

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ ІЗ ДИЦИПЛІНИ
«ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ»
для студентів напрямку підготовки 0906 – Електротехніка

Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр
6.000008 – Енергетичний менеджмент

Вінниця ВНТУ 2008

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Перехідні процеси»./Уклад. Л.Б.Терешкевич. - Вінниця: ВНТУ, 2008. – 35с.

Рекомендовано до видання Методичною радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Укладач: Леонід Борисович Терешкевич

Редактор
Коректор
Відповідальний за випуск

Рецензенти:

Вступ	
1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1 «Дослідження перехідного процесу при трифазному короткому замиканні в простій системі»	
2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 “Розрахунок аварійних режимів при трифазному короткому замиканні”	
3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 “Розрахунок аварійних режимів при двофазному короткому замиканні”	
4. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 “Розрахунок аварійних режимів при однофазному короткому замиканні”	
5. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 “Розрахунок аварійних режимів при двофазному короткому замиканні на землю”	
6. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6 “Дослідження статичної стійкості режиму в системі електропостачання”	
7. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7 “Дослідження динамічного переходу при короткому замиканні в простій системі ”	
Додаток А Технологія використання програми ТКЗ для розрахування струмів короткого замикання	
Додаток Б Характеристика програми STATIC для перевірки статичної стійкості	
Додаток В Характеристика програми DYNAM для перевірки динамічної стійкості	
Додаток Г Коефіцієнти характеристичного рівняння, виражені через параметри системи	
ЛІТЕРАТУРА, ЩО ПРОПОНУЄТЬСЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ	

Вступ

Перехідні процеси в електричних мережах є наслідком пошкодження ізоляції, обривів фазних провідників та інших збурень, наприклад, відключення енергоблоків на електричних станціях, втрата збудження синхронними генераторами, включення потужних асинхронних двигунів і т.д. Згадані збурення можуть відбуватись як в чистому вигляді, так і в різноманітних комбінаціях. Тому найбільш перспективний шлях аналізу таких складних явищ це автоматизований розрахунок.

Лабораторний практикум з дисципліни “Перехідні процеси” має на меті дати студентам навички розрахувань перехідних процесів в електричних мережах на комп’ютері.

Щоб виконати такий розрахунок треба підготувати інформацію у відповідності до вимог програмного забезпечення. Робота з підготовки інформації для розрахувань струмів короткого замикання передбачає підготовку і кодування заступної схеми мережі. Така робота має елемент творчості і тому завжди її буде виконувати сам дослідник. Отримані результати необхідно інтерпретувати, провести аналіз, зробити висновки.

Лабораторний практикум з дисципліни “Перехідні процеси” передбачає виконання таких робіт із дослідження характеру перехідного процесу:

- ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1 «Дослідження перехідного процесу при трифазному короткому замиканні в простій системі» (2 години),

із розрахунку короткого замикання:

- ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 “Розрахунок аварійних режимів при трифазному короткому замиканні” (4 години);
- ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 “Розрахунок аварійних режимів при двофазному короткому замиканні” (2 години);
- ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 “Розрахунок аварійних режимів при однофазному короткому замиканні” (2 години);
- ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 “Розрахунок аварійних режимів при двофазному короткому замиканні на землю” (2 години)

і робіт, спрямованих на оцінювання стійкості електричної системи:

- ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6 “Дослідження статичної стійкості режиму в системі електропостачання” (2 години);
- ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7 “Дослідження динамічного переходу при короткому замиканні в простій системі” (2 години).

Необхідні для виконання робіт інструкції користувачу програмного забезпечення, що використовується при виконанні лабораторних робіт, наведені в додатках.

Лабораторні роботи, для яких підготовлені методичні вказівки, охоплюють програму дисципліни “Перехідні процеси”, що передбачена навчальним планом спеціальності 6.000008 – Енергетичний менеджмент.

Програмне забезпечення, яке використовується в лабораторному практикумі, розроблено професором Аввакумовим В.Г.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1
«Дослідження перехідного процесу при трифазному
короткому замиканні в простій системі»

Мета: дослідити перехідний процес в простій системі при короткому замиканні шляхом розв'язування системи диференціальних рівнянь.

Простою системою при дослідженні перехідного процесу прийнято вважати систему з одним генератором нескінченної потужності, що працював в передаварійному режимі на активно-індуктивне навантаження через електропередачу з активним і реактивним опором.

Перехідний процес при трифазному короткому замиканні для фаз А, В і С в цьому випадку описується такими диференціальними рівняннями, які є математичною моделлю процесу, що досліджується:

$$tokA \cdot Rk + \frac{Xk}{\omega} \cdot \frac{dtokA}{dt} = Um \cdot \sin(\omega \cdot t + \alpha);$$

$$tokB \cdot Rk + \frac{Xk}{\omega} \cdot \frac{dtokB}{dt} = Um \cdot \sin(\omega \cdot t + \alpha - 2 \cdot \pi/3.);$$

$$tokC \cdot Rk + \frac{Xk}{\omega} \cdot \frac{dtokC}{dt} = Um \cdot \sin(\omega \cdot t + \alpha + 2 \cdot \pi/3.),$$

де $tokA, tokB, tokC$ – перехідні струми, що визначаються;

Rk – результуючий активний опір заступної схеми;

Xk – результуючий реактивний опір заступної схеми;

Um – амплітуда напруг фаз А, В і С заступної схеми;

ω – кутова частота;

α – ”фаза увімкнення” на коротке замикання;

t – час;

$dtokJ/dt$ – похідна від струму за часом, $J=A, B, C$;

$\pi=3.14159$.

Дане коротке замикання може розвиватися за різних початкових умов щодо струму:

- попередній режим – холостий хід ($t=0; tokJ=0$);
- попередній режим – навантаження ($t=0; tokJ \neq 0$).

У самій заступній схемі можуть бути різні співвідношення між R_k і X_k (відношення $X_k/R_k = T_a$ визначає постійну часу короткозамкнутого кола).

До моменту $t=0$ (початок короткого замикання) положення U_m може бути різним на комплексній площині: напруга може проходити через “нуль” (“фаза увімкнення” $\alpha=0$) або “фаза увімкнення” відмінна від “нуля” ($\alpha \neq 0$).

Все це створює велику множину варіантів умов протікання аварійного режиму і вимагає серйозного аналізу.

В лабораторній роботі студент здійснює перше дослідження перехідного процесу в простій системі, що полягає в розв’язуванні приведеної вище системи диференціальних рівнянь за нульових початкових умов на основі програми DIFUR при таких значеннях змінних:

$U_m=1.$
 $\alpha=0.$
 $f=50.$
 $\omega=2 \cdot \pi \cdot f$
 $R_k=0.2$
 $X_k=1.$

План виконання завдання

1. Ознайомитися з програмою DIFUR в частині побудови файлу даних:

```
program DIFUR
*   Интегрирование системы дифференциальных
уравнений,
*   разрешенных относительно производных, методом
*   Кутта – Мерсона
real instep
read(5,5)x,instep,acc,neqs,(y(i),i=1,neqs)
5 format(3f8.3,i3/10f8.3)
```

Де:

x - початкове значення аргумента;
 $instep$ - крок зміни аргумента;
 acc - необхідна точність;
 $neqs$ - кількість диференціальних рівнянь;
 y - початкові значення функцій.

2. Взяти до уваги, що програма DIFUR призначена для розв’язування системи диференціальних рівнянь, які перевірені відносно похідних, тобто:

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y).$$

3. Рекомендується розглянути приведений нижче файл даних для деякого завдання (системи трьох диференціальних рівнянь):

0. 0.05 .001 3

0. 0. 0.

4. Підготувати на бланку програмування ці дані відповідно до відмічених в п. 1 форматів.

5. За допомогою текстового редактора створити файл даних і зберегти його з ім'ям DIFUR. dat на своїй дискеті.

6. Знайти в директорії Вашої групи програму DIFUR. exe, направити її на виконання.

7. Оформити звіт з лабораторної роботи, який включає:

- цілі і технологію виконання лабораторної роботи;
- побудову трьох осцилограм перехідного струму короткого замикання;
- виділення на кожній осцилограмі аперіодичного струму;
- знаходження значення ударного струму і часу його настання;
- визначення з осцилограм постійної часу згасання аперіодичного струму;
- лістинг розв'язку;
- аналіз результатів і висновки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 “Розрахунок аварійних режимів при трифазному короткому замиканні”

Мета: Провести розрахування аварійного режиму при трифазному короткому замиканні та інтерпретувати отримані результати.

Для заданої енергосистеми, рис 1, виконати розрахунок аварійного режиму (струми в вітках і напруги у вузлах) при трифазному короткому замиканні з використанням програми ТКЗ.

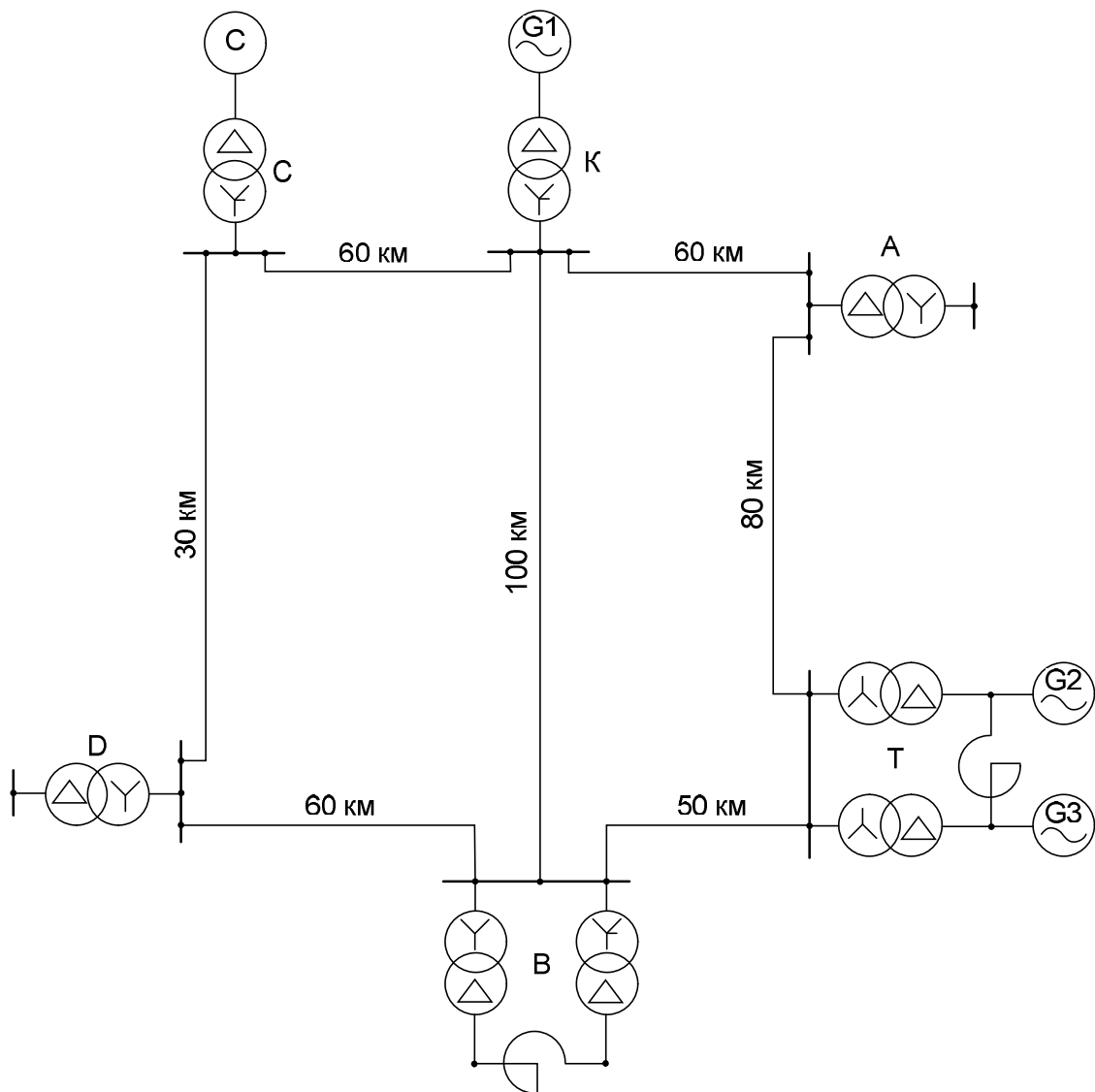


Рисунок 1 – Схема електричної мережі, що досліджується

Відомості про параметри елементів схеми мережі наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Параметри елементів електричної мережі

Місце устан.	Генератори					Трансформ		Реактори		
	P, МВт	U, кВ	$x_{1Г}$	$x_{2Г}$	$\cos\varphi$	S, МВА	u_k , %	I_H , кА	U_H , кВ	x_p , %
Ст. 1 (К)	100	10,5	0,2	0,25	0,85	120	10,5	–	–	–
Ст. 2 (Т)	25	10,5	0,13	0,15	0,8	15	10,5	10,5	10	10
ТП А	–	–	–	–	–	60	10,5	–	–	–
ТП В	–	–	–	–	–	31,5	10,5	1,5	10	10
ТП D	–	–	–	–	–	60	10,5	–	–	–
ТП С	–	–	–	–	–	60	10,5	–	–	–

Лінії електропередач напругою 115 кВ, одноколові, потужність системи необмежена

Розрахункові точки і види пошкоджень вибираються за варіантами, табл. 2.

Таблиця 2 – Розрахункові точки і види пошкоджень для виконання лабораторної роботи

Варіант	Характеристика точки пошкодження
1	шини 115 кВ підстанції А
2	шини 115 кВ підстанції В
3	шини 115 кВ підстанції З
4	шини 115 кВ підстанції Д
5	шини 115 кВ електростанції Т
6	шини 115 кВ електростанції К
7	шини 10,5 кВ підстанції А
8	шини 10,5 кВ підстанції Д
9	виводи 10,5 кВ генератора G1 станції К
10	виводи 10,5 кВ генератора G2 станції Т
11	перша секція шин 10,5 кВ підстанції В
12	середина ЛЕП, що сполучає А і К

План виконання завдання

1. Вивчити енергетичну суть завдання і метод вузлових напруг, що реалізовується в програмі TKZ (див. додаток).

2. Ознайомитися з програмою TKZ в частині введення зовнішньої інформації:

```
dimension mat(100,3),x(100),numusl(100),uusl(100),
*nuvar(100),tokwet(100),uvar(100),tvar(100)
common mat,x,numusl,uusl,nuvar,tokwet,uvar,tvar,
```

```

*kolwet,kolusl,kolvar,eps,isign,ier
read kolwet,kolusl,kolvar
read ((mat(i,j),j=1,3),i=1,kolwet)
read (x(i),i=1,kolwet)
read (numusl(i),i=1,kolusl)
read (uusl(i),i=1,kolusl)
read (nuvar(i),i=1,kolvar)
read epps
read tokbas

```

де kolwet – кількість віток заступної схеми (комплексної схеми);
kolusl – кількість вузлів заступної схеми;
kolvar – кількість вузлів, напруги в яких будуть уточнюватись за ітераціями;

mat – матриця з'єднань схеми заміщення вимірністю (kolwet*3),
кожен рядок якої показує зв'язок наступної вітки з двома вузлами;

x – масив вимірністю kolwet відносних базисних опорів елементів заступної схеми;

numusl – масив вимірністю kolusl номерів вузлів заступної схеми;

uusl – масив вимірністю kolusl напруг (ЕРС) вузлів заступної схеми,
відповідний numusl;

nuvar – масив вимірністю kolvar номерів вузлів, напруги в яких будуть уточнюватись за ітераціями;

eps – точність розрахунку, що задається користувачем;

hatokbas – базисний струм на ступені, де знаходиться задана точка пошкодження, кА.

3. Розробити заступну схему без врахування активних опорів і представити її так, щоб кожна вітка графа була приєднана між двома вузлами, а між вузлами інцидентними дузі графа, була б тільки одна вітка, тобто зі схеми вилучаються паралельні вітки.

4. Пронумерувати, починаючи з одиниці, всі вітки заступної схеми, причому, номери займати підряд.

5. Пронумерувати вузли заступної схеми, починаючи з вузлів тих, що містять ЕРС, тобто вузлів, які відносяться до початків віток генераторів, систем, навантажень, займаючи номери підряд.

6. Задати напрями струмів, що передбачаються у вітках, при цьому у вітках, безпосередньо приєднаних до точки пошкодження, струми повинні бути направлені до вузла короткого замикання.

7. Створити таблицю, яка відображає граф заступної схеми. Кожен рядок таблиці повинен містити три числа – номер вітки, номер вузла початку вітки, номер вузла кінця вітки (вважати, що струми йдуть від початку вітки до її кінця).

8. Прийняти базисні умови і розрахувати відносні базисні опори і ЕРС заступної схеми.

9. Розрахувати базисний струм на ступені точки пошкодження.

10. Задати довільно початкове наближення відносних напруг тих вузлів, які не є вузлами з ЕРС або вузлом пошкодження.

11. Прийняти рішення про точність розрахунку (наближення до нуля).

12. Підготувати на бланку програмування файл даних, у відповідності з пунктом 2, при цьому бажано ознайомитися з його побудовою для деякого тестового завдання.

7 8 3

1 11 15 2 12 17 3 13 15 4 14 18 5 15 16 6 17 16 7 16 18

0.2 1.31 1.17 3.33 0.51 0.59 1.43

11 12 13 14 15 16 17 18

1.08 0.93 0.8 0.9 0.9 0.8 0.85 0.

15 16 17

0.001

9.2

13. Підготувати, з використанням будь-якого редактора, і записати у файл результати роботи за пунктом 12.

14. Запустити на виконання програму ТКЗ (врахувати, що в діалозі необхідно вказати програмі шлях до файлу даних за п. 13 і шлях до нового файлу, де будуть збережені результати роботи).

15. Оформити звіт про виконання завдання, який повинен містити текст завдання, підготовчу роботу за пунктами 1, ..., 12, вихідний лістинг і висновки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

“Розрахунок аварійних режимів при двофазному короткому замиканні”

Мета: Провести розрахування аварійного режиму при двофазному короткому замиканні та інтерпретувати отримані результати.

Для заданої енергосистеми, рис 1, виконати розрахунок аварійного режиму (струми в вітках і напруги у вузлах) при двофазному короткому замиканні з використанням програми ТКЗ.

Відомості про параметри елементів схеми мережі наведені в табл. 1. Розрахункові точки і види пошкоджень вибираються за варіантами, табл. 2.

План виконання завдання

1. Вивчити енергетичну суть завдання і метод вузлових напруг, що реалізовується в програмі ТКЗ.

2. Ознайомитися з програмою ТКЗ в частині введення зовнішньої інформації.

3. Розробити комплексну заступну схему без врахування активних опорів і представити її так, щоб кожна вітка графа була приєднана між двома вузлами, а між вузлами інцидентними дузі графа, була б тільки одна вітка, тобто зі схеми вилучаються паралельні вітки.

4. Пронумерувати, починаючи з одиниці, всі вітки заступної схеми, причому, номери займати підряд.

5. Пронумерувати вузли заступної схеми, починаючи з вузлів тих, що містять ЕРС, тобто вузлів, які відносяться до початків віток генераторів, систем, навантажень, займаючи номери підряд.

6. Задати напрями струмів, що передбачаються у вітках, при цьому у вітках, безпосередньо приєднаних до точки пошкодження, струми повинні бути направлені до вузла короткого замикання.

7. Створити таблицю, яка відображає граф заступної схеми. Кожен рядок таблиці повинен містити три числа – номер вітки, номер вузла початку вітки, номер вузла кінця вітки (вважати, що струми йдуть від початку вітки до її кінця).

8. Прийняти базисні умови і розрахувати відносні базисні опори і ЕРС заступної схеми.

9. Розрахувати базисний струм на ступені точки пошкодження.

10. Задати довільно початкове наближення відносних напруг тих вузлів, які не є вузлами з ЕРС або вузлом пошкодження.

11. Прийняти рішення про точність розрахунку (наближення до нуля).

12. Підготувати на бланку програмування файл даних, у відповідності з пунктом 2.

13. Підготувати, з використанням будь-якого редактора, і записати у файл результати роботи за пунктом 12.

14. Запустити на виконання програму ТКЗ (врахувати, що в діалозі необхідно вказати програмі шлях до файлу даних за п. 13 і шлях до нового файлу, де будуть збережені результати роботи).

15. За отриманими результатами побудувати векторні діаграми струмів і напруг в точці короткого замикання.

16. Оформити звіт про виконання завдання, який повинен містити текст завдання, підготовчу роботу за пунктами 1, ..., 12, вихідний лістинг, векторні діаграми і висновки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

“Розрахунок аварійних режимів при однофазному короткому замиканні”

Мета: Провести розрахування аварійного режиму при однофазному короткому замиканні та інтерпретувати отримані результати.

Для заданої енергосистеми, рис 1, виконати розрахунок аварійного режиму (струми в вітках і напруги у вузлах) при однофазному короткому замиканні з використанням програми ТКЗ.

Відомості про параметри елементів схеми мережі наведені в табл. 1. Розрахункові точки і види пошкоджень вибираються за варіантами, табл. 2.

План виконання завдання

1. Вивчити енергетичну суть завдання і метод вузлових напруг, що реалізовується в програмі ТКЗ.
2. Ознайомитися з програмою ТКЗ в частині введення зовнішньої інформації.
3. Розробити комплексну заступну схему без врахування активних опорів і представити її так, щоб кожна вітка графа була приєднана між двома вузлами, а між вузлами інцидентними дузі графа, була б тільки одна вітка, тобто зі схеми вилучаються паралельні вітки.
4. Пронумерувати, починаючи з одиниці, всі вітки заступної схеми, причому, номери займати підряд.
5. Пронумерувати вузли заступної схеми, починаючи з вузлів тих, що містять ЕРС, тобто вузлів, які відносяться до початків віток генераторів, систем, навантажень, займаючи номери підряд.
6. Задати напрями струмів, що передбачаються у вітках, при цьому у вітках, безпосередньо приєднаних до точки пошкодження, струми повинні бути направлені до вузла короткого замикання.
7. Створити таблицю, яка відображає граф заступної схеми. Кожен рядок таблиці повинен містити три числа – номер вітки, номер вузла початку вітки, номер вузла кінця вітки (вважати, що струми йдуть від початку вітки до її кінця).
8. Прийняти базисні умови і розрахувати відносні базисні опори і ЕРС заступної схеми.
9. Розрахувати базисний струм на ступені точки пошкодження.
10. Задати довільно початкове наближення відносних напруг тих вузлів, які не є вузлами з ЕРС або вузлом пошкодження.
11. Прийняти рішення про точність розрахунку (наближення до нуля).

12. Підготувати на бланку програмування файл даних, у відповідності з пунктом 2.

13. Підготувати, з використанням будь-якого редактора, і записати у файл результати роботи за пунктом 12.

14. Запустити на виконання програму ТКЗ (врахувати, що в діалозі необхідно вказати програмі шлях до файлу даних за п. 13 і шлях до нового файлу, де будуть збережені результати роботи).

15. За отриманими результатами побудувати векторні діаграми струмів і напруг в точці короткого замикання.

16. Оформити звіт про виконання завдання, який повинен містити текст завдання, підготовчу роботу за пунктами 1, ..., 12, вихідний лістинг, векторні діаграми і висновки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

“Розрахунок аварійних режимів при двофазному короткому замиканні на землю”

Мета: провести розрахування аварійного режиму при двофазному короткому замиканні на землю та інтерпретувати отримані результати.

Для заданої енергосистеми, рис 1, виконати розрахунок аварійного режиму (струми в вітках і напруги у вузлах) при двофазному короткому замиканні на землю з використанням програми ТКЗ.

Відомості про параметри елементів схеми мережі наведені в табл. 1. Розрахункові точки і види пошкоджень вибираються за варіантами, табл. 2.

План виконання завдання

1. Вивчити енергетичну суть завдання і метод вузлових напруг, що реалізовується в програмі ТКЗ.

2. Ознайомитися з програмою ТКЗ в частині введення зовнішньої інформації.

3. Розробити комплексну заступну схему без врахування активних опорів і представити її так, щоб кожна вітка графа була приєднана між двома вузлами, а між вузлами інцидентними дузі графа, була б тільки одна вітка, тобто зі схеми вилучаються паралельні вітки.

4. Пронумерувати, починаючи з одиниці, всі вітки заступної схеми, причому, номери займати підряд.

5. Пронумерувати вузли заступної схеми, починаючи з вузлів тих, що містять ЕРС, тобто вузлів, які відносяться до початків віток генераторів, систем, навантажень, займаючи номери підряд.

6. Задати напрями струмів, що передбачаються у вітках, при цьому у вітках, безпосередньо приєднаних до точки пошкодження, струми повинні бути направлені до вузла короткого замикання.

7. Створити таблицю, яка відображає граф заступної схеми. Кожен рядок таблиці повинен містити три числа – номер вітки, номер вузла початку вітки, номер вузла кінця вітки (вважати, що струми йдуть від початку вітки до її кінця).

8. Прийняти базисні умови і розрахувати відносні базисні опори і ЕРС заступної схеми.

9. Розрахувати базисний струм на ступені точки пошкодження.

10. Задати довільно початкове наближення відносних напруг тих вузлів, які не є вузлами з ЕРС або вузлом пошкодження.

11. Прийняти рішення про точність розрахунку (наближення до нуля).

12. Підготувати на бланку програмування файл даних, у відповідності з пунктом 2.

13. Підготувати, з використанням будь-якого редактора, і записати у файл результати роботи за пунктом 12.

14. Запустити на виконання програму ТКЗ (врахувати, що в діалозі необхідно вказати програмі шлях до файлу даних за п. 13 і шлях до нового файлу, де будуть збережені результати роботи).

15. За отриманими результатами побудувати векторні діаграми струмів і напруг в точці короткого замикання.

16. Оформити звіт про виконання завдання, який повинен містити текст завдання, підготовчу роботу за пунктами 1, ..., 12, вихідний лістинг, векторні діаграми і висновки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

“Дослідження статичної стійкості режиму в системі електропостачання”

Мета: з використанням програми STATIC провести аналіз можливості виникнення самозбудження в простій енергосистемі, тобто, порушення її статичної стійкості, на основі алгебраїчних критеріїв.

Система складається з ненасиченої явнополюсної синхронної машини без АРЗ з постійним збудженням і швидкістю обертання. Цей генератор працює на шини незмінної напруги через компенсовану лінію електропередачі із зовнішнім індуктивним, активним і компенсувальним позовжнім ємнісним опором, рис. 2.

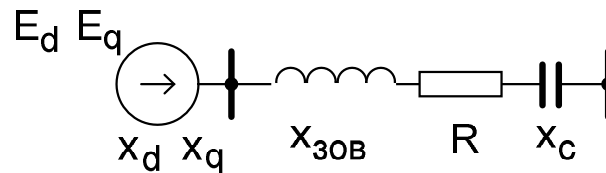


Рисунок 2 – Заступна схема електричної системи

Характеристичне рівняння, що відображає електромагнітний перехідний процес в цій системі, має п'ятий ступінь щодо оператора P . Коефіцієнти характеристичного рівняння функціонально виражаються через параметри системи. Ці зв'язки можна взяти з додатку Г.

Параметри синхронного генератора в деякій системі відносних одиниць такі:

- позовжній синхронний опір 1.00;
- поперечний синхронний опір 0.79;
- позовжній перехідний опір 0.58;
- постійна часу обмотки збудження при розімкненому статорі 1570 рад.

Параметри лінії електропередачі в тій же системі відносних одиниць визначаються за варіантами, табл. 3.

Таблиця 3 – Параметри ліній для виконання лабораторної роботи

Опори ліній електропередач	Варіанти								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
індуктивний	0.1	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18
активний	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
позовжньо-ємнісний	0.80	0.90	0.95	0.71	0.62	0.55	0.44	0.55	0.54

План виконання завдання

1. Осмислити енергетичну суть завдання відносно умов самозбудження системи з компенсованою електропередачею.

2. Записати канонічну форму характеристичного рівняння п'ятого ступеня.

3. Вивчити з використанням літератури алгебраїчні критерії стійкості Гурвиця і Лъенара-Шипара.

4. Побудувати для свого характеристичного рівняння матрицю Гурвиця.

5. Ознайомитися з програмою STATIC в частині введення початкової інформації:

```
*   program static
*   Анализ устойчивости системы на основе матрицы
Гурвица
*   размерностью не более 10 характеристического
уравнения
```

```
real koeff
dimension gurv(10,10),koeff(11)
read(5,10) m
10 format(i5)
   i1=m+1
   read(5,15)(koeff(i),i=1,i1)
15 format(8f10.5)
```

В цьому фрагменті програми:

M – порядок матриці Гурвиця;

koeff – вектор-рядок коефіцієнтів характеристичного рівняння.

6. Підготувати файл даних на основі п. 5 і записати його на свою дискету з ім'ям static.dat.

7. Направити на виконання файл static.exe, що знаходиться в директорії Вашої групи, і простежити за проходженням завдання в системі.

8. Переглянути файл результатів static.txt, що знаходиться на Вашій дискеті.

9. Оформити звіт за завданням, який повинен містити:

- текст завдання;
- підготовчу роботу за пунктами 1 ... 6;
- вихідний лістинг;
- порівняльну оцінку результатів, одержаних в двох лабораторних роботах з дослідження стійкості з використанням різного математичного апарата;
- енергетичну інтерпретацію результатів і висновки.

ЛАБОРАТОРНА РОТА №7

“Дослідження динамічного переходу при короткому замиканні в простій системі ”

Метою даного дослідження є перевірка стійкості простої системи при сильному збуренні режиму на основі використання програми DYNAM.

Програма DYNAM реалізує метод послідовних інтервалів і дозволяє, за бажанням користувача, досліджувати перехідний процес в одному-двох (DYNAM1) або декількох (DYNAM2) циклах гойдань, якщо при цьому кут ще не досяг критичного значення. Студент сам приймає рішення про використання будь-якої однієї версії програми або обох версій з метою отримання достовірних висновків про стійкість системи.

Склад зовнішньої інформації для роботи програми, послідовність і формати її введення видно з нижченаведеного фрагмента:

```
read(5,1)m,e,d0,k,tv,u,p0
read(5,2)(x(i),i=1,m)
read(5,3)(dt(i),i=1,m)
1 format(i2,4f8.5,2f5.3)
2 format(6f10.4)
3 format(6f7.4)
```

де:

m - кількість режимів (етапів перехідного процесу), дорівнює числу збурених режимів плюс один (післяаварійний);

e - перехідна е.р.с. попереднього нормального режиму;

d0- початкове значення кута дельта, ел.градуси;

k - константа, яка використовується в методі послідовних інтервалів;

tv- довжина кроку за часом, с.;

u - напруга на шинах приймальної системи, в.о.;

p0- активна потужність нормального режиму, що передається, в.о.;

x(i) - i-а компонента масиву взаємних опорів, вимірністю m, в.о.;

dt(i) - i-а компонента масиву часу перебування системи в кожному режимі.

Вихідна інформація програми DYNAM є таблицею з поточним часом і таким набором параметрів, що відповідає йому:

поточне значення кута, ел.градуси;

приріст кута, ел.градуси;

поточне значення потужності, в.о.;

приріст потужності, в.о. .

Дослідження перехідного електромеханічного процесу студенти здійснюють в одній і тій же простій системі з двокловою лінією електропередачі. Тому деякі компоненти зовнішньої інформації будуть однаковими для всіх студентів:

$$m = 2;$$

$$p_0 = 1.;$$

$$d_0 = 27.5;$$

$$e = 1.66;$$

$$u = 1.0 ;$$

$$d_0 = 4.787;$$

$$x(2) = 1.064;$$

$$t_v = 0.05.$$

Час післяаварійного режиму можна прийняти довільно, наприклад, 1.0 с.

Збурення режиму проявляється у формі короткого замикання різних видів і тривалості спочатку одного кола двоколової лінії з подальшим переходом до післяаварійного режиму в результаті відключення пошкодженого кола релейним захистом. Ця інформація і пов'язана з нею величина взаємного опору між передавальною і приймальною частинами системи вибирається студентами з нижченаведеної таблиці за варіантом.

Таблиця 4 – Вихідні дані для виконання лабораторної роботи

Варіант	Вид к.з.	Час відкл. с	Взаємний опір $x(1)$, о.е.
1	2	3	4
1	K(3)	0.4	9999.9999
2	K(2)	0.4	1.6070
3	K(1)	0.4	1.2930
4	K(1,1)	0.4	3.0170

Продовження табл. 4

1	2	3	4
5	K(3)	0.6	9999.9999
6	K(2)	0.6	1.6070
7	K(1)	0.6	1.2930
8	K(1,1)	0.6	3.0170
9	K(3)	0.8	9999.9999
10	K(2)	0.8	1.6070
11	K(1)	0.8	1.2930
12	K(1,1)	0.8	3.0170
13	K(3)	0.5	9999.9999
14	K(2)	0.5	1.6070
15	K(1)	0.5	1.2930
16	K(1,1)	0.5	3.0170

План виконання завдання

1. Відновити в пам'яті ідеї методу послідовних інтервалів для аналізу динамічної стійкості системи.

2. Підготувати на бланку програмування зовнішню інформацію відповідно до вимог програми.

3. З використанням будь-якого редактора створити файл даних, що відповідає своєму варіанту, і записати його на дискеті з ім'ям dynam.dat .

4. Запустити на виконання потрібну програму і при правильному її виконанні переглянути і проаналізувати результати.

5. На основі аналізу результатів запропонувати заходи щодо поліпшення динамічної стійкості досліджуваної системи і довести шляхом числових експериментів і оснований на них графічних побудовах ефективність запропонованих заходів.

6. При необхідності - повернутися до п.4, інакше - закінчити числові експерименти.

7. Оформити звіт за завданням, який повинен містити:

- мету і методологію дослідження заданого перехідного процесу.
- коротку характеристику програмного продукту.

- лістинг результатів.
- графічну інтерпретацію перехідного процесу в координатах "кут - час" як результат обробки вихідної інформації програми.
- пояснення результатів розрахунку на основі побудови кутової характеристики системи в координатах "потужність-кут" і виділення на ній площадок прискорення і гальмування.
- коефіцієнт запасу динамічної стійкості і його зміна в результаті запропонованих заходів.
- висновки по роботі.

Додаток А

Технологія використання програми ТКЗ для розрахування струмів короткого замикання

Існує чимало програм, що використовують машинно-орієнтований метод вузлових напруг. Вони відрізняються граничною вимірністю схеми заміщення (числом вузлів і віток), врахуванням або неврахуванням активних опорів елементів даної енергосистеми та іншими деталями.

Розглянемо технологію використання програми ТКЗ в практичних інженерних розрахунках. Ця програма призначена для розрахунку параметрів аварійного режиму в складнозамкнутій заступній схемі (комплексній схемі) граничною вимірністю в 100 вузлів і 100 віток. При зміні довжин масивів програма автоматично налаштовується на нову вимірність. У програмі не враховуються активні опори елементів і фази ЕРС різних генераторів. У програму ТКЗ вбудований сервісний блок, який здійснює перевірку коректності початкових даних. Це виявляється вельми корисною властивістю програми. Програма ТКЗ призначена для виконання на ПЕОМ під керуванням MS-DOS і WINDOWS.

Найважливішим елементом технології використання будь-яких програм розрахування аварійних режимів є підготовка початкових даних. Для даної програми алгоритм підготовки зовнішньої інформації такий.

1. Синтезувати заступну схему (комплексну схему) відносно точки короткого замикання.
2. Пронумерувати довільно всі вітки схеми, займаючи числа підряд.
3. Пронумерувати довільно всі вузли схеми, займаючи числа підряд.
4. Задати напрями струмів по вітках, і лише напрями струмів в вітках, безпосередньо пов'язаних з точкою короткого замикання, повинні відображати підживлення місця пошкодження.
5. Підрахувати в даній схемі кількість віток ($kolwet$), кількість вузлів ($kolusl$) і кількість вузлів, в яких напруга повинна уточнюватися ($kolvar$).
6. Прийняти базисні потужність і напругу та обчислити відносні базисні опори, ЕРС елементів даної схеми та базисний струм в точках пошкодження.
7. Синтезувати матрицю з'єднань схеми вимірністю ($kolwet \times 3$) так, щоб кожен рядок відображав номер вітки, номер вузла початку вітки, номер вузла кінця вітки (вважати, що струми йдуть від початку вітки до її кінця).
8. Синтезувати вектор відносних базисних опорів схеми вимірністю $kolwet$, що відповідає першому стовпцю матриці з'єднань.

9. Синтезувати вектор номерів вузлів вимірністю kolusl.
10. Синтезувати вектор вузлових напруг вимірністю kolusl, причому у вузлах з ЕРС – їх дійсними значеннями, у вузлах пошкодження – 0, в інших вузлах – довільними значеннями у вигляді початкового наближення.
11. Синтезувати вектор номерів вузлів вимірністю kolvar, в яких вузлові напруги задані початковими наближеннями.
12. Задатися точністю наближення.

На цьому попередня робота з підготовки зовнішньої інформації закінчена. Далі необхідно цю інформацію представити в необхідній формі і зберегти на своїй дискеті з ім'ям TKZ.dat.

Звернемося тепер до деякої заступної схеми, рис. Д1.

На цьому рисунку позначені номери віток і вузлів, напрями струмів по вітках, їх відносний базисний опір і відносні базисні ЕРС активних елементів.

Точка трифазного короткого замикання знаходиться у вузлі 18. Базисний струм того ступеня напруги, на якому знаходиться точка пошкодження, дорівнює 9,2 кА. Все це дає можливість підготувати файл даних.

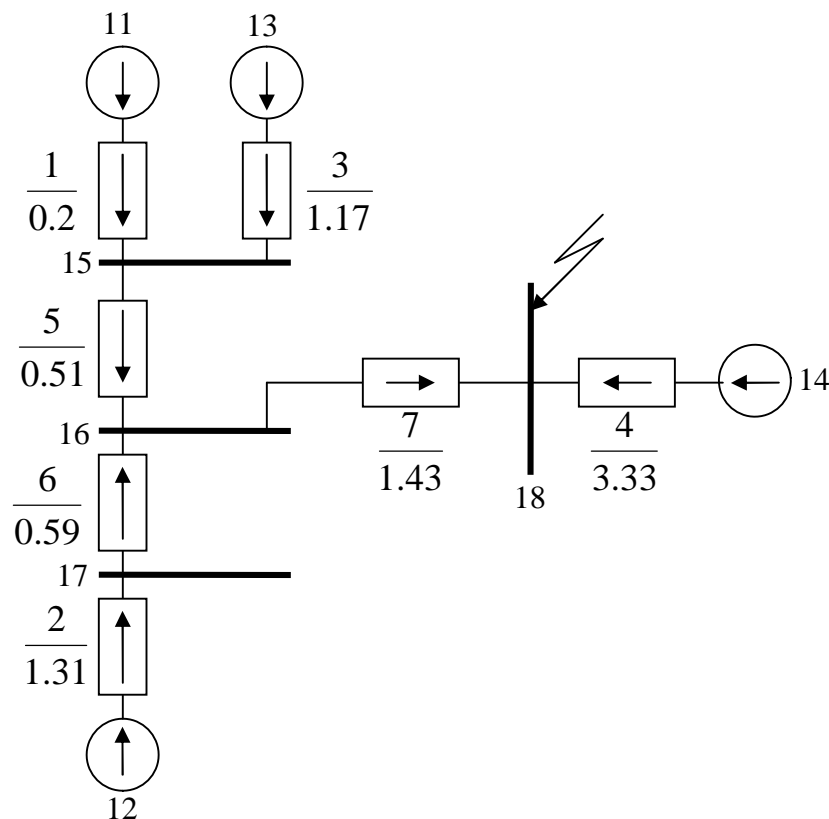


Рисунок Д1 – Заступна схема для розрахування струму короткого замикання

Нижче приведено роздрукування цього файлу, синтезованого в строгій відповідності з операторами READ програми TKZ. Читачу рекомендується уважно ознайомитися з ним, щоб збагнути технологічний процес постановки завдання на ЕОМ.

7	8	3					
1	11	15					
2	12	17					
3	13	15					
4	14	18					
5	15	16					
6	17	16					
7	16	18					
0.200	1.310	1.170	3.330	0.510	0.590	1.430	
11	12	13	14	15	16	17	18
1.08	0.93	0.8	0.9	0.9	0.8	0.850	0.
15	16	17					
0.01							
9.2							

Результати роботи програми за цими даними наведені в наступному лістингу, з якого видно, що програма TKZ виводить струми в точці пошкодження, струми по всіх вітках заступної схеми (від'ємні значення свідчать про неправильний вибір напрямів струмів) і напруги в усіх вузлах.

Лістинг розв'язку задачі розрахунку струмів трифазного короткого замикання

Розрахунок аварійного режиму прямої послідовності при короткому замиканні в схемі заміщення.

Розрахункова точка короткого замикання – вузол 18.

Надперехідний струм короткого замикання – 7.30 кА.

Ударний струм короткого замикання – 18.60 кА.

Струми в елементах заступної схеми,
приведені до напруги точки пошкодження

номер вітки	вузол початку	вузол кінця	струм к _a
1	11	15	5.205
2	12	17	.867
3	13	15	-1.312
4	14	18	2.486
5	15	16	3.958

6	17	16	.922
7	16	18	4.809

Відносні номінальні напруги у вузлах заступної схеми при короткому замиканні у вузлі 18

номери вузлів	напруга (відсотки)
11	108.0000
12	93.0000
13	80.0000
14	90.0000
15	96.6838
16	74.7452
17	80.6583
18	.0000

З аналізу технології машинного розрахування аварійних режимів виходить, що трудомісткість ручної роботи вельми велика. Природно виникає питання про можливість її автоматизації. Принципово сьогодні на нього слід дати негативну відповідь, бо значна частина роботи носить творчий характер, який не формалізується. Проте деяка технічна частина підготовчої роботи, наприклад, розрахування відносних базисних опорів і ЕРС цілком піддається автоматизації.

Додаток Б

Характеристика програми STATIC для перевірки статичної стійкості

Програма STATIC призначена для перевірки статичної стійкості системи, заданої характеристичним рівнянням порядку не більше 10. Аналіз стійкості проводиться на основі матриці Гурвиця. Тому ключовим моментом алгоритму, реалізованому в програмі, є синтез матриці Гурвиця. Надалі стійкість визначається за більш економним з обчислювальної точки бачення критерієм Льенара-Шипара.

Вхідною інформацією для програми STATIC є порядок і коефіцієнти характеристичного многочлена.

Вихідна інформація є синтезованою в підпрограмі MATRIX матрицею Гурвиця, результати обчислень необхідних мінорів в підпрограмі MINOR і висновки відносно стійкості системи.

В основі алгоритму, реалізованого в програмі, лежить наступне твердження.

Нижче приводиться вихідний лістинг програми STATIC з обробки характеристичного рівняння п'ятого порядку:

$$p^5 + p^4 + 7p^3 + 4p^2 + 10p + 3 = 0.$$

*Перевірка статичної стійкості системи
без визначення коренів характеристичного
рівняння*

Коефіцієнти характеристичного рівняння системи 5-го порядку:

1.00000 1.00000 7.00000 4.00000 10.00000 3.00000

Матриця Гурвиця, що відповідає вихідним умовам:

1.000	4.000	3.000	.000	.000
1.000	7.000	10.000	.000	.000
.000	1.000	4.000	3.000	.000
.000	1.000	7.000	10.000	.000
.000	.000	1.000	4.000	3.000

Мінори, які контролюються, (n-1) та (n-3) порядків:

D= 8.00;

D= 3.00.

Система статично стійка за критерієм Льенара-Шипара.

Додаток В

Характеристика програми DYNAM для перевірки динамічної стійкості

Програма реалізує метод послідовних інтервалів, викладений в попередньому розділі, стосовно простої системи “станція – шини незмінної напруги”.

Програма DYNAM дозволяє за бажанням користувача одержати перехідний процес в одному-двох або декількох циклах гойдань.

Вихідною інформацією програми DYNAM є таблиця з поточним часом і таким набором параметрів, які відповідають йому:

- поточне значення кута, ел. гр.;
- приріст кута, ел. град;
- поточне значення потужності, в. о.;
- приріст потужності, в. о..

Розглянемо роботу програми на такому невеликому прикладі.

Нехай задана система, яка зображена на рис. Д2, і потрібно перевірити її динамічну стійкість при однофазному короткому замиканні на початку одного кола ЛЕП в двох випадках:

- однофазне коротке замикання самоліквідується через 0,1 с;
- однофазне коротке замикання відключається через 0,5 с і система переходить в післяаварійний режим роботи одним колом.

Комплексна заступна схема аварійного режиму разом зі своїми параметрами представлена на рис. Д3

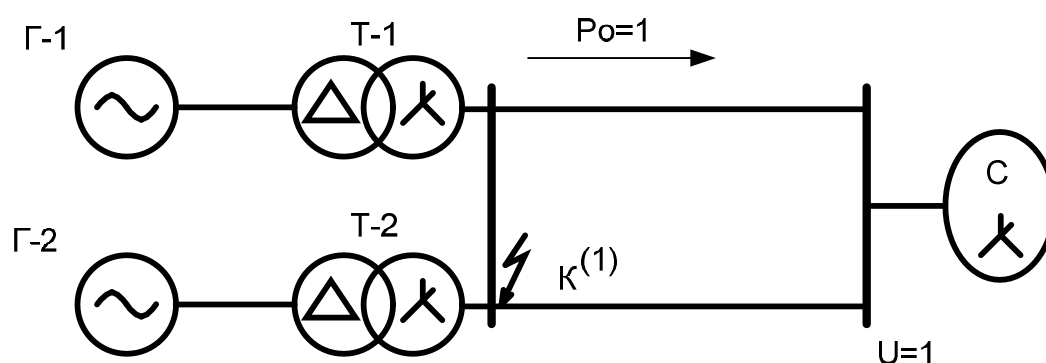


Рисунок Д2 – Схема енергосистеми, що досліджується

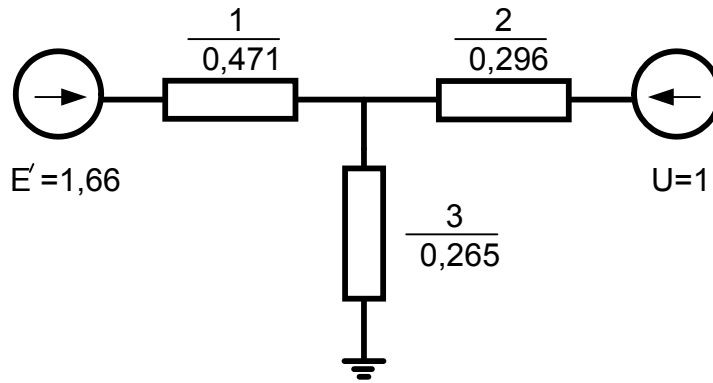


Рисунок ДЗ – Результуюча комплексна заступна схема

З розрахунку попереднього нормального режиму відомо, що $\delta_0=27,5$ ел. град, коефіцієнт $k = 4,787$. З розрахунків також відомі взаємні опори аварійного і післяаварійного (з одним колом) режимів і вони, відповідно, дорівнюють:

$$x_{B3}^{АВАР.} = 0,471 + 0,296 + \frac{0,471 \cdot 0,296}{0,265} = 1,2931;$$

$$x_{B4}^{П.} = 1,064.$$

Результати розрахунку першої під задачі приведені в наступному лістингу.

Лістинг дослідження динамічного переходу при однофазному короткому замиканні, що самоусунулося через 0.1 с.

Файл даних для роботи програми DYNAM:

```
2 1.6600027.50000 4.78700 .050001.0001.000
1.2931 .7670
.1000 1.0000
```

Амплітуда потужності, що передається, $P_m(1) = 1.28374$

Амплітуда потужності, що передається, $P_m(2) = 2.16428$

Критичний кут – $D_{кр} = 152.50000$

N	Час, сек.	Поточне знач. кута, ел. град	Приріст кута, ел. град	Поточне знач. потужн., в. о.	Приріст потужн., в. о.
0	0.00	27.50000	–	1.00000	–
1	.05	28.47472	.97472	.61205	.40724
2	.10	31.30657	2.83185	.66705	.38795
3	.15	34.76876	3.46219	1.23421	-.12459
4	.20	37.10978	2.34102	1.30580	-.23421
5	.25	37.98691	.87714	1.33207	-.30580

6	.30	37.27442	-.71249	1.31076	-.33207
7	.35	35.07433	-2.20009	1.24368	-.31076
8	.40	31.70777	-3.36657	1.13752	-.24368
9	.45	27.68291	-4.02485	1.00547	-.13752
10	.50	23.63185	-4.05106	.86757	-.00547
11	.55	20.21474	-3.41711	.74784	.13243
12	.60	18.00471	-2.21003	.66897	.25216
13	.65	17.37933	-.62538	.64646	.33103
14	.70	18.44633	1.06701	.68481	.35354
15	.75	21.02214	2.57581	.77639	.31519
16	.80	24.66839	3.64624	.90329	.22361
17	.85	28.77756	4.10917	1.04190	.09671
18	.90	32.68613	3.90857	1.16879	-.04190
19	.95	35.78672	3.10058	1.26560	-.16879
20	1.00	37.61586	1.82914	1.32100	-.26560
21	1.05	37.90839	.29253	1.32973	-.32100
22	1.10	36.62249	-1.28590	1.29108	-.32973
23	1.15	33.94320	-2.67929	1.20847	-.29108

Тут же можна бачити організацію файлу даних.
Розв'язок другої під задачі наведений в лістингу.

Лістинг дослідження перехідного процесу при однофазному короткому замиканні, що відключається через 0.5с., з виходом на післяаварійний одноколовий режим роботи

Файл даних для роботи програми DYNAM:
2 1.6600027.50000 4.78700 .050001.0001.000
1.2931 1.0640
.5000 .3000

Амплітуда потужності, що передається, $P_m(1) = 1.28374$

Амплітуда потужності, що передається, $P_m(2) = 1.56015$

Критичний кут – $D_{кр} = 152.50000$

N	Час, сек.	Поточне знач. кута, ел. гр.	Приріст кута, ел. гр.	Поточне знач. потужн., в. о.	Приріст потужн., в. о.
0	0.00	27.50000	–	1.00000	–
1	.05	28.47472	.97472	.61205	.40724
2	.10	31.30657	2.83185	.66705	.38795
3	.15	35.73224	4.42567	.74970	.33295
4	.20	41.35610	5.62386	.84821	.25030
5	.25	47.70657	6.35047	.94959	.15179
6	.30	54.29834	6.59178	1.04248	.05041

7	.35	60.68677	6.38843	1.11936	-.04248
8	.40	66.50381	5.81704	1.17730	-.11936
9	.45	71.47212	4.96832	1.21720	-.17730
10	.50	75.40070	3.92858	1.24229	-.21720
11	.55	77.58927	2.18857	1.52369	-.50978
12	.60	77.27092	-.31835	1.52181	-.52369
13	.65	74.45468	-2.81624	1.50308	-.52181
14	.70	69.23021	-5.22447	1.45876	-.50308
15	.75	61.80965	-7.42056	1.37509	-.45876
16	.80	52.59354	-9.21611	1.23930	-.37509

Обидва розв'язки організовані так, щоб розрахунки проводилися в 1-2 циклах кожен. З сумісного розгляду таблиць видно, що в першому і другому випадках зберігається динамічна стійкість, оскільки в жодному з них максимальний виліт ротора узагальненого генератора не досягає критичного кута. Ця ж теза про збереження стійкості може бути підтверджена тим, що кути, досягнувши найбільшого значення, потім убувають. Це означає, що в наступних циклах гойдань, зважаючи на дію демпфуючих чинників, відбудеться перехід до сталого режиму.

Із сумісного розгляду таблиць також видно, що збурювальний імпульс в другому випадку більший, це і зумовлює більше значення кута, що якісно можна бачити з побудови площадок прискорення.

Додаток Г

Коефіцієнти характеристичного рівняння, виражені через параметри системи

$$a_0 = T_{d0}x_2x_3);$$

$$a_1 = T_{d0}R(x_2 + x_3) + x_2x_1;$$

$$a_2 = T_{d0}(2x_2x_3 + x_cx_3 + x_2x_c) + T_{d0}R^2 + R(x_2 + x_1);$$

$$a_3 = x_cx_1 + x_cx_2 + 2x_2x_1 + R^2 + T_{d0}R(2x_c + x_2 + x_3);$$

$$a_4 = T_{d0}(x_c - x_2)(x_c - x_3) + T_{d0}R^2 + R(2x_c + x_2 + x_1);$$

$$a_5 = (x_c - x_1)(x_c - x_2) + R^2,$$

де $x_1 = x_d + x_{зОВ}$;

$x_2 = x_q + x_{зОВ}$;

$x_3 = x'_q + x_{зОВ}$;

x_d – поздовжній синхронний опір генератора;

x_q – поперечний синхронний опір генератора;

x'_q – поздовжній перехідний опір генератора;

$x_{зОВ}$ – індуктивний опір лінії електропередач;

T_{d0} – постійна часу обмотки збудження при розімкненому статорі;

x_c – поздовжньо-ємнісний опір лінії електропередач;

R – активний опір лінії електропередач.

ЛІТЕРАТУРА, ЩО ПРОПОНУЄТЬСЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ

1. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. М.: Энергия, 1970.
2. Винославский В.Н., Пивняк Г.Г., Несен Л.И., Рибалко А.Я., Прокопенко В.В. Переходные процессы в системах электроснабжения. К.: Выща школа, 1989, 422 с.
3. Аввакумов В.Г., Терешкевич Л.Б. Перехідні процеси в системах електропостачання: елементи теорії, програми, ілюстрації. Вінниця, ВНТУ, 2008, 241 с.
4. Перехідні процеси в системах електропостачання. Під ред. Черемісіна М.М. Вид-во Факт, 2005.
5. ГОСТ 27514-87. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. М.: Издательство стандартов, 1988, 40 с.
6. Методические указания по определению устойчивости энергосистем, ч.1, Союзтехэнерго. М.: 1979, 184 с.
7. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. М.: Высшая школа, 1985, 536 с.
8. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. М.: Энергия, 1979, 456 с.
9. Маркович И.М. Режимы энергетических систем. М.: Энергия, 1969, 352 с.
10. Методика расчетов устойчивости автоматизированных электрических систем. Под ред. Веникова В.А. М.: Высшая школа, 1966, 247 с.