

Министерство образования
и науки Российской Федерации



В. В. Белошабский, В. В. Громов

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ. НЕЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ

Учебное электронное текстовое издание

Научный редактор: проф., д-р техн. наук Ф. Н. Сарапулов

Задания на курсовые, расчетно-графические, контрольные работы и указания к их оформлению для студентов всех форм и технологий обучения направления 14.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Подготовлено кафедрой «Электротехника
и электротехнологические системы»

Екатеринбург
2017

Оглавление

Введение	3
Общие указания к оформлению работ	4
Задание 1. Магнитные цепи.....	6
Задание 2. Цепи с вентилями	9
Задание 3. Установившиеся режимы в нелинейных цепях переменного тока.....	11
Задание 4. Переходные процессы в нелинейных цепях.....	13
Библиографический список.....	15

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемые задания предназначены для выполнения студентами самостоятельных работ (СРС), предусмотренных учебными планами. Каждое задание соответствует определенной главе раздела «Нелинейные цепи» дисциплины «Теоретические основы электротехники» и имеет числовых 100 вариантов. Варианты отличаются друг от друга схемами цепи либо устройства, а также числовыми значениями параметров (задаются преподавателем).

Количество заданий и их объем студенту указываются преподавателем в зависимости от объема часов аудиторных и самостоятельных занятий по дисциплине, т. е. в соответствии с рабочей программой курса ТОЭ, формы и технологии обучения.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАБОТ

Прежде чем приступить к выполнению СРС, необходимо по литературе, указанной в рабочей программе и данной методразработке, изучить теоретические и практические положения соответствующих глав курса. Выполнение СРС закрепляет усвоение теоретического материала и облегчает подготовку к текущей и промежуточной аттестации.

При выполнении работ необходимо соблюдать ряд правил.

1. Условия решаемых задач должны быть выписаны полностью.

2. Основные положения *расчетной части* должны быть подробно пояснены:

– в начале решения указать, какие физические законы или расчетные методы предполагается использовать при решении, привести математическую запись этих законов и методов;

– все задачи с небольшими числовыми подсчетами решать в общем виде, т. е. привести формулы, лежащие в основе вычислений, проделать с ними необходимые выкладки и в конечные выражения подставить числовые значения величин;

– при подстановке в формулу числовые значения величин записываются в том порядке, как и соответствующие им символы в формулах; размерность величин ставится только у окончательного результата;

– в задачах с громоздкими преобразованиями необходимо сначала указать общий путь решения задачи и составить соответствующие уравнения; решение уравнений удобнее вести в числовой форме;

– если решение задач подразумевает нахождение функций, то найденные выражения необходимо записать в общем виде, а их численные значения представить в виде таблиц аргумента и функции с оптимально выбранным шагом;

– в ходе решения задачи не следует изменять принятые изначально условно-положительные направления напряжений, токов и наименования элементов, узлов и т. д. Не следует изменять обозначения, заданные условием.

При нахождении одной и той же величины различными методами ее надлежит обозначать одним и тем же буквенным символом.

3. В каждом задании имеется *графическая часть*, которая должна быть выполнена с соблюдением следующих требований:

– рисунки, графики, схемы, в том числе и заданные условием задачи, не следует размещать среди текста. Они должны быть выполнены на отдельном листе бумаги, аккуратно и в удобочитаемом масштабе;

– составляются расчетные таблицы, из которых берут значения для построения графиков;

– графики и диаграммы выполняются в определенном масштабе. На графиках этот масштаб учитывается при нанесении шкал на оси координат. Текстового указания масштаба в этом случае не требуется;

– градуировка осей выполняется равномерно, начиная с нуля. Числовые значения координат точек, по которым строятся кривые, не приводятся. Весь график в целом и отдельные кривые на нем должны иметь названия;

– если на один график нужно нанести несколько кривых различной размерности, то для каждой величины должна быть своя шкала по оси ординат. Эти шкалы наносятся на вспомогательных осях.

4. Для замечаний рецензента обязательно оставляются поля, а также свободное место после каждой задачи.

5. В конце выполненной работы приводится список использованной литературы, а на титульном листе указывается дата выполнения работы и ставится подпись автора.

6. Исправление ошибок в отрецензированный текст необходимо вносить только после первоначального текста. Для повторного рецензирования сдается первоначальная работа, замечания рецензента и исправления ошибок.

7. Положительно отрецензированная работа представляется на защиту в установленном на кафедре порядке.

ЗАДАНИЕ 1. МАГНИТНЫЕ ЦЕПИ

Рассматривается установившийся режим нелинейной магнитной цепи с постоянными источниками МДС, представленной на рис. 1. Магнитопровод цепи выполнен из электротехнической стали с основной кривой намагничивания, приведенной в табл. 1. На стержнях магнитопровода размещены обмотки с числом витков w , по которым протекают постоянные токи I ; один из стержней имеет воздушный зазор δ . В табл. 2 указаны варианты размещения обмоток и воздушного зазора на стержнях знаком «+», а в табл. 3 приведены варианты геометрических размеров магнитопровода, количества витков обмоток и токов в них.

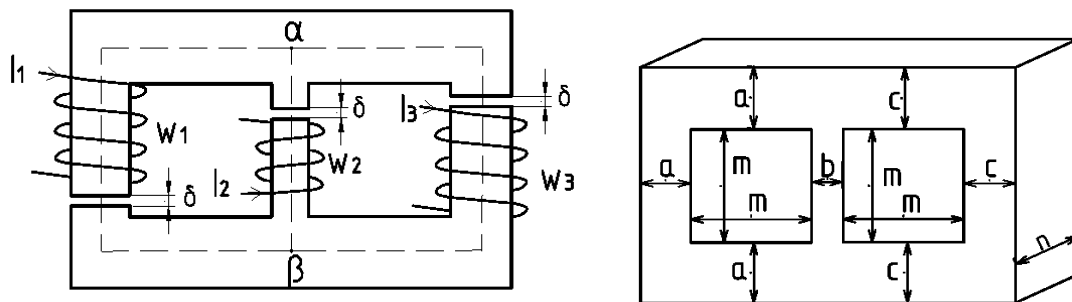


Рис. 1. Режим нелинейной магнитной цепи с постоянными источниками МДС

Требуется:

- 1) изобразить соответствующую заданному варианту магнитную цепь;
- 2) составить эквивалентную схему замещения нелинейной магнитной цепи.

Полярность источников МДС показать в соответствии с положительными направлениями токов в обмотках (см. рис. 1). Выбрать положительные направления магнитных потоков и магнитных напряжений ветвей и элементов и, используя аналоги законов Кирхгофа–Ома для магнитной цепи, записать математическую модель цепи (систему уравнений установившегося режима);

3) вычислить характеристики U_{mk} (Φ_k) элементов ($k = 1, 2, \dots$) схемы замещения по заданной кривой намагничивания и размерам магнитопровода;

4) пользуясь графоаналитическим *методом сложения характеристик*, рассчитать магнитные потоки в стержнях, а также магнитные напряжения ветвей ($U_{\alpha\beta}$ между узлами α – β) и отдельных участков магнитной цепи;

5) вычислить индукцию и напряженность магнитного поля в каждом стержне и воздушном зазоре. Проверить выполнение уравнений установившегося режима цепи (закона полного тока и принципа непрерывности магнитного потока);

б) вычислить магнитные сопротивления стальных стержней и воздушного зазора магнитопровода, а также энергию магнитного поля в стальных стержнях и воздушном зазоре магнитопровода в анализируемом режиме работы. Сопоставить между собой полученные результаты.

Примечание

Значения индукции B и напряженности магнитного поля H в промежуточных точках кривой $B(H)$ следует находить, используя линейную интерполяцию.

Таблица 1

B , Тл	0	0,25	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,25
H , А/м	0	50	64	88	113	138	170	210	250	390	530
B , Тл	1,3	1,35	1,4	1,42	1,5	1,55	1,6	1,65	1,7	1,75	
H , А/м	700	1000	1500	2000	4200	6000	7800	10000	13000	18000	

Таблица 2

Вариант схемы	Зазор на стержне			Обмотки на стержнях			Вариант схемы	Зазор на стержне			Обмотки на стержнях		
	1	2	3	1	2	3		1	2	3	1	2	3
1	+	-	-	-	+	+	6	-	+	-	+	-	+
2	-	+	-	+	-	+	7	-	-	+	+	+	-
3	-	-	+	+	+	-	8	-	+	-	+	-	+
4	-	-	-	+	-	+	9	+	-	-	-	+	+
5	+	-	-	-	+	+	10	-	-	+	+	+	-

Таблица 3

Варианты параметров		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число витков	w_1	1000	1000	500	900	2000	1250	700	1500	1500	750
	w_2	500	2000	500	1500	1000	1000	1000	700	700	1000
	w_3	1000	1000	1000	2500	800	1000	900	1000	1000	900
Токи в обмотке	$I_1,$ A	1,5	3	5	4	2	2	5	3	2	5
	$I_2,$ A	2	2	3	3	4	3,6	2	3	3	5
	$I_3,$ A	2	4	2	2	6	4	4,2	3	4	5
$\delta,$ мм	3,5	3,0	2,0	4,0	5,0	6,0	2,0	3,5	4,5	5,0	
$a,$ см	4	5	6	5	4	4	5	5	5	5	
$b,$ см	4	5	6	8	6	6	6	6	6	6	
$c,$ см	4	5	6	6	6	4	4	3	3	3	
$m,$ см	10	10	10	8	8	8	12	6	6	6	
$n,$ см	8	8	8	6	6	5	5	4	4	4	

ЗАДАНИЕ 2. ЦЕПИ С ВЕНТИЛЯМИ

Рассматривается нелинейная электрическая цепь, содержащая линейные резисторы, идеальные источники ЭДС и идеальные диоды, работающие в режиме ключей. Вольт-амперная характеристика диодов аппроксимируется двумя прямолинейными отрезками (сопротивление в прямом направлении равно нулю, в обратном – бесконечности); значения сопротивлений резисторов и ЭДС источников заданы в табл. 5. Во всех вариантах цепь имеет одну структуру (три ветви, два узла), но ее элементы выбираются из табл. 4. В ней знаком «+» или «-» отмечено присутствие или отсутствие элемента в цепи, буквами C или B – согласная либо встречная направлению тока полярность включения диодов и источников. На рис. 2 показана схема цепи, соответствующая первому варианту табл. 4, по которой можно ориентироваться в изображении других вариантов цепи.

Требуется:

1) используя графоаналитический *метод сложения характеристик*, по вольтамперным характеристикам элементов построить вольтамперную характеристику каждой ветви, а затем входную характеристику всей цепи. Привести законы, по которым складываются характеристики. Графики характеристик построить в удобочитаемом масштабе. На входной кусочно-линейной характеристике указать координаты точек излома и угловые коэффициенты относительно оси тока;

2) для каждого линейного участка входной характеристики изобразить заданную схему цепи, заменив диод замкнутым либо разомкнутым ключом, соответствующим состоянию диода на рассматриваемом участке; записать аналитическое выражение входной характеристики на каждом участке;

3) качественно построить кривую входного тока цепи при синусоидальном напряжении на входе, выбрав амплитуду напряжения превосходящей напряжения всех точек излома.

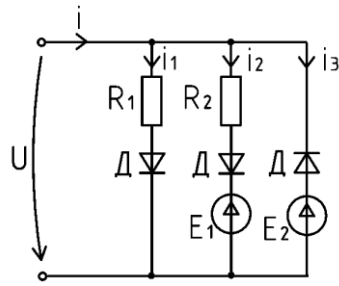


Рис. 2. Схема цепи

Таблица 4

Вариант схемы	Ветвь 1			Ветвь 2			Ветвь 3		
	R	D	E	R	D	E	R	D	E
1	+	C	-	+	C	B	-	B	B
2	+	-	-	-	C	B	+	C	C
3	+	C	B	+	-	-	+	B	B
4	+	C	-	-	C	B	+	B	C
5	+	B	C	+	B	C	+	--	--
6	+	-	-	+	B	C	+	C	C
7	+	C	-	+	C	B	+	C	B
8	+	C	B	+	C	B	+	-	-
9	+	B	C	+	-	-	+	B	B
10	+	-	-	+	C	B	+	C	C

Таблица 5

Вариант параметров	$R_1,$	$R_2,$	$R_3,$	$E_1,$	$E_2,$	Вариант параметров	$R_1,$	$R_2,$	$R_3,$	$E_1,$	$E_2,$
	Ом	Ом	Ом	В	В		Ом	Ом	Ом	В	В
1	2	2	1	3	4	8	100	200	100	10	20
2	5	10	5	8	4	9	150	200	200	15	30
3	4	4	2	5	5	10	200	100	150	20	25
4	10	10	5	6	3	11	300	200	300	30	50
5	1	2	4	5	10	12	100	200	100	15	30
6	2	3	3	6	8	13	200	100	150	10	20
7	4	8	12	10	8	14	150	200	150	10	20

ЗАДАНИЕ 3. УСТАНОВИВШИЕСЯ РЕЖИМЫ В НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Катушка с ферромагнитным сердечником, линейные резистор и конденсатор, соединенные последовательно, подключены к источнику синусоидального тока $J(t) = I_m \sin \omega t$ (рис. 3). Сопротивление резистора, емкость конденсатора и частота источника приведены в табл. 7, а веберамперная характеристика катушки задана степенным полиномом вида $\psi = aI - bi^3$, коэффициенты которого указаны в табл. 6.

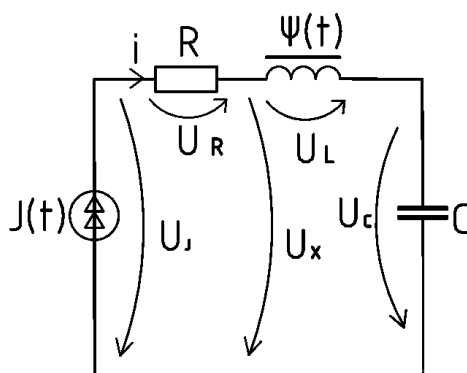


Рис. 3. Схема нелинейной цепи установившегося тока

Требуется проанализировать режим работы цепи по следующим параметрам:

1) проверить, до какого значения тока справедлива предлагаемая аппроксимация веберамперной характеристики (помня о том, что магнитный поток катушки с ростом тока должен только возрастать);

2) пользуясь *методом гармонической линеаризации*, найти амплитуду тока I_m , при которой в цепи наступает резонанс напряжений. Если рассчитанная амплитуда окажется больше предельного тока для заданной аппроксимации, то рекомендуется изменить емкость конденсатора так, чтобы устранить это противоречие;

3) для режима резонанса определить действующие значения напряжений на всех элементах цепи: резисторе, катушке, конденсаторе и источнике. Проверить выполнение баланса активной мощности в цепи.

Примечание

Вариант из табл. 6 выбирается в соответствии с первой цифрой варианта студента, а вариант из табл. 7 – в соответствии со второй цифрой варианта студента.

Таблица 6

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$a, \text{Вб/А}$	0,4	0,4	0,3	0,3	0,35	0,3	0,4	0,5	0,4	0,4
$b, \text{Вб/А}^3$	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03	0,05	0,05	0,04

Таблица 7

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R, \text{Ом}$	20	16	8	10	6	22	14	10	12	18
$C, \text{мкФ}$	35	20	40	45	30	25	50	35	45	40
$\omega, \text{с}^{-1}$	314	314	314	400	400	400	250	250	250	300

ЗАДАНИЕ 4. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЯХ

В цепи, показанной на рис. 4, содержащей резисторы, катушку с ферромагнитным сердечником и источник постоянного напряжения, происходит замыкание либо размыкание ключа. Задача заключается в анализе возникающего при этом переходного процесса.

Сердечник катушки представляет собой тороид с сечением S , длиной средней линии l ; катушка имеет w витков и активное сопротивление $R_{\text{кат}}$. Напряжение источника U и параметры цепи указаны в табл. 9.

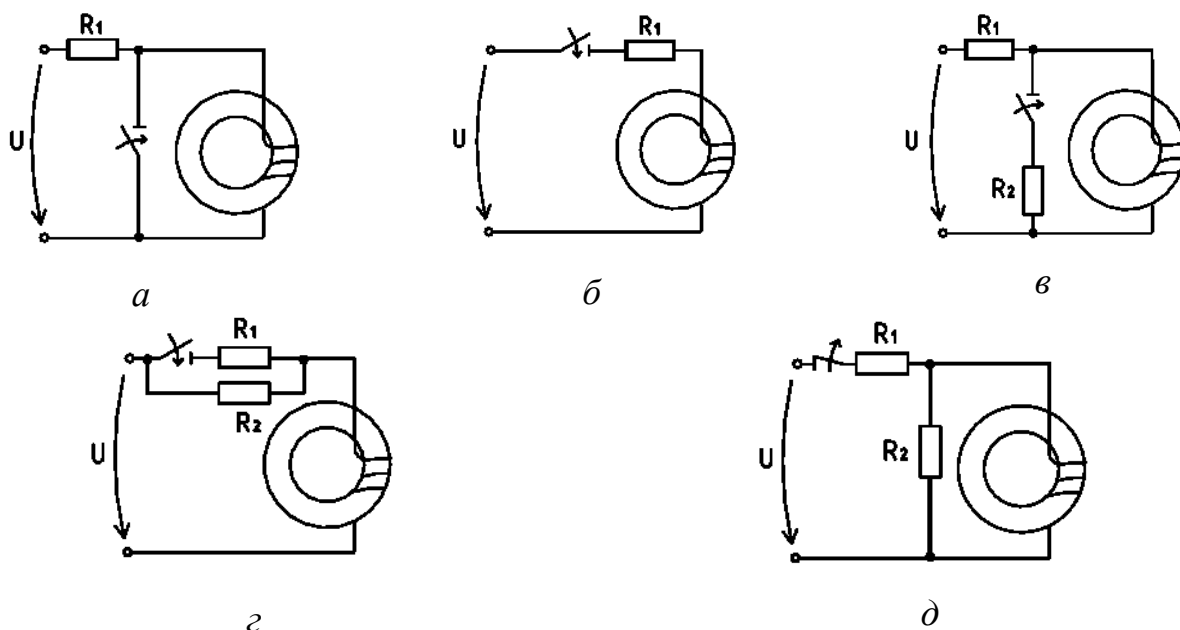


Рис. 4. Нелинейная цепь

Требуется:

1) рассчитать и построить веберамперную характеристику $\psi(i)$ нелинейной катушки по заданной кривой намагничивания $B(H)$ сердечника (см. табл. 1), его размерам и числу витков катушки;

2) используя метод кусочно-линейной аппроксимации нелинейных характеристик с сопряжением временных интервалов, рассчитать переходный процесс, т. е. найти зависимость от времени тока i , потокосцепления ψ и напряжения $u_{\text{кат}}(t)$ на зажимах катушки; построить графики указанных величин;

3) рассчитать и построить графики этих же величин, выполнив численное интегрирование методом Эйлера нелинейного дифференциального уравнения

переходного процесса цепи. Сопоставить результаты расчетов переходного процесса, полученных двумя методами.

Таблица 8

Вариант схемы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Рис. 4	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>д</i>

Таблица 9

Вариант параметров	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U, В$	60	50	40	70	80	90	30	36	64	48
$R_{кат}, Ом$	2	6	3	4	6	1,5	2	5	1	3
$R_1, Ом$	10	18	12	16	20	10	12	16	8	14
$R_2, Ом$	20	70	40	50	80	16	30	60	10	50
$l, см$	60	55	80	50	30	40	30	90	35	70
$S, см^2$	40	35	50	30	10	25	15	55	20	45
w	200	400	250	300	400	150	200	350	100	250

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Атабеков Г. И. Теоретические основы электротехники. Нелинейные электрические цепи. Электромагнитное поле. – СПб. : Лань, 2009. – 432 с.
2. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учебное пособие. – 11-е изд. – М. : Гардарики, 2006. – 701 с.
3. Громов В. В. Магнитные цепи. Катушка с ферромагнитным сердечником : методические указания по курсу «Теоретические основы электротехники». – Свердловск : УПИ, 1989. – 32 с.
4. Громов В. В. Цепи с вентилями : методические указания по курсу «Теоретические основы электротехники». – Свердловск: УПИ, 1990. – 29 с.
5. Громов В. В. Цепи со сталью : методические указания по курсу «Теоретические основы электротехники». – Свердловск: УПИ, 1989. – 21 с.
6. Методы анализа нелинейных цепей : методические указания по курсу «Теоретические основы электротехники» /А. В. Агеносов, Ф. И. Андреев, А. М. Вейнгер, В. Ю. Зуев, И. М. Серый. – Свердловск : УПИ, 1990.– 32 с.
7. Методы анализа нелинейных цепей при периодических воздействиях : методические указания по курсу «Теоретические основы электротехники» / А. В. Агеносов, Ф. И. Андреев, А. М. Вейнгер, В. Ю. Зуев, И. М. Серый. – Свердловск : УПИ, 1990. – 34 с.

Учебное электронное текстовое издание

Белошабский Василий Васильевич

Громов Владимир Васильевич

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ.
НЕЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ**

Задания на курсовые, расчетно-графические, контрольные работы
и указания к их оформлению для студентов всех форм и технологий обучения
направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Редактор

Е. Е. Афанасьева

Компьютерная верстка

В.В. Громова

Разрешен к публикации 05.05.2017

Электронный формат – pdf

Объем 0,65 уч.-изд. л.

620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19
ЦНОТ ИТОО УрФУ



Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ