



**Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Башкирский государственный аграрный университет»**

Методические указания

Б1.В.ОД.13 Теоретические  
основы электротехники

Кафедра электрических машин и  
электрооборудования

## **Б1.В.ОД.13 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
к расчетно-графической работе по дисциплине

Направление подготовки  
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки  
Энергообеспечение предприятий

Квалификация (степень) выпускника  
бакалавр

Уфа 2015

УДК 378.147.88:621.3.024  
ББК 74 58:31.21  
М 54

Рекомендовано к изданию методической комиссией энергетического факультета «26» декабря 2015 г. (протокол № 5).

Составители: ст. преподаватель Филиппова О.Г.,  
ст. преподаватель Хабибуллин М.Л.

Рецензент: доцент кафедры электроснабжения и применения электроэнергии в сельском хозяйстве к.т.н. Галимарданов И.И.

Ответственный за выпуск: зав.кафедрой электрических машин и электрооборудования д.т.н., профессор Аипов Р.С

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Указания к выполнению расчетно-графической работы	4
2. Расчет нелинейной электрической цепи методом эквивалентного генератора	5
3. Расчет разветвленной магнитной цепи	8
Библиографический список	11

# 1 УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

В процессе выполнения расчетно-графической работы (РГР) студенты должны приобрести навыки расчета линейных электрических цепей постоянного и однофазного синусоидального тока, а также трехфазных электрических цепей. Исходные параметры цепи, ее электрическая схема задаются в индивидуальных заданиях.

При выполнении РГР следует пользоваться общепринятыми обозначениями, расшифровывая их при первом применении. Решение должно сопровождаться краткими, но четкими пояснениями. Текст, формулы и числовые выкладки должны быть написаны четко и аккуратно. Все единицы измерения должны соответствовать Международной системе единиц СИ. Схемы, графики и векторные диаграммы должны вычерчиваться с соблюдением масштаба и ГОСТов.

РГР должна состоять из пояснительной записки, которая выполнена на листах формата А4 (297×210) мм. Рекомендуемый объем пояснительной записки составляет:

- при выполнении рукописным способом – 10-12 с.;
- при использовании средств оргтехники – 8-10 с.

Пояснительная записка оформляется согласно требованиям СПб БГАУ 2009 и должна включать:

- титульный лист;
- оглавление;
- задание на работу с указанием типовых схем и исходных данных для ее расчета;
- расчет электрической цепи с применением программных продуктов (Math Cad);
- проверку правильности решения;
- библиографический список.

## 2 РАСЧЕТ НЕЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ МЕТОДОМ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ГЕНЕРАТОРА

### 2.1 ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

Вольтамперные характеристики нелинейных элементов. Управляемые и неуправляемые нелинейные элементы. Параметры нелинейных элементов. Методы расчета нелинейных электрических цепей. Графический метод расчета. Анализ и расчет цепей постоянного тока с нелинейными элементами при последовательном, параллельном и смешанном их включении. Графоаналитический метод расчета нелинейных электрических цепей. Аналитический метод расчета. Аппроксимация характеристик нелинейных элементов. Метод эквивалентного генератора для расчета нелинейных электрических цепей.

### 2.2 ЗАДАНИЕ № 1

2.2.1 Задана электрическая цепь, один из элементов которой является нелинейным (рисунок 2.3, а-г). ВАХ нелинейного элемента задана таблицей. Вариант индивидуального задания и параметры элементов электрической цепи назначаются преподавателем.

По данным индивидуального задания:

2.2.1.1 Построить график ВАХ нелинейного элемента.

2.2.1.2 Определить ток через заданный нелинейный элемент и напряжение на нем методом эквивалентного генератора.

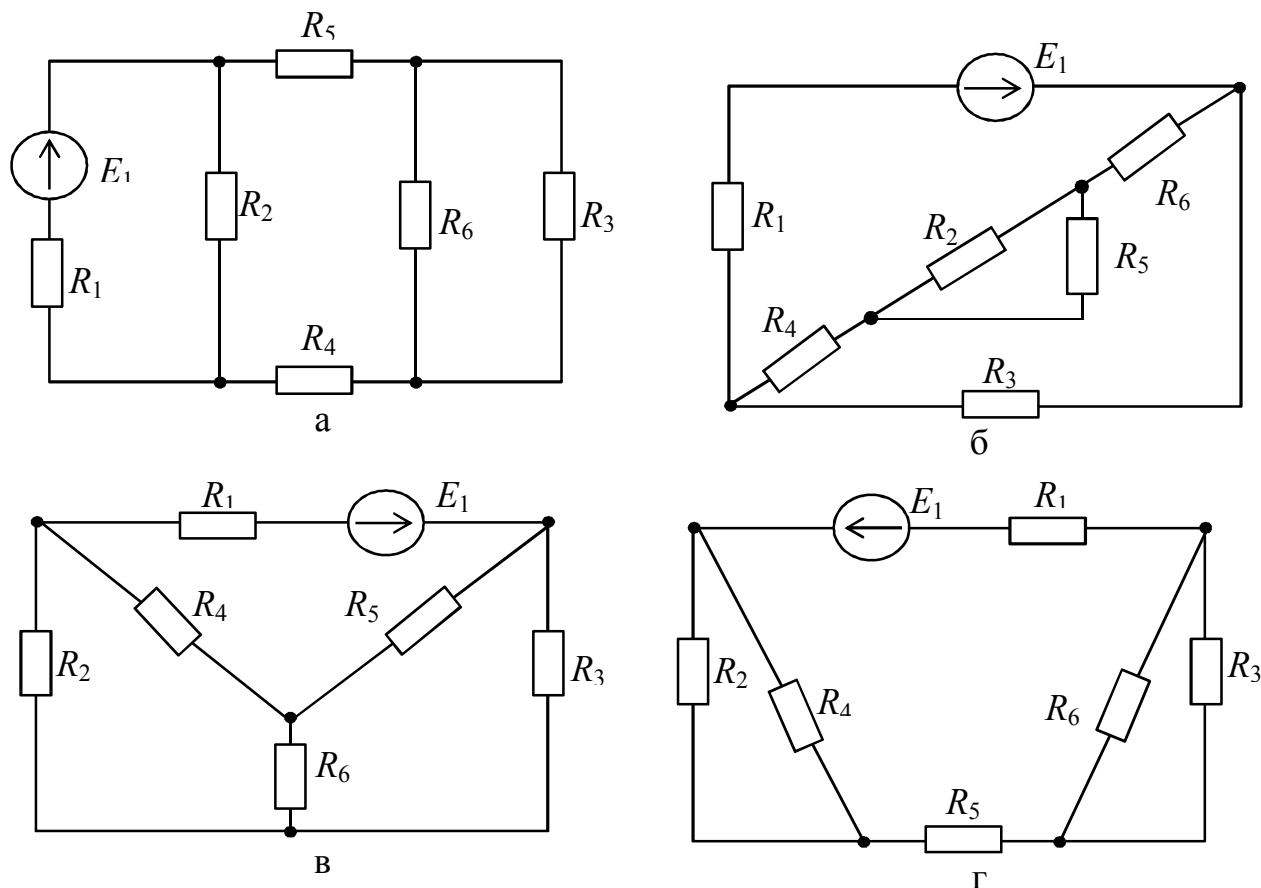


Рисунок 2.3 Варианты расчетных схем

## 2.3 ПРИМЕР РАСЧЕТА

Допустим, индивидуальное задание задано в виде таблицы 2.1, а расчетная схема представлена на рисунке 2.4, а; ВАХ нелинейного элемента представлена графиком на рисунке 2.4, б.

Таблица 2.1 Вариант индивидуального задания

$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$R_3$ , Ом	$R_4$ , Ом	$R_5$ , Ом	$E_1$ , В
30	60	20	20	ВАХ	360

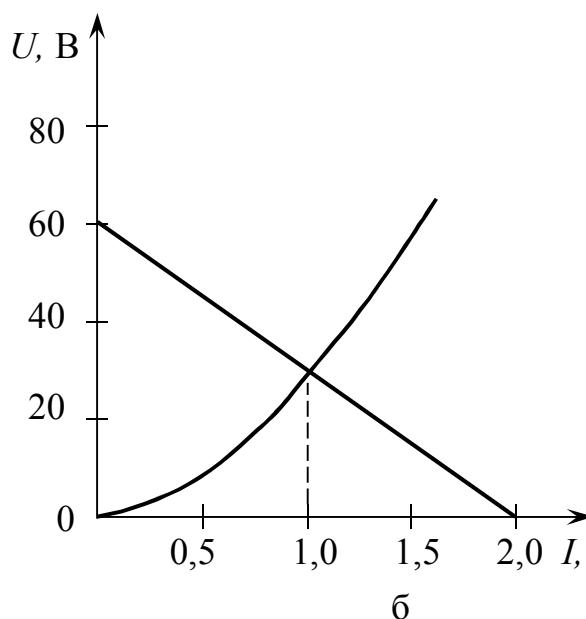
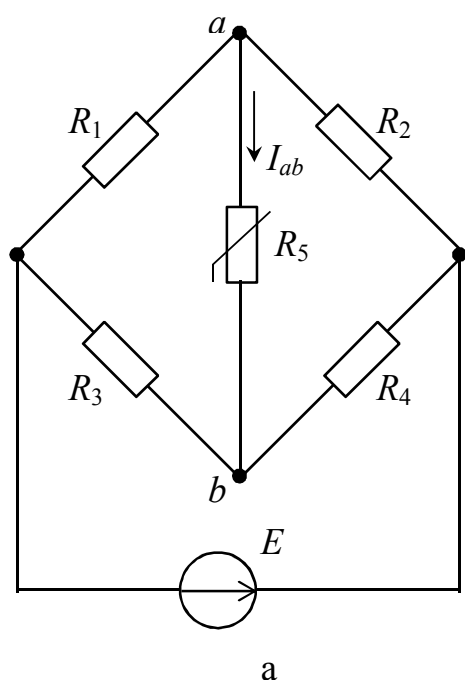


Рисунок 2.4 Расчетная схема (а) и ВАХ нелинейного элемента (б)

1. Напряжение холостого хода  $U_{abxx}$  можно найти по схеме, показанной на рисунке 2.5, а, в которой ветвь с нелинейным элементом разомкнута.

$$I_{1x} = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{360}{30 + 60} = 4 \text{ A};$$

$$I_{2x} = \frac{E}{R_3 + R_4} = \frac{360}{20 + 20} = 9 \text{ A};$$

$$U_{abxx} = I_{2x} R_3 - I_{1x} R_1 = 9 \cdot 20 - 4 \cdot 30 = 60 \text{ В.}$$

2. Внутреннее сопротивление эквивалентного генератора можно найти по схеме, показанной на рисунке 2.5, б, в которой источник E замкнут.

$$R_9 = R_{ex} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} = \frac{30 \cdot 60}{30 + 60} + \frac{20 \cdot 20}{20 + 20} = 30 \text{ Ом.}$$

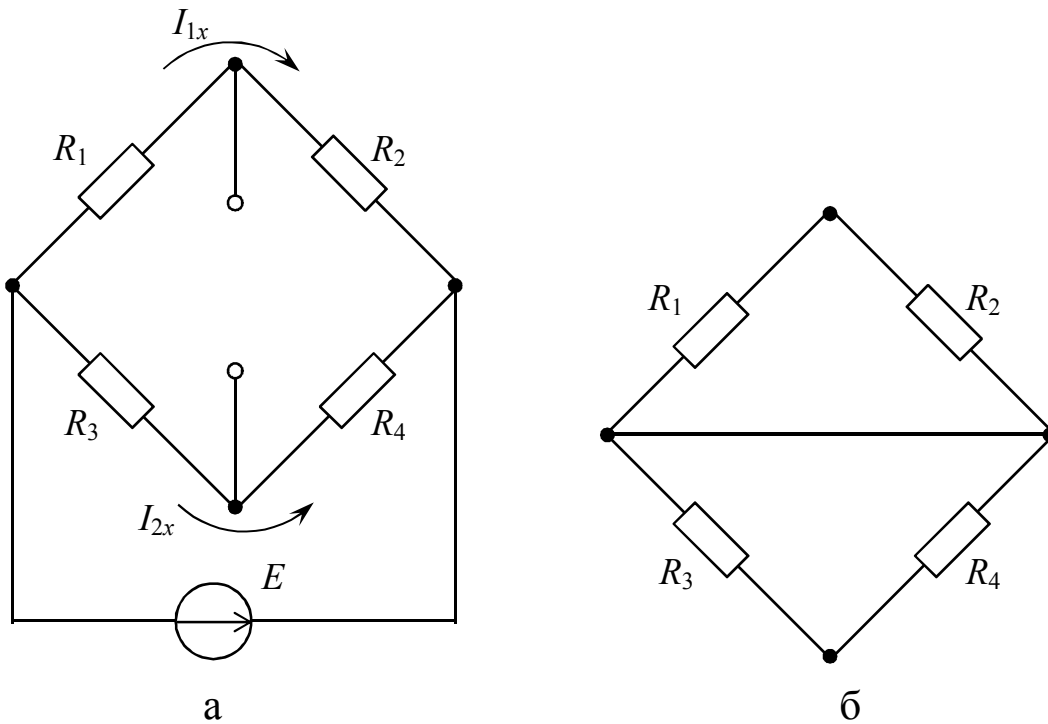


Рисунок 2.5 Определение напряжения холостого хода (а) и внутреннего сопротивления (б) эквивалентного генератора

3. Для построения внешней характеристики эквивалентного генератора определим ток короткого замыкания

$$I_{кз} = \frac{E_{\mathcal{E}}}{R_{\mathcal{E}}} = \frac{U_{abxx}}{R_{ex}} = \frac{60}{30} = 2 \text{ A.}$$

4. На рисунке 2.4, б построена внешняя характеристика эквивалентного генератора по двум точкам:

- $E_{\mathcal{E}} = 60 \text{ В}; I = 0 \text{ А};$
- $U = 0 \text{ В}; I = 2 \text{ А.}$

5. Точка пересечения внешней характеристики с ВАХ нелинейного элемента позволяет определить ток в нелинейном элементе

$$I_{ab} = 1 \text{ А.}$$

## 3 РАСЧЕТ РАЗВЕТВЛЕННОЙ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ

### 3.1 ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

Основные магнитные величины и законы магнитного поля. Магнитодвижущая сила, падение магнитного напряжения, вектор магнитной индукции, магнитный поток, закон полного тока. Законы Ома и Кирхгофа для магнитных цепей. Уравнение трансформаторной ЭДС. Свойства и характеристики ферромагнитных материалов, кривая намагничивания, петля гистерезиса. Магнитные цепи – однородные, неоднородные, неразветвленные, разветвленные, симметричные и несимметричные. Применение закона полного тока для анализа и расчета разветвленной магнитной цепи. Определение геометрических размеров магнитопровода. Прямая и обратная задачи расчета.

### 3.2 ЗАДАНИЕ № 2

2.2.1 На одном из стержней Ш-образного магнитопровода расположена обмотка с заданным числом витков (рисунок 3.1). Размеры магнитной цепи заданы в миллиметрах. В таблице 3.1 приведены характеристики намагничивания сталей магнитопровода и ярма А. Толщина листов стали  $\Delta = 0,5$  мм. Изоляция занимает 10% объема магнитопровода. Частота питающей сети  $f = 50$  Гц.

Вариант индивидуального задания (параметры магнитной цепи) определяются порядковым номером студента в списке группы или назначаются преподавателем.

По данным индивидуального задания:

3.2.1.1 В масштабе начертить расчетную магнитную цепь с указанием расчетных участков и направления магнитных потоков.

3.2.1.2 По данным таблицы 3.1 построить кривые намагничивания для заданных марок стали.

3.2.1.3 Рассчитать напряжение и ток в обмотке, необходимые, чтобы получить требуемое значение магнитной индукции в заданном участке магнитопровода.

### 3.3 УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ № 2

3.3.1 Напряжение, которое необходимо приложить к обмотке для создания требуемой индукции в заданном участке магнитной цепи определяется уравнением трансформаторной ЭДС

$$U = 4,44 wf\Phi_m,$$

где  $w$  – число витков обмотки;

$f$  – частота питающей сети, Гц;

$\Phi_m$  – амплитуда магнитного потока, Вб,

$$\Phi_m = k_{cm} B_m S,$$

где  $k_{cm}$  – коэффициент, учитывающий заполнение сечения магнито-провода сталью (определить самостоятельно);



$B_m$  – требуемая амплитуда магнитной индукции, Тл (из индивидуального задания);

$S$  – сечение магнитопровода,  $m^2$  (определить самостоятельно).

3.3.2 Для определения тока в обмотке необходимо рассчитать МДС, создаваемую протекающим током (прямая задача расчета).

Для этого:

- магнитная цепь разбивается на однородные участки;
- для всех участков, кроме стержня с обмоткой, определяется длина средней магнитной линии и площадь сечения;
- рассчитываются значения магнитного потока и магнитной индукции в каждом из участков магнитной цепи;
- по кривым намагничивания определяются значения напряженности магнитного поля для всех участков, кроме стержня с обмоткой;
- составляется уравнение по II закону Кирхгофа для магнитной цепи и определяются МДС обмотки и протекающий ток.

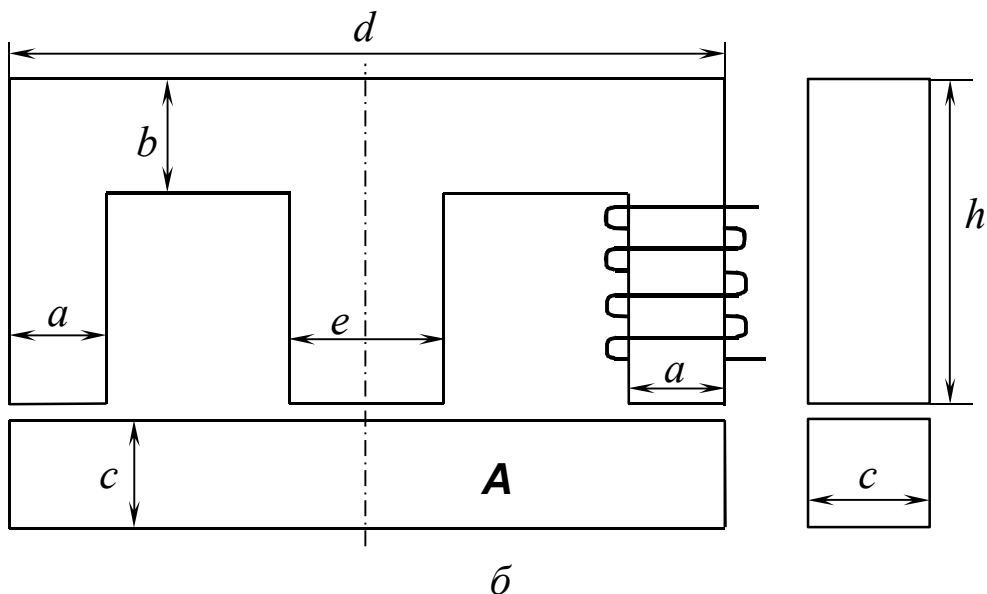
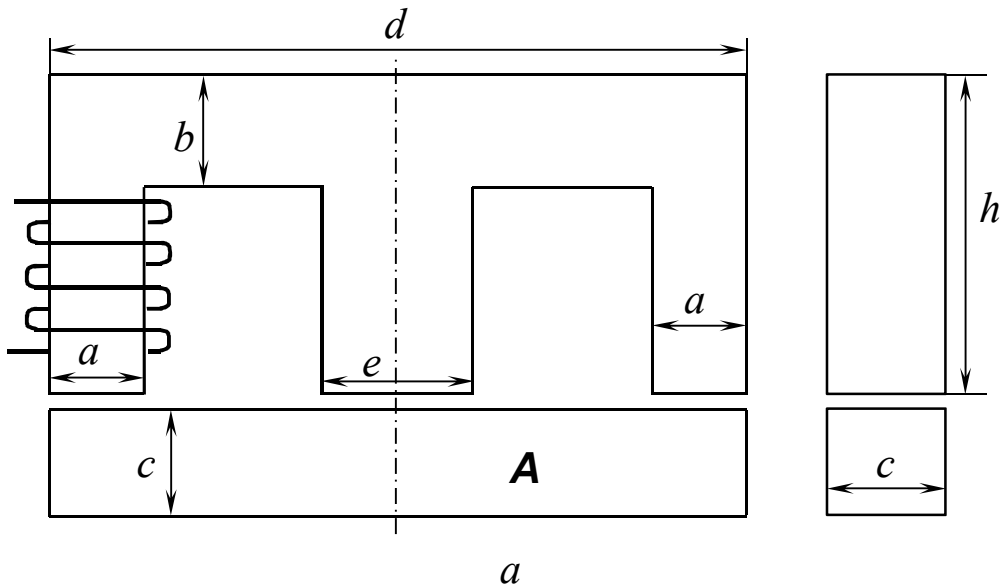


Рисунок 2.1 Варианты магнитной цепи

Таблица 2.1 Характеристики намагничивания сталей

Магнитная индукция $B$ , Тл	Напряженность магнитного поля $H$ , А/м		
	1211 1212 1311	1511 1512	Литая сталь
0,10	-	40	80
0,20	-	50	160
0,30	-	60	240
0,40	140	70	320
0,45	152	75	360
0,50	171	85	400
0,55	191	94	443
0,60	211	110	448
0,65	236	127	535
0,70	261	145	584
0,75	287	165	632
0,80	318	185	682
0,85	352	210	745
0,95	447	270	850
1,00	502	300	920
1,05	570	340	1004
1,10	647	395	1090
1,15	739	460	1187
1,20	840	540	1290
1,25	976	640	1430
1,30	1140	770	1590
1,35	1340	970	1810
1,40	1580	1300	2090
1,45	1950	1830	2440
1,50	2500	2750	2850
1,55	3280	3850	3430
1,60	4370	5150	4100
1,65	5880	6950	4870
1,70	7780	8900	5750

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теоретические основы электротехники [Текст] : учебник / А. Н. Горбунов [и др.]. – М.: УМЦ «ТРИАДА», 2003. – 304 с.
2. Рекус, Г. Г. Основы электротехники и промышленной электроники в примерах и задачах с решениями [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов / Г. Г. Рекус. – М. : Высш. шк., 2008. – 343 с.
3. Прянишников В. А. Электротехника и ТОЭ в примерах и задачах [Текст] : практ. пособие/ В. А. Прянишников [и др.] ; под ред. В. А. Прянишникова. – СПб.: Корона Принт, 2001.