

ВВЕДЕНИЕ

Руководство предназначено для студентов Электротехнического института Томского политехнического университета (ЭЛТИ ТПУ), которые изучают курс «Теоретические основы электротехники» (ТОЭ) и выполняют лабораторные работы по этой дисциплине на стендах учебно-лабораторного комплекса, разработанного в Южно-Уральском государственном университете и изготовленного в НПО «Точмашприбор».

Руководство содержит описания лабораторных работ по переходным процессам линейных электрических цепей и установившимся режимам нелинейных цепей с методическими указаниями по их выполнению с учетом специфики комплектации стендов и возможностей реализации на них цели каждой из лабораторных работ.

Общие правила работы в электротехнической лаборатории

1. В лаборатории необходимо соблюдать тишину, чистоту и порядок.
2. Перед занятием в лаборатории студенты обязаны прослушать инструктаж, познакомиться с оборудованием и изучить правила техники безопасности.
3. Для выполнения работ студенты объединяются в постоянные бригады по 2-3 человека.
4. К предстоящей лабораторной работе студенты готовятся заранее, ознакомившись с описанием работы и рекомендованной литературой. Результаты подготовки записываются в тетрадь протоколов, наличие которой обязательно для каждого студента.
5. В тетрадь протоколов при подготовке необходимо внести цель работы, основные соотношения, схемы, заготовки таблиц, ответы на контрольные вопросы.
6. По результатам выполненной работы каждым студентом аккуратно оформляется отчёт. В отчёте приводятся: цель работы, электрическая схема, основные соотношения, таблицы с результатами опытов и расчётов, примеры расчётов, графики зависимостей, сопровождаемые пояснениями, анализ полученных результатов и выводы.
7. Преподаватель принимает отчёты по предыдущей работе и проверяет готовность студента к предстоящей работе. **Н е п о д г о т о в л е н н ы е** студенты, у которых отсутствуют отчёты или тетрадь протоколов, к работе не допускаются.
8. Получив допуск к работе, студенты собирают цепь на закреплённом за ними рабочем месте. Собранный цепь предъявляется на проверку преподавателю. **Н е д о п у с к а е т с я** включение цепи без разрешения преподавателя.
9. После проверки цепи преподавателем студенты приступают к экспериментам, которые проводят с соблюдением правил техники безопасности. Результаты наблюдений и вычислений вносятся в таблицы протокола.

10. По окончании работы протокол предъявляется преподавателю. Только после подписи протокола преподавателем, студенты разбирают цепь.
11. На основании протоколов студенты производят обработку результатов наблюдений и оформляют отчёты.

Меры безопасности

1. Сборка электрических цепей производится проводами с исправной изоляцией при отключённом напряжении.
2. Включение собранных цепей в работу производится только с разрешения преподавателя.
3. Касаться руками клемм, открытых токоведущих частей приборов и аппаратов при включённом напряжении запрещается.
4. Все переключения в электрических цепях и их разборку необходимо производить только при снятом напряжении.

После выполнения работы электрическая цепь должна быть разобрана, рабочее место убрано, дополнительные приборы сданы преподавателю.

РАБОТА 12

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЦЕПЯХ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

Цель работы. Исследование переходных процессов в цепях с конденсатором, характеризующихся дифференциальными уравнениями первого порядка.

Пояснения к работе

При всяком изменении режима работы цепи, содержащей хотя бы один накопитель электрической энергии (индуктивность L или емкость C) возникают переходные процессы – процессы перехода от одного установившегося режима к другому. Мощность реальных источников в цепи конечна, поэтому связанные с энергией величины – ток в индуктивности и напряжение на емкости – могут изменяться только плавно, без скачков. В этом суть законов коммутации.

Решение системы дифференциальных уравнений, характеризующих состояние цепи, может быть найдено в виде суммы принужденной и свободной составляющих. Например, для тока: $i = i_{\text{пр}} + i_{\text{св}}$. Принужденная составляющая при постоянных и периодических источниках определяется из расчета установившегося режима ($t \rightarrow \infty$) послекоммутационной цепи и вид ее соответствует характеру источников. Свободная составляющая записывается в виде суммы экспонент $i_{\text{св}} = \sum A_k e^{p_k t}$ при различных вещественных корнях характеристического уравнения p_k . Постоянные интегрирования A_k определяются из начальных условий – зависимых и независимых.

Независимые условия (начальные значения тока в индуктивности и напряжения на емкости) определяются по законам коммутации и требуют предварительного расчета установившегося режима докоммутационной цепи. Начальные же значения остальных величин (зависимые условия) определяются из уравнений, описывающих состояние послекоммутационной цепи в первый момент после коммутации ($t = +0$).

В цепи с одним накопителем свободная составляющая содержит только один корень и одну экспоненту. Например, для схемы рис. 12.1,а $i_{\text{св}} = A_k e^{p_k t}$, причем $i = i_{\text{св}}$, поскольку в установившемся режиме постоянный ток через конденсатор не течет и $i_{\text{пр}} = 0$. До коммутации конденсатор не был заряжен, так что по второму закону коммутации $u_C(+0) = u_C(-0) = 0$. Поэтому $A = i_{\text{св}}(0) = [U - u_C(+0)]/R$. Тогда ток и напряжение при заряде конденсатора

$$\left. \begin{aligned} i(t) &= \frac{U}{R} e^{-\frac{t}{RC}}, \\ u_C(t) &= U - i(t)R = U(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \end{aligned} \right\} \quad (12.1)$$

Здесь корень характеристического уравнения $p = -(RC)^{-1}$, а постоянная времени $\tau = \frac{1}{|p|} = RC$. Она может быть найдена по экспериментально полученной зависимости $i(t)$ как длина подкасательной (рис.12.1, б).

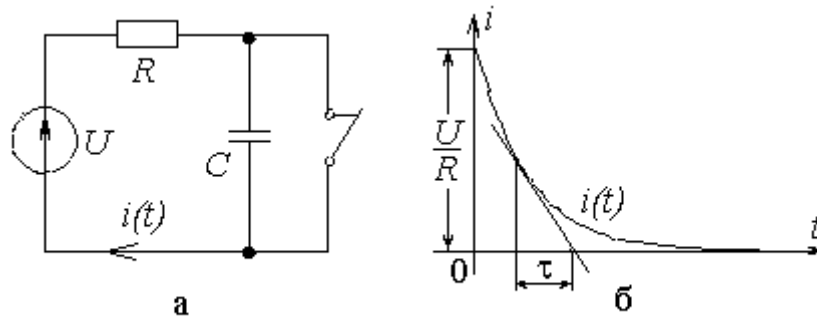


Рис.12.1

Аналогичным образом могут быть получены выражения для тока и напряжения при разряде конденсатора на сопротивление R :

$$i(t) = -\frac{U}{R} e^{-\frac{t}{RC}}; \quad u_C(t) = U e^{-\frac{t}{RC}}. \quad (12.2)$$

Схема электрической цепи

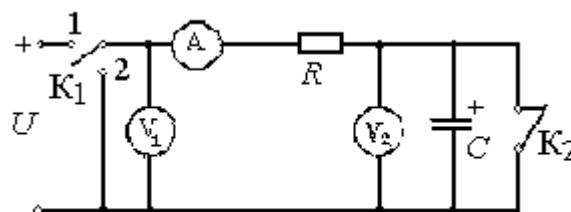


Рис.12.2

Для исследования процессов заряда и разряда конденсатора используется электрическая цепь, схема которой показана на рис. 12.2. Питание цепи осуществляется от источника постоянного регулируемого напряжения, величина которого U , а также значения R и C выбираются в соответствии с вариантом, указанным преподавателем из табл. 12.1.

Таблица 12.1

Вариант		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U	В	10	11	12	13	14	3	4	4	5	6
R	кОм	100	122	133	147	200	22	22	33	33	47
C	мкФ	100	100	100	100	100	470	470	470	470	470

В работе используются электролитические конденсаторы 100 мкФ и 470 мкФ, поэтому при сборке цепи следует обратить внимание на полярность «+» конденсатора.

Вольтметры с пределами постоянного напряжения 20 В используются для измерения напряжения источника U и напряжения на конденсаторе u_C соответственно. Амперметр с пределом постоянного тока 200 мкА измеряет значения тока i при заряде и разряде конденсатора. В качестве переключателя K_1 используется тумблер на панели источника питания, а ключ K_2 устанавливается на наборном поле.

Перед процессом зарядки конденсатора ключ K_1 находится в положении 1, а ключ K_2 замкнут. При этом напряжение на конденсаторе равно нулю и в цепи протекает ток $i = U/R$. В момент коммутации ключ K_2 размыкается. В соответствии с законом коммутации напряжение на конденсаторе в этот момент сохраняет свое значение $u_C(0) = 0$, а, следовательно, можно найти ток $i(0) = U/R$. Так что начальное значение тока в процессе зарядки конденсатора следует определить по показанию амперметра до коммутации. Во время переходного процесса значения тока i и напряжения u_C должны регистрироваться одновременно через равные интервалы (5 секунд). Отсчет времени ведется по секундомеру.

Когда конденсатор практически полностью заряжен, ключ K_1 переводится из положения 1 в положение 2. Начальное значение тока при разряде конденсатора, как следует из выражений (12.1) и (12.2), будет таким же, как и при заряде, но с противоположным знаком.

Подготовка к работе

Проработав теоретический материал, письменно ответить на вопросы.

1. В чем причина возникновения переходных процессов?
2. Сформулировать законы коммутации.
3. Как определить независимые и зависимые начальные условия, принужденные величины?
4. Как определить постоянные интегрирования в классическом методе расчета переходных процессов?
5. Что такое постоянная времени в цепи первого порядка и как ее определить графически по экспериментальным кривым тока (напряжения)?
6. Чему равна постоянная времени в исследуемой цепи R, C ?
А в цепи R, L ?
7. Вывести формулы (12.2) для расчета тока и напряжения при разряде конденсатора.
8. Как рассчитать сопротивление R в цепи рис. 12.2 по результатам измерений в начальный момент времени напряжения при разряде и тока при заряде конденсатора?

Программа работы

1. Собрать цепь по схеме рис. 12.2 и определить начальное значение тока переходного процесса $i(0)$ (ключ K_2 замкнут, переключатель K_1 в положении 1). Записать в табл. 12.2 при $t=0$ это значение тока для заряда конденсатора, и с противоположным знаком – для разряда.
2. Определить временные зависимости напряжения на конденсаторе и тока в цепи в переходных режимах зарядки и разрядки конденсатора. Результаты измерений внести в табл. 12.2.

Таблица 12.2

Экспериментальные данные						Результаты расчета					
Заряд			Разряд			Заряд			Разряд		
t	i	u_c	t	i	u_c	t	i	u_c	t	i	u_c
с	мкА	В	с	мкА	В	с	мкА	В	с	мкА	В
0			0								
5			5								
10			10								
15			15								
20			20								
...			...								

3. Построить по данным п.2 кривые $i(t)$ и $u_c(t)$. Графически определить постоянную времени τ для каждой кривой.
4. Вычислить постоянную времени $\tau = RC$ и сравнить полученное значение со средним значением τ в п.3.
5. Аналитически рассчитать зависимости $i(t)$ и $u_c(t)$ по формулам (12.1) и (12.1).
Указание. Целесообразно числовые значения тока и напряжения найти в моменты времени $t = 0, \tau, 2\tau, 3\tau$. Результаты расчета внести в табл.12.2.
6. Построить расчетные кривые $i(t)$ и $u_c(t)$ в тех же осях, что и кривые п.3.
7. Проанализировать полученные результаты, сделать выводы по работе.

РАБОТА 16

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы. Экспериментальное исследование свойств некоторых нелинейных элементов, использование этих свойств для стабилизации напряжения, освоение и проверка графического метода построения эквивалентной вольтамперной характеристики последовательно-параллельного соединения элементов.

Пояснения к работе

Для расчета цепей постоянного тока, содержащих нелинейные элементы, необходимо знать вольтамперные характеристики (ВАХ) этих элементов, т.е. зависимость напряжения на зажимах каждого из них от тока в нем. ВАХ, отдельные точки которой получены при постоянных во времени токах и напряжениях, называется статической. В основе расчета сложных нелинейных цепей лежит их систематическое упрощение, выполняемое иногда в несколько этапов.

Так, участок цепи с последовательным соединением нелинейных элементов может быть заменен одним эквивалентным элементом, ВАХ которого определяется на основании второго закона Кирхгофа

$$U(I) = \sum_{k=1}^n U_k(I)$$

по характеристикам исходных элементов путем сложения напряжений на них при одинаковых значениях тока.

Участок цепи, состоящий из параллельного соединения нелинейных элементов, также может быть заменен одним эквивалентным элементом, ВАХ которого строится на основании первого закона Кирхгофа

$$I(U) = \sum_{k=1}^n I_k(U)$$

по характеристикам исходных элементов путем сложения токов в них при одинаковых значениях напряжения.

Можно подобрать такие нелинейные элементы и таким образом включить их в цепь, что напряжение на одном из участков этой цепи будет меняться в значительно меньшей степени, чем напряжение в сети (стабилизатор напряжения). Можно сделать и так, что ток в одной из ветвей будет весьма мало зависеть от величины сопротивления в той же ветви при изменении его в довольно широких пределах (стабилизатор тока).

Схемы электрических цепей

В работе используется электрическая цепь, подсхемы частей которой показаны на рис. 16, а, б, в, г. Цепь питается от источника постоянного регулируемого напряжения $U_1 = 0 \div 15$ В и содержит не меняющуюся в процессе работы часть, которая изображена на рис.16,а.

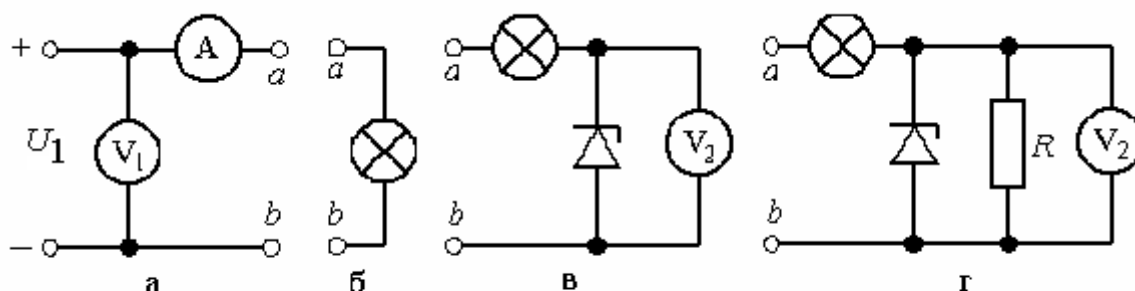


Рис.16

К точкам ab этой подсхемы подключаются либо лампа (рис.16,б), либо лампа и стабилитрон (рис.16,в), либо смешанное соединение этих элементов с линейным резистором (рис.16,г). При этом снимаются соответствующие вольтамперные характеристики: $U_L(I_L)$, $U_{CT}(I_{CT})$, $U_3(I_3)$. В последних двух схемах могут быть получены и зависимости $U_2(U_1)$ в режимах холостого хода и под нагрузкой (в качестве нагрузки рассматривается линейный резистор). Сопротивление резистора и напряжение фиксированной рабочей точки U_{1P} на эквивалентной ВАХ приведены в табл. 16.1, вариант в которой указывает преподаватель.

Для измерения токов и напряжений используются амперметры и вольтметры постоянного тока с пределами 20 мА и 20 В.

Таблица 16.1

Вариант		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R	кОм	1	2,2	1,68	2,53	3,2	3,67	1,22	1,47	1,68	2,44
U_{1P}	В	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Подготовка к работе

Проработав необходимый материал, ответить на вопросы.

1. Какой элемент называется нелинейным? Что такое его статическое и дифференциальное сопротивления и как их определить по ВАХ элемента?

2. Какие законы и теоремы линейных цепей справедливы для расчета нелинейных цепей без накопителей электрической энергии?
3. Как получить эквивалентную ВАХ последовательно соединенных нелинейных элементов и на каком законе основано это построение?
4. Как получить эквивалентную ВАХ параллельно соединенных нелинейных элементов и на каком законе основано это построение?
5. Какой должна быть характеристика нелинейного элемента, чтобы его можно было использовать для стабилизации тока, включив последовательно с приемником?
6. Какой должна быть характеристика нелинейного элемента, чтобы его можно было, включив параллельно приемнику, использовать для стабилизации напряжения?

Программа работы

1. Экспериментальное определение ВАХ лампы накаливания по схеме рис.16,а,б при изменении входного напряжения $U_1=0\div 10$ В и стабилитрона по схеме рис. 16,а,в при изменении входного напряжения $U_1=0\div 15$ В. Показания приборов (6÷10 значений) внести в табл. 16.2.
2. Экспериментальное определение ВАХ цепи со смешанным соединением элементов по схеме рис. 16,а,г при изменении входного напряжения $U_1=0\div 15$ В. При этом сопротивление резистора R выбрать из табл. 16.1 по варианту, указанному преподавателем. Показания приборов (6÷10 значений) также внести в табл. 16.2.

Таблица 16.2

<i>Лампа</i>		<i>Стабилитрон</i>			<i>Смешанное соединение</i>		
$U_1=U_L$	$I=I_L$	U_1	$I=I_{CT}$	$U_2=U_{CT}$	$U_1=U_{Э}$	$I=I_{Э}$	U_2
В	мА	В	мА	В	В	мА	В

3. Построить ВАХ $U_L(I_L)$, $U_{CT}(I_{CT})$, $U_{Э}(I_{Э})$ по данным табл. 16.2 в общих осях U и I . Здесь же построить линейную характеристику резистора $U_R=RI_R$ (проходит через начало координат).
4. Построить в тех же осях эквивалентную ВАХ $U_{ЭРС}(I_{ЭРС})$ смешанного соединения путем графического сложения характеристик отдельных

- элементов в соответствии со схемой их соединения (рис. 16,г), которую сравнить с экспериментальной ВАХ $U_3(I_3)$ п.3.
5. Определить по ВАХ п.3 значения токов $I_L = I_3$, I_{CT} , I_R и напряжений U_L , U_{CT} , U_R элементов при их смешанном соединении для напряжения U_{1P} , заданного преподавателем (табл.16.1).
 6. Определить по ВАХ $U_3(I_3)$ п.3 значения входного статического $R_{СТАТ}$ и дифференциального $R_{ДИФ}$ сопротивлений цепи (рис. 16,г) при напряжении U_{1P} .
 7. Построить в одних осях две зависимости $U_2(U_1)$ по данным табл. 16.2 (схемы 16,в,г). Оценить пределы удовлетворительной стабилизации напряжения по этим кривым. Вычислить коэффициент стабилизации в режиме холостого хода стабилизатора напряжения и под нагрузкой по формуле:

$$k_{СТ} = \frac{\Delta U_1 / U_{1CP}}{\Delta U_2 / U_{2CP}},$$

где ΔU – изменение соответствующего (1 или 2) напряжения в вышеуказанных пределах, а U_{CP} - среднее значение этого напряжения в тех же пределах.

8. Сделать выводы по работе.

Список литературы

1. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники: В 3 томах. – СПб.: Питер, 2003. – Том 2. – 576 с.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – М.: Высшая школа, 1996. – 638 с.
3. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.Д., Страхов С.В. Основы теории цепей. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.