

23-3962  
4.2

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

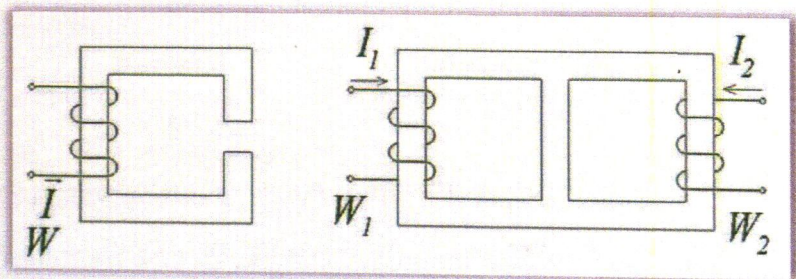
Р. С. АИПОВ, Л. Р. ГАЛЛЯМОВА, Р. Р. НУГУМАНОВ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ  
В АГРОИНЖЕНЕРИИ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

«МАГНИТНЫЕ ЦЕПИ, НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ,  
ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ»

Учебное пособие



Часть II

23-06374

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Р. С. АИПОВ, Л. Р. ГАЛЛЯМОВА, Р. Р. НУГУМАНОВ

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ В АГРОИНЖЕНЕРИИ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

«МАГНИТНЫЕ ЦЕПИ, НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ,  
ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ»

Учебное пособие

Часть II

РЕКОМЕНДОВАНО

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИМ СОВЕТОМ ФГБОУ ВО БАШКИРСКИЙ ГАУ  
В КАЧЕСТВЕ УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ ДЛЯ БАКАЛАВРОВ НАПРАВЛЕНИЙ  
35.03.06 АГРОИНЖЕНЕРИЯ, 13.03.01 ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА,  
13.03.02 ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Уфа  
Башкирский ГАУ  
2023

УДК 621.3(07)  
ББК 31.21Я7  
А36

Рекомендовано

научно-методическим советом ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ  
в качестве учебного пособия для бакалавров направлений  
35.03.06 Агроинженерия, 13.03.01 Теплотехника и теплоэнергетика,  
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

**Рецензенты:**

**Р. Р. Саттаров** – д-р техн. наук, профессор кафедры  
«Электротехника и электрооборудование предприятий» ФГБОУ ВО УНТГУ;  
**Р. Р. Галлиуллин** – д-р техн. наук, профессор кафедры «Электроснабжения  
и автоматизации технологических процессов» ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ

**Авторы:**

**Р. С. Аипов** – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры  
«Электрические машины и электрооборудование» ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ;  
**Л. Р. Галлямова** – старший преподаватель кафедры «Электроснабжения  
и автоматизации технологических процессов» ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ;  
**Р. Р. Нугуманов** – канд. техн. наук, доцент кафедры  
«Электрические машины и электрооборудование» ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ

**А36**

**Теоретические основы электротехники в агроинженерии. Конспект лекций «Магнитные цепи, нелинейные электрические цепи, переходные процессы в линейных электрических цепях»**: учебное пособие. Часть 2 / Р. С. Аипов, Л. Р. Галлямова, Р. Р. Нугуманов. – Уфа : Башкирский ГАУ, 2023. – 96 с.

**ISBN 978-5-7456-0862-9**

Конспект лекций предназначен для обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия (профиль Электрооборудование и электротехнологии). Может быть рекомендован обучающимся по направлению подготовки 13.03.01 Теплотехника и теплоэнергетика (профили Энергообеспечение предприятий, Экономика и управление на предприятии), направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (профиль Электроснабжение) и другим обучающимся направлений, изучающих электротехнику в рамках образовательной программы.

В учебном пособии рассмотрены следующие вопросы: магнитные цепи; электромагнитная индукция и механические силы в магнитном поле; нелинейные цепи постоянного тока; нелинейные цепи переменного тока; периодические несинусоидальные токи в линейных электрических цепях; электрические фильтры; переходные процессы в линейных электрических цепях.

УДК 621.3(07)  
ББК 31.21Я7

**ISBN 978-5-7456-0862-9**

© Аипов Р. С., Галлямова Л. Р., Нугуманов Р. Р., 2023  
© ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	5
Введение.....	6
1 Магнитные цепи.....	7
1.1 Магнитные цепи с постоянными магнитодвижущими силами.....	7
1.2 Магнитные цепи с переменными магнитодвижущимися силами.....	19
Вопросы для самопроверки по главе.....	20
2 Электромагнитная индукция и механические силы в магнитном поле.....	21
2.1 Явление электромагнитной индукции.....	21
2.2 Явление самоиндукции и э.д.с самоиндукции. Индуктивность.....	21
2.3 Явление взаимной индукции и э.д.с взаимной индукции. Взаимная индуктивность.....	22
2.4 Коэффициент связи.....	23
2.5 Последовательное и параллельное соединение магнитно связанных контуров.....	23
2.6 Развязка индуктивных связей двух магнитно связанных контуров.....	24
2.7 Механические силы в магнитном поле.....	25
Вопросы для самопроверки по главе.....	26
3 Нелинейные электрические цепи постоянного тока.....	27
3.1 Основные положения.....	27
3.2 Методы расчета нелинейных цепей постоянного тока.....	29
Вопросы для самопроверки по главе.....	32
4 Нелинейные электрические цепи переменного тока.....	33
4.1 Подразделение нелинейных сопротивлений.....	33
4.2 Нелинейные сопротивления как генераторы высших гармоник тока и напряжения.....	40
4.3 Основные преобразования, осуществляемые с помощью нелинейных электрических цепей.....	41
4.4 Общая характеристика методов анализа и расчета нелинейных электрических цепей переменного тока.....	42
4.5 Графический метод при использовании характеристик нелинейных сопротивлений для мгновенных значений.....	43
4.6 Аналитический метод при кусочно-линейной аппроксимации характеристики нелинейного сопротивления.....	44
4.7 Аналитический (или графический) метод расчета по первой гармонике токов и напряжений.....	44
4.8 Расчет с помощью линейных схем замещения.....	45
4.9 Расчет с помощью вычислительных машин.....	45
Вопросы для самопроверки по главе.....	45
5 Периодические несинусоидальные токи в линейных электрических цепях.....	46
5.1 Определение периодических несинусоидальных токов и напряжений.....	46
5.2 Изображение несинусоидальных токов и напряжений с помощью рядов Фурье.....	46
5.3 Некоторые свойства периодических кривых, обладающих симметрией.....	47
5.4 Расчет токов и напряжений при периодических несинусоидальных источниках питания.....	48
5.5 Резонансные явления при несинусоидальных токах.....	49
5.6 Действующее значение периодического несинусоидального тока и периодического несинусоидального напряжения.....	50

5.7	Активная и полная мощности несинусоидального тока .....	50
5.8	Замена несинусоидальных токов и напряжений эквивалентными синусоидальными .....	51
5.9	Особенности работы трёхфазных систем, вызываемых гармониками, кратным трём .....	51
5.10	Биения .....	54
5.11	Модулированные колебания .....	54
	Вопросы для самопроверки по главе .....	55
6	Электрические фильтры .....	56
6.1	Назначение и типы фильтров .....	56
6.2	Основы теории фильтров типа $k$ .....	57
6.3	Фильтры НЧ, ВЧ, полосовые и заграждающие фильтры типа « $k$ » .....	58
6.4	Качественное определение фильтра типа $k$ .....	60
	Вопросы для самопроверки по главе .....	61
7	Переходные процессы в линейных электрических цепях .....	62
7.1	Определение переходных процессов .....	62
7.2	Первый и второй законы (правила) коммутации .....	63
7.3	Начальные условия .....	63
7.4	Переходные процессы при подключении $RL$ -цепи к источнику напряжения. Классический метод .....	64
7.5	Переходные процессы в цепи с последовательным соединением $R$ и $C$ элементами .....	68
7.6	Переходные процессы при изменении параметров участков цепи .....	71
7.7	Включение $RLC$ -цепи под постоянное напряжение .....	74
7.8	Включение сложной цепи, содержащей $R$ , $L$ и $C$ элементы на постоянное напряжение .....	76
7.9	Алгебраическая система уравнений для свободных токов .....	76
7.10	Составление характеристического уравнения путем использования выражения для входного сопротивления цепи на переменном токе .....	78
7.11	Определение степени характеристического уравнения .....	78
7.12	Отрицательные знаки действительных частей корней характеристических уравнений .....	80
7.13	Характер свободного процесса при одном корне .....	80
7.14	Характер свободного процесса при двух действительных неравных корнях .....	81
7.15	Характер свободного процесса при двух равных корнях .....	82
7.16	Характер свободного процесса при двух комплексно-сопряженных корнях .....	83
7.17	Некоторые особенности переходных колебаний .....	83
7.18	О переданных процессах, сопровождающихся электрической дугой .....	84
7.19	Общая характеристика методов анализа переходных процессов в линейных электрических цепях .....	86
7.20	Классический метод расчёта .....	86
7.21	Операторный метод расчёта .....	87
7.22	Закон Ома в операторной форме .....	88
7.23	Законы Кирхгофа в операторной форме .....	89
7.24	Составление уравнений для изображений путем использования методов, рассмотренных в разделе синусоидального тока .....	90
7.25	Последовательность расчёта в операторной форме .....	91
7.26	Сравнение различных методов расчёта переходных процессов .....	92
	Вопросы для самопроверки по главе .....	93
	Список литературы .....	95