

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КІРОВОГРАДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ
ТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ

ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ

Методичні вказівки до виконання самостійних робіт
для студентів денної та заочної форми навчання
за напрямком 6.050701 «Електротехніка та електротехнології»

КІРОВОГРАД
2014

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КІРОВОГРАДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ

Методичні вказівки до виконання самостійних робіт
для студентів денної та заочної форми навчання
за напрямком 6.050701 «Електротехніка та електротехнології»

*Ухвалено на засіданні кафедри
електротехнічних систем та
енергетичного менеджменту
Протокол № 6 від 26.11.2014 р.*

КІРОВОГРАД
2014

Методичні вказівки «Електромагнітні перехідні процеси» до виконання самостійних робіт для студентів денної та заочної форми навчання за напрямком 6.050301 «Електротехніка та електротехнології» / Укл.: І.О. Переверзєв, В.В. Зінзура – Кіровоград: КНТУ, 2014 – 35 с.

Укладачі: І.О. Переверзєв – доцент, кандидат технічних наук
В.В. Зінзура – асистент

Рецензент: С.І. Осадчий – професор, доктор технічних наук

©І.О. Переверзєв, В.В. Зінзура, 2014

РВЛ КНТУ, тиражування, 2014

ЗМІСТ

ВСТУП	6
Тема 1. Загальні відомості про перехідні процеси.....	7
Тема 2. Струми короткого замикання в системах електропостачання	8
Тема 3. Перехідні процеси в електричних машинах при трифазних коротких замиканнях	10
Тема 4. Струми трифазного короткого замикання.....	12
Тема 5. Практичні методи розрахунку струмів симетричного короткого замикання	14
Тема 6. Основні положення розрахунку несиметричних режимів	16
Тема 7. Поперечна несиметрія	17
Тема 8. Поздовжня несиметрія	19
КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ	20
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	21
ДОДАТОК А. Розрахункові схеми для контрольних завдань	22
ДОДАТОК Б. Вихідні дані для контрольних завдань	27

ВСТУП

Безперервний розвиток енергетики, що іде шляхом створення потужних енергооб'єднань і на їх основі єдиної електроенергетичної системи країни, зумовлює необхідність вирішення ряду складних завдань, пов'язаних з підвищенням надійності, рівня стійкості, якості електричної енергії та інших техніко-економічних показників роботи електроенергетичних систем. Ці задачі в значній мірі зводяться до удосконалення способів боротьби з цілим рядом небажаних явищ, якими супроводжується протікання в електричних системах різних перехідних процесів. Вивчення фізичної суті перехідних процесів, методів їх аналізу і розрахунку, і частково способів керування цими процесами є основною задачею курсу «Електромагнітні перехідні процеси».

В даному курсі вивчаються питання, що пов'язані головним чином з протіканням струмів коротких замикань (к. з.) і методами їх розрахунку.

Даний курс має прикладний характер. В зв'язку з цим особливо важливо отримати чітке уявлення про інженерний підхід до вирішенню задачі розрахунку струмів к. з., вивчити основні методи їх розрахунку, запам'ятати числові значення найбільш характерних величин і найважливіших співвідношень.

ТЕМА 1

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ

Зміст

Задачі курсу. Роль курсу у формуванні спеціаліста електроенергетика та її науковий світогляд. Режим роботи СЕС. Причини виникнення перехідних процесів (ПП). Вплив ПП на режим роботи системи. Призначення розрахунків електромагнітних ПП та пред'явлених до них вимог.

Методичні вказівки

Програмою курсу в даній темі передбачено ознайомлення з короткими історичними відомостями про виникнення і розвиток проблеми перехідних процесів в системах електропостачання (СЕП). Необхідно звернути увагу на причини створення і постійного удосконалення керівних вказівок по розрахунку струмів короткого замикання і визначення стійкості електроенергетичних систем (ЕЕС), напрямки розвитку різних способів і засобів аналізу і розрахунку перехідних процесів.

При вивченні перехідних процесів важливо отримати чітке уявлення про можливі режими СЕП (нормально усталений, нормальні перехідні, аварійні усталені і перехідні, після аварійні усталені режими).

Слід ознайомитись з причинами виникнення перехідних процесів, обумовленими як змінами режимів в процесі експлуатації СЕП, так і пошкодженням ізоляції і струмоведучих частин електроустановок.

При вивченні загальних відомостей важливе місце відводиться питанням призначення розрахунків перехідних процесів, що включають в себе практичне вирішення задач проектування, спорудження і експлуатації СЕП. При цьому слід акцентувати увагу на обґрунтуванні економічно доцільних СЕП з урахуванням можливих перехідних режимів, змін якісних показників електропостачання споживачів і надійності СЕП.

Особливу увагу слід звернути на вихідні положення, фізичні пояснення процесів і порядок вирішення поставлених задач. Для успішного виконання практичних розрахунків слід запам'ятати порядок

розрахунків, числові значення найбільш характерних параметрів, формули, що використовуються і область їх застосування.

Література: [2, с. 6-12].

Питання для самоперевірки

1. Види перехідних процесів.
2. Можливі режими СЕП і їх визначення.
3. Причини виникнення перехідних процесів.
4. Різниця між стійкими та нестійкими пошкодженнями ізоляції струмоведучих частин.
5. Призначення розрахунків перехідних процесів.
6. Вплив перехідних процесів на надійність СЕП.

ТЕМА 2

СТРУМИ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Зміст

Види коротких замикань, основні допущення, прийняті при дослідженні та розрахунках ПП.

Розрахункова схема короткого замикання мережі та опори її елементів. Перетворення схеми заміщення електричних систем.

Приведення параметрів елементів короткозамкнутого ланцюга до базисних вимог.

Методичні вказівки

В цій темі розглядаються перехідні процеси при найбільш розповсюджених видах пошкоджень – коротке замикання в електричних установках СЕП.

В процесі вивчення даної теми необхідно ознайомитись з видами короткого замикання, причинами їх виникнення і можливими наслідками. Слід знати для яких цілей вимагається розраховувати струми короткого замикання і які приймаються припущення при визначенні цих струмів.

Необхідно набути навичок в складанні розрахункової схеми короткозамкненого ланцюга, заміні її еквівалентною схемою заміщення і визначенні результуючого опору між джерелами електроенергії і точкою короткого замикання. При цьому слід навчитись приводити параметри короткозамкненого ланцюга до базисних умов в іменованих і відносних одиницях. Розглянути способи точного і наближеного приведення розрахункових параметрів короткозамкненого ланцюга до базисних умов і визначення його результуючого опору.

Література: [1, с. 19-41; 2, с. 13-68, 650-653].

Питання для самоперевірки

1. Як впливають прийняті спрощення і припущення в СЕП на точність визначення струмів короткого замикання?
2. Призначення розрахунків струмів короткого замикання.
3. Які види короткого замикання відносяться до симетричних, а які – до несиметричних?
4. Причини виникнення короткого замикання.
5. Які наслідки можуть викликати короткі замикання?
6. Яка схема називається розрахунковою схемою короткого замкнення?
7. Які елементи СЕП включають в розрахункову схему короткого замикання?
8. Як складається еквівалентна схема заміщення короткозамкненого ланцюга?
9. Як визначається результуючий опір короткозамкненого ланцюга?
10. Основні методи перетворення електричних схем.

ТЕМА 3

ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИНАХ ПРИ ТРИФАЗНИХ КОРОТКИХ ЗАМИКАННЯХ

Зміст

Фізична сутність процесу протікання струму трифазного к. з. в синхронному генераторі.

Перехідні е.р.с. та реактивності синхронної машини. Схема заміщення синхронної машини без демпферних обмоток. Векторна діаграма.

Надперехідні е.р.с. та реактивності синхронної машини з демпферними обмотками. Схеми заміщення, векторні діаграми.

Коротке замикання на затискачах генератора. Генератор з АРЗ. Принцип дії АРЗ, коротке замикання у віддалених точках СЕП.

Методичні вказівки

Вивчення цієї теми має важливе значення для розгляду впливу короткого замикання в різних точках СЕП на джерела електроенергії і для розуміння процесу його протікання з точки зору законів фізики.

Перед вивченням матеріалу даної теми необхідно повторити відповідні розділи ТОЕ і електричних машин, зокрема [3, с. 324-354; 4, с. 240-296, 619-664].

Після цього слід спочатку розглянути перехідні процеси в трансформаторах, що спостерігаються при ввімкненні трансформатора під напругу на холостому ході і при трьохфазному короткому замиканні на його вторинних затискачах. При цьому необхідно звернути особливу увагу на аналіз фізичної суті перехідних процесів, що протікають, а також на негативні наслідки, що виникають в результаті їх протікання.

Далі необхідно розглянути перехідні процеси в синхронній машині з демпферними обмотками і без них. При цьому необхідно навчитись складати схеми заміщення синхронних машин і будувати їх векторні діаграми, що відповідають перехідним процесам. Особлива увага повинна бути приділена на визначення фізичної суті перехідних і над перехідних е.р.с. і індуктивних опорів, на різницю між ними, а також на їх відмінність від е.р.с. і опорів машин, що обертаються при нормальному режимі.

Порівняти значення вказаних параметрів для різних типів синхронних генераторів і двигунів.

Рівняння перехідного процесу в асинхронному двигуні. Проаналізувати особливості розрахунків перехідних процесів двигунів. Визначення розрахункових параметрів двигунів. Поняття про узагальнений електродвигун і його врахування при розрахунку струмів короткого замикання.

Суть терміну «узагальнене навантаження» і її вплив на протікання перехідного процесу. Надперехідні е.р.с. і опори узагальненого навантаження, їх врахування при розрахункових перехідних процесах в СЕП.

Література: [1, с. 42-57; 2, с. 155-183; 4, с. 328-338, 682-689].

Питання для самоперевірки

1. Скласти диференційне рівняння перехідного процесу синхронної машини в фазних координатах.
2. Чому змінюється магнітний потік в повітряному зазорі машини в перехідному режимі?
3. Які е.р.с. і опори машини називаються перехідними?
4. Які е.р.с. і опори машини називаються над перехідними?
5. Побудувати схему заміщення синхронної машини без демпферних обмоток.
6. Побудувати векторну діаграму синхронної машини без демпферних обмоток.
7. Як впливають демпферні обмотки на протікання перехідного процесу в машині, що обертається?
8. Побудувати схему заміщення синхронної машини з демпферними обмотками.
9. Побудувати векторну діаграму синхронної машини з демпферними обмотками.
10. В чому полягають особливості розрахунків перехідних процесів двигунів?
11. Як враховується вплив узагальненого навантаження на протікання перехідного процесу?

12. Побудувати осцилограму зміни намагнічуючого струму при ввімкненні трансформатора під напругу.
13. Назвіть умови виникнення ударного струму короткого замикання в трансформаторі.
14. Побудувати для заданої фази векторну діаграму струмів і напруг в момент короткого замикання на вторинних затискачах трансформатора для найбільш важкого моменту виникнення короткого замикання.

ТЕМА 4

СТРУМИ ТРИФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Зміст

Трифазне к. з. у нерозгалуженому колі. Зміна в часі струму та його складових. Ударний струм к. з. Умови його виникнення.

Приблизне значення періодичної складової та оцінки еквівалентної постійної часу періодичної складової струму. Діюче значення струму к. з. та його складових.

Методичні вказівки

В цій темі розглядаються зміни повного струму к. з. і його складових в короткозамкненому ланцюгу при раптових пошкодженнях в різних точках СЕП.

Спочатку необхідно розглянути криві зміни повного струму к. з. і його складових при раптовому трифазному к. з. на затискачах джерела живлення або поблизу розташованих точок при відсутності АРЗ. Окремо проаналізувати криві зміни періодичної, аперіодичної складових і повного струму к. з. При цьому слід звернути увагу на найбільш характерні значення струмів к. з.: початковий, ударний, усталений. Важливу роль відіграються залежності для визначення значень періодичної і аперіодичної складових струму к. з., ударного і діючого повного струму к. з. і ударного коефіцієнту.

Після розгляду кривих струму к. з. при відсутності АРЗ слід розглянути такі ж криві при наявності у синхронних машин АРЗ,

порівняти їх і встановити причини впливу АРЗ на зміну періодичної складової струму к. з. Велика увага повинна бути приділена раптовим к. з. у віддалених точках мережі. Для цього необхідно знати яка точка СЕП називається віддаленою і побудувати для неї криві зміни періодичної, аперіодичної складових і повного струму к. з. При вивченні слід детально зупинитись на розгляді усталеного струму к. з., його можливих значення і способах визначення.

Розбір матеріалу з даної теми суттєво спроститься, якщо попередньо повторити перехідний процес в найпростіших трифазних мережах [2, с. 71-85].

Література: [1, с. 57-71].

Питання для самоперевірки

1. Як змінюються криві періодичної, аперіодичної складових і повного струму при к. з. на затискачах генератора без АРЗ?
2. Який струм називають ударним струмом к. з.?
3. При яких умовах ударний струм приймає максимальне значення?
4. Як визначається діюче значення повного струму к. з. за перший період перехідного процесу?
5. Що являє собою ударний коефіцієнт струму к. з. і як він визначається?
6. Як змінюються криві повного струму к. з. і його складових при пошкодженнях на затискачах генератора з АРЗ?
7. Вплив АРЗ на процес протікання к. з.
8. Як змінюються криві повного струму і його складових при к. з. у віддаленій точці?
9. Криві зміни повного струму і його складових, що генеруються електродвигунами.

ТЕМА 5

ПРАКТИЧНІ МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ СТРУМІВ СИМЕТРИЧНОГО КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Зміст

Розрахунок струмів у початковий момент к. з. Визначення ударного та діючого значення струму к. з.

Метод розрахункових кривих. Вплив на врахування навантаження при розрахунку сталого струму к. з. у складній електричній системі для довільного моменту часу. Уточнення методу розрахункових кривих.

Методичні вказівки

Найбільш прийнятний метод розрахунку струмів симетричного к. з. залежить від місця пошкодження в СЕП, призначення розрахунку, моменту часу та інших вимог. При вивченні практичних методів розрахунку струмів к. з. необхідно засвоїти, в яких випадках необхідно застосовувати спрощені, а в яких – точні методи. Перш за все слід ознайомитись зі спрощеними методами врахування СЕП. Якщо к. з. розглядається у віддаленій точці СЕП, діюче значення напруги в ланцюгу приймають незмінним і визначають періодичну складову струму к. з. як постійну величину для довільного моменту перехідного процесу. Надперехідний струм к. з., що відповідає початковому надперехідному режиму, визначаються аналітично по надперехідним значенням $e.p.c.$ і опорів короткозамкненого ланцюга при к. з. в будь-якій точці СЕП.

Струми к. з. для довільних моментів перехідного режиму визначають методом розрахункових кривих або методом спрямлених характеристик. При цьому слід звернути увагу на те, що розрахунковими кривими можна користуватись лише тоді, коли опір короткозамкненого ланцюга приведений до номінальної потужності джерела живлення, тобто він є розрахунковим опором. Оскільки розрахункові криві побудовані з урахуванням навантажень, при визначенні розрахункового опору не слід включати в розрахункову схему гілки навантажень.

У випадку живлення точки к. з. від різнотипових джерел живлення або з різною віддаленістю від місця пошкодження необхідно визначити

струми к. з. з урахуванням індивідуального затування їх періодичної складової.

Важливе значення при практичних розрахунках струмів к. з. має врахування електродвигунів і узагальнених навантажень як додаткових джерел електроенергії.

При визначенні струмів к. з. і параметрів СЕП слід приділити значну увагу особливостям їх розрахунку в мережах напругою до 1 кВ.

Суттєве значення при вивченні практичних методів розрахунку струмів к. з. має набуття навичок користування розрахунковими моделями і ЕОМ.

Література: [1, с. 71-123; 2, с. 334-391].

Питання для самоперевірки

1. У яких випадках значення потужності джерела живлення можна приймати рівним нескінченності?
2. Як визначається початковий струм к. з.?
3. Як визначається ударний струм к. з.?
4. Яку визначається струми к. з. методом розрахункових кривих?
5. У яких випадках необхідно визначати струми к. з. методом розрахункових кривих?
6. Як визначають струми к. з. у віддалених точках СЕП?
7. Особливості розрахунку струмів к. з. в мережах напругою до 1000 В?
8. Як визначаються струми к. з. з урахуванням електричних двигунів?
9. Як визначаються струми к. з. з допомогою розрахункових моделей?
10. Методи визначення струмів к. з. з допомогою ЕОМ?

ТЕМА 6

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ РОЗРАХУНКУ НЕСИМЕТРИЧНИХ РЕЖИМІВ

Зміст

Метод симетричних складових.

Параметри електричних трансформаторів, повітряних ліній і кабелів для струмів різних послідовностей.

Складання схем заміщення прямої, зворотної та нульової послідовностей .

Загальне уявлення про поперечну несиметрію в трифазній системі.

Методичні вказівки

Проаналізувати виникнення вищих гармонік при несиметричному режимі синхронної машини і їх вплив на можливість застосування методу симетричних складових до дослідження перехідних процесів.

Для розрахунку несиметричних перехідних процесів необхідно детально ознайомитись із застосуванням методу симетричних складових до аналізу і розрахунку несиметричних к. з. При цьому слід засвоїти способи представлення несиметричних струмів, напруг та інших параметрів через симетричні складові прямої, зворотної і нульової послідовностей і навпаки.

При вивченні даної теми слід звернути увагу на опори елементів СЕП для струмів окремих послідовностей, а також на складання розрахункових схем і схем заміщення для визначення результуючих опорів прямої, зворотної і нульової послідовностей.

Література: [1, с. 124-142; 2, с. 393-401].

Питання для самоперевірки

1. Як представити несиметричну систему струмів у вигляді трьох симетричних?
2. Опори прямої, зворотної і нульової послідовностей різних елементів короткозамкненого ланцюга.

3. Як складаються розрахункові схеми різних послідовностей короткозамкненого ланцюга при несиметричних коротких замиканнях?
4. Як визначаються результуючі опори різних послідовностей?
5. В яких одиницях задаються опори елементів різних послідовностей?
6. Особливості схеми заміщення нульової послідовності.

ТЕМА 7

ПОПЕРЕЧНА НЕСИМЕТРИЯ

Зміст

Загальні відомості. Однофазне коротке замикання. Двохфазне коротке замикання. Двохфазне замикання на землю.

Правило еквівалентності прямої послідовності. Комплексні схеми заміщення.

Порівняння струмів при різних видах к. з. Векторні діаграми струмів та напруг.

Методичні вказівки

При вивченні цієї теми важливе значення має набуття навичок складання розрахункових схем і схем заміщення прямої, зворотної і нульової послідовностей, і у визначення розрахункових опорів короткозамкненого ланцюга при різних видах несиметричних к. з.

Слід звернути увагу на те, що гілки навантаження являють собою додаткові шляхи для протікання струмів зворотної послідовності і тому повинні включатись у відповідну схему заміщення.

В зв'язку з тим, що в точці несиметричного к. з. трьохфазна мережа не ділиться на окремі незалежні частини а залишається пов'язаною через непошкоджені фази, струми прямої і зворотної послідовностей розподіляються в ланцюгу по різному.

В даній темі передбачається вивчення методів розрахунку однофазного і двофазного к. з., а також двофазного к. з. на землю. При

цьому необхідно розглянути векторні діаграми струмів і напруг при несиметричних к. з.

Розглядаючи однократну поперечну несиметрію слід враховувати, що розподіл симетричних складових струмів і напруг справедливий лише у межах тієї ступені трансформації, на якій розглядається несиметричне к. з. Струми і напруги на інших ступенях трансформації визначаються з урахуванням правил трансформації їх окремих складових.

В цій темі також необхідно визначити правило еквівалентності прямої послідовності і комплексні схеми заміщення, що об'єднують між собою схеми окремих послідовностей.

Для практичних розрахунків несиметричних к. з. важливе значення має набуття навичок у використанні метода розрахункових кривих, побудованих для симетричного трифазного к. з.

Література: [1, с. 142-188].

Питання для самоперевірки

1. Що таке однократна поперечна несиметрія?
2. Різниця між розрахунковими схемами прямої, зворотної і нульової послідовності.
3. Як визначити струми і напруги при однофазному к. з.
4. Зобразити векторні діаграми струмів і напруг при однофазному к. з.
5. Як визначити струми і напруги при двохфазному к. з.?
6. Побудувати векторні діаграми струмів і напруг при дфхфазному к. з.
7. Як визначити струми і напруги при двохфазному к. з. на землю?
8. Побудувати векторні діаграми струмів і напруг при двохфазному к. з. на землю.
9. В чому полягає правило еквівалентності прямої послідовності?
10. Що являють собою комплексні схеми заміщення?
11. Як визначаються струми несиметричних к. з. по розрахунковим кривим?

ТЕМА 8

ПОЗДОВЖНЯ НЕСИМЕТРІЯ

Зміст

Загальні відомості. Розрив однієї фази трифазного кола.

Розрив двох фаз трифазного кола.

Вмикання в фази неоднакових опорів.

Методичні вказівки

При аналізі поздовжньої несиметрії необхідно чітко уявляти різницю між поперечною і поздовжньою несиметріями і їх вплив на протікання перехідних процесів. Слід розглянути методи визначення струмів і напруги при розривах однієї або двох фаз, несиметрії від ввімкнення опорів. Для випадків поздовжньої несиметрії, що розглядаються, необхідно вміти побудувати векторні діаграми струмів і напруг.

Для розрахунку однократної поздовжньої несиметрії з допомогою моделей і ЕОМ важливе значення має вміння складати комплексні схеми заміщення.

Література: [1, с. 142-188].

Питання для самоперевірки

1. Які види несиметрії відносяться до однократної?
2. Як визначаються струми і напруги при розриві однієї фази?
3. Побудувати векторні діаграми струмів і напруг при розриві однієї фази.
4. Як визначаються струми і напруги при розриві двох фаз?
5. Побудувати векторні діаграми струмів і напруг при розриві двох фаз.
6. Сформулювати правило еквівалентності прямої послідовності при однократній поздовжній несиметрії.
7. Що являють собою комплексні схеми заміщення?

КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Загальні зауваження

Варіант схеми і вихідних даних для виконання контрольних робіт задається трьома цифрами. Перша цифра – номер рисунка, на якому зображена схема (додаток А) і номер таблиці з якої слід брати вихідні дані (додаток Б). Драга цифра – номер рядку вихідних даних в таблиці. Третя цифра – точка короткого замикання. Наприклад, для варіанту контрольної роботи 541: схема – рис. 5; вихідні дані – четвертий рядок таблиці 5; точка к. з. – 1.

Контрольне завдання № 1

Для випадку трьохфазного к. з. в точці K_i необхідно зробити наступне.

1. Розрахувати аналітично в місці к. з.:
 - початкове значення надперехідного струму;
 - ударний коефіцієнт і ударний струм;
 - найбільше діюче значення струму к. з.;
 - значення аперіодичної складової струму к. з. для моментів часу 0; 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,08 с;
 - для вказаних моментів часу з допомогою розрахункових кривих визначити величину періодичної складової струму к. з.
2. За результатами розрахунків, виконаних в п. 1, побудувати криві зміни в часі повного струму к. з. і його окремих складових.
3. Спростити вихідну схему, виключивши з неї всі гілки навантаження (гілки з узагальненими навантаженнями і асинхронними двигунами). Побудувати з допомогою методу розрахункових кривих криву зміни струму в місці к. з. Вважати, що всі синхронні машини, що залишилися в схемі, оснащені АРЗ.

Контрольне завдання № 2

Для несиметричного к. з. в точці K_i зробити наступне.

1. Побудувати схеми заміщення для всіх послідовностей і розрахувати їх параметри.

2. Визначити симетричні складові і повний струм в місці пошкодження СЕП.

3. Визначити струми і напруги в гілках схеми.

Примітки:

1. Варіанти контрольних завдань, вид несиметрії і схеми з'єднання трансформаторів для виконання контрольного завдання № 2 видаються студентам під час лекцій.

2. Для виконання контрольних робіт необхідно самостійно розв'язати приклади: 2-1, 11-5, 11-7, 15-10, 16-2, 16-4, що наведені в [2]; 5-1, 5-2, 5-4, 5-6, 5-7, 5-8, 5-9, 7-1, 7-2, що наведені в [1]; 6-1, 6-4, 1-3, що наведені в [5].

3. Розрахунки, що передбачені в п. 1 контрольного завдання № 1 виконати в системі відносних одиниць, використовуючи при цьому точне приведення параметрів схеми заміщення до базисних умов. Для побудови інших схем можна використовувати наближене приведення.

4. Якщо опір x_d'' для синхронних машин не заданий, то слід прийняти його у відповідності з даними таблиці 11-1 [2].

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Винославский В.М. Переходные процессы в системах электроснабжения: учебник / В.М. Винославский и др. – К. : Высшая школа, 1989.

2. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах / С.А. Ульянов. – М. : Энергия, 1964.

3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники / Л.А. Бессонов. – М. : Высшая школа, 1973.

4. Вольдек А.И. Электрические машины / А.И. Вольдек. – Л. : Энергия, 1978.

5. Ульянов С.А. Сборник задач по электромагнитным переходным процессам в электрических системах / С.А. Ульянов. – Л. : Энергия, 1968.

6. Расчеты токов короткого замыкания для релейной защиты и системной автоматики в сетях 110-750 кВ // Руководящие указания по релейной защите. М. : Энергия, 1979. – Вып. 11.

ДОДАТОК А
Розрахункові схеми для контрольних завдань

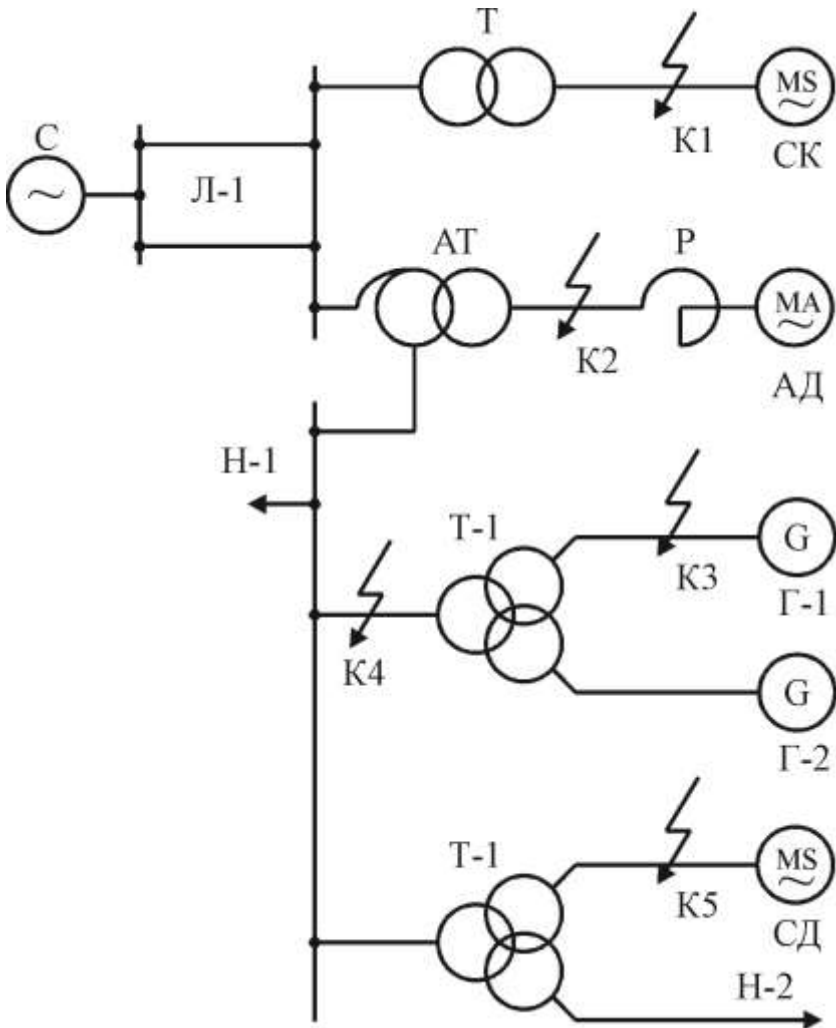


Рис. А.1. Розрахункова схема № 1

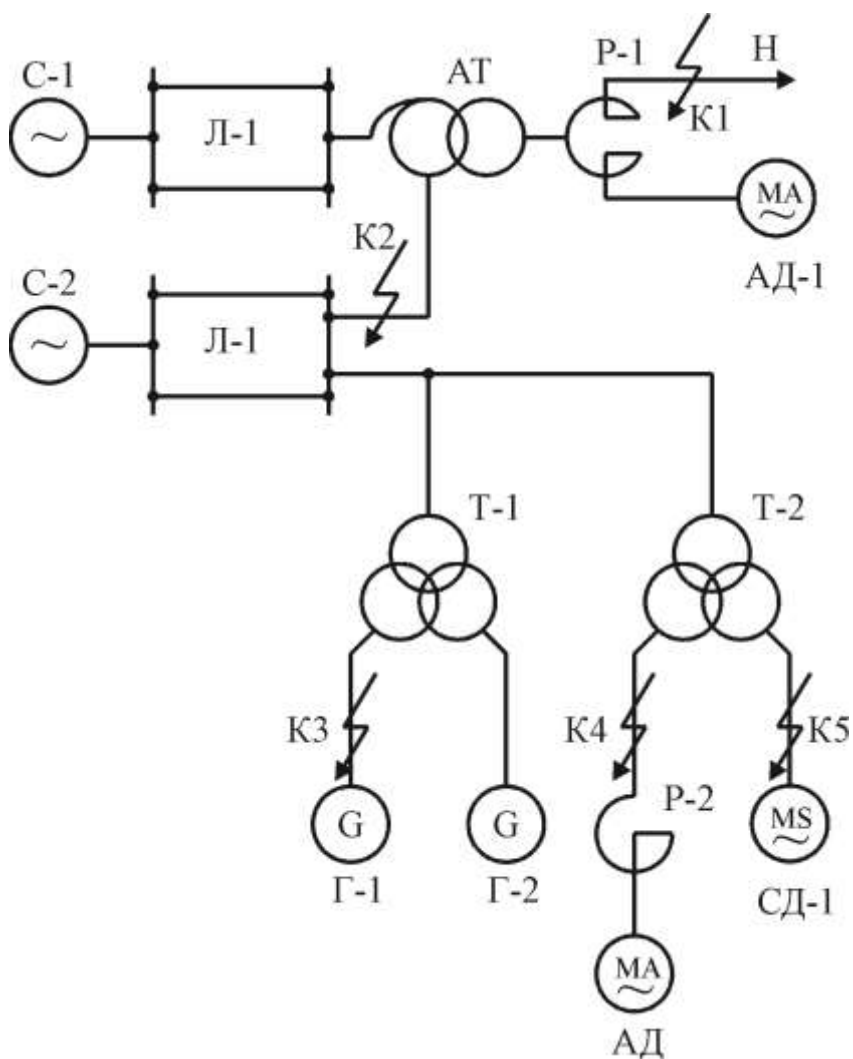


Рис. А.2. Розрахункова схема № 2

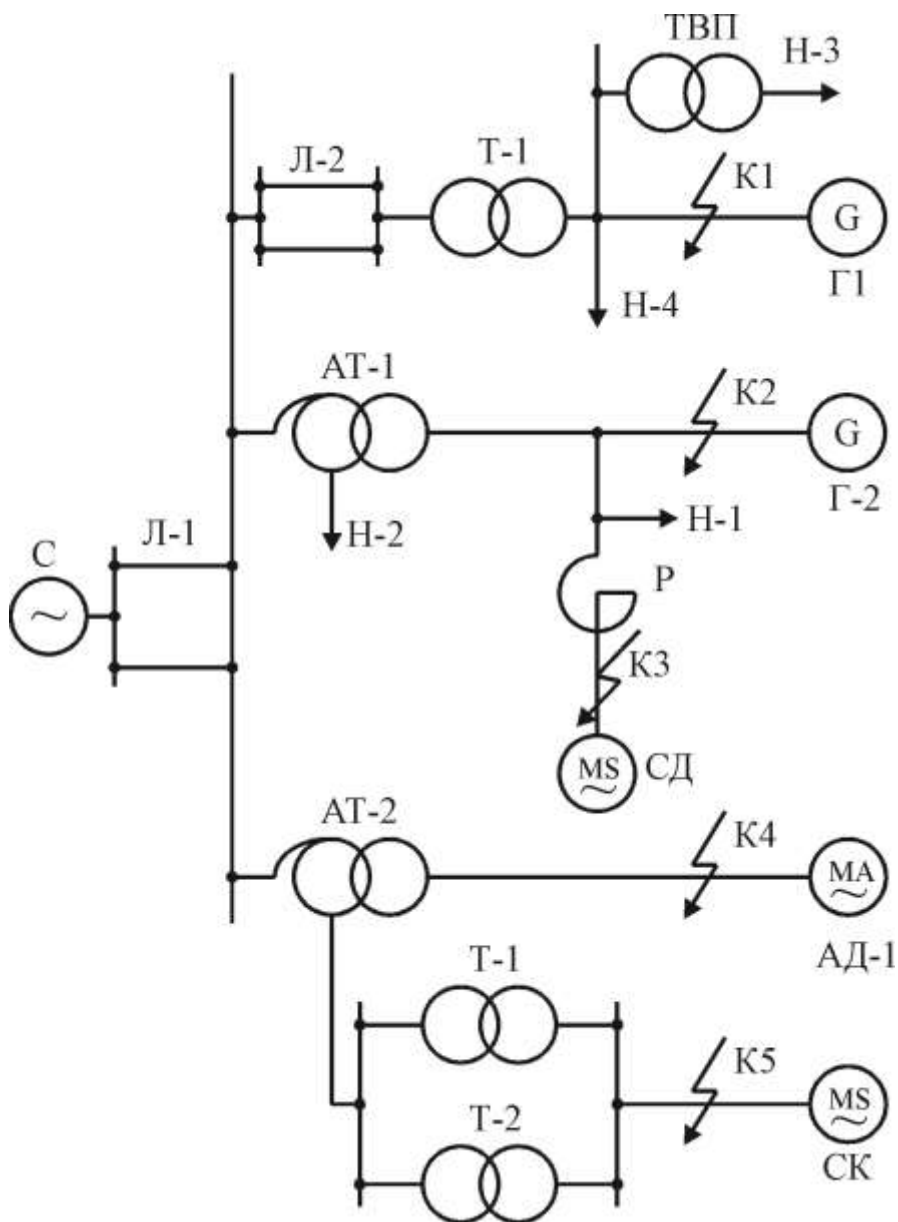


Рис. А.3. Розрахункова схема № 3

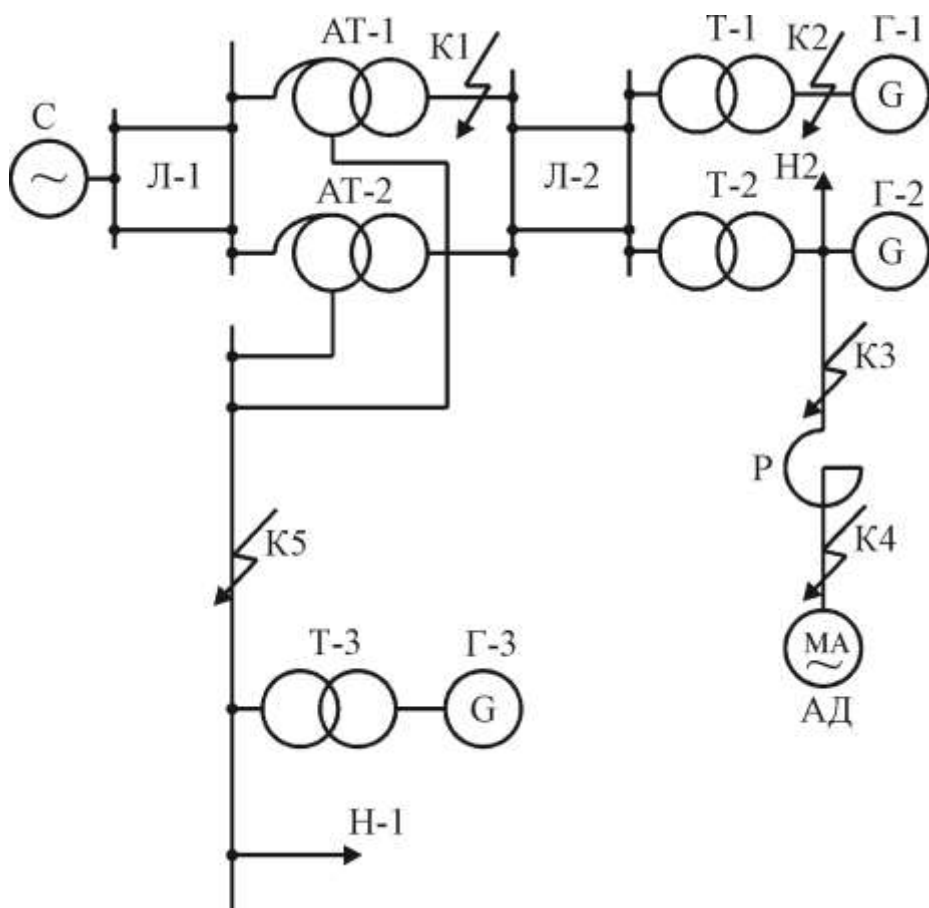


Рис. А.4. Розрахункова схема № 4

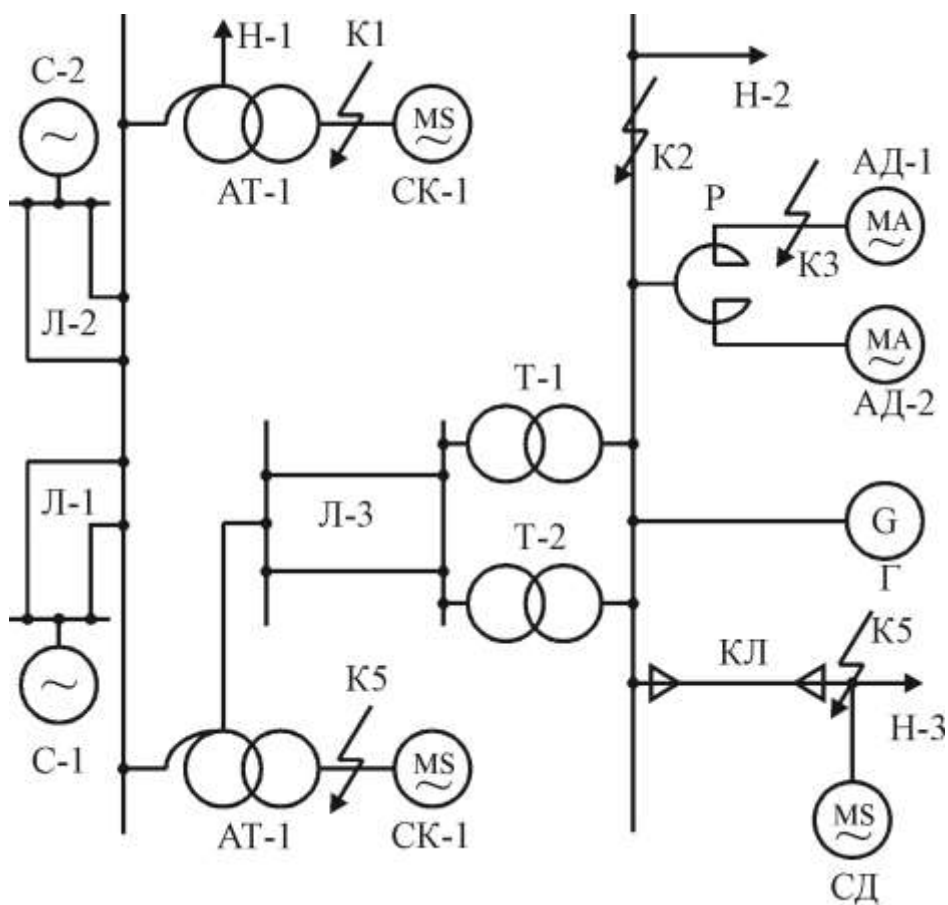


Рис. А.5. Розрахункова схема № 5

ДОДАТОК Б **Вихідні дані для контрольних завдань**

Таблиця Б.1. Вихідні дані для схеми № 1

№ п/п	АТ							Т				Л			Н-1	Н-2
	S_H	U_{HB}	U_{HH}	U_{HC}	u_{κ} в-с	u_{κ} в-н	u_{κ} с-н	S_H	U_{BH}	U_{HH}	u_{κ}	l	x_0	r_0	S	S
	<i>MBA</i>	<i>κB</i>			<i>%</i>			<i>MBA</i>	<i>κB</i>			<i>κм</i>	<i>Ом/κм</i>		<i>MBA</i>	<i>MBA</i>
1	200	330	6,6	115	10,0	34	22,5	32	330	10,5	11	140	0,41	0,17	40	40
2	100	230	6,6	121	11,0	35	22,0	32	230	11,0	11	80	0,41	0,08	30	10
3	250	500	11,0	121	10,5	24	13,0	-	-	-	-	160	0,40	0,12	-	100
4	160	230	6,6	121	11,0	32	20,0	80	242	10,5	11	120	0,42	0,15	65	35
5	125	330	6,6	155	10,0	33	22,0	125	347	10,5	11	150	0,40	0,17	5	40

Продовження таблиці Б.1

№ п/п	Р				АД						СД					
	I_{H}	U_{H}	x_{P}	ΔP_{H}	P_{H}	U_{H}	$\cos\varphi$	$I_{\text{II}}/I_{\text{H}}$	$M_{\text{II}}/M_{\text{H}}$	$P_{\text{O}}/P_{\text{H}}$	P_{H}	U_{H}	$\cos\varphi$	$I_{\text{II}}/I_{\text{H}}$	r	$P_{\text{O}}/P_{\text{H}}$
	A	κB	%	κBm	MBm	κB	<i>в.о.</i>				MBm	κB	<i>в.о.</i>			
1	1500	6	10	20,7	3,2	6	0,90	6,4	0,70	0,70	8,0	10	0,80	5,9	0,0043	0,85
2	2500	6	12	21,2	3,0	6	0,91	5,6	0,80	0,75	6,3	6	0,80	6,4	0,0035	0,50
3	2000	10	12	21,0	2,0	10	0,91	6,8	0,65	0,70	9,0	10	0,80	8,9	0,043	0,85
4	2000	6	12	21,0	8,0	6	0,91	5,4	0,80	0,80	2,5	10	0,85	6,6	0,0041	0,65
5	1500	6	10	20,7	4,0	6	0,91	6,3	0,70	0,85	10,0	10	0,87	6,8	0,045	0,85

Продовження таблиці Б.1

№ п/п	СК				Т-1, Т-2				Г-1, Г-2					
	S_H	U_H	x_d'' / x_2	r	S_H	U_{HB}	U_{HH}	u_k	P_H	$\cos\varphi$	x_d'' / x_2	r	U_H	P_0/P_H
	<i>MBA</i>	<i>κB</i>	<i>в.о.</i>		<i>MBA</i>	<i>κB</i>		%	<i>MBm</i>	<i>в.о.</i>			<i>κB</i>	<i>в.о.</i>
1	30	10,5	$\frac{0,22}{0,24}$	0,040	63	115	10,5	10,5	24,0	0,80	$\frac{0,30}{0,43}$	0,0032	10,5	0,85
2	30	10,5	$\frac{0,22}{0,24}$	0,040	25	115	6,3	10,5	8,8	0,80	$\frac{0,21}{0,24}$	0,0021	6,3	0,80
3	-	-	-	-	125	121	10,5	10,5	56,0	0,85	$\frac{0,220}{0,222}$	0,0054	10,5	0,86
4	75	11,0	$\frac{0,23}{0,23}$	0,007	40	115	10,5	10,4	15,0	0,80	$\frac{0,27}{0,40}$	0,0029	10,5	0,81
5	100	11,0	$\frac{0,20}{0,19}$	0,005	63	158	10,5	10,0	25,0	0,85	$\frac{0,20}{0,23}$	0,0260	10,5	0,80

Таблиця Б.2. Вихідні дані для схеми № 2

№ п/п	АТ							Т-1, Т-2				Р-1 (здвоєний)				
	S_H	U_{HB}	U_{HH}	U_{HC}	u_{κ} В-С	u_{κ} В-Н	u_{κ} С-Н	S_H	U_{HB}	U_{HH}	u_{κ}	I_H	U_H	x_P	ΔP_H	$K_{ЗВ}$
	MBA	κB			%			MBA	κB			%	A	κB	%	κBm
1	100	230	11,0	121	11,0	31	19,0	80	115	10,5	10,5	2,5	10	10	38,4	0,5
2	250	230	6,6	121	11,0	32	20,0	40	115	6,3	10,4	1,0	10	6	32,2	0,5
3	200	330	10,0	115	10,0	34	22,5	63	115	10,5	10,5	1,5	6	12	29,7	0,5
4	125	330	6,6	115	10,0	35	22,0	32	115	6,3	10,5	2,0	6	10	30,7	0,5
5	250	500	6,6	121	10,5	34	13,0	25	115	6,3	10,5	2,5	10	10	38,4	0,5

Продовження таблиці Б.2

№ п/п	СК				Л-1			Л-2			Г-1, Г-2					
	S_H	U_H	x_d'' / x_2	r	l	x_0	r_0	l	x_0	r_0	P_H	$\cos\varphi$	x_d'' / x_2	r	U_H	P_0/P_H
	MBA	κB	<i>в.о.</i>		κM	$OM/\kappa M$		κM	$OM/\kappa M$		MBm	<i>в.о.</i>		κB	<i>в.о.</i>	
1	75	11,0	$\frac{0,23}{0,21}$	0,007	180	0,41	0,080	140	0,42	0,130	28,0	0,8	$\frac{0,23}{0,27}$	0,008	10,5	0,85
2	30	6,6	$\frac{0,22}{0,24}$	0,040	135	0,33	0,065	150	0,39	0,120	9,0	0,8	$\frac{0,25}{0,32}$	0,002	6,3	0,87
3	50	11,0	$\frac{0,28}{0,32}$	0,025	160	0,39	0,110	130	0,40	0,130	15,0	0,6	$\frac{0,23}{0,50}$	0,010	10,5	0,80
4	15	6,6	$\frac{0,20}{0,19}$	0,008	100	0,39	0,130	120	0,41	0,170	12,0	0,8	$\frac{0,38}{0,41}$	0,030	6,6	0,85
5	10	6,6	$\frac{0,22}{0,24}$	0,040	140	0,40	0,130	90	0,33	0,065	12,0	0,8	$\frac{0,38}{0,41}$	0,030	6,6	0,85

29

Продовження таблиці Б.2

№ п/п	АД-1, 2						Р-2				Н
	P_H	U_H	$\cos\varphi$	I_{II}/I_H	M_{II}/M_H	P_0/P_H	I_H	U_H	x_p	ΔP_H	S
	MBm	κB	<i>в.о.</i>				A	κB	%	κBm	MBA
1	2,0	10	0,910	6,8	0,65	0,70	1500	10	12	20,7	2,5
2	4,0	6	0,910	6,3	0,70	0,85	2000	6	12	21,3	6,0
3	2,5	10	0,910	5,0	0,80	0,80	1000	10	10	20,5	10,0
4	8,0	6	0,910	5,4	0,80	0,75	2500	6	12	22,7	20,0
5	10,0	6	0,915	6,1	0,85	0,80	1500	6	12	20,7	25,0

Таблиця Б.3. Вихідні дані для схеми № 3

№ п/п	Т-1, Т-2				СК				Н-1	Н-2	Н-3	Н-4	Р			
	S_H	U_{HB}	U_{HH}	u_K	S_H	U_H	x_d^* / x_2	r	S	S	S	S	I_H	U_H	x_P	ΔP_H
	MBA	κB	%		MBA	κB	$v.o.$		MBA	MBA	MBA	MBA	A	κB	%	κBm
1	80	242	10,5	11	16	6,00	$\frac{0,22}{0,19}$	0,043	10	30	5	30	1000	10	10	20,5
2	80	242	6,6	11	50	11,0	$\frac{0,28}{0,23}$	0,025	25	200	40	20	1500	6	12	20,6
3	63	330	6,6	11	160	15,75	$\frac{0,20}{0,18}$	0,009	30	50	15	30	2000	6	12	21,3
4	125	347	10,5	11	15	6,60	$\frac{0,20}{0,18}$	0,044	5	10	5	60	1500	10	12	20,7
5	400	535	11,0	13	50	11,0	$\frac{0,28}{0,23}$	0,025	50	50	10	150	2500	10	10	22,3

30

Продовження таблиці Б.3

№ п/п	АТ-1							ТВП			Л-1			Л-2		
	S_H	U_{HB}	U_{HH}	U_{HC}	u_K в-с	u_K в-н	u_K с-н	S_H	U_{HB}	u_K	l	x_0	r_0	l	x_0	r_0
	MBA	κB			%			MBA	κB	%	κm	$Om/\kappa m$		κm	$Om/\kappa m$	
1	100	230	11,0	121	11,0	31	19,0	6,3	6,6	13,0	200	0,39	0,12	180	0,40	0,130
2	250	230	6,6	121	11,0	32	20,0	10,0	6,6	11,5	160	0,40	0,17	160	0,39	0,130
3	125	330	6,6	155	10,0	35	22,0	16,0	6,6	11,5	140	0,41	0,18	150	0,33	0,065
4	63	330	11,0	115	10,0	32	21,5	6,3	10,5	13,0	100	0,42	0,11	90	0,39	0,110
5	250	500	11,0	121	10,5	21	130	10,0	10,5	12,5	190	0,39	0,13	210	0,42	0,110

Продовження таблиці Б.3

№ п/п	Т-2, Т-3				Г-1, Г-2						АД					
	S_H	U_{HB}	U_{HH}	u_k	P_H	$\cos\varphi$	x_d^* / x_2	r	U_H	P_0/P_H	P_H	U_H	$\cos\varphi$	I_{II}/I_H	M_{II}/M_H	P_0/P_H
	MBA	κB		%	MBm	<i>в.о.</i>			κB	<i>в.о.</i>	MBm	κB	<i>в.о.</i>			
1	16	115	6,60	10,5	40	0,800	$\frac{0,33}{0,37}$	0,007	10,5	0,85	10	6	0,91	5,1	0,85	0,80
2	40	121	10,50	10,5	12,5	0,800	$\frac{0,30}{0,24}$	0,005	6,3	0,82	4	10	0,91	6,3	0,70	0,85
3	250	165	15,15	11,0	9,0	0,800	$\frac{0,25}{0,32}$	0,002	6,3	0,87	10	10	0,90	5,1	0,80	0,75
4	32	115	6,30	10,5	36,0	0,800	$\frac{0,19}{0,22}$	0,006	10,5	0,85	2	10	0,91	6,8	0,65	0,37
5	40	121	10,50	10,5	120,0	0,895	$\frac{0,18}{0,13}$	0,009	11,0	0,80	2,5	11	0,91	5,0	0,80	0,80

Продовження таблиці Б.3

№ п/п	СД						АТ-2						
	P_H	U_H	$\cos\varphi$	I_{II}/I_H	r	P_0/P_H	S_H	U_{HB}	U_{HH}	U_{HC}	u_{κ} В-С	u_{κ} В-Н	u_{κ} С-Н
	MBm	κB	в.о.				MBA	κB			%		
1	12,0	10	0,90	7,75	0,0050	0,85	32	230	6,6	121	11,0	34	21,0
2	10,0	6	0,87	6,80	0,0045	0,85	100	230	11,0	121	11,0	35	22,0
3	6,3	6	0,91	6,80	0,0030	0,82	250	347	11,0	165	10,0	34	22,5
4	2,5	6	0,90	4,90	0,0017	0,80	63	330	11,0	115	10,0	32	21,5
5	10,0	10	0,91	7,32	0,0040	0,83	125	500	6,6	121	10,5	24	13,0

Таблиця Б.4. Вихідні дані для схеми № 4

№ п/п	АТ-1, 2							Т-1, Т-2				Н-1	Н-2	Л-1		
	S_H	U_{HB}	U_{HH}	U_{HC}	u_{κ} в-с	u_{κ} в-н	u_{κ} с-н	S_H	U_{HB}	U_{HH}	u_{κ}	S	S	l	x_0	r_0
	MBA	κB			%			MBA	κB		%	MBA	MBA	κm	$Om/\kappa m$	
1	100	230	38,5	121	11,0	31	19,0	80	121	6,3	10,5	15	40,0	115	0,33	0,065
2	160	230	38,5	121	11,0	32	20,0	40	121	10,5	10,5	30	5,0	86	0,39	0,130
3	125	330	38,5	155	10,0	35	22,0	16	158	6,6	11,0	40	2,5	125	0,41	0,170
4	200	330	38,5	115	10,0	34	22,5	10	115	11,0	10,5	20	5,0	164	0,40	0,130
5	250	500	38,5	121	10,5	24	13,0	125	121	10,5	10,5	50	15,0	182	0,41	0,140

32

Продовження таблиці Б.4

№ п/п	Г-3						Р				Г-1, Г-2					
	P_H	$\cos\varphi$	$\dot{x}_d / x_2$	r	U_H	P_0/P_H	I_H	U_H	x_P	ΔP_H	P_H	$\cos\varphi$	$\dot{x}_d / x_2$	r	U_H	P_0/P_H
	MBm	<i>в.о.</i>			κB	<i>в.о.</i>	A	κB	%	κBm	MBm	<i>в.о.</i>			κB	<i>в.о.</i>
1	32,0	0,80	$\frac{0,24}{0,27}$	0,0055	10,5	0,75	1500	6	10	20,7	22	0,80	$\frac{0,16}{0,18}$	0,0030	6,3	0,83
2	12,0	0,80	$\frac{0,39}{0,42}$	0,0040	6,6	0,85	2000	10	12	21,0	35	0,80	$\frac{0,19}{0,19}$	0,0060	10,5	0,80
3	10,0	0,80	$\frac{0,22}{0,25}$	0,0033	10,5	0,86	2500	6	12	21,2	12	0,80	$\frac{0,35}{0,42}$	0,0040	6,6	0,85
4	40,0	0,80	$\frac{0,33}{0,38}$	0,0080	10,5	0,80	1500	10	10	20,9	10	0,80	$\frac{0,22}{0,25}$	0,0033	10,5	0,86
5	57,2	0,85	$\frac{0,28}{0,33}$	0,0083	10,5	0,81	2500	10	12	21,7	60	0,90	$\frac{0,14}{0,17}$	0,0070	11,0	0,83

Продовження таблиці Б.4

№ п/п	АД						Л-2			Т-3			
	P_H	U_H	$\cos\varphi$	I_{II}/I_H	M_{II}/M_H	P_0/P_H	l	x_0	r_0	S_H	U_{HB}	U_{HH}	u_k
	MBm	κB	<i>в.о.</i>				κm	$Om/\kappa m$		MBA	κB		%
1	10,0	6	0,910	5,1	0,85	0,80	180	0,40	0,130	40	38,5	10,5	8,5
2	4,0	10	0,900	5,1	0,80	0,75	160	0,42	0,110	16	38,5	6,3	8,0
3	2,5	6	0,910	5,0	0,80	0,80	160	0,39	0,110	10	38,5	10,5	7,5
4	2,0	10	0,910	6,8	0,70	0,65	210	0,29	0,026	80	38,5	10,5	9,5
5	1,5	10	0,905	7,1	0,77	0,80	190	0,33	0,065	80	38,5	10,5	9,5

Таблиця Б.5. Вихідні дані для схеми № 5

№ п/п	АТ-1, 2							Н-1	Н-2	Н-3	СД						Т-1, Т-2			
	S_H	U_{HB}	U_{HH}	U_{HC}	u_k в-с	u_k в-н	u_k с-н	S	S	S	P_H	U_H	$\cos\varphi$	I_{II}/I_H	r	P_0/P_H	S_H	U_{HB}	U_{HH}	u_k
	MBA	κB			%			MBA	MBA	MBA	MBm	κB	<i>в.о.</i>				MBA	κB		%
1	100	230	11,0	121	11,0	31	19,0	50	45	30	10,0	6	0,87	6,8	0,0050	0,85	80	121	6,3	10,5
2	250	230	11,0	121	11,0	32	20,0	200	10	5	9,0	10	0,80	8,9	0,0045	0,85	40	121	10,5	10,5
3	125	330	6,6	155	10,0	35	22,0	100	20	15	2,5	6	0,85	6,7	0,0030	0,65	16	158	6,6	11,0
4	500	330	11,0	115	10,0	34	22,5	125	5	40	6,3	10	0,80	6,4	0,0017	0,65	80	115	10,5	10,5
5	250	500	11,0	121	10,5	24	13,0	15	20	10	8,0	10	0,80	5,9	0,0040	0,85	63	115	10,5	10,5

Продовження таблиці Б.5

№ п/п	СК-1,2				Р (здвоєний)					КЛ			Л-1			Л-2		
	S_H	U_H	x_d'' / x_2	r	I_H	U_H	x_P	ΔP_H	$K_{ЗВ}$	l	x_0	r_0	l	x_0	r_0	l	x_0	r_0
	MBA	κB	$в.о.$		A	κB	%	κBm	$в.о.$	$км$	$Ом/км$		$км$	$Ом/км$		$км$	$Ом/км$	
1	30	10,5	$\frac{0,22}{0,24}$	0,040	2,0	6	12	30,7	0,5	10,0	0,32	0,078	140	0,29	0,026	120	0,39	0,11
2	50	11,0	$\frac{0,28}{0,27}$	0,025	2,5	10	10	38,4	0,5	7,5	0,32	0,080	120	0,40	0,130	140	0,29	0,03
3	15	6,6	$\frac{0,20}{0,18}$	0,044	1,5	6	12	29,7	0,5	5,5	0,30	0,063	130	0,33	0,065	115	0,40	0,13
4	75	11,0	$\frac{0,23}{0,21}$	0,007	1,0	10	6	32,2	0,5	2,5	0,29	0,070	125	0,29	0,030	100	0,41	0,17
5	50	11,0	$\frac{0,28}{0,27}$	0,025	2,0	10	12	31,3	0,5	3,0	0,33	0,081	80	0,39	0,110	90	0,41	0,08

Продовження таблиці Б.5

№ п/п	Л-3			АД-1,2						Г					
	l	x_0	r_0	P_H	U_H	$\cos\varphi$	I_{II}/I_H	M_{II}/M_H	P_0/P_H	P_H	$\cos\varphi$	$\dot{x}_d / x_2$	r	U_H	P_0/P_H
	κM	$O_M/\kappa M$		MBm	κB	в.о.				MBm	в.о.			κB	в.о.
1	60	0,41	0,080	8	6	0,910	5,4	0,80	0,80	12,0	0,8	$\frac{0,38}{0,41}$	0,0300	6,6	0,85
2	45	0,29	0,026	2	10	0,910	5,4	0,80	0,80	15,0	0,8	$\frac{0,27}{0,42}$	0,0029	10,5	0,81
3	54	0,42	0,010	4	6	0,910	6,3	0,70	0,85	8,8	0,8	$\frac{0,21}{0,24}$	0,0021	6,3	0,80
4	68	0,33	0,065	4	10	0,920	6,3	0,75	0,85	24,0	0,8	$\frac{0,30}{0,43}$	0,0032	10,5	0,85
5	71	0,40	0,130	10	10	0,915	5,1	0,85	0,80	40,0	0,8	$\frac{0,33}{0,37}$	0,0070	10,5	0,85

Навчально-методичне видання

Методичні вказівки «Електромагнітні перехідні процеси»

до виконання самостійних робіт

Автори-укладачі

Переверзєв Ігор Олексійович

Зінзура Василь Васильович

Редактор *В.О. Омеляненко*

Тиружування на різнографі *Ю.М. Рубан*

Здано до тиражування _____. Підписано до тиражування _____. Формат
60×42 1/16. Папір газетний. Умов. друк. акр. 2,0 Тир. 50. Зам. №____/99.

РВЛ, КНТУ, м. Кіровоград, пр. Університетський, т. 390-541,
390-245, 390-551