вибрати діоди, намалювати схему випрямляча та знайти напругу на обмотці трансформатора U_2 .

Задача 3. Знайти значення опорів для диференційного підсилювача, щоб реалізувати рівняння:

$$U_{\text{вих}} = 0,5U_1 + 4U_2 - U'_1 - 3U'_2 - 0,7U'_3$$

Задача 4. Знайти коефіцієнти підсилювання підсилювача, виконаного по схемі з загальним емітером. У робочій точці h-параметри дорівнюють $h_{11} = 1,5$ кОм $h_{21} = 15,5 * 10^{-5} \frac{1}{\text{Ом}}$ навантажувальний опір $R_U = 2,5$ кОм

Контрольні запитання

1. Принципи побудови систем управління.
2. Позиційна система при обробці середніх та великих переміщень.
3. Система управління положенням механізму в режимі стеження.
4. Принципи будови систем керування положенням.
5. СКП механізму у режимі позиціонування.
6. Параболічний регулятор положення.
7. СКП механізму у режимі слідування.

Тестові завдання

Значення ЕРС фаз трифазної обмотки однофазного сельсина залежать від

- А. напруги
- В. струму
- С. кута α
- Д. потужності

Напруга на виході сельсин-приймача в цьому випадку

- А. $U_{\text{вих}} = E \cos \alpha_{\text{дат}}$
- В. $U_{\text{вих}} = E \sin \alpha_{\text{дат}}$
- С. $U_{\text{вих}} = E / \sin \alpha_{\text{дат}}$
- Д. $U_{\text{вих}} = E / \cos \alpha_{\text{дат}}$

Вісь створюваного струмами результуючого магнітного поля і в сельсин-датчику, і в сельсин-приймачі збігається з осями відповідно ОЗД та ОЗП при куті повороту сельсин-датчика

- A. $\alpha_{\text{дат}} > 0$
- B. $\alpha_{\text{дат}} < 0$
- C. $\alpha_{\text{дат}} = 0$
- D. $\alpha_{\text{дат}} \neq 0$

Режим роботи СКП, при якому завданням системи є переміщення робочого органу механізму з одного фіксованого положення в інше

- A. переміщення
- B. позиціонування
- C. збудження
- D. немає вірної відповіді

При розгляді позиційної системи розрізняють

- A. малі переміщення
- B. середні переміщення
- C. великі переміщення
- D. усі відповіді вірні

Кут, на який повернеться виконавчий вал при постійній швидкості двигуна ω_B за час t_B

- A. максимальне значення кута
- B. мінімальне значення кута
- C. базове значення кута
- D. постійне значення кута

Здатність об'єктів самостійно, без втручання регулятора, віднайти після збурення новий стану рівноваги

- A. самовирівнювання
- B. саморегуляторність
- C. самостримання
- D. усі вірні

Стан об'єкта визначають

- A. збурювальні дії λ ,
- B. управляюча дія μ
- C. регульована змінна $x_{\text{вих}}$
- D. усі вірні

ТЕМА 12. ВЗАЄМОПОВ'ЯЗАНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

1. Основні положення щодо організації взаємопов'язаних систем управління електроприводами.
2. Розв'язування задач.

1. Основні положення щодо організації взаємопов'язаних систем управління електроприводами

До взаємопов'язаних систем електроприводу відносяться моталки прокатних станів, накати поздовжньо-різальних верстатів, випробувальні стенди механічних трансмісій вертольотів та інших апаратів. Всі вони є автоматичні системи регулювання різних змінних, пов'язані між собою різного типу пружними зв'язками об'єднані у складну систему, яка виконує одну цільову функцію.

Було встановлено, що для комплексних досліджень складних електромеханічних систем найбільш загальною та доцільною формою математичного опису є нормовані структурні схеми (ПДВ) із узагальненими параметрами у вигляді базових постійних часу та нелінійних статичних показників. Правила спрямованого нормування лінійних та нелінійних структур дозволяють отримати критеріальну форму структурних моделей з мінімальною кількістю ланок та коефіцієнтів передачі. Порівняльний аналіз ефективності структурно-матричних та структурно-машинних методів при оптимізації взаємопов'язаних систем електроприводу дозволив намітити раціональні галузі їх застосування, а саме: структурно-матричні методи дозволяють простіше знайти умови автономності та здійснити синтез пристроїв компенсації впливу локальних систем одна на одну; вони особливо зручні у тому випадку, коли до однієї з локальних систем пред'являються підвищені вимоги до показників якості з метою отримання кількісних оцінок взаємного впливу локальних систем та оцінки "слабкості" перехресних зв'язків. У цих випадках доцільно застосовувати інтегральні та частотні критерії взаємозв'язку.

Структурно-машинні методи дозволяють ефективніше здійснювати оптимізацію взаємопов'язаних нелінійних структурних моделей типу ПДВ на отримувати оптимальні налаштування регуляторів, які забезпечують реалізацію різних критеріїв якості всієї системи в цілому (без дотримання і навіть з свідомим порушенням умови автономності локальних систем); розробку адекватної моделі та оптимізацію складних структурних моделей у цьому випадку доцільно проводити з використанням теорії багатofакторного планованого експерименту.

В даний час рівень взаємозв'язку оцінюється приблизно в основному за значною відмінністю частот зрізу локальних систем. Якщо рівень взаємозв'язку перевищує допустиму за умовами роботи, то здійснюється синтез перехресних зв'язків, що забезпечують автономність систем, або змінюються установки локальних систем.

Синтез автономних систем здійснюється шляхом введення коригуючих перехресних зв'язків між регуляторами Параметри цих зв'язків визначаються з умови отримання діагональності передавальної матриці замкнутої системи електроприводи. Необхідний ступінь наближення реальних компенсуючих зв'язків до ідеальних та ступінь автономності оцінюються за допомогою критерію взаємозв'язку.

Проблемою, що обмежує якість оптимізації складних систем, є наявність у них параметрів, що змінюються в часі, таких як моменти інерції накатів, коефіцієнти передачі струмового контуру при переході з безперервного в переривчастий режим роботи, коефіцієнти демпфування пружних ланок.

У деяких роботах завдання самоналаштування локальних систем покладаються на цифрову ЕОМ, що управляє технологічним процесом. Більш перспективним напрямом є можливість збереження оптимальної настройки складної системи шляхом організації локальних адаптивних контурів управління для електромеханічних об'єктів із суттєвою параметричною нестаціонарністю.

Такі адаптивні уніфіковані пристрої, по суті, є внутрішніми.

локальними міні-ЕОМ, які залежать від діяльності основний цифровий ЕОМ АСУ ТП чи системи комплексної автоматизації.

Найбільш ефективні шляхи побудови адаптивних контурів електромеханічних систем такі:

– для електроприводів з багатопараметричною нестаціонарністю та обмеженими можливостями отримання інформації про динамічний стан системи шляхом застосування швидкодіючої адаптивної системи управління з еталонною моделлю, комбінованою (параметричною та сигнальною) самонастроювання та стаціонарним пристроєм ідентифікації;

– для систем з переважаючою нестабільністю коефіцієнта передачі контуру шляхом застосування адаптивного однопараметричного регулятора САУ змінної структурою з аналоговими входом та виходом.

Як показав порівняльний аналіз обсягу апріорної невизначеності об'єктів в системах електроприводу, адаптивне управління доцільно організувати в вигляді додаткових уніфікованих контурів, що самоналаштовуються. Аналіз факторів нестаціонарності об'єктів регулювання вказує на дві групи нестаціонарних параметрів: швидко змінюються з ослабленою чутливістю до динаміці системи та відносно вузькими проміжками змін та повільно мінливі зі значним впливом на динаміку системи та широкими проміжками змін. Це визначило структуру адаптивних контурів з комбінованою самонастройкою, в якій сигнальне самоналаштування пригнічує дія нестаціонарності параметрів першої групи, а параметрична самоналаштування – дія нестаціонарності параметрів іншої групи. Контур сигнального самоналаштування діє безпосередньо на вхід системи, що адаптується і у своєму складі не містить елементів із пам'яттю. Тому його відпрацювання практично миттєва. Контур параметричного самоналаштування діє на параметри регулятора швидкості та повинен мати граничну швидкодію. Після порівняння градієнтного алгоритму параметричного самоналаштування з алгоритмом, виробленим прямим методом Ляпунова, перевага надається останньому.

Об'єднаний алгоритм комбінованої самотройки відрізняється високим швидкістю з перебудови параметрів регулятора та повідомляє вихідній системі покращене відпрацювання непараметричних обурень.

Адаптивні системи електроприводів з багатопараметричною нестаціонарністю представляють не тільки теоретичний, а й практичний інтерес і можуть знайти застосування при проектуванні електроприводів високопродуктивних механізмів, наприклад реверсивних прокатних станів, а також систем підвищеної точності.

Задача 1. Визначити параметри схеми аналогової реалізації передавальної функції ПІ-регулятора струму:

$$W_{PC}(p) = \frac{T_{Я}p + 1}{k_{\mu}k_{\partial.c}T_C p / R_{Я}}$$

$R_{Я} = 0,75 \text{ Ом}; L_{Я} = 3,25 \text{ мГн}; c = 5 \text{ В}\cdot\text{с}; k_{\mu} = 25,5; k_{\partial.c} = 0,75 \text{ В/А};$

$k_{\partial.ш} = 0,3 \text{ В}\cdot\text{с}; T_{\mu} = 0,005 \text{ с};$

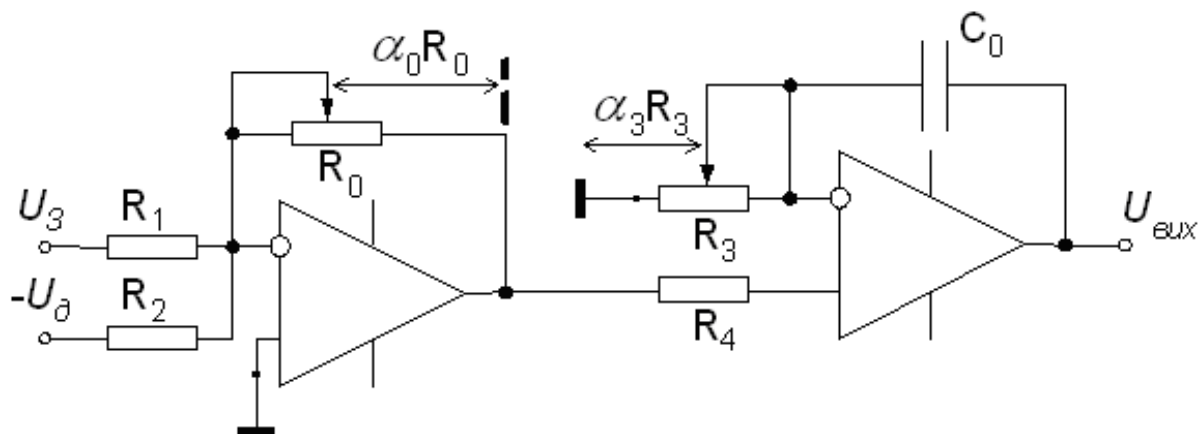


Рисунок 12.1 – Схема реалізації регулятора із роздільною настройкою параметрів

Передавальна функція для схеми «б» (при $R_2 = R_1$):

$$W(p) = \frac{U_{вих}}{U_3 - U_{\partial}} = \frac{\alpha_0 R_0}{R_1} \cdot \frac{\alpha_3 R_3 C_0 p + 1}{\alpha_3 R_3 C_0 p}$$

Розв'язування:

$$T_C = 2T_{\mu} = 2 \cdot 0,005 = 0,01(\text{с})$$

$$T_{Я} = \frac{L_{Я}}{R_{Я}} = \frac{3,25}{0,75} = 0,0043(\text{с})$$

$$\frac{\alpha_0 R_0}{R_1} \cdot \frac{\alpha_3 R_3 C_0 p + 1}{\alpha_3 R_3 C_0 p} = \frac{T_J p + 1}{k_\mu k_{\delta.c} T_C p / R_J}$$

$$T_J = \alpha_3 R_3 C_0$$

Приймаємо: $C_0 = 1 \cdot 10^{-6}$ (Ф), $R_3 = 100 \cdot 10^3$ (Ом), та підставляємо їх у рівняння:

$$0,0043 = \alpha_3 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha_3 = 0,043$$

Також із можна визначити:

$$\frac{\alpha_0 R_0}{\alpha_3 R_1 R_3 C_0 p} = \frac{1}{k_\mu k_{\delta.c} T_C p / R_J}$$

Підставивши у рівняння (7) підібранні опори, та данні із завдання отримаємо:

$$\frac{\alpha_0 R_0}{0,043 \cdot R_1 p} = \frac{1}{0,255 p}$$

Приймаємо $R_1 = 20 \cdot 10^3$ (Ом), та підставляємо у рівняння (8):

$$\alpha_0 R_0 = 3372$$

Приймаємо $R_0 = 4,7 \cdot 10^3$ (Ом):

$$\alpha_0 \cdot 4,7 \cdot 10^3 = 3372$$

$$\alpha_0 = 0,72$$

В ході роботи був проведений розрахунок, та були одержані такі параметри схеми регулятора:

$$\alpha_0 = 0,72$$

$$R_0 = 4,7(\text{кОм})$$

$$R_1 = R_2 = 20(\text{кОм})$$

$$R_3 = 100(\text{кОм})$$

$$\alpha_3 = 0,25$$

$$C_0 = 1(\text{мкФ})$$

Задача 2. Режим роботи електропривода заданий такими даними: в інтервалах часу $t_1 = 10$; $t_2 = 15$; $t_3 = 15$ с потужність механізму відповідно

дорівнює $P_1 = 12$; $P_2 = 5$; $P_3 = 4$ кВт. Треба побудувати навантажувальну діаграму $P(t)$ і вибрати потужність та тип асинхронного двигуна серії 4А з номінальною частотою обертання $n_{\text{НОМ}} = 1450 \text{ хв}^{-1}$; напругою 380/220, використовуючи дані табл.

Таблиця 12.1 – Технічні дані асинхронних двигунів серії 4А напругою 380/220 В

Електродвигун	$P_{\text{НОМ}}$, кВт	$n_{\text{НОМ}}$, хв^{-1}	$K_{\text{П}} = M_{\text{ПУСК}}/M_{\text{НОМ}}$	$\lambda_{\text{М}} = M_{\text{max}}/M_{\text{НОМ}}$
4А112М4	5,5	1445	2	2,4
4А132S4	7,5	1445	2,2	3
4А132М	11	1460	2,2	3
4А160S4	15	1465	1,4	2,3
4А160М4	18,5	1465	1,4	2,3
4А180S4	22	1470	1,4	2,3
4А180М4	30	1470	1,4	2,3
4А200М4	37	1475	1,4	2,5
4А200L4	45	1475	1,4	2,5
4А225М4	55	1480	1,3	2,5

Навантажувальна діаграма, побудована на основі даних задачі, зображена на рис.

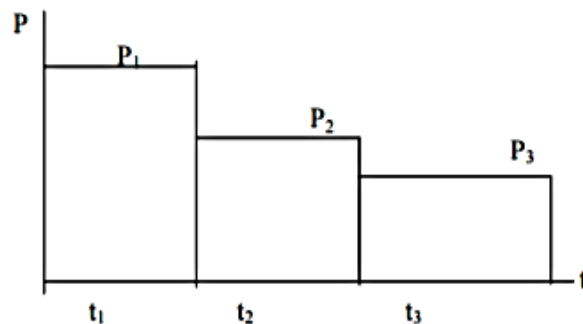


Рисунок 12.2 – Навантажувальна діаграма

Еквівалентна потужність двигуна визначається за формулою:

$$P_{\text{ек}} = \sqrt{\frac{12^2 \cdot 10 + 5^2 \cdot 15 + 4^2 \cdot 15}{10 + 15 + 15}} = 7,17 \text{ кВт}$$

Із таблиці вибираємо асинхронний двигун серії 4А132S4 номінальною потужністю $P_{\text{НОМ}} = 7,5$ кВт з номінальною частиною обертання ротора $n_{\text{НОМ}} = 1450 \text{ хв}^{-1}$ з перевантажувальною здатністю $\lambda_{\text{М}} = 3$.

Перевіряємо вибраний двигун за перевантажувальною здатністю:

$$M_{\text{н.в.маx}} = 9,95 \frac{P_{\text{н.в.маx}}}{n_{\text{НОМ}}} = 9,95 \frac{12 \cdot 10^3}{1450} = 79 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де $P_{н.в.мах}$ – максимальна потужність за навантажувальною діаграмою,
 $P_{н.в.мах} = 12$ кВт; $M_{н.в.мах}$ – максимальний момент, що відповідає $P_{н.в.мах}$.

Номинальний момент двигуна:

$$M_{НОМ} = 9,95 \frac{P_{НОМ}}{n_{НОМ}} = 9,95 \frac{7,5 \cdot 10^3}{1450} = 49,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Перевіряємо умову вибору за перевантажувальною здатністю:

$$\frac{M_{н.в.мах}}{M_{НОМ}} = \frac{79,4}{49,4} = 1,6 < K_c \lambda = 0,85 \cdot 3 = 255$$

де K_c – коефіцієнт, який враховує можливе зниження напруги.

Завдання для самостійного розв'язання

Задача 1. Вибір двигуна треба проводити, використовуючи табл. 12.2.

Таблиця 12.2 – Вихідні дані до домашнього завдання

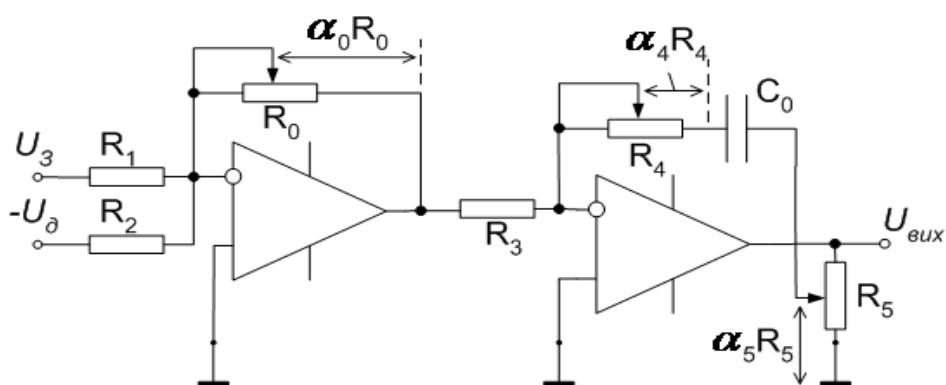
Варіант	P_1 , кВт	P_2 , кВт	P_3 , кВт	t_1 , с	t_2 , с	t_3 , с
1	22	15	5	18	30	12
2	15	8	6	50	100	10
3	30	50	20	10	75	30
4	15	10	6	15	5	40
5	50	40	70	55	90	8
6	35	45	80	40	20	15
7	8	20	18	35	20	25
8	10	20	15	20	15	30
9	35	18	40	10	25	15
10	15	5	8	20	25	30

Задача 2. Визначити параметри схеми аналогової реалізації передавальної функції ПІ-регулятора швидкості.

$$W_{PI}(p) = \frac{k_{д.с} c T_M}{k_{д.ш} R_{Я} T_{ш}} \left(1 + \frac{1}{T_{ш} p} \right)$$

$R_{Я} = 0,75$ Ом; $L_{Я} = 3,25$ мГн; $c = 5$ В·с; $k_{\mu} = 25,5$; $k_{д.с} = 0,75$ В/А;

$k_{д.ш}$
 $T_{\mu} =$
 $J = 1$



$= 0,3$ В·с;
 $0,005$ с;
 $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Побудувати логіко-динамічну схему та граф-схему алгоритму функціонування однофункціональної тристадійної мішалки періодичної дії, використовуваної для приготування як освітленого, так і неосвітленого розчину живильних солей у виробництві кормових дріжджів.

Задача 3. Визначити максимальну продуктивність ферментера за допомогою алгоритму найшвидшого спуску з використанням такого локального критерію закінчення пошуку: $h(m) < 0,025$ для будь-якої складової вектора керувань. Глобальний критерій закінчення пошуку перевіряється при зміні напрямку пошуку. Цільова функція в безрозмірних нормованих змінних має такий вигляд: $p = 201,2 + 601,6u_1 - 588,8 u_1^2 + 182 u_2 - 80u_2^2 - 320 u_1 u_2$

Задача 4. Режим роботи електропривода заданий такими даними: в інтервалах часу $t_1=10$; $t_2=15$ с потужність механізму відповідно дорівнює $P_1=10$; $P_2=4$ кВт. Треба вибрати потужність та тип асинхронного двигуна серії 4А з номінальною частотою обертання $n_{ном}=1450$ хв-1; напругою 380/220.

Контрольні запитання

1. Основні положення щодо організації взаємопов'язаних систем управління електроприводами.
2. Вимоги до взаємопов'язаних електроприводів багаторухових агрегатів.
3. Класифікація, структура та синтез багаторухових систем управління електроприводами (МЕП).
4. Математичне опис взаємопов'язаних електроприводів безперервно потокових агрегатів.
5. Системи управління швидкістю та співвідношенням швидкостей взаємопов'язаних багаторухових електроприводів.
6. Методи регулювання натягу за допомогою вимірювання зусилля, моменту та потужності.
Завдання підтримки натягу в процесі розгону та гальмування.
7. Автоматична система керування електроприводом із регулюванням потужності.
8. Автоматична система керування електроприводом із регулюванням потужності
9. Система двозонного керування електроприводом намотувального пристрою.

Тестові завдання

При побудові САК можна виділити основні способи

- A. підлегле регулювання
- B. модальное управління.
- C. оптимальне управління
- D. усі вірні

Відхилення моменту двигуна, керованого напругою якоря, визначається формулою

- A. $\Delta M_d = \alpha \Phi \Delta I_j$
- B. $\Delta M_d = \alpha \Phi \Delta U_j$
- C. $\Delta M_d = \alpha \Phi \Delta P_j$
- D. $\Delta M_d = \alpha \Phi + \Delta I_j$

Рівняння механіки приводу секції агрегату в збільшеннях змінних має вигляд:

- A. $\Delta M_d - \Delta M_c = J p \Delta \omega$
- B. $\Delta M_d - \Delta M_c = J/p \Delta \omega$
- C. $\Delta M_d - \Delta M_c = J p / \Delta \omega$
- D. $\Delta M_d - \Delta M_c = J + p \Delta \omega$

Види забезпечення АСУ ТП

- A. інформаційне забезпечення
- B. технічне забезпечення
- C. організаційне забезпечення
- D. усі вірні

Для управління апаратами або ланками технологічного процесу мікроконтролери застосовуються на

- A. нижньому рівні АСУ ТП
- B. верхньому рівні АСУ ТП
- C. середньому рівні АСУ ТП
- D. усі вірні

Способи управління натягом

- A. за регульованим параметром
- B. по побічно певному значенню натягу
- C. вірні А і В
- D. немає вірних

Закон, по якому повинен змінюватися динамічний струм при розгоні і гальмуванні

- A. $i_{j \text{ дин}} = \frac{M_{\text{дин1}}}{k\Phi} = \frac{M_{\text{дин1}}}{r_p} * \frac{r_{p \text{ max}}}{k\Phi_{\text{max}}}$
- B. $i_{j \text{ дин}} = \frac{M_{\text{дин1}}}{k\Phi} = \frac{M_{\text{дин1}}}{r_p} + \frac{r_{p \text{ max}}}{k\Phi_{\text{max}}}$
- C. $i_{j \text{ дин}} = \frac{M_{\text{дин1}}}{k\Phi} = \frac{M_{\text{дин1}}}{r_p} - \frac{r_{p \text{ max}}}{k\Phi_{\text{max}}}$

$$D. i_{я\text{ дин}} = \frac{M_{\text{дин1}}}{k\Phi} = \frac{M_{\text{дин1}}}{r_p} / \frac{r_{p\text{max}}}{k\Phi_{\text{max}}}$$

Принцип побудови системи передбачає, що завжди, незалежно від режиму роботи (розгін, усталений режим перемотування, гальмування, вимкненому стані), потік збудження двигуна

- A. постійний
- B. пропорційний радіусу рулону
- C. оберненопропорційний радіусу рулону
- D. немає вірних

ТЕМА 13. ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ЩОДО ОРГАНІЗАЦІЇ АДАПТИВНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

1. Класифікація адаптивних систем.

Оскільки адаптивні системи широко використовують робочу інформацію для аналізу динамічного стану системи управління та організації контрольованих змін властивостей, параметрів, що управляють впливів та структури системи управління, то залежно від способів реалізації таких контрольованих змін у процесі нормальної експлуатації системи можна провести наступну класифікацію адаптивних систем: системи, що самоналаштовуються, системи з адаптацією в особливих фазових станах та навчальні системи.

Самоналаштовуються системи (СНС) характеризуються наявністю спеціальних контурів самоналаштування, за допомогою яких оцінюються динамічні та статичні властивості системи та формуються такі контрольовані впливи, що система мимовільно наближається до певного зразка, часто задається математично як критерію якості функціонування. У процесі роботи системи значення функціоналу якості змінюється і завдання контуру самоналаштування зводиться до забезпечення екстремального (мінімального чи максимального) значення критерію. Знаходження та підтримання екстремального значення критерію якості управління може здійснюватися або за допомогою пробних відхилень системи, або шляхом аналітичного визначення умов екстремуму. Залежно від зазначених способів знаходження екстремуму самоналаштовуються системи поділяють на пошукові та безпошукові.

Системи з адаптацією в спеціальних фазових станах використовують спеціальні режими або властивості нелінійних систем, наприклад режими автоколивань, ковзаючі режими організації контрольованих змін динамічних властивостей системи управління. Спеціально організовані спеціальні режими в таких системах або є додатковим джерелом робочої інформації про умови функціонування системи, що змінюються, або наділяють систему управління новими властивостями, за рахунок яких динамічні характеристики керованого процесу підтримуються в бажаних межах, незалежно від характеру змін, що виникають при функціонуванні. Ці системи можна підрозділити на релейні автоколивальні системи та адаптивні системи зі змінною структурою.

Навчальні системи управління характеризуються наявністю спеціальних процесів навчання, які полягають у поступовому загартовуванні,

запам'ятовуванні та аналізі інформації про поведінку системи та зміну законів функціонування залежно від набутого досвіду. До процесу навчання доводиться вдаватися тоді, коли не лише малий обсяг апріорних відомостей про об'єкт, але й відсутня можливість встановлення детальних причинно-наслідкових зв'язків у структурі самої системи через її складність.

Накопичення та узагальнення інформації у процесі навчання можна здійснювати за рахунок внесення «еталонного досвіду» в систему ззовні або шляхом формування такого досвіду усередині системи. Наприклад, у першому випадку навчальної системи пред'являють послідовність ситуацій, образів чи режимів, які мають заздалегідь відомі Показники і відрізняються за належністю певним класам. Поведінка системи у відповідь на таку навчальну послідовність ситуацій формують на основі принципу «заохочення – покарання», тобто правильна реакція системи на пред'явлену ситуацію запам'ятовується та використовується для організації контрольованих змін динамічних властивостей системи керування. Залежно від способів накопичення досвіду зазначені системи поділяють на учні із заохоченням та учні без заохочення (навчальні) системи.

2. Самонастроювальні системи

Залежно від способу досягнення мети управління СНР поділяються на два великих класу: безпошукові (аналітичні) та пошукові СНР. Як пошукові, так і аналітичні (безпошукові) СНР, будучи багатоконтурними системами автоматичного управління, мають крім основного замкнутого контуру ще й замкнутий або розімкнутий контур самоналаштування. Аналітичними СНР називають системи, в яких цілеспрямовані зміни властивостей регулятора здійснюються в результаті аналітичного визначення умов екстремуму величини, що характеризує критерій якості (оптимальності) керування. Аналітичні СНР поділяються на три види:

1) системи, що самоналаштовуються за вхідними (зовнішніми) та вихідними координатами;

2) системи, що самоналаштовуються за динамічними характеристиками (частотними, тимчасовими) основного контуру системи чи об'єкта управління;

3) системи із моделлю. Принцип дії аналітичних СНР заснований на корекції динамічних властивостей системи на основі обчислень. При цьому зазвичай статична робоча точка не становить інтересу.

Аналітичні СНР не вимагають часу на пошук, проте вони вимагають набагато більше апріорної (вихідної) інформації, ніж пошукові СНР, і, як наслідок, більш складні при практичній реалізації.

Функціональна схема аналітичної СНР представлена на рис. 13.1.

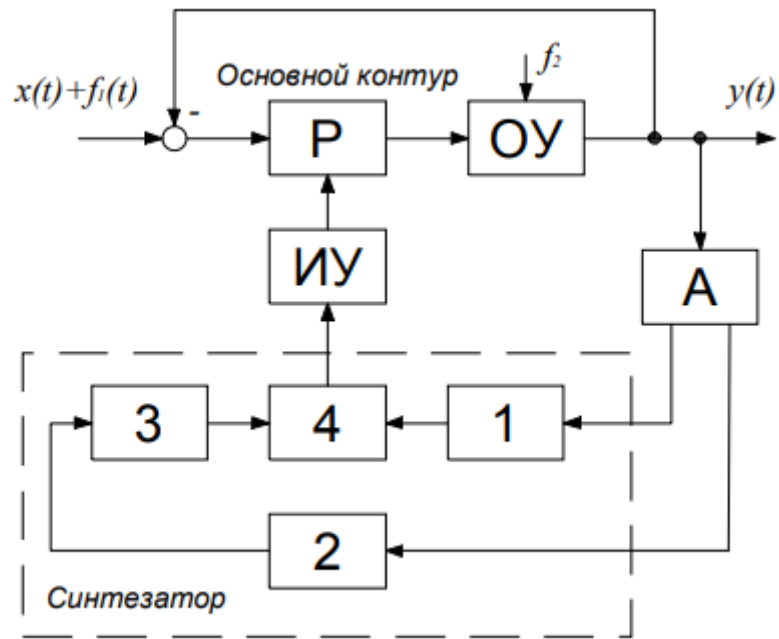


Рисунок 13.1 – Функціональна схема найпростішої безошуквої (аналітичної) самоналаштується системи

В основі всієї системи лежить вихідна система, що складається з регулятора Р об'єкта управління ОУ та головного зворотного зв'язку.

Список використаної літератури

1. Омельченко О.В., Перекрест В.В., Цвіркун Л.О. Електрообладнання енергетичних установок: метод. реком. з вивчення дисц. Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2020. 89 с.
2. Погожих М.І., Пак А.О., Дьяков О.Г. Електрообладнання енергетичних установок: навч. посібник. Х. : ХДУХТ, 2019, 86 с.
3. Будіщев М.С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка. Львів : Афіша, 2001. 423 с.
4. Малинівський С.М. Загальна електротехніка : навч. посібник. Львів : Львівська політехніка, 2001. 594 с.
5. Паначевний Б.І. Загальна електротехніка: теорія і практикум. К. : Каравела, 2003. 438 с.
6. Квітка С.О. Електроніка та мікросхемотехніка. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. 223 с.
7. Матвієнко М.П. Основи електроніки. К.: Вид-во Ліра-К, 2017. 360 с.
8. Матвієнко М. П. Основи електротехніки. К.: Вид-во Ліра-К, 2017. 228 с.
9. Електричні машини: машини постійного струму і трансформатори / С.О. Квіт-ка, С.В. Галько, О.В. Ковальов. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. 167 с.
10. Квітка С.О. Електроніка та мікросхемотехніка / С.О. Квітка, Ю.М. Федюшко, Н.Г. Косуліна, С.О. Мороз. Х.: ФОП Мезіна В. В., 2017. 244 с.

Навчальне видання

*Омельченко Олександр Володимирович,
Цвіркун Людмила Олександрівна,
Перекрест Володимир Вікторович*

Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК
«ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ
УСТАНОВОК»

Формат 60×84/8. Ав. арк. 5

Донецький національний університет
економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
50042, Дніпропетровська обл.,
м. Кривий Ріг, вул. Курчатова, 13.
Свідоцтво суб'єкта видавничої
справи ДК № 4929 від 07.07.2015 р.