

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕЛЕКТРОНІКА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

*(для студентів денної та заочної форм навчання
спеціальностей 7.05070103, 8.05070103 «Електричні системи
електроспоживання (за видами)»)*

Харків
ХНАМГ
2011

Енергетична електроніка: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт (для студентів денної та заочної форм навчання спеціальностей 7.05070103, 8.05070103 «Електричні системи електроспоживання (за видами)») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: В. Г. Ягуп, Д. В. Рум'янцев, К. В. Ягуп. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 29 с.

Укладачі: проф., д. т. н. В. Г. Ягуп,
к. т. н. К. В. Ягуп,
ас. Д. В. Рум'янцев

Рецензент: проф. О. Г. Гриб

Рекомендовано кафедрою електропостачання міст,
протокол № 11 від 29.06.2010 р.

Лабораторна робота №1

Дослідження вольт-амперної характеристики силового діода

Загальні відомості

Напівпровідниковий діод – електроперетворювальний прилад з одним р-п переходом і двома виводами. Випрямний діод являє собою електронний ключ, який керується прикладеною до нього напругою. При прямій напрузі ключ замкнений (відкритий), при зворотній – вимкнутий (закритий). Для випрямних діодів характерно, що вони мають малий опір у відкритому стані і дозволяють пропускати великі струми. Опір діода у зворотному напрямі навпаки дуже великий, тобто, струм і цьому випадку практично відсутній.

Основними параметрами випрямних діодів, що характеризують їх роботу у випрямних схемах, є: середнє за період значення прямого струму, який може тривалий час протікати через діод при допустимому його нагріванні; середнє за період значення прямої напруги при заданому середньому значенні прямого струму; максимально допустима зворотна напруга, яку довгочасно витримує діод; середнє за період значення зворотного струму при заданому значенні зворотної напруги; гранична частота діапазону, в межах якого струм діода не зменшується нижче заданого значення.

Однією з найважливіших характеристик діода є вольт-амперна характеристика, що характеризує величину струму діода при прикладеній до нього напрузі.

У реальному діоді із збільшенням зворотної напруги зростає зворотний струм. Прямий струм діода залежить від температури навколишнього середовища і збільшується з її підвищенням, хоча в значно меншій мірі, ніж зворотний струм. При збільшенні температури пряма вітка характеристики стає більш крутою, тому що зростає тепловий струм і зменшується опір бази. Спад напруги, що відповідає тому ж значенню прямого струму, при цьому зменшується, що оцінюється за допомогою температурного коефіцієнта напруги. Температурний коефіцієнт напруги показує, на скільки повинна змінитися напруга на р-п переході при зміні температури на 1°C при певному значенні прямого струму.

Мета роботи

Провести дослідження вольт-амперної характеристики електронного прибору діода шляхом комп'ютерних розрахунків згідно з моделлю Еберса-Молла. Проаналізувати залежність вольт-амперної характеристики від параметрів моделі.

Порядок підготовки до роботи

1. Ознайомитися з рекомендованою літературою.
2. Виконати попереднє розрахункове завдання.
3. Відповісти на контрольні питання.

Список джерел

1. Руденко В. С., Сенько В. И., Чиженко И. М.. Преобразовательная техника. - К.: Вища шк., 1983.- 431 с
2. Руденко В. С., Жуйков В. Я., Коротеев И. Е. Расчет устройств преобразовательной техники.- К.: Техніка, 1980. – 135.

Попереднє розрахункове завдання

1. Обчислити значення експоненти для показників +40 і -40.
2. Обчислити значення струму діоду при $I_{s0} = 0.001$ А при обчислених в п. 1 значеннях експоненти.

Методичні вказівки до виконання попереднього завдання

До п.1, 2: для обчислення можна використати будь-який математичний пакет.
До п. 2: обчислення струму здійснювати за формулою Еберса - Молла :

$$I_{\Delta} = I_{s0} \left(e^{\frac{U_{\Delta}}{\varphi_T}} - 1 \right), \quad (1.1)$$

де I_{s0} – зворотній струм діоду;

U_{Δ} – напруга, прикладена до діода;

φ_T – температурний потенціал, який дорівнює 0,025 В.

Робоче завдання

1. Розрахувати вольт-амперну характеристику діода.
2. Виявити, яким чином впливає зміна значення зворотного струму на вольт-амперну характеристику діода.
3. Виявити, яким чином впливає зміна значення параметру температурного потенціалу на вольт-амперну характеристику діода.
4. Обчислити значення статичного опору діода для обчислених точок електронної таблиці для варіанту за вказівкою викладача.

Методичні вказівки до робочого завдання

До п. 1:

а) Для розрахунків скористаємося електронними таблицями MS Excel. Ввести у клітинки електронної таблиці початкові параметри: $I_{s0} = 0,001$ А, $\varphi_T = 0,025$ В. Надати цим клітинкам унікальні імена, щоб уникнути надалі зсуву адресів клітин при копіюванні формул.

б) Побудувати стовпець із значеннями напруги, що прикладається до діода. Напругу змінювати: від – 800 В до -10 В з кроком 10 В, від -10 до -1 з кроком 1 В, від -1 до 0 з кроком 0,1 В, від 0 до 0,3 В з кроком 0,1 В.

в) Побудувати стовпець із значеннями струму діода, використавши формулу (1.1).

г) Побудувати графік залежності струму діода від прикладеної до нього напруги. Використовувати «Майстер діаграм», обираючи тип графіка точковий без маркерів.

До п. 2:

Змінюючи значення I_{SO} на 0,01 А і 0,0001 А, спостерігати, яким чином змінюється вольт-амперна характеристика діода при фіксованому значенні $\varphi_T = 0,025 В$.

До п. 3:

Змінюючи значення φ_T на 0,035 В і 0,045 В А спостерігати, яким чином змінюється вольт-амперна характеристика діода при фіксованому значенні $I_{SO} = 0,001 А$.

До п. 4:

Для розрахунку статичного опору діода слід в кожній точці поділити напругу діода на його струм, що слід здійснити у додатковому стовпцю електронної таблиці.

Зміст звіту

1. Результати попереднього розрахункового завдання.
2. Таблиці і графіки для робочого завдання.
3. Висновки з приводу впливу змін параметрів на вольт-амперну характеристику діода.
4. Еквівалентна схема заміщення напівпровідникового діода.

Контрольні питання

1. У чому полягає принцип дії р-п - переходу?
2. В чому полягає принцип дії напівпровідникового діода?
3. Якими основними параметрами характеризується робота діодів?
4. Як впливає зміна температури на роботу діода?
5. Як впливає зміна зворотного струму діода на його роботу?

Лабораторна робота №2
Дослідження електромагнітних процесів
у однофазному випрямлячеві
Загальні відомості

Випрямляч – це пристрій, призначений для перетворення змінної напруги в постійну. Основними елементами випрямляча є перемикаючі ключі (діоди або тиристори). У результаті роботи ключів змінна напруга перетворюється в уніполярну пульсуючу. В даній лабораторній роботі розглядається однофазний випрямляч, наведений на рис. 1.

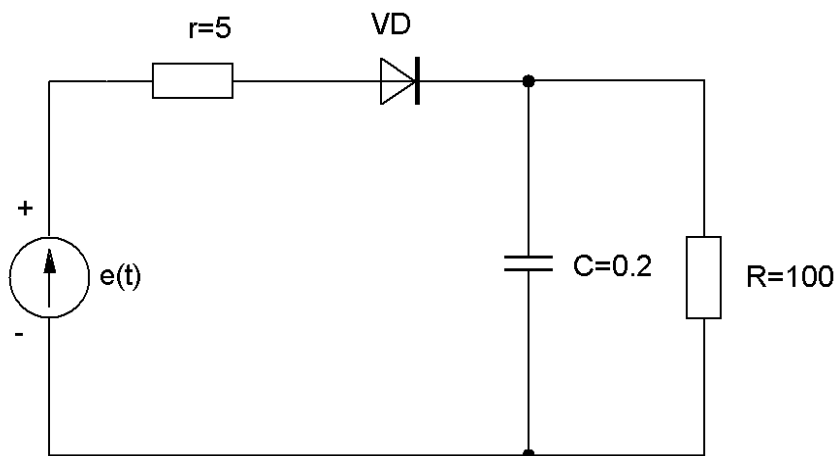


Рис. 1

Перехідні процеси з'являються в системах у тих випадках, коли в них є елементи, що накопичують електричну енергію, а саме конденсатори і котушки індуктивностей. У таких випадках усталений процес настає, коли реактивні елементи запасують необхідний рівень енергій, щоб виконався закон збереження енергії. Усталений режим відповідає балансу потужностей, а саме за період сумарна енергія, що споживається від джерела, повинна дорівнювати сумарній енергії, що споживається пасивними елементами.

Процеси, що протікають у нелінійних електричних схемах, описуються системами диференціальних рівнянь. Метод змінних стану дозволяє зручно вирішити такі системи. За змінні стану можна прийняти напруги на конденсаторах і струми в індуктивностях.

Завдання аналізу динамічних режимів випрямляча пов'язана з формуванням і розрахунком матричного рівняння, записаного у формі задачі Коші:

$$\frac{dX}{dt} = AX + BQ \tag{2.1}$$

де X – вектор змінних стану;

$\frac{dX}{dt}$

– вектор похідних змінних стану;

Q – вектор задаючих величин (джерел напруги та джерел струму);

A, B – матриці коефіцієнтів відповідних розмірів, що зумовлені набором і сполученням конкретних елементів електричного кола.

Для комп'ютерного розрахунку динамічних процесів сформовані рівняння стану піддають процедурі чисельного інтегрування методом Ейлера. Сформовані таким чином рівняння зручно вирішити за допомогою комп'ютерних пакетів Excel або Mathcad. При цьому слід забезпечити відображення станів випрямляючих діодів шляхом зміни величин їх еквівалентних опорів за умови кусково-лінійної апроксимації вольт-амперних характеристик діодів. Завдяки цьому при таких розрахунках реалізується метод припасовування, який традиційно є основним методом дослідження перетворювальних пристроїв.

Мета роботи

Провести дослідження електромагнітних процесів в однофазному випрямлячі методом змінних стану на основі кусково-лінійної апроксимації вольт-амперної характеристики діода і реалізуючи метод припасовування.

Порядок підготовки до роботи

1. Ознайомитися з рекомендованою літературою.
2. Виконати попереднє розрахункове завдання.
3. Відповісти на контрольні питання.

Список джерел

1. Руденко В.С., Сенько В.И., Чиженко И. М.. Преобразовательная техника. - К.: Вища шк., 1983.- 431 с
2. Перетворювальна техніка. Підручник. Ч.2 / Ю.П.Гончаров, О.В.Будьонний, В.Г.Морозов, М.В.Панасенко, В.Я.Ромашко, В.С.Руденко. За ред. В.С.Руденка. - Харків: Фоліо, 2000. - 360 с.

Попереднє розрахункове завдання

1. Зобразити орієнтований граф електричної схеми випрямляча.
2. Вибрати дерево орієнтованого графа.
3. Скласти матрицю «контур-вітка», і на її основі скласти топологічні рівняння.
4. Додати до топологічних рівнянь компонентні рівняння.
5. Користуючись повною системою рівнянь, сформулювати диференціальні рівняння за методом змінних стану.

Методичні вказівки до виконання попереднього завдання

До п.1:

В орієнтованому графі у відповідність ребрам ставлять елементи електричної схеми, а вузли – відповідають затискам електричних елементів. Напрямок ребер співпадає з умовно прийнятим позитивним напрямком протікання струмів електричної схеми.

До п. 2:

При формуванні дерева слід мати на увазі, що деревом графа, називається зв'язана сукупність ребер, що охоплює всі вузли і не утворює жодного контуру. Ребра, що увійшли до дерева називаються вітками, а решта – зв'язками. Вітки відображаються суцільними лініями, а зв'язки – пунктирними.

При формуванні дерева слід дотримуватися наступного пріоритету включення ребер орієнтованого графа електричної схеми до дерева: до дерева обов'язково відносять напруги е. р. с. та конденсатори, до зв'язків – струми джерела струму та котушки індуктивностей, опори можна відносити як до віток, так і до зв'язків.

До п. 3:

Стовпцями F-матриці є вітки, а строками – зв'язки. Клітини матриці заповнюють у відповідності із формуванням замкнутого контуру доповнення дерева одним зв'язком: якщо напрямок зв'язка співпадає з напрямком вітки, то відповідну клітину заповнюють +1, якщо їх напрями протилежні, то ставлять -1, якщо вітка не входить до даного контуру, то 0.

Топологічні рівняння у матричній формі виглядають наступним чином:

$$\begin{aligned} V^3 &= -FV^B; \\ I^6 &= F^T I^3, \end{aligned} \tag{2.1}$$

де F – матриця «контур-вітка».

До п. 4:

Компонентні рівняння для опорів можуть бути записані в імпедансній або в адмітансній. Компонентні рівняння для реактивних елементів рекомендується записувати у диференційній формі.

У рівняннях за методом змінних стану похідні від змінних стану повинні бути виражені через змінні стану й задаючи величини.

До п. 5:

Діод слід замінити його еквівалентним опором, величина якого залежить від струму, що протікає через діод. Тому рекомендується окремо вивести формулу обчислення значень струму діода.

Робоче завдання

1. Розрахувати залежності напруги мережі, вхідного струму випрямляча й вихідної напруги випрямляча застосувавши метод Ейлера.
2. Виявити, яким чином зміна ємності конденсатора впливає на вихідну напругу випрямляча.

Методичні вказівки до робочого завдання

До п. 1:

Метод Ейлера дозволяє визначити значення функції через попередні її значення із використанням похідної функції. Загальна формула Ейлера має вигляд

$$x_{k+1} = x_k + \Delta t \frac{dx_k}{dt}, \quad (2.2)$$

де x_k та x_{k+1} – відповідно значення функції в попередній і наступний моменти часу, які відрізняються на величину кроку інтегрування;

$\frac{dx_k}{dt}$

– похідна від функції у попередній момент часу;

Δt – крок інтегрування, тобто відстань між вибраними моментами часу.

Таким чином, знаючи початкові значення змінних стану і представивши рівняння стану у формі задачі Коші, можна за формулою Ейлера побудувати залежності змінних стану від часу. Реалізувати такі розрахунки зручно за допомогою електронних таблиць MS Excel.

Для розрахунку залежностей в електронних таблицях необхідно:

а) ввести у клітини електронної таблиці початкові параметри:

Таблиця 1

E_m	ω	r	R	R_{d1}	R_{d2}	C	dlt
10	π	5	100	0,01	10000	0,2	0,01

де E_m – амплітудне значення е. р. с.;

ω – кругова частота;

R_{d1} і R_{d2} – опори діода відповідно у замкненому і відкритому стані;

dlt – крок інтегрування, тобто відстань між двома сусідніми значеннями часу.

Надати цим клітинам унікальні імена, щоб уникнути надалі зсуву адресів клітин при копіюванні формул.

б) побудувати таблицю залежностей, що має такий вигляд

Таблиця 2

t	$e(t)$	i_d	R_d	V_c	dV_c / dt
-----	--------	-------	-------	-------	-------------

де t – час спостереження електромагнітних процесів;

$e(t)$ – напруга в мережі;

i_d – струм, що протікає через діод;

R_d – опір діоду;

V_c – напруга на конденсаторі;

dV_c/dt – похідна від напруги на конденсаторі.

в) ввести у відповідні клітини такі початкові значення: $t=0$, $e(t) = E_m \sin(\omega t)$, $R_d=1$, $V_c = 0$;

г). заповнити стовпець зміни часу, таким чином, щоб сусідні значення відрізнялися на величину dt . Заповнити стовпець мережної напруги використовуючи синусоїдальну функцію таблиць Excel. Час спостереження надалі треба буде нарощувати, доти поки процеси в системі не встановлюються;

д) ввести в першу клітину зміни струму діода відповідну виведену формулу;

е) ввести в клітину опору діоду формулу, скориставшись логічною функцією MS Excel «ЕСЛИ»:

$$R_d = \begin{cases} 0,01, \text{ якщо } i_d > 0; \\ 10000, \text{ якщо } i_d \leq 0. \end{cases} \quad (2.3)$$

є) ввести у клітину dV_c/dt відповідну виведену формулу;

ж) у клітину V_c ввести формулу Ейлера;

з) скопіювати формули й побудувати графіки мережної напруги, вхідного струму випрямляча і напруги на конденсаторі.

Зміст звіту

1. Результати попереднього розрахункового завдання.
2. Таблиці і графіки для робочого завдання.
3. Висновки з приводу впливу зміни ємності конденсатору на основні параметри випрямляча.

Контрольні питання

1. Яке призначення має перетворювальний пристрій «випрямляч»?
2. Яким чином впливає ємнісний фільтр на електромагнітні процеси, що протікають в випрямлячі?
3. Від якої величини залежить опір діода?
4. Яким чином складається матриця «контур-вітка»?
5. Яким чином розраховуються топологічні рівняння за допомогою матриці «контур-вітка»?
6. Яким чином приводяться диференціальні рівняння, що описують електромагнітні процеси в електричних системах, до форми задачі Коші?
7. У чому полягає сутність методу Ейлера?
8. Яким чином забезпечується автоматична зміна опору діода в процесі розрахунків?
9. Що є критерієм встановлення процесів у випрямлячі?

Лабораторна робота №3

Дослідження однофазного випрямляча із згладжуючим фільтром

Загальні відомості

Для згладжування пульсацій випрямленої напруги до затискувачів випрямляча підключають електричний згладжуючий фільтр.

Оцінка згладжуючої дії фільтра звичайно учиняється за величиною його коефіцієнта згладжування. Коефіцієнтом згладжування фільтра за гармонікою пульсацій прийнято вважати відношення коефіцієнта пульсацій на вході фільтра до коефіцієнту пульсацій на його виході для тієї ж гармоніки.

Розрізняють такі види фільтрів: індуктивний, ємнісний, Г-подібний фільтр, П - подібний фільтр, резонансні фільтри, RLC-фільтри.

Індуктивний фільтр застосовують для випрямлячів середньої і великої потужності. Ємнісний фільтр використовують для малопотужних споживачів.

У цій лабораторній роботі розглядається однофазний випрямляч з П - подібним LC-фільтром наведений на рис. 1.

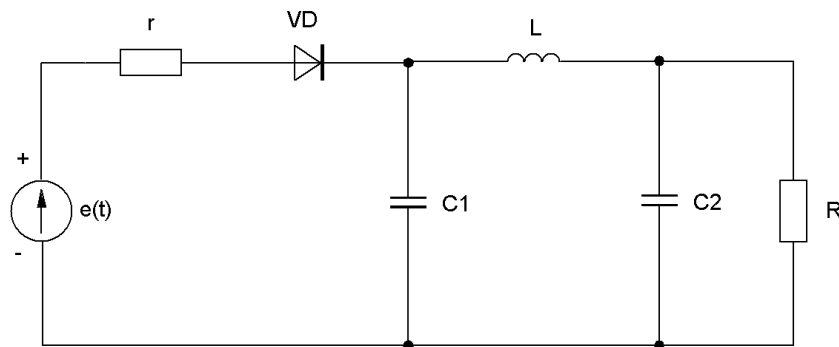


Рис. 1

Мета роботи

Провести дослідження електромагнітних процесів в однофазному випрямлячі з П - подібним фільтром методом змінних стану на основі кусково-лінійної апроксимації ВАХ діода і реалізуючи метод припасовування.

Порядок підготовки до роботи

1. Ознайомитися з рекомендованою літературою.
2. Виконати попереднє розрахункове завдання.
3. Відповісти на контрольні питання.

Список джерел

1. Руденко В. С., Сенько В. И., Чиженко И. М.. Преобразовательная техника. - К.: Вища шк., 1983.- 431 с
2. Автоматизированный расчет тиристорных схем. Ягуп В. Г. – Х.: Вища шк. Из-во при Харьк. Ун-те, 1986. 160 с.

Попереднє розрахункове завдання

1. Сформувати диференціальні рівняння за методом змінних стану для випрямляча з LC-фільтром приведені до форми задачі Коші.
2. Сформулювати умови переходу випрямляючого діоду з закритого стану до відкритого, та навпаки.

Методичні вказівки до виконання попереднього завдання

До п. 1.

Необхідно вивести три рівняння для всіх змінних стану в схемі випрямляча. Алгоритм формування рівнянь стану подібний до того, що наведений в лабораторній роботі 2.

До п. 2.

Враховувати, що для здійснення переключення діоду в моделі треба відслідковувати в процесі розрахунків струм діоду. При цьому, якщо струм зменшуючись стає від'ємним, здійснюється перехід у закритий стан діоду, якщо ж струм зростаючи стає позитивним, здійснюється перехід діода до відкритого стану. У відкритому стані вважати опір діоду малим (0,01 – 0,001 Ом), а в закритому стані вважати опір діоду великим (10000 – 100000 Ом).

Робоче завдання

1. Розрахувати залежності напруги мережі, вхідного струму випрямляча з LC-фільтром і вихідної напруги випрямляча, застосувавши метод Ейлера.
2. Виявити, яким чином зміна параметрів LC-фільтра конденсатора впливає на вихідну напругу випрямляча.

Методичні вказівки до робочого завдання

До п 1:

а) ввести у клітини електронної таблиці початкові параметри:

Таблиця 1

E_m	Ω	r	R	$R_{д1}$	$R_{д2}$	$C1$	$C2$	L	dlt
10	Π	5	1000	0,01	10000	0,12	0,12	12	0,001

де E_m – амплітудне значення е. р. с.;

ω – кругова частота;

$R_{д1}$ і $R_{д2}$ – опори діоду відповідно у відкритому та зачиненому стані;

dlt – крок розрахунку або відстань між двома сусідніми значеннями часу..

Надати цим клітинам унікальні імена, щоб уникнути надалі зсуву адресів клітин при копіюванні формул.

б) побудувати таблицю залежностей, що має такий вигляд

Таблиця 2

t	e(t)	id	Rd	Vc1	Vc2	iL	dVc1/dt	dVc2/dt	diL/dt
---	------	----	----	-----	-----	----	---------	---------	--------

де t – час спостереження електромагнітних процесів;

e(t) – напруга в мережі;

id – струм, що протікає через діод;

Rd – опір діода, який повинен змінюватися відповідно до наведених умов переключення діода в залежності від струму діода (застосовувати функцію Excel ЕСЛИ());

Vc1, Vc2, iL – напруги на конденсаторах та струм в індуктивності;

dVc1/dt, dVc2/dt, diL/dt, – похідні від напруг на конденсаторах та струму в індуктивності.

Заповнити таблицю необхідними початковими значеннями й ввести виведені формули похідних змінних часу й формули Ейлера. Побудувати графіки змінних стану (див. лабораторну роботу 2).

До п 2:

Змінювати значення параметрів LC-фільтра за завданням викладача.

Зміст звіту

1. Результати попереднього розрахункового завдання.
2. Таблиці і графіки результатів робочого завдання.
3. Висновки з приводу впливу зміни параметрів фільтра на основні параметри випрямляча.

Контрольні питання

1. Яке призначення мають фільтри?
2. Яке співвідношення повинно бути встановлено між опором активного навантаження та опором конденсатора для ємнісного фільтра?
3. Яке співвідношення повинно бути встановлено між опором активного навантаження та опором індуктивності для індуктивного фільтра?
4. Для яких споживачів застосовуються ємнісні фільтри, а для яких індуктивні?
5. Який вигляд має дерево графа для приведеної в роботі електричної схеми?
6. Записати F-матрицю для графа випрямляча.
7. Який вигляд мають рівняння змінних стану приведені до форми задачі Коші?

Лабораторна робота №4
Дослідження автономного однофазного
інвертори струму із застосуванням комутаційних функцій
Загальні відомості

Автономний інвертор – це пристрій, що перетворює постійний струм у змінний з постійною або регульованою частотою. Автономні інвертори знаходять своє застосування при живленні асинхронного тягового привода, а також в джерелах безперебійного живлення.

В залежності від особливостей протікання електромагнітних процесів автономні інвертори поділяють на три основні види: інвертори струму, інвертори напруги та резонансні інвертори.

Для інверторів струму характерно те, що вони формують в навантаженні струм, а форма і фаза напруги залежать від параметрів навантаження.

Принцип одержання змінної напруги полягає в тому, що за допомогою перемикаючих елементів здійснюється пряма й інверсна передача живильної напруги на навантаження. Схема автономного інвертору струму наведена на рис. 1.

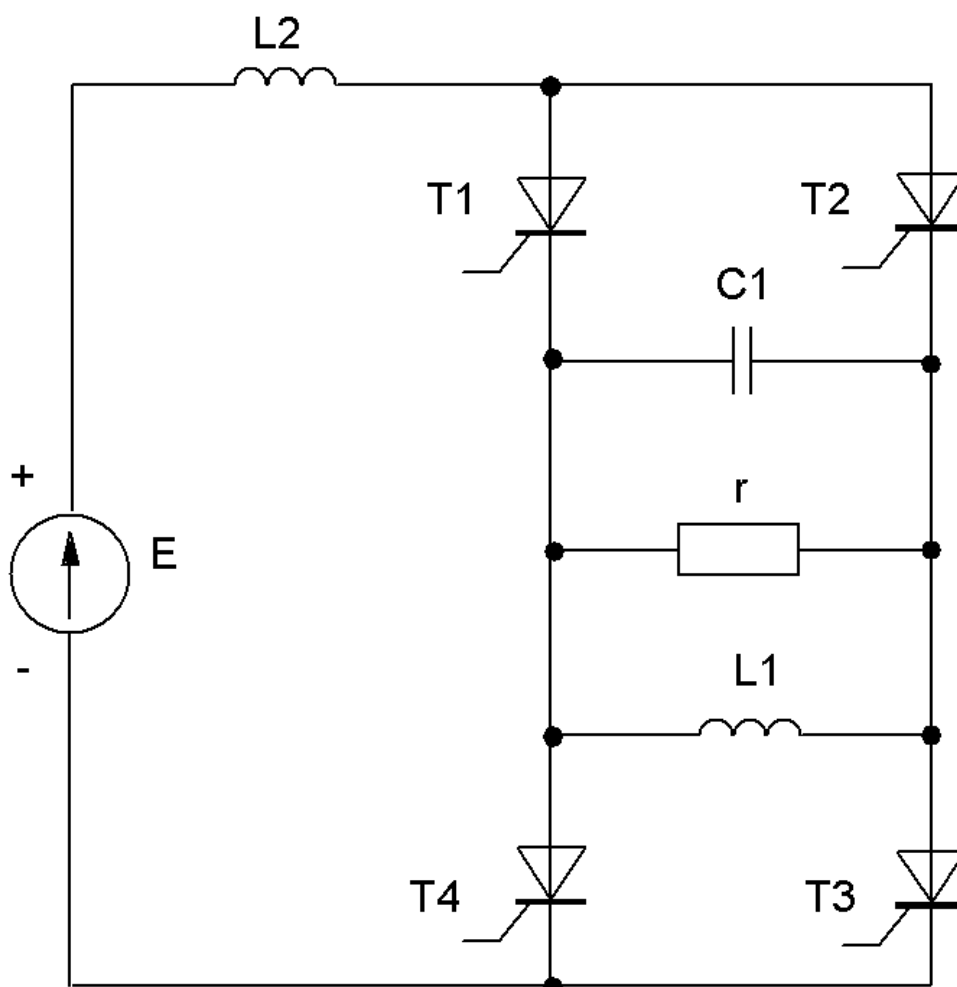


Рис. 1

Керуючі імпульси подаються на групи парних і непарних тиристорів через кожні півперіоди. Так як звичайні тиристори можуть бути ввімкнуті лише за допомогою керуючого електроду, але не можуть бути таким саме чином вимкнені, то для їх вимикання необхідно знизити анодний струм до нуля. Тому в автономних тиристорних інверторах необхідні спеціальні комутуючі пристрої, найважливішим елементом яких є конденсатори, які називають комутуючими. При цьому комутуючий конденсатор перезаряджається через кожні півперіоди, завдяки чому він набуває саме тієї полярності, яка необхідна для забезпечення примусової комутації другої групи тиристорів.

Заряд конденсатора визначається диференціальними рівняннями 3-го порядку і в залежності від величини опору навантаження визначається відповідною кривою за розв'язанням системи диференціальних рівнянь.

Комутаційними функціями називають такі часові функції, які набувають одиничних та нульових значень залежно від стану діодів та тиристорів перетворювача. Такі функції можуть включатися до складу систем рівнянь, які описують електромагнітні процеси в перетворювачах. Звичайно такі функції можуть бути прийняті або заздалегідь заданими, або такими що змінюються в залежності від перемикань вентилів. В теоретичному плані можуть застосовуватися, наприклад, розкладення таких функцій в тригонометричні ряди. При застосуванні комп'ютерних методів комутаційні функції можуть обчислюватися в процесі розрахунків у процесі нарощування часу.

Мета роботи

Провести дослідження електромагнітних процесів в інверторі методом змінних стану, використовуючи комутаційну функцію, а також дослідити вплив параметрів на розвиток процесу пуску інвертора і встановлення усталеного режиму.

Порядок підготовки до роботи

1. Ознайомитися з рекомендованою літературою.
2. Виконати попереднє розрахункове завдання.
3. Відповісти на контрольні питання.

Список джерел

1. Руденко В.С., Сенько В.И., Чиженко И.М..Преобразовательная техника. - К.: Вища шк., 1983.- 431 с
2. Автономные инверторы. Кишенев, «Штиинца», 1974. 336 с. с ил. Авт.Ю. П. Гончаров, В. В. Ермуратский, Э. И. Заика, А. Ю. Штейнбер
3. Бедфорд Б. Хофт Р. Теория автономных инверторов. М. Энергия, 1969, 197с.

Попереднє розрахункове завдання

1. Скласти диференціальні рівняння змінних стану інвертору приведені до нормальної форми задачі Коші.
2. Порівняти отримані вирази та ввести комутаційну функцію, яка б дозволила звести дві системи рівнянь до однієї, що містить в собі комутаційну функцію.

Методичні вказівки до виконання попереднього завдання

До п.1:

Рекомендується скласти рівняння для двох станів схеми, коли відкрита пара тиристорів Т1, Т3, та коли відкрита пара Т2, Т4. При складанні еквівалентних розрахункових схем слід витримати прийнятну позитивну полярність напруги на конденсаторі та прийняті позитивні напрями струмів через індуктивності.

До п. 2:

При введенні комутаційної функції слід враховувати в обох системах рівнянь ті складові, які відрізняються лише знаками. Перемикаюча функція повинна бути сформована в залежності від додатної або від'ємної півхвилі синусоїди відповідної частоти (застосовувати функцію Excel ЗНАК()).

Робоче завдання

1. Розрахувати змінні стану (вхідний струм, напругу конденсатора та струм вихідної індуктивності інвертора), застосувавши метод Ейлера.
2. Провести зміну параметрів інвертора й дослідити вплив таких змін на процес запуску інвертора.

Методичні вказівки до робочого завдання

До п. 1:

1. В електронних таблицях Excel задати наступні значення

Таблиця 1

L1	L2	C	R	E	dlt	pi	f
1	40	0.1068	18.86	100	0.01	3.141593	0.5

Побудувати таблицю залежностей, що має такий вигляд

Таблиця 2

t	± 1	Vc	iL1	iL2	dVc/dt	diL1/dt	diL2/dt
---	---------	----	-----	-----	--------	---------	---------

де t – час спостереження електромагнітних процесів;

Vc – напруга на конденсаторі;

dVc/dt – похідна від напруги на конденсаторі;

iL1, iL2 – струми в індуктивностях;

diL1/dt, diL2/dt – похідні від струмів в індуктивностях.

± 1 – перемикаюча комутуюча функція.

2. При формуванні перемикаючої комутаційної функції ± 1 рекомендується використовувати вбудовані функції електронних таблиць Excel «знак» та sin. Причому, якщо величина синусу позитивна, то перемикаюча функція набуває значення «+1», якщо значення синусу від'ємне, то функція набуває значення «-1».

3. Ввести нульові початкові значення V_c , i_{L1} , i_{L2} в момент часу t_0 .
4. Ввести виведені формули (що включають перемикаючу функцію) похідних змінних стану.
5. Ввести формулу Ейлера для змінних стану у момент часу t_1 .
6. Скопіювати значення клітин за допомогою маркера заповнення, сформувавши стовпці із значеннями величин, що приведені в табл. 2.
7. Побудувати графіки змінних стану за допомогою Майстра діаграм.

Контрольні питання

1. Яке призначення має інвертор?
2. Яким чином впливає на роботу тиристорів комутуючий конденсатор?
3. Що собою представляє комутуюча функція і для чого вона вводиться у систему рівнянь?
4. Який вигляд має дерево приведенного автономного інвертору?
5. Який вигляд має F-матриця приведенного автономного інвертору?
6. Навести топологічні і компонентні рівняння, що описують електромагнітні процеси в приведенному інверторі.
7. Навести одержані рівняння змінних стану, приведені до форми Коші, записані за допомогою комутуючої функції.

Лабораторна робота №5

Дослідження квазіусталеного режиму автономного інвертора

Загальні відомості

Перехідні процеси, що протікають в тиристорних перетворювачах, тривають десятки та сотні періодів управляючого впливу. Тому розрахунки усталених процесів пов'язані з великими витратами машинного часу. Значення інерційних величин на границях двох сусідніх періодів можуть мало відрізнятися ще задовго до кінцевого затухання перехідного процесу. Таким чином ідентифікація моменту затухання перехідного процесу виявляється дуже утрудненою. Крім того, при визначенні режимних параметрів з'являються неточності, що обумовлені процесами накопичення обчислювальних похибок, що пов'язані з локальними похибками методів чисельного інтегрування, неточностями визначення моментів перемикання вентилів, а також похибками заокруглення.

Для розрахунку квазіусталених режимів в автономних тиристорних перетворювачах ефективно застосовувати метод макромодельовання із використанням різницевого рівнянь. Сутність методу полягає в тому, що у відповідність макромоделі ставиться система різницевого рівнянь, які подані у рекурентній формі і зв'язують значення інерційних величин (змінних стану схеми) на початку n -го і $(n + 1)$ періодів.

У загальному вигляді таку систему рівнянь можна подати наступним чином:

$$\begin{aligned}
 x_1^{(n+1)} &= A_{11}x_1^{(n)} + A_{12}x_2^{(n)} + \dots + A_{1r}x_r^{(n)} + B_{11}e_1 + B_{12}e_2 + \dots + B_{1q}e_q; \\
 x_2^{(n+1)} &= A_{21}x_1^{(n)} + A_{22}x_2^{(n)} + \dots + A_{2r}x_r^{(n)} + B_{21}e_1 + B_{22}e_2 + \dots + B_{2q}e_q; \\
 &\dots \\
 x_r^{(n+1)} &= A_{r1}x_1^{(n)} + A_{r2}x_2^{(n)} + \dots + A_{rr}x_r^{(n)} + B_{r1}e_1 + B_{r2}e_2 + \dots + B_{rq}e_q.
 \end{aligned} \tag{1.1}$$

або у матричній формі:

$$X^{(n+1)} = AX^{(n)} + BE \tag{1.2}$$

де $X^{(n+1)}$, $X^{(n)}$ – вектори значень інерційних величин на початку $(n+1)$ -го і n -го періодів;

E – вектор задаючих величин джерел електричної енергії;

A – квадратна матриця коефіцієнтів r -го порядку;

B – $(r \times q)$ – матриця коефіцієнтів.

Основна задача методу макромоделі зводиться до пошуку матриць A , B . Ці матриці можна знайти, розв'язавши таку систему рівнянь:

$$\begin{bmatrix} A_{i1} \\ A_{i2} \\ \dots \\ A_{ir} \\ B_{i1} \\ B_{i2} \\ \dots \\ B_{iq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^{(0)} & x_2^{(0)} & \dots & x_r^{(0)} & e_1 & \dots & e_q \\ x_1^{(1)} & x_2^{(1)} & \dots & x_r^{(1)} & e_1 & \dots & e_q \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_1^{(r-1)} & x_2^{(r-1)} & \dots & x_r^{(r-1)} & e_1 & \dots & e_q \\ x_1^{(r)} & x_2^{(r)} & \dots & x_r^{(r)} & e_1 & \dots & e_q \\ x_1^{(r+1)} & x_2^{(r+1)} & \dots & x_r^{(r+1)} & e_1 & \dots & e_q \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_1^{(s-1)} & x_2^{(s-1)} & \dots & x_r^{(s-1)} & e_1 & \dots & e_q \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_i^{(1)} \\ x_i^{(2)} \\ \dots \\ x_i^{(r)} \\ x_i^{(r+1)} \\ x_i^{(r+2)} \\ \dots \\ x_i^{(s)} \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

де $i=1, 2, \dots, r$ – порядковий номер змінної стану.

Одержана макромодель може широко використовуватися при подальшому дослідженні перетворювача, зокрема, дозволяє значно прискорити розрахунок повільно затухаючих перехідних процесів.

Макромодельовання дає можливість значно підвищити точність розрахунків, оскільки кількість періодів, що визначаються за допомогою імітаційної моделі невелика. Тому на етапі розрахунку декількох періодів доцільно підвищити точність розрахунків, чого можна досягти зменшуючи крок інтегрування, тобто допустиму часову похибку Δt .

Якщо немає необхідності в інформації про протікання перехідного процесу, квазіусталений процес може бути знайдено безпосередньо за параметрами макромоделі. Для цього в рівнянні приймаємо, що при $n \rightarrow \infty$

$$\begin{aligned} X^{(n+1)} &= X^n = X^\infty, \\ \text{тоді} \\ X^\infty &= AX^\infty + BE \end{aligned} \quad (1.4)$$

Виконавши матричні перетворення, одержимо вираз, для режимних параметрів квазіусталеного режиму у вигляді значень вектора інерційних величин на початку квазіусталеного процесу.

$$X^\infty = (1 - A)^{-1} BE \quad (1.5)$$

де 1 – одинична матриця

Мета роботи

Провести дослідження електромагнітних процесів в однофазному випрямлячі методом змінних стану. Виконати розрахунок квазіусталеного режиму роботи інвертору методом макромоделі.

Порядок підготовки до роботи

1. Ознайомитися з рекомендованою літературою.
2. Виконати попереднє розрахункове завдання.
3. Відповісти на контрольні питання.

Список джерел

1. Руденко В.С., Сенько В.И., Чиженко И. М. Преобразовательная техника. - К.: Вища шк., 1983.- 431 с
2. Автономные инверторы. Кишенев, «Штиинца», 1974. 336 с. с ил. Авт.П.Ю. П. Гончаров, В. В. Ермуратский, Э. И. Заика, А. Ю. Штейнбер
3. Автоматизированный расчет тиристорных схем. Ягуп В. Г. – Х.: Вища шк. Из-во при Харьк. Ун-те, 1986. 160 с.

Попередні розрахункові завдання

1. Розрахувати перехідний процес пуску інвертора протягом декількох періодів.
2. Записати значення змінних стану на мережах періодів.

Методичні вказівки до виконання попереднього завдання

До п.1:

Для розрахунків використати модель автономного інвертору для попередньої лабораторної роботи. Кількість обчислювальних періодів враховується з числа реактивних елементів та джерел живлення.

До п. 2:

Значення змінних стану на мережах записати в таку таблицю:

Змінні стану № межі	V_c	IL1	IL2
0			
1			
2			
3			
4			

Робоче завдання

1. Використовуючи значення елементів матриць, знайти інерційні величини у квазіусталених режимах за допомогою Excel або програми Mathcad.
2. Обчислити значення змінних стану у квазіусталеному режимі.
3. Перевірити обчислені в п. 2 значення з точки зору встановлення квазіусталеного режиму.

Методичні вказівки до виконання робочого завдання

До п.1:

Визначити елементи матриць А і В, розв'язавши за допомогою Excel або програми Mathcad системи рівнянь (1.3).

До п. 2:

Розрахувати значення інерційних величин $x_1^{(\infty)}$, $x_2^{(\infty)}$, $x_3^{(\infty)}$ в усталеному режимі розв'язавши систему лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{aligned}(I - A_{11})x_1^{(\infty)} - A_{12}x_2^{(\infty)} - A_{13}x_3^{(\infty)} &= B_{11}E_1; \\ -A_{21}x_1^{(\infty)} + (I - A_{22})x_2^{(\infty)} - A_{23}x_3^{(\infty)} &= B_{21}E_1; \\ -A_{31}x_1^{(\infty)} - A_{32}x_2^{(\infty)} + (I - A_{33})x_3^{(\infty)} &= B_{31}E_1;\end{aligned}\tag{1.6}$$

Для зручності розрахунку цієї системи лінійних рівнянь рекомендується використовувати програму Mathcad.

До п. 3:

Для перевірки виходу на усталений режим задати в моделі початкові значення змінних стану, які отримані в пункті 2.

Контрольні питання

1. У чому полягає проблема розрахунку усталених режимів і чому зручно використовувати метод макромодельовання?
2. Як складають різницеві рівняння для процесів в інверторі?
3. Що собою представляють інерційні величини в різницевих рівняннях?
4. Як розраховують інерційні величини в усталеному режимі?

Лабораторна робота №6
Дослідження квазіусталеного режиму випрямляча
з фільтром за допомогою пошукової оптимізації
Загальні відомості

У загальному випадку моменти перемикань вентилів в кожному періоді можуть змінюватися в перехідному режимі. Цей феномен з'ясовується наявністю в перетворювальній схемі неповністю керованих вентилів – діодів і тиристорів. Дійсно, момент відкриття тиристора обумовлений моментом виникнення керуючого імпульсу (при умові, що напруга тиристора позитивна), але момент закриття тиристора визначається умовою, коли його струм спадає до нуля, і цей момент не залежить від системи керування. Напівпровідникові діоди взагалі некеровані як за моментами їх відкриття, так і за моментами їх закриття. Таким чином розрахунок квазіусталеного режиму перетворювальної схеми з нефіксованими моментами комутації не може бути виконаний раніше розглянутими методами, і в загальному випадку виконуються методами установлення. Для цього обчислюються перехідний процес до того моменту часу, коли початкові умови для змінних стану почнуть повторюватися на межах періодів. Такий підхід може потребувати великої кількості комп'ютерного часу, особливо в тих випадках, коли схема перетворювача слабкодемпфована і процес становлення може займати сотні і тисячі періодів.

Використання алгоритмів пошукової оптимізації дозволяє поставити завдання таким чином, що дозволяє доручити програмі оптимізації пошук необхідних початкових значень змінних стану на межі періоду, які відповідають квазіусталеному режиму.

Для цього треба здійснити такі кроки:

1. Призначити параметри оптимізації.
2. Сформулювати цільову функцію (критерій оптимізації).
3. Доручити програмі пошукової оптимізації здійснити пошук таких значень параметрів, які б забезпечили необхідне значення цільової функції.

Саме в цьому полягає сутність пошукової оптимізації. Для пошуку квазіусталеного режиму перетворювальної схеми в ролі параметрів будемо призначати початкові значення змінних стану на межах періоду. В якості цільової функції слід призначити норму вектору не в'язки, яка може бути сформована як квадратний корінь із суми квадратів різниць значень змінних стану на межах періоду. При досягненні квазіусталеного режиму цільова функція повинна дорівнювати нулю, оскільки значення кожної змінної стану на початку періоду і на кінці його повинні співпадати.

В електронних таблицях MS Excel пошукова оптимізація може бути здійснена за допомогою засобу «Пошук рішення».

Мета роботи

Розрахувати значення змінних стану в квазіусталеному режимі для випрямляча з П образним фільтром.

Порядок підготовки до роботи

1. Ознайомитися з рекомендованою літературою.
2. Виконати попереднє розрахункове завдання.
3. Відповісти на контрольні питання.

Список джерел

1. С. Ю. Гусин, Г. А. Омелянов, Г. В. Резников и др. Минимизация в инженерных расчетах на ЭВМ. Библиотека М62 программ. – М.: Машиностроение, 1981. –120 с.
2. Вильям Орвис. EXCEL для ученых, инженеров и студентов. – К.: Юниор, 1999. –528 с.

Попереднє розрахункове завдання

1. Скласти систему рівнянь стану однофазного однотактного випрямляча з П - подібним фільтром з активним навантаженням.
2. Реалізувати модель випрямляча за зазначеними рівняннями в середовищі електронних таблиць Excel протягом одного періоду з урахуванням кусково-лінійної апроксимації характеристики діода.
3. Обчислити амплітуди перших гармонік напруг на конденсаторах за еквівалентною схемою складеної для першої гармоніки.

Методичні вказівки до виконання попереднього завдання

До п. 1:

Для отримання рівнянь стану скласти граф, вибрати дерево, сформувати топологічну матрицю, отримати повну систему топологічних і компонентних рівнянь і перетворити її на схему за методом змінних стану. Діод при цьому відображати резистором зі змінним опором.

До п. 2:

Для реалізації моделі в середовищі Excel здійснити такі кроки:

- а) ввести початкові значення параметрів і визначити ці ячейки унікальними іменами.
- б) сформувати стовпець модельного часу, який повинен нарощуватися на величину кроку інтегрування.
- в) забезпечити стовпець вхідної напруги випрямляча, що змінюється за синусоїдальним законом.
- г) ввести нульові початкові значення для змінних стану.
- д) забезпечити обчислення похідних за рівняннями стану.
- е) забезпечити обчислення наступних значень змінних стану за методом Ейлера.
- ж) забезпечити обчислення струму діоду і керованого ним опору діода.
- з) за допомогою маркера заповнення скопіювати виділену другий рядок моделі протягом одного періоду.

Робоче завдання

1. За даними лабораторної роботи № 4 розрахувати усталений режим випрямляча з П - образним фільтром.

2. Розрахувати амплітуди перших гармонік напруг на конденсаторах за результатами знайденого квазіусталеного режиму чисельним методом.

Методичні вказівки до робочого завдання

До п. 1:

- а) Визначити прирости змінних стану ΔV_{C1} , ΔV_{C2} , Δi_L за період $T = 2$. Занести їх у клітини, що знаходяться відповідно над клітинами з позначеннями.
- б) Визначити критерій оптимізації за наступною формулою занести його в окрему клітину
- в) Виконати команду Сервіс/Пошук рішення. У відповідному діалоговому вікні з цільовою клітиною є адреса клітини в якій визначено критерій оптимізації, клітинами що змінюють є адреси клітин початкових значень змінних стану.
- г) Натиснути в діалоговому вікні кнопку «Виконати».

До п. 2:

Амплітуди визначаються за такими загальними формулами:

$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos k\omega t dt$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin k\omega t dt$$

де a_k і b_k – коефіцієнти Ейлера-Фур'є ;
 k – порядковий номер гармоніки;
 T – період;
 ω – кругова частота.

В якості функції $f(t)$ слід обирати напруги на конденсаторах, значення інтегралів обчислюємо приблизно за формулами лівих прямокутників. Слід організувати додаткові стовпці:

- а) з функціями $\sin(\omega t)$ і $\cos(t)$ ($k=1$)
б) додаткові стовпці додатків напруги конденсатора на гармонійні функції.
в) для обчислення сум використовуємо відповідну функцію

Зміст звіту

1. Результати попереднього розрахункового завдання.
2. Таблиці й графіки для робочого завдання.
3. Висновки з приводу значень змінних стану в усталеному режимі.

Контрольні питання

1. У чому полягають умови досягнення моделлю квазіусталеного режиму?
2. Що називається критерієм оптимізації?
3. Що називається параметрами оптимізації?
4. Якими умовами визначається момент закриття тиристорів?
5. Які кроки треба здійснити, щоб реалізувати пошукову оптимізацію в електронних схемах MS EXCEL?
6. Як може бути сформована норма вектора не в'язки?
7. Як можна обчислити амплітуди перших гармонік напруг на конденсаторах?

Лабораторна робота №7
Дослідження перетворювача постійного
струму з примусовою комутацією
Загальні відомості

Перетворювачі постійного струму реалізують широтно-імпульсну модуляцію і дозволяють плавно регулювати рівень вихідної напруги і вихідного струму. Перетворювачі постійного струму широко використовуються у системах електроживлення залізничного та міського електротранспорту, де вони живлять тягові двигуни постійного струму. На велику потужність перетворювачі постійного струму будуються з використанням у якості силових ключів напівпровідникових керованих вентилів. Досить розповсюдженим варіантом є перетворювачі постійного струму з примусовою комутацією тиристорів. В таких схемах силовий тиристор вмикається у потрібний момент завдяки подачі на керуючий електрод імпульсу, після чого цей силовий тиристор переходить у провідний стан. Оскільки тиристор є напівкерованим пристроєм то для його вимикання слід забезпечити умови спадання його струму до нуля. Для цього в схему вводять вузол примусової комутації. Енергія заздалегідь запасена в вузлі комутації спрямовується у виді зустрічного струму силового тиристора. Коли струм від вузла примусової комутації перевищить струм тиристора, останній вимикається. На такому принципі струмової комутації побудовано багато різноманітних схем, одна з яких розглядається в цій лабораторній роботі.

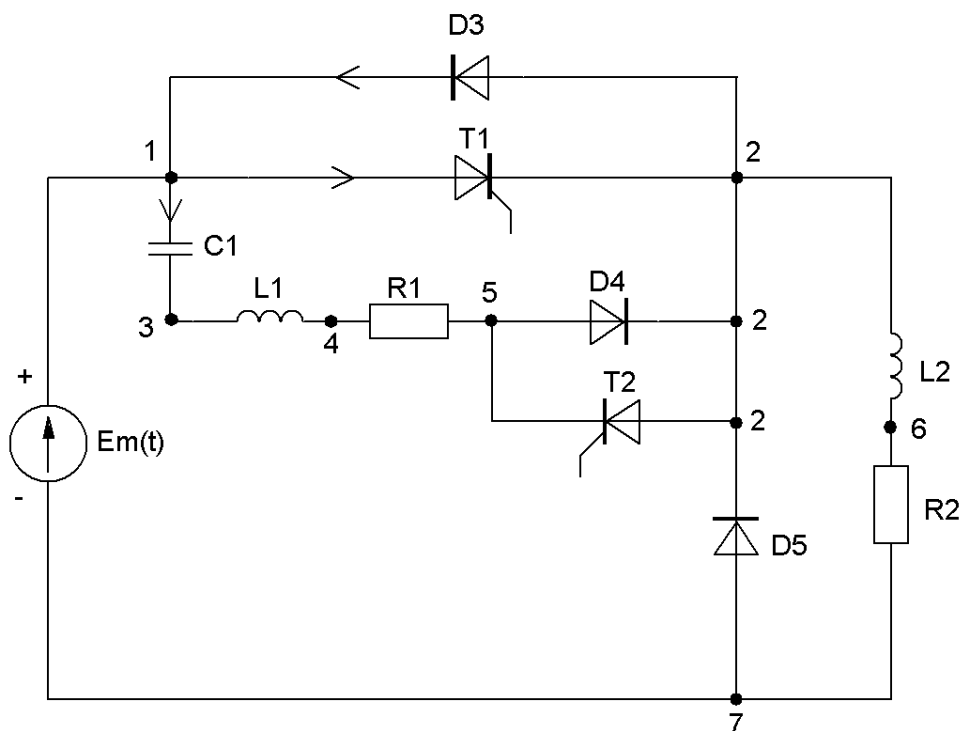


Рис. 2

Особливістю роботи схем з примусовою комутацією є складний тип періодичного режиму, коли неможливо передбачити саме у якій послідовності будуть вмикатися і вимикатися напівпровідникові вентиля. При цьому не можна фіксувати моменти змін стану вентилів, оскільки вони змінюються, тому дослідження в таких схемах електромагнітних процесів можна здійснити лише за допомогою імітаційної моделі перетворювача. Однією з таких програм є програма СІМПАТ, яка дозволяє дослідити процеси в тиристорній схемі будь-якої структури. Особливістю програми є використання в ній сигнальних часових графів, які складаються програмою автоматично за поданою топологією схеми. Коли настає новий стан вентилів, програма автоматично формує сигнальний граф і відповідні рівняння з урахуванням нового стану вентилів і далі процес розраховується шляхом інтегрування диференціальних рівнянь цього стану. Використання сигнальних часових графів забезпечує стійкість чисельної процедури інтегрування диференціальних рівнянь навіть при виникненні топологічних вироджень і явища жорсткості відповідної системи диференціальних рівнянь. Крім того, на кожному кроці інтегрування забезпечується контроль можливості переключення кожного вентиляного елемента і, якщо виникає ситуація перемикавання, то уточнюється момент зміни стану вентилів. За результатами моделювання можна побудувати графіки і проаналізувати умови роботи тиристорного перетворювача.

Мета роботи

Метою роботи є дослідження електромагнітних процесів в тиристорних схемах зі складним типом періодичного режиму за допомогою універсальної програми моделювання перетворювачів електричної енергії, що імітує процеси в автоматичному режимі.

Порядок підготовки до роботи

1. Ознайомитися з рекомендованою літературою.
2. Виконати попереднє розрахункове завдання.
3. Відповісти на контрольні питання.

Список джерел

1. Ягуп В. Г. Автоматизированный расчет тиристорных схем.– Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. Гос. Ун-те, 1986. – 160 с.
2. Бирзникс Л. В. Импульсные преобразователи постоянного тока. М., «Энергия», 1974. – 256 с.
3. Забродин Ю. С. Узлы принудительной конденсаторной коммутации тиристоров. М., «Енергія», 1974. – 128 с.

Попереднє розрахункове завдання

1. Для схеми перетворювача постійного струму зображеної на рис. 1 перевірити умови комутації повного струму навантаження.
2. Зобразити граф схеми і підготувати данні для кодування топології схеми.

Методичні вказівки до виконання попереднього завдання

До п. 1:

Для розрахунків слід задатися параметрами схеми у відносних одиницях: $E=100$; $R1 = 0,1$; $R2= 1$; $L1 = 0,01$; $L2 = 1$; $C1 = 0,04$. Вважаючи, що повний струм через навантаження проходить коли тиристор $T1$ повністю відкритий протягом періоду, а конденсатор $C1$ заряджений як мінімум до напруги джерела E обчислити амплітуду струму в комутуючому контурі $C1-L1-R1$. Амплітуда струму комутуючого контуру повинна перевищувати повний струм навантаження.

До п. 2:

Для отримання графа слід пронумерувати вузли схеми, а кожний елемент замінити орієнтованим ребром, що спрямоване за напрямком прийнятого позитивного струму. В джерелі напруги прийнятий позитивний струм направлений від вузла з більш високим потенціалом до вузла з менш високим потенціалом. Для напівпровідникових вентилів напрямок позитивного струму співпадає з напрямком прямого струму вентиля – від аноду до катоду. В решті елементів напрямок позитивного струму можна обрати довільно.

Робоче завдання

1. Ввести дані про схему в пам'ять комп'ютера з клавіатури і зберегти ці дані у файлі.
2. Провести моделювання процесів у перетворювачі постійного струму протягом десяти періодів.
3. Побудувати графіки змінних стану в розрахованому перехідному режимі.
4. Дослідити послідовність роботи вентилів у процесі примусової комутації.

Методичні вказівки до робочого завдання

До п. 1:

а) Визвати програму СІМПАТ і в меню «Схема» виконати команду «Ввод новой схемы». Вважати період управління для керуючих імпульсів $T=1$, імпульс на тиристор $T1$ повинен подаватися зі зсувом $0,25$ відносно початку періоду, а імпульс на тиристор $T2$ – зі зсувом $0,75$ (рис. 2). Для забезпечення попередньої зарядки комутуючого конденсатора в першому періоді імпульси на тиристорі слід блокувати. Початкові умови для всіх змінних стану прийняти нульовими. Крок інтегрування прийняти рівним $0,001$. Ступінь розв'язки топологічних вироджень прийняти рівним 4 . Кількість точок в періоді прийняти не менше 100 .

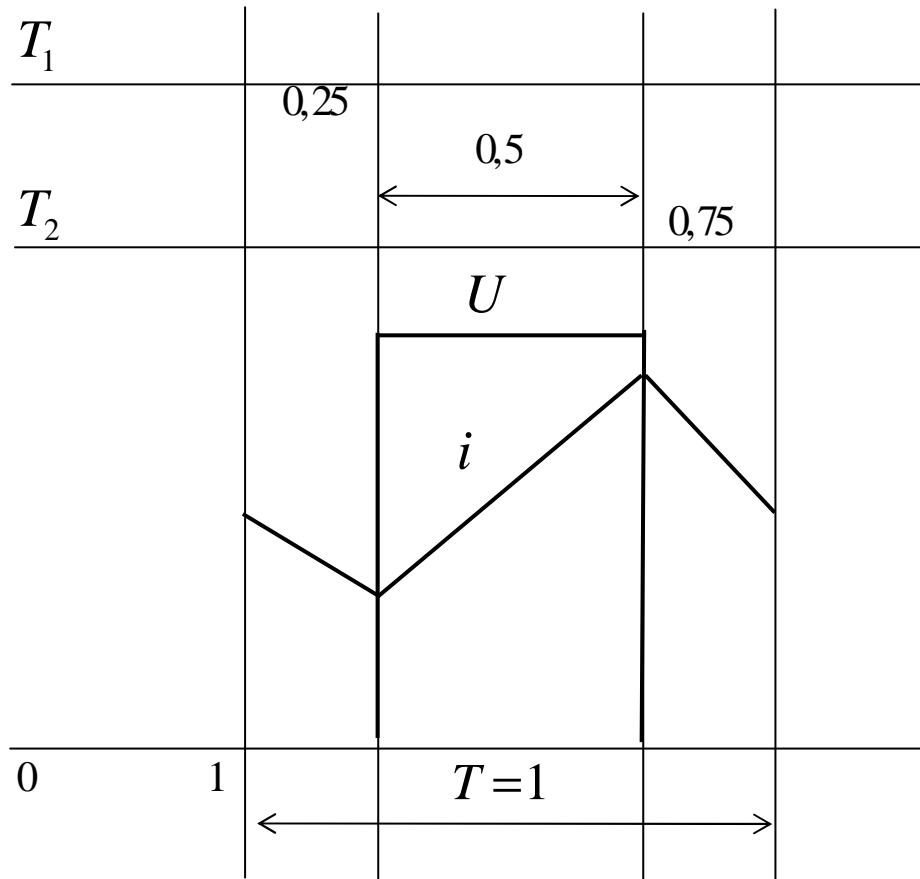


Рис. 3

б) У формі, що з'явиться після виклику команди, ввести необхідні дані за зазначеними групами, після вводу кожної групи натиснути на відповідну кнопку «ОК».

До п. 2:

Для моделювання слід з меню «Схема» виконати команду «Чтение из Файла» в окне Windows. Після цього виконати команду «Пуск». Розрахунок схеми закінчиться, коли модельний час досягне заданого кінцевого часу.

До п. 3:

Для побудови графіків слід в меню «Графики» виконати команду «Графики в Excel». В результаті буде викликаний MS Excel, в який слід завантажити файл результатів моделювання. Цей файл утворюється і заповнюється автоматично під час розрахунку схеми. Він має ім'я, що співпадає з ім'ям файлу схеми, але має розширення «rez». Система повинна бути налаштована таким чином, щоб розділювачом дрібної і цілої частин був символ «точка» (Пуск – Панель управління- Язык и региональные стандарты – кнопка «Настройка»- Разделитель целой и дробной части).

У таблиці перший стовпець відображає модельний час, далі йдуть напруги на конденсаторах і струми в індуктивностях. Побудову графіків виконуємо

виділивши необхідні стовпці й використавши кнопку «Мастер диаграмм». Для розгляду процесів комутації слід змінити масштаб осі часу.

До п. 4:

Стан кожного вентиля можна дослідити в таблиці, де останні стовпці показують в якому стані перебуває відповідний вентиль в кожний момент часу (1 – вентиль відкритий, 0 – вентиль закритий).

Зміст звіту

1. Результати попереднього розрахункового завдання.
2. Таблиці й графіки для робочого завдання.
3. Таблиця моментів перемикань тиристорів і діодів у останньому періоді.
4. Висновки з приводу впливу змін параметрів комутаційного контуру на роботу перетворювача.

Контрольні питання

1. Для чого призначені перетворювачі постійного струму?
2. У чому полягає процес широтно-імпульсної модуляції?
3. Як використовуються перетворювачі постійного струму в електротранспорті?
4. За якими принципами будуть вузли примусової комутації тиристорів?
5. У чому полягають умови успішної комутації силового тиристора?
6. Опишіть в загальних рисах принципи побудови універсальних пакетів розрахунків електромагнітних процесів напівпровідникових перетворювачах.
7. В якій послідовності вмикаються і вимикаються напівпровідникові вентиля в розглянутій схемі?
8. При наявності програми Matlab здійсніть моделювання зазначеної схеми перетворювача в системі SimPowerSystem, порівняйте результати моделювання і витрати часу на підготовку і налаштування моделей.
9. Оберіть іншу схему перетворювача постійного струму і здійсніть розрахунки в ній за допомогою програми СІМПАТ.

Навчальне видання

«ЕНЕРГЕТИЧНА ЕЛЕКТРОНІКА»

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт

(для студентів денної та заочної форм навчання
спеціальностей 7.05070103, 8.05070103 «Електричні системи
електроспоживання (за видами)»)

Укладачі: **ЯГУП** Валерій Григорович,
РУМ'ЯНЦЕВ Дмитро Валерійович,
ЯГУП Катерина Валеріївна

Відповідальний за випуск *І. О. Махов*

Редактор *М. З. Аляб'єв*

Комп'ютерне верстання *К. А. Алексанян*

План 2010, поз. 243 М

Підп. до друку 08.04.2010 р.

Друк на ризографі.

Зам. №

Формат 60×84/16

Ум.-друк. арк. 1,7

Тираж 100 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4064 від 12.05.2011 р.