

**Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске**

Методическое обеспечение дисциплины

МАГНИТНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

(НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

Смоленск – 2020 г.

Методические материалы составил:

Доцент кафедры

«Электроники и микропроцессорной техники»

канд. техн. наук, доцент

Амелина Марина Аркадьевна

ФИО

«24» июня 2020 г.

Заведующий кафедрой «Электроники и микропроцессорной техники»:

подпись

Якименко Игорь Владимирович

ФИО

«02» июля 2020 г.

1. Методическое обеспечение лекций

Цель лекций – изучение понятийного аппарата, основных теоретических положений и методов изучаемой дисциплины, необходимых для освоения закрепленных компетенций.

1. Комплект лекций, в формате мультимедийных презентаций, расположен на сайте кафедры:
<https://drive.google.com/file/d/0B3u4J7t3fyZ2ZjBjODY3NjQtY2U3OS00ZWY2LWlzMjUtYzg5YmM4MDBmZmQz/view?usp=sharing>

Фрагменты лекций в формате мультимедийной презентации.

С.А. Амелин
Слайды к курсу лекций
Магнитные элементы электронных устройств

Информационные материалы и методические пособия размещены на сайте кафедры:
<https://sites.google.com/site/kafeim>

Получение заданной индуктивности участка цепи

Катушки индуктивности (а – бескаркасная, б – с каркасом)

Дроссель (а – с разомкнутым сердечником, б – с замкнутым сердечником)

Динамические характеристики ферромагнетиков

DC
5,000 Hertz
10,000 Hertz

$$F\left(B, \frac{dB}{dt}, \frac{d^2B}{dt^2}, \dots, H, \frac{dH}{dt}, \frac{d^2H}{dt^2}, \dots\right) = 0$$

$$F\left(H, B, \frac{dB}{dt}\right) = 0$$

Динамические потери в магнитных компонентах

Потери из-за вихревых токов

$$P_{\text{вих}} = \xi \frac{f^2 B_{\text{max}}^2 \delta^2 V}{\rho}$$

$$\delta \leq \frac{a}{\sqrt{f}}$$

Обмотка сердечника
 $\delta/2$ – толщина стальной ленты
 Φ – основной магнитный поток
 $\Phi_{\text{вих}}$ – магнитный поток, создаваемый вихревым током

The skin effect

$$\Phi_{\delta} = Ba\delta \quad (a \text{ — ширина стальной ленты, } \delta \text{ — толщина})$$

Суммарное сечение $\sim 0,5 \cdot \delta \cdot l$, где l – длина сердечника

Эффект близости (proximity) между проводниками – доминирующий в образовании потерь в проводниках МЭ на ВЧ в случае использования многослойных обмоток.

Приводит к возрастанию тока в слое обмотки, наиболее удаленной от магнитопровода. Коэффициент добавочных потерь от эффекта близости:

$$k_x = 1 + 0,067 \cdot \frac{d_{\text{пр}}^2 \cdot m^2}{\lambda^2}$$

где m – число слоев провода в обмотке.

Связь между магнитными и электрическими величинами

Согласно закону полного тока:

$$H = \frac{\sum i_k \cdot W_k}{l}$$

Напряженность поля H в сердечнике однозначно определяется токами в его обмотках.

Согласно закону электромагнитной индукции:

$$e_2 = -W_2 \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\psi_2}{dt}, \quad u_1 = e_1 = W_1 \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d\psi_1}{dt}, \quad d\Phi = S dB$$

$$S = h \cdot \frac{D-d}{2}, \quad e_2 = -W_2 \cdot S \frac{dB}{dt}, \quad u_1 = W_1 \cdot S \frac{dB}{dt} \Rightarrow$$

$$\Delta B = \frac{-\int e_2 dt}{W_2 \cdot S}, \quad \text{или} \quad \Delta B = \frac{\int u_1 dt}{W_1 \cdot S}$$

$\int u_1 dt$ – вольт-секундная площадь

Изменение индукции в сердечнике ΔB пропорционально вольт-секундной площади напряжения, приложенного к обмотке.

Сравнительная характеристика магнитных материалов

Название материала	Состав	Начальная магнитная проницаемость $\mu_{\text{нач}}$	Магнитная индукция насыщения $B_{\text{н}}$, Тесла	Температура Кюри T_c , °C	Коэффициентная сила H_c , А/м	Плотность ρ , г/см ³
Электротехническая сталь (Magnesil)	3% Si 97% Fe	1500	1.5–1.8	750	30–50	7.3
Пермаллюр (Supermendur)	49% Co 49% Fe 2% V	800	1.9-2.2	940	12–28	8.15
Низколегированный пермаллой (Ortholloy)	50% Ni 50% Fe	2000	1.42-1.58	500	8–16	8.24
Высоколегированный пермаллой с ППГ (Si, Permallyou)	79% Ni 17% Fe 4% Mo	12000–100000	0.66-0.82	460	1.6–3.2	8.73
Высоколегированный пермаллой (Supermalloy)	78% Ni 17% Fe 5% Mo	10000–50000	0.65-0.82	460	0.5–0.64	8.76
Аморфный 2605-SC	81% Fe 13.5% B 3.5% Si	3000	1.5-1.6	370	2.4–6.4	7.32
Аморфный 2714A	66% Co 15% Si 4% Fe	20000	0.5-0.58	205	0.25–1.6	7.59
Ферриты	MnZn	750–15000	0.3-0.5	100–300	3.2–20	4.8

Намагничивание сердечника последовательностью импульсов в одноконтурных схемах

Скважность однополярных импульсов достаточна для того, чтобы ток намагничивания успевал спадать до нуля к приходу следующего импульса. При $E = \text{const}$, $t_{\text{пр}} = \text{const}$ намагничивание магнитопровода происходит при $\Delta B = \text{const}$.

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta B}{\Delta H} = \frac{B_{\text{н}} - B_{\text{рн}}}{H_{\text{н}}}$$

2. Методическое обеспечение лабораторных работ

Цель лабораторных работ – закрепление лекционного материала, привитие навыков применения теоретических знаний для решения научно-исследовательских задач, необходимых для освоения закрепленных компетенций.

Задания и методические указания к лабораторным работам расположены по ссылке:

Отдельные ЛР: <https://drive.google.com/drive/folders/1GN2LrPMTwWZyyU1AzyodUFboN-sjA3dn?usp=sharing>

Пример задания на лабораторную работу.

Задание на лабораторную работу 2 «Перемагничивание катушки с нелинейным сердечником»

1. Исследование процессов в катушке индуктивности с нелинейным сердечником

1.1 Собрать схему для исследования гистерезисной характеристики перемагничивания $B(H)$ магнитного сердечника с параметрами по умолчанию (рис. 3.2). Имя модели в источнике $V1$ задать SIN_1HZ .

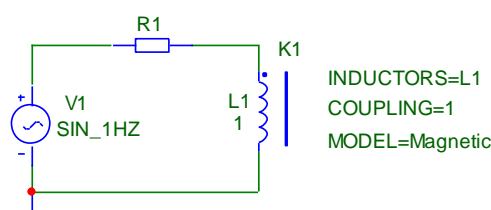


Рис. 3.2. Схема для исследования петель гистерезиса при перемагничивании синусоидальным током низкой частоты

1.2 Используя параметры модели магнитного сердечника рассчитать приближенное значение относительной магнитной проницаемости μ и индуктивности катушки с сердечником $L1$ (см. соотношения (3.2), (3.3), табл. 3.1).

И далее пункты исследования 1.2–1.13.

2. Сравнение процессов в нелинейной и в линейной индуктивности при работе от источника ЭДС

2.1 Собрать схему рис. 3.5 для исследования процессов в катушках индуктивности (и нелинейной $L1$, и линейной $L2$) при работе от источника ЭДС. Значение линейной индуктивности $L2$ взять равным значению, рассчитанному в пункте 1.1 для $L1$. На вход катушек подключают один и тот же источник сигнала типа *Voltage Source*.

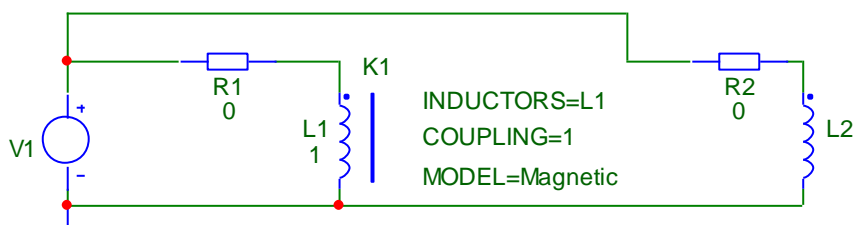


Рис. 3.5. Схема для исследования перемагничивания катушек источником ЭДС

2.2 Задать параметры источника входного сигнала $V1$ так, чтобы он выдавал симметричный двуполярный меандр амплитудой 0.5 мВ, частотой 1 Гц (см. рис. 3.6, а).

И далее пункты исследования 2.2–2.5.

3. Сравнение процессов в нелинейной и в линейной индуктивности при работе от источника тока

3.1 В схеме рис. 3.5 установить сопротивления резисторов $R1, R2$ равными значению, рассчитанному в п. 1.5 для $R1$. Амплитуду источника треугольной ЭДС взять равной значению V_m , рассчитанному в п. 8. Частота треугольного сигнала $F=1$ Гц (см. рис. 3.7). При этом к индуктивным компонентам фактически подключается источник тока.

Выполнить анализ переходных процессов в одновременно в 2-х схемах в течение 2-5 периодов входного сигнала при нулевых начальных условиях и установленном флажке Operating Point. Вывести и зафиксировать в отчете следующие графики:

И далее перечисление графиков.

3. Методическое обеспечение расчетно-графической работы

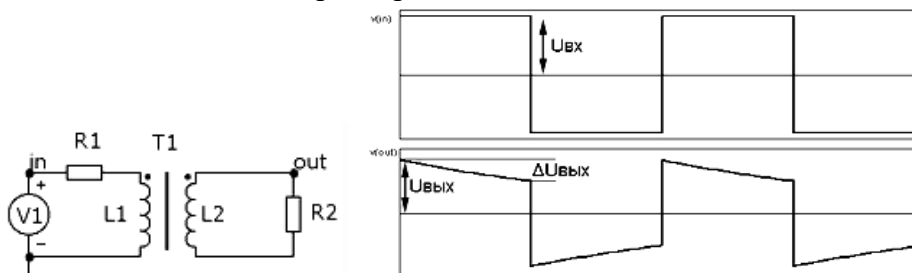
Цель расчетно-графической работы – закрепление лекционного материала, привитие навыков применения теоретических знаний для самостоятельного решения инженерных задач, необходимых для освоения закрепленных компетенций.

Задания и методические указания на расчетно-графическую работу расположены по ссылке: <https://drive.google.com/drive/folders/1bvw6unMFZH4eCFvH9rbnKQLSAqi-vHn-?usp=sharing>

Пример задания на расчётно-графическую работу.

Задание на РГР

Рассчитать параметры импульсного трансформатора, предназначенного для передачи прямоугольных импульсов заданной частоты f . Искажения вершины не должны превышать заданные значения $\Delta U_{\text{вых}}$. Емкостью обмоток пренебречь.



Для трансформатора Т1:

1. Рассчитать индуктивность первичной обмотки трансформатора.
2. Рассчитать индуктивность вторичной обмотки трансформатора.
3. Проверить полученные результаты путем моделирования в Micro-Cap при использовании трансформатора с линейным сердечником.

4. Рассчитать конструктивные параметры трансформатора (число витков, диаметр провода) для обеспечения полученной ранее индуктивности и заданного тока при использовании кольцевого ферритового сердечника из материала М2500НМ2. Плотность тока считать равной 5А/кв. мм, магнитную проницаемость считать неизменной и равной 2500.

5. Проверить возможность изготовления трансформатора с полученными параметрами. В случае невозможности изготовления трансформатора повторить расчет для ферритового кольца большего типоразмера. Предельное заполнение окна сердечника принять равным 0.4

6. Проверить полученные результаты путем моделирования в Micro-Cap при использовании трансформатора с нелинейным сердечником из материала М2500НМ2 ($M_S=390.689711K$ $A=54.009657$ $C=9.832682M$ $K=17.92692$)

Варианты заданий

Номер в журнале	$U_{\text{вх}}$, В	$U_{\text{вых}}$, В	$\Delta U_{\text{вых}}$, В	R_1 , Ом	R_2 , Ом	f , кГц
1	10	10	0.1	1	100	1
2	20	10	1	1	100	5
3	30	30	0.3	1	100	10

И далее все 30 вариантов.

4. Методическое обеспечение проведения зачета с оценкой:

Зачет с оценкой является заключительным этапом изучения дисциплины и имеет цель оценить уровень теоретических знаний обучаемых, их навыки и умения применять полученные знания при решении практических задач, а также оценить уровень освоения компетенций, закрепленных за дисциплиной.

Пособие с грифом УМО по МЭЭУ:

https://drive.google.com/file/d/1YgR_ORjcuANUMlbjsgN75qFMKNCYmWi6/view?usp=sharing

Вопросы для подготовки к зачету расположены по ссылке:

<https://drive.google.com/file/d/1BfoQr1nC9IPEvTWTANjnUMINX5iemDbtp/view?usp=sharing>

Все методические материалы по предмету МЭЭУ размещены в папке облачного хранилища по открытой ссылке:

<https://drive.google.com/drive/folders/1PHUtq865RS9LoJEM4Y3PLcSZwmKGmNGB?usp=sharing>