





МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени Н.Э. БАУМАНА

# Учебное пособие

Методическое пособие по подготовке к сдаче экзамена по дисциплине

**«Основы электротехники»**

**МГТУ имени Н.Э. Баумана**

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени Н.Э. БАУМАНА

Методическое пособие по подготовке к сдаче экзамена по дисциплине

**«Основы электротехники»**

Москва  
МГТУ имени Н.Э. Баумана

2012

УДК 681.3.06(075.8)

ББК 32.973-018

И201

Методическое пособие по подготовке к сдаче экзамена по дисциплине «Основы электротехники»  
/ Коллектив авторов –

М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 52 с.: ил.

В курсе лекций рассмотрены основные этапы курса «Основы электротехники».

Ил. 39. Табл. 5. Библиогр. 7 назв.

УДК 681.3.06(075.8)

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012

## АННОТАЦИЯ

В методическом пособии рассмотрены основные темы курса «Основы электротехники» такие как: способы расчета электрических принципиальных цепей, а именно номиналов электронном радио элементов, величину силы тока и величину напряжения на каждом из элементов электрической цепи, законы переходных процессов при подачи напряжения питания в цепь, курс оканчивается рассмотрением принципов работы электронного механического двигателя.

## ANNOTATION

In the textbook describes the main themes of the course "Fundamentals of Electrical Engineering," such as how to calculate the principal electrical circuits, namely the nominal radio electronic elements, the magnitude of the current and the voltage on each of the circuit elements, the laws of the transients in the supply voltage in the circuit course ends with a consideration of the principles of electronic mechanical engine.

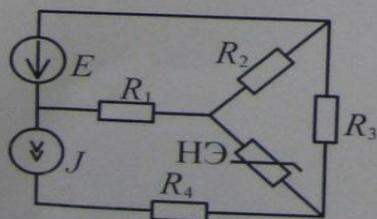
1. Вопросы.....	7
2. Задачи.....	21
3. Теория.....	33

# 1. Вопросы

Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской революции  
и ордена Трудового Красного Знамени  
государственный технический университет им. Н.Э. Баумана.

## ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

по дисциплине "ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА" ч. 2, ЗАДАЧА.



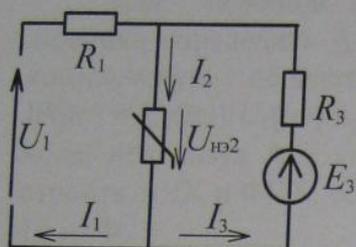
В разветвленной резистивной схеме с одним нелинейным элементом, ВАХ которого задана аналитическим выражением  $I = 0.0025 U_{НЭ}^2$ ,  $E = 100$  В,  $J = 2.5$  А,  $R_1 = 20$  Ом,  $R_2 = 30$  Ом,  $R_3 = 8$  Ом,  $R_4 = 13$  Ом. Определить все токи.

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры 02.06.2008 г.  
Подпись Зав. кафедрой .....

Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской революции  
и ордена Трудового Красного Знамени  
государственный технический университет им. Н.Э. Баумана.

## ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2

по дисциплине "ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА" ч. 2, ЗАДАЧА.

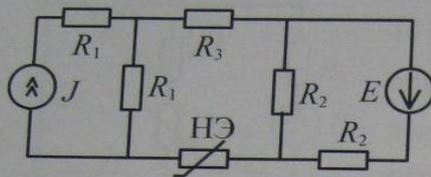


Дано:  $E_3 = 30$  В,  $R_1 = 35$  Ом,  $R_3 = 10$  Ом, вольт-амперная характеристика НЭ описывается уравнением  $I_2 = 0.01 U_{НЭ2}^2$ . Каким должно быть значение  $U_1$ , чтобы ток имел значение  $I_3 = 2$  А

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры 02.06.2008 г.  
Подпись Зав. кафедрой .....

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3**

по дисциплине "ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА" ч. 2, ЗАДАЧА.



В разветвлённой резистивной схеме с одним нелинейным элементом  $J = 1.5 \text{ A}$ ,  $E = 20 \text{ В}$ ,  $R_1 = 20 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 10 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 5 \text{ Ом}$ , ВАХ НЭ приведена в таблице. Определить все токи в схеме.

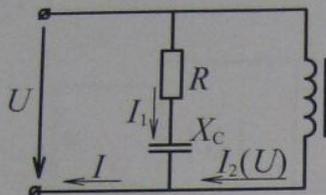
U, В	0	5	10	15	20	30
I, А	0	0.75	1	1.25	1.5	1.75

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры 02.06.2008 г.

Подпись Зав. кафедрой .....

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4**

по дисциплине "ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА" ч. 2, ЗАДАЧА.



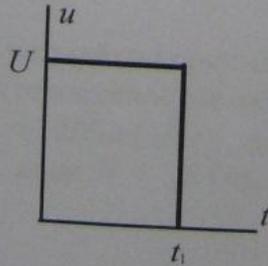
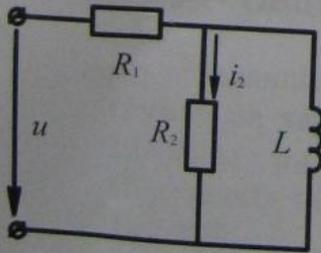
Индуктивная катушка с ферромагнитным сердечником подсоединена параллельно к резистору с конденсатором и к сети переменного тока с частотой  $\omega = 10^3 \text{ с}^{-1}$ . Пренебрегая потерями в ферромагнитном сердечнике, обмотке катушки и конденсаторе, определить, при каком значении токов и напряжении в заданной цепи будет наблюдаться феррорезонанс, если между током в обмотке и напряжением существует зависимость  $I_2 = (10^{-3}U + 9 \cdot 10^{-7}U^3) \text{ А}$ , где напряжение  $U$  измеряется в вольтах.  $R = 50 \text{ Ом}$ ,  $C = 20 \text{ мкФ}$ .

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры 02.06.2008 г.

Подпись Зав. кафедрой .....

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 5**

по дисциплине **"ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА"** ч. 2, ЗАДАЧА.



$$U = 10 \text{ В}, t_1 = 2\tau,$$

$$R_1 = R_2 = 10 \text{ Ом},$$

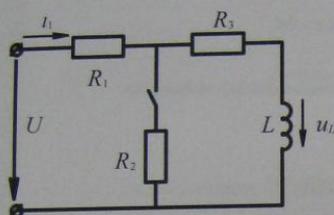
$$L = 10 \text{ мГн}.$$

Определить  $i_2(t)$  операторным ме-  
тодом, построить график.

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры 02.06.2008 г.  
Подпись Зав. кафедрой .....

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 6

по дисциплине "ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА" ч. 2, ЗАДАЧА.



$$U = 120 \text{ В}, R_1 = R_3 = 30 \text{ Ом}, R_2 = 15 \text{ Ом}$$

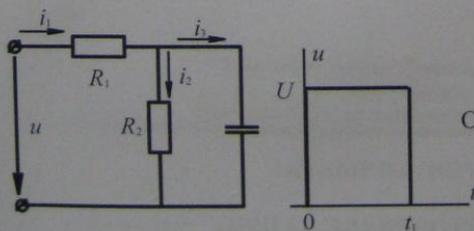
$$L = 0.4 \text{ Гн.}$$

Определить  $u_L(t)$  операторным методом и  
построить график.

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры 02.06.2008 г.  
Подпись Зав. кафедрой .....

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 7

по дисциплине "ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА" ч. 2, ЗАДАЧА.



$$U = 100 \text{ В}, t_1 = 2\tau, R_1 = 25 \text{ Ом},$$

$$R_2 = 75 \text{ Ом}, C = 200/3 \text{ мкФ}$$

Определить  $i_3(t)$  операторным мето-  
дом, построить график.

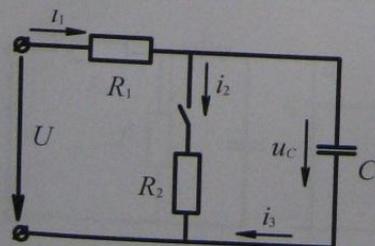
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры 02.06.2008 г.  
Подпись Зав. кафедрой .....

дано напряжение  $u = 100 \sin 100t$  В. Определить  
ток в цепи  $i(t)$ , используя метод эквивалентных синусоид.

В.	$T_2$	0	0.3	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0
----	-------	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 8

по дисциплине "ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА" ч. 2, ЗАДАЧА.



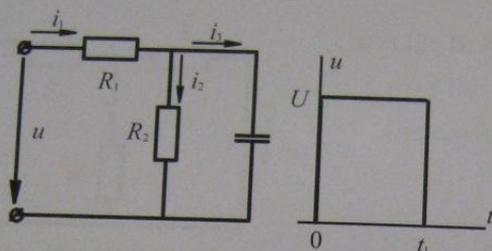
$U = 60 \text{ В}, R_1 = 10 \text{ Ом}, R_2 = 20 \text{ Ом},$   
 $C = 300 \text{ мкФ}.$

Определить  $i_3(t)$  операторным  
методом, построить график.

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры 02.06.2008 г.  
Подпись Зав. кафедрой .....

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 9

по дисциплине "ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА" ч. 2, ЗАДАЧА.



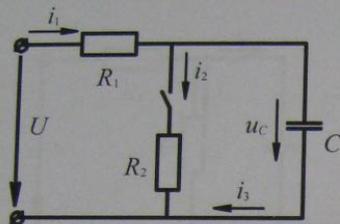
$U = 100 \text{ В}, t_1 = 2\tau, R_1 = 25 \text{ Ом},$   
 $R_2 = 75 \text{ Ом}, C = 200/3 \text{ мкФ}$

Определить  $i_1(t)$  операторным  
методом, построить график.

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры 02.06.2008 г.  
Подпись Зав. кафедрой .....

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 10**

по дисциплине "ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА" ч. 2, ЗАДАЧА.



$U = 60 \text{ В}, R_1 = 10 \text{ Ом}, R_2 = 20 \text{ Ом},$   
 $C = 300 \text{ мкФ}.$

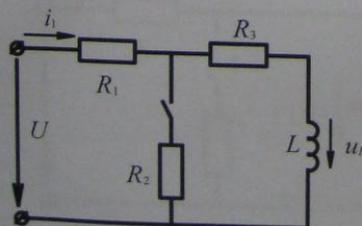
Определить  $i_2(t)$  операторным методом,  
построить график.

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры 02.06.2008 г.

Подпись Зав. кафедрой .....

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 11**

по дисциплине "ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА" ч. 2, ЗАДАЧА.



$U = 120 \text{ В}, R_1 = R_3 = 30 \text{ Ом},$

$R_2 = 15 \text{ Ом}, L = 0.4 \text{ Гн}.$

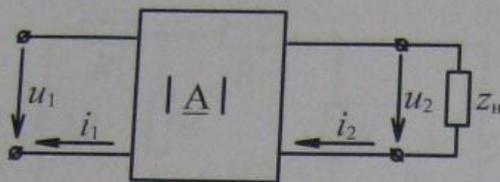
Определить  $i_1(t)$  операторным  
методом и построить график.

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры 02.06.2008 г.

Подпись Зав. кафедрой .....

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 12**

по дисциплине "ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА" ч. 2, ЗАДАЧА.



Симметричный четырёхполюсник с параметрами  $\underline{A}_{11} = j$ ,  $\underline{A}_{12} = 10 + j10$ ,  $\underline{A}_{21} = -0.1 + j0.1$  нагружен на характеристическое сопротивление. Напряжение

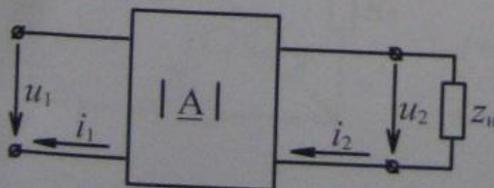
на входе  $u_1 = 14.1 \sin 10^3 t$  В. Определить  $i_1$ ,  $i_2$  и  $u_2$ , используя характеристические параметры четырёхполюсника.

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры 02.06.2008 г.

Подпись Зав. кафедрой .....

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 13**

по дисциплине "ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА" ч. 2, ЗАДАЧА.



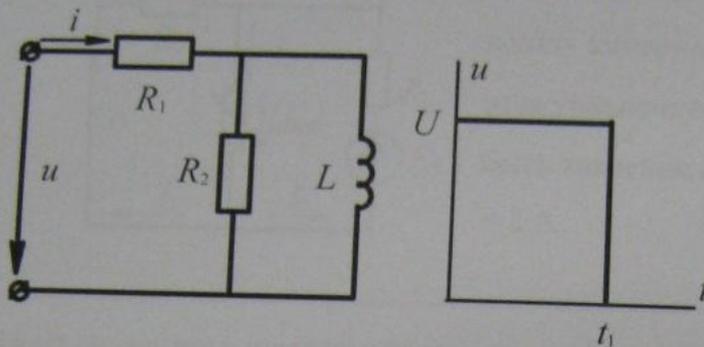
К симметричному четырёхполюснику, нагруженному на характеристическое сопротивление  $z_n = z_c = 100$  Ом, подведено напряжение  $u_1 = 50\sqrt{2} \sin(10^3 t + \pi/2)$  В, при этом ток в нагрузке  $i_2 = 0.5\sqrt{2} \sin 10^3 t$  А. Определить меру передачи четырёхполюсника,  $u_2$ ,  $i_1$ .

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры 02.06.2008 г.

Подпись Зав. кафедрой .....

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 14**

по дисциплине "ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА" ч. 2, ЗАДАЧА.



$$U = 10 \text{ В}, t_1 = 2\tau, R_1 = R_2 = 10$$

$$\text{Ом}, L = 10 \text{ мГн.}$$

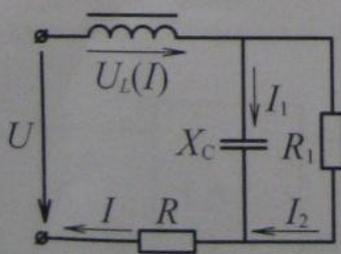
Определить  $i(t)$  операторным методом, построить график

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры 02.06.2008 г.

Подпись Зав. кафедрой .....

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 15**

по дисциплине "ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА" ч. 2, ЗАДАЧА.



Вольт-амперная амперная характеристика индуктивной катушки с ферромагнитным сердечником при частоте  $\omega = 10^3 \text{ с}^{-1}$  определяется уравнением  $U = (52I - 3I^3) \text{ В}$ , где ток  $I$  измеряется в амперах. Определить, при каком значении напряжений и токов в заданной цепи будет наблюдаться феррорезонанс, если  $R = 10 \text{ Ом}$ ,  $R_1 = 80 \text{ Ом}$ ,  $C = 12.5 \text{ мкФ}$ . Потерями в ферромагнитном сердечнике, обмотке и конденсаторе пренебрегаем.

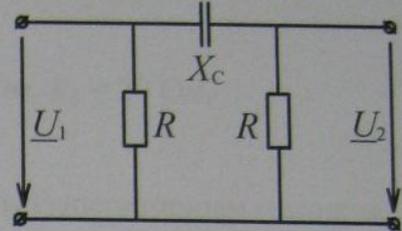
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры 02.06.2008 г.

Подпись Зав. кафедрой .....

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 16**

по дисциплине "ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА" ч. 2, ЗАДАЧА.

Для заданной схемы четырёхполюсника определить  $\underline{A}$  – коэффициенты; комплексную передаточную функцию  $W(j\omega) = U_2(j\omega)/U_1(j\omega)$  в режиме холостого хода, используя  $\underline{A}$  – коэффициенты; построить АЧХ и ФЧХ, если  $R = 10$  Ом,  $C = 10$  мкФ.

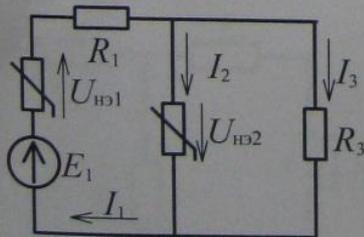


Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры 02.06.2008 г.

Подпись Зав. кафедрой .....

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 17**

по дисциплине "ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА" ч. 2, ЗАДАЧА.



$R_1 = 7$  Ом,  $R_3 = 30$  Ом, ВАХ нелинейных резистивных элементов описывается уравнением  $I_1 = 0.02U_{HЭ1}^2$ ,  $I_2 = 0.05U_{HЭ2}^2$ . Каким должно быть в заданной схеме значение  $E_1$ , чтобы ток  $I_3$  был равен 0.2 А.

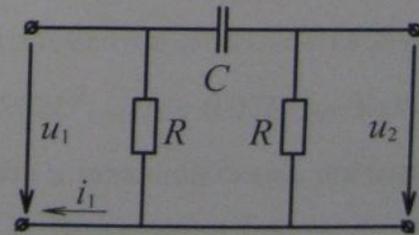
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры 02.06.2008 г.

Подпись Зав. кафедрой .....

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 18**

по дисциплине **"ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА"** ч. 2, ЗАДАЧА.

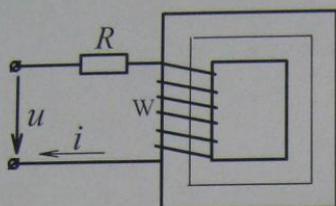
Заданный четырёхполюсник нагружен на характеристическое сопротивление.  $u_1(t) = 20\text{Sin}(10^3t + \pi/2)\text{В}$ .  
Определить  $i_1(t)$ , если  $R = 10\text{ Ом}$ ,  $C = 100\text{ мкФ}$ .



Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры 02.06.2008 г.  
Подпись Зав. кафедрой .....

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 19**

по дисциплине **"ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА" ч. 2, ЗАДАЧА.**

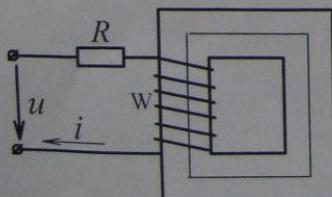


Идеальная катушка индуктивности с ферромагнитным сердечником последовательно соединена с резистором. Сопротивление резистора  $R = 60$  Ом, число витков катушки  $w = 500$ , сечение магнитопровода  $S = 0.0004$  м<sup>2</sup>, а его средняя линия  $l = 50$  мм. Кривая намагничивания сердечника описывается уравнением  $B_m = 0.01 \sqrt{H_m}$ . К цепи подведено напряжение  $u = 100 \sin 400t$  В. Определить ток в цепи  $i(t)$ , используя метод эквивалентных синусоид.

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры 02.06.2008 г.  
Подпись Зав. кафедрой .....

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 20**

по дисциплине **"ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА" ч. 2, ЗАДАЧА.**



Идеальная катушка индуктивности с ферромагнитным сердечником последовательно соединена с резистором. Сопротивление резистора  $R = 50$  Ом, число витков катушки  $w = 100$ , сечение магнитопровода  $S = 0.01$  м<sup>2</sup>, а его средняя линия  $l = 20$  см. Кривая намагничивания сердечника задана в табличной форме. К цепи подведено напряжение  $u = 100 \sin 100t$  В. Определить ток в цепи  $i(t)$ , используя метод эквивалентных синусоид.

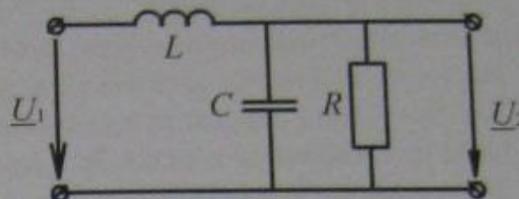
$B_m$ , Тл	0	0.3	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0
$H_m$ , А/м	0	100	250	500	700	1000	2000

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры 02.06.2008 г.  
Подпись Зав. кафедрой .....

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 21**

по дисциплине "ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА" ч. 2, ЗАДАЧА.

Определить передаточные функции  
четырёхполюсника  $W(s) = U_2(s)/U_1(s)$ ,  
 $W(j\omega) = U_2(j\omega)/U_1(j\omega)$ . Определить и  
построить его частотные характеристики  
для значений  $C = 10$  мкФ,  $R = 100$  Ом,  $L = 50$  мГн.



Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры 02.06.2008 г.

Подпись Зав. кафедрой .....

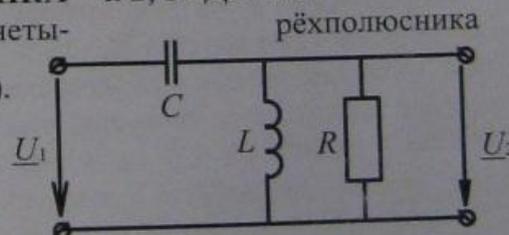
**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 22**

по дисциплине "ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА" ч. 2, ЗАДАЧА.

Определить передаточные функции четырёхполюсника  
 $W(s) = U_2(s)/U_1(s)$ ,  $W(j\omega) = U_2(j\omega)/U_1(j\omega)$ .

Определить и построить его частотные  
характеристики для значений  $C = 20$   
мкФ,  $R = 100$  Ом,

$L = 100$  мГн.

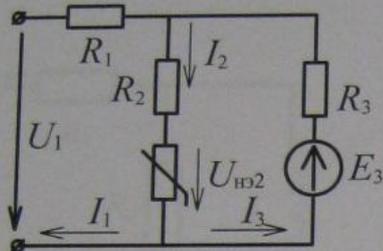


Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры 02.06.2008 г.

Подпись Зав. кафедрой .....

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 23**

по дисциплине **"ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА" ч. 2, ЗАДАЧА.**



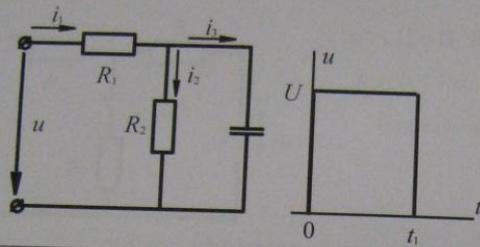
Дано:  $E_3 = 50$  В,  $R_1 = 10$  Ом,  $R_2 = 10$  Ом,  $R_3 = 15$  Ом, вольт- амперная характеристика НЭ описывается уравнением  $I_2 = 0.01 U_{НЭ2}^2$ . Каким должно быть значение  $U_1$ , чтобы ток имел значение  $I_3 = 2$  А

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры 02.06.2008 г.

Подпись Зав. кафедрой .....

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 9**

по дисциплине "ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА" ч. 2, ЗАДАЧА.

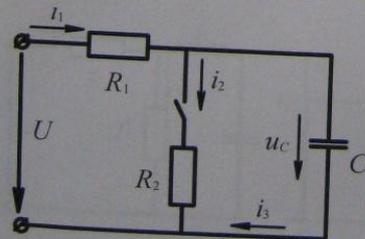


$U = 100 \text{ В}, t_1 = 2\tau, R_1 = 25 \text{ Ом},$   
 $R_2 = 75 \text{ Ом}, C = 200/3 \text{ мкФ}$   
Определить  $i_1(t)$  операторным  
методом, построить график.

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры 02.06.2008 г.  
Подпись Зав. кафедрой .....

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 8**

по дисциплине "ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА" ч. 2, ЗАДАЧА.



$U = 60 \text{ В}, R_1 = 10 \text{ Ом}, R_2 = 20 \text{ Ом},$   
 $C = 300 \text{ мкФ}.$   
Определить  $i_3(t)$  операторным  
методом, построить график.

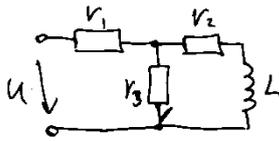
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры 02.06.2008 г.  
Подпись Зав. кафедрой .....

дано напряжение  $u = 100 \sin 100t \text{ В}$ . Определить ток в цепи  $i(t)$ , используя метод эквивалентных синусоид.

$\text{В}_m, \text{Тл}$	0	0.3	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0
-------------------------	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----

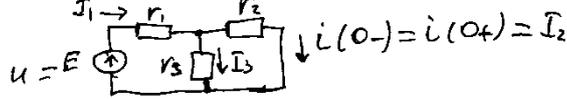
2. Задачи

N2:



$r_1 = r_2 = r_3 = 10 \text{ Ом}; L = 20,01 \text{ Гн}. U = 30 \text{ В}.$

До замык:

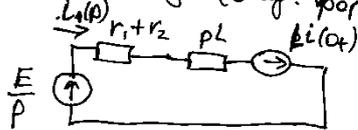


$$\begin{cases} I_1 = I_2 + I_3 \\ I_2 r_2 = I_3 r_3 \\ I_1 r_1 + r_2 \cdot I_2 = E \end{cases} \Rightarrow I_2 = I_1 - I_3 = \frac{E - I_2 \cdot r_2}{r_1} - \frac{I_2 r_2}{r_3} \Rightarrow$$

$I_2 = \frac{E - I_2 \cdot r_2}{r_1} = \frac{30 - 1 \cdot 10}{10} = 2 \text{ А}.$

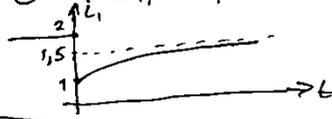
$I_2 \left( 1 + \frac{r_2}{r_1} + \frac{r_2}{r_3} \right) = \frac{E}{r_1} \Rightarrow I_2 = 1 \text{ А}.$

После замык. (опер. форма):

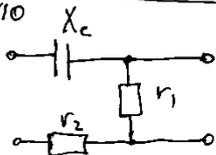


$i_1(p) = \frac{\frac{E}{p} + L i(0+)}{r_1 + r_2 + pL} = \frac{3000}{p(p+2000)} + \frac{1}{p+2000} =$

$= \frac{3000}{2000} (1 - e^{-2000t}) + e^{-2000t} = 1,5 - 0,5 e^{-2000t}$



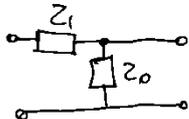
N10



$r_1 = r_2 = 50 \text{ Ом};$

$X_c = 100 \text{ Ом}.$

$Z_{2H} = 100 \text{ Ом}.$



$Z_1 = 50 - 100j.$

$Z_0 = 50 \text{ Ом}. Z_2 = 0.$

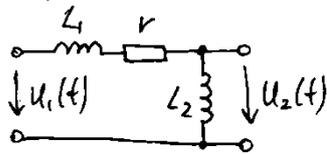
$A_{11} = 1 + \frac{Z_1}{Z_0} = 1 + \frac{50 - 100j}{50} = 2 - 2j; A_{12} = Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_0} = Z_1 = 50 - 100j.$

$A_{22} = 1 + \frac{Z_{20}}{Z_0} = 1 + \frac{0}{50} = 1; A_{21} = \frac{1}{Z_0} = \frac{1}{50}.$

А.  $Z_{2K} = \frac{U_2}{I_2} \Rightarrow Z_{160} = \frac{A_{11} U_2 + A_{12} I_2}{A_{21} U_2 + A_{22} I_2} = \frac{A_{11} \cdot Z_{2H} + A_{12}}{A_{21} Z_{2H} + A_{22}}$

$= \frac{(2 - 2j)100 + 50 - 100j}{\frac{1}{50} \cdot 100 + 1} = \frac{250}{3} - 100j.$

№9:



Найти  $K_u(s) = \frac{U_2(s)}{U_1(s)}$ , АЧХ, ФЧХ.  
 $L_1 = 8 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}; L_2 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}, r = 200 \text{ Ом}.$

$$K_u(s) = \frac{U_2(s)}{U_1(s)} = \frac{L_2 \cdot s}{r + (L_1 + L_2) \cdot s} = \frac{0,85}{s + 20000}$$

$$K_u(j\omega) = \frac{j\omega L_2}{r + j\omega(L_1 + L_2)} = \frac{\omega L_2}{\sqrt{r^2 + \omega^2(L_1 + L_2)^2}} \cdot \frac{e^{j \arctg \frac{\omega L_2}{r}}}{e^{j \arctg \frac{\omega(L_1 + L_2)}{r}}}$$

$$\text{АЧХ: } A(\omega) = \frac{\omega L_2}{\sqrt{r^2 + \omega^2(L_1 + L_2)^2}} = \frac{L_2}{\sqrt{(\frac{r}{\omega})^2 + (L_1 + L_2)^2}}$$

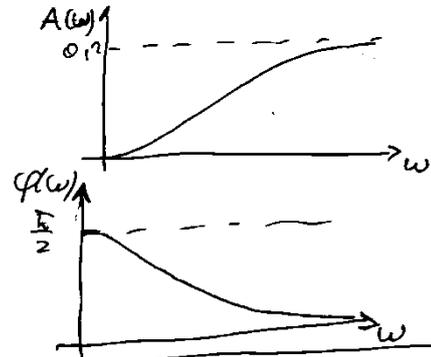
$\omega = 0 \rightarrow A(\omega) = 0.$

$\omega = \infty \rightarrow A(\omega) = \frac{L_2}{L_1 + L_2} = \frac{2}{10} = 0,2.$

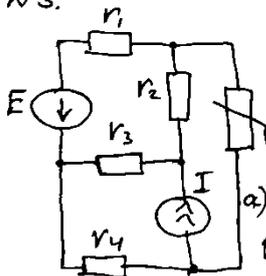
ФЧХ:  $\varphi(\omega) = \frac{\pi}{2} - \arctg \frac{\omega(L_1 + L_2)}{r}$

$\omega = 0 \rightarrow \varphi(\omega) = \frac{\pi}{2};$

$\omega = \infty \rightarrow \varphi(\omega) = 0.$



№3.



$r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = 12 \text{ Ом}.$   
 $E = 60 \text{ В}; I = 5 \text{ А}.$

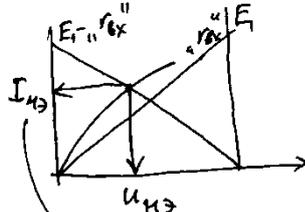
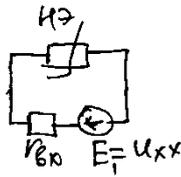
Решим методом узлов. выберем:

$$I_{11}(r_1 + r_2 + r_3) - I_{22}r_3 = E, \quad I_{22} - I = 5 \text{ А} \Rightarrow$$

$$I_{11} = 0,$$

$$U_{XX} = E + I_{22}r_4 = 60 + 5 \cdot 12 = 120 \text{ В}.$$

$$r_{6x} = r_4 + \frac{r_4(r_2 + r_3)}{r_1 + r_2 + r_3} = 20 \text{ Ом}.$$



Откуда находим ток:

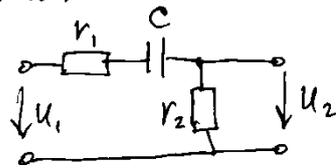
$$I_4 = I_{10} = I.$$

$$I_1 = \frac{E + I_4 r_4 + U_{42}}{r_1}$$

$$I_2 = I_1 + I_2$$

$$I_3 = I_2 - I.$$

N13.

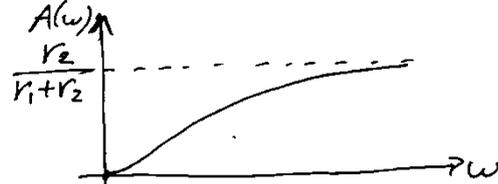


~~$K(j\omega) = \frac{r_2}{r_1 + r_2 + \frac{1}{j\omega C}}$~~

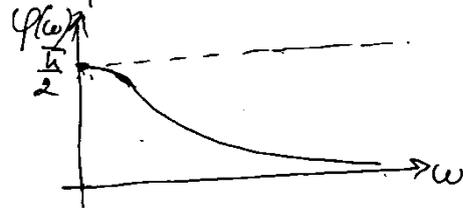
$$K(j\omega) = \frac{r_2}{r_1 + r_2 + \frac{1}{j\omega C}}$$

$$= \frac{j\omega C r_2}{j\omega C(r_1 + r_2) + 1} = \frac{\omega C r_2 \cdot e^{j \arctan \frac{\omega C r_2}{1}}}{\sqrt{\omega^2 C^2 (r_1 + r_2)^2 + 1} e^{j \arctan \frac{\omega C (r_1 + r_2)}{1}}}$$

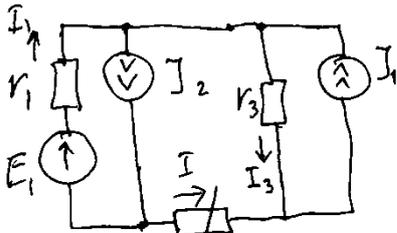
$$A(\omega) = \frac{\omega C r_2}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 (r_1 + r_2)^2}}$$



$$\varphi(\omega) = \frac{\pi}{2} - \arctan \omega C (r_1 + r_2)$$



N4.

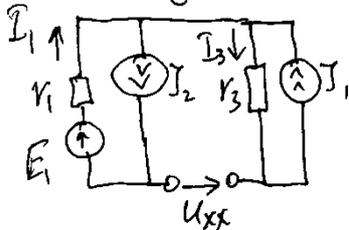


$$J_1 = 6 \text{ A}, \quad J_2 = 4 \text{ A}.$$

$$r_1 = r_3 = 20 \text{ Ohm}.$$

$$E_1 = 40 \text{ B}.$$

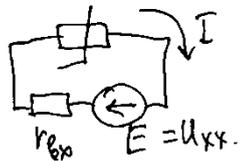
Методом узлов. заменим.



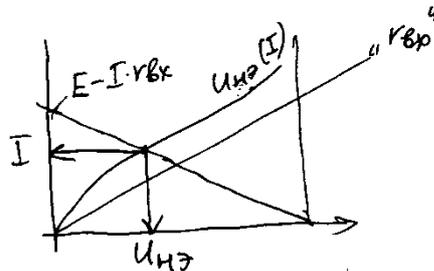
$$I_1 = J_2; \quad I_3 = J_1.$$

$$U_{xx} = I_1 r_1 + I_3 r_3 - E_1 = 160 \text{ B}.$$

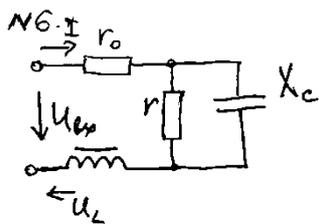
$$R_{Bx} = r_1 + r_3 = 40 \text{ Ohm}.$$



$$U_{H2} = E - I \cdot R_{Bx}$$



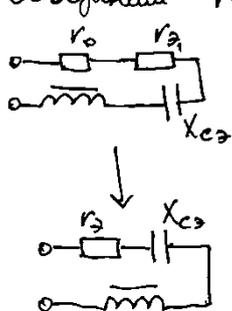
$$I_1 = J_2 - I; \quad I_3 = J_1 - I.$$



$U_{cp} = U\sqrt{2} \cdot \sin \omega t$   
 $r_0 = 10 \text{ Ом}$   
 $r = 200 \text{ Ом}$   
 $\frac{1}{\omega C} = X_c = 200 \text{ Ом}$

Просто синус с  
 фазой,  
 херня какой-то???

Объединим  $r$  и  $X_c$ :



$$Z_2 = \frac{r \cdot (-jX_c)}{r - jX_c} = \frac{-j \cdot 200^2}{200 - j200} = \frac{-j200}{1 - j}$$

$$= \frac{-j200(1+j)}{1+1} = 100 - j100$$

$\downarrow$   $\downarrow$   
 $r_3$   $X_c$

$r_3 = r_0 + r_3 = 10 + 100 = 110 \text{ Ом}$

Возникает феррорезонанс.

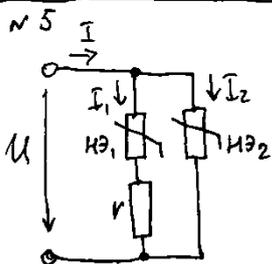
Перейдем к комплексному методу:  $U_{взг} = \frac{U\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = U$

$U = U_{r_3} + (-U_{c_3} + U_L)$

При феррорезонансе  $U_L = U_{c_3} \Rightarrow$   ~~$U_L = U_{c_3} = 100I$~~

$U_{c_3} \geq 100I$ ;  $U_L = \frac{100I}{0,1+I} \Rightarrow 100I = \frac{100I}{0,1+I} \Rightarrow 0,1+I = 1 \Rightarrow I = 0,9 \text{ А}$

$U = U_{r_3} = I \cdot r_3 = 0,9 \cdot 110 = 99 \text{ В}$

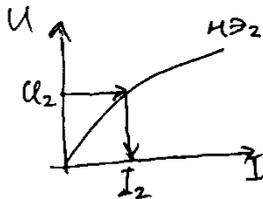
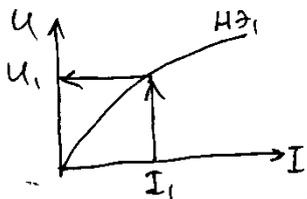


$r = 3 \text{ Ом}$   
 $I_1 = 3 \text{ А}$

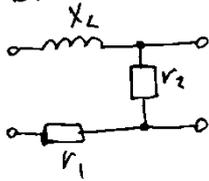
По ВАХ  $H_{\Theta 1}$  определим  $U_1 \rightarrow U = U_1 + U_r = U_1 + I_1 \cdot r$

По ВАХ  $H_{\Theta 2}$  определим  $I_2$ ,

$I = I_1 + I_2$



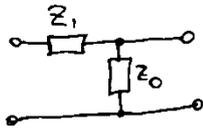
№6?



$X_L = 100 \text{ Ом.}$   
 $r_1 = r_2 = 50 \text{ Ом.}$   
 $Z_{2H} = 100 \text{ Ом.}$

$Z_{1вх} = ?$ ; коэф. А-параметр.

Преобразуем:



$Z_1 = jX_L + r_1$ ;  $Z_2 = 0$ ;  $Z_0 = r_2$ .

→ T-образная схема.

$A_{11} = 1 + \frac{Z_1}{Z_0} = 1 + \frac{jX_L + r_1}{r_2} = 1 + \frac{100j + 50}{50} = 2 + 2j$

$A_{12} = Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_0} = Z_1 = 100j + 50$

$A_{22} = 1 + \frac{Z_2}{Z_0} = 1$

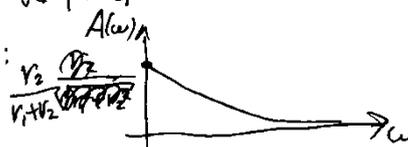
$A_{21} = \frac{1}{Z_0} = \frac{1}{r_2} = \frac{1}{50}$

$\dot{U}_2 = Z_{2H} \dot{I}_2$ ;  $Z_{1вх} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} = \frac{A_{11} \dot{U}_2 + A_{12} \dot{I}_2}{A_{21} \dot{U}_2 + A_{22} \dot{I}_2} = \frac{A_{11} Z_{2H} + A_{12}}{A_{21} Z_{2H} + A_{22}} = \frac{(2+2j)100 + 100j + 50}{\frac{1}{50} \cdot 100 + 1} =$   
 $= \frac{250}{3} + 100j$

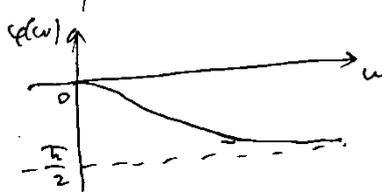
№8. Укажите кет (!; ;))

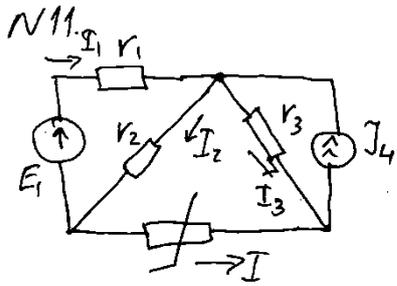
$K_u(j\omega) = \frac{r_2}{r_1 + r_2 + j\omega L} = \frac{r_2 e^{arctg \frac{\omega}{r_2}}}{\sqrt{r_1^2 + r_2^2 + (\omega L)^2} e^{arctg \frac{\omega L}{r_1 + r_2}}}$

$A(\omega) = \frac{r_2}{\sqrt{r_1^2 + r_2^2 + (\omega L)^2}}$



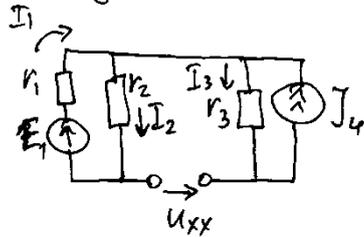
$\varphi(\omega) = -arctg \frac{\omega L}{r_1 + r_2}$





$E_1 = 20 \text{ B.}$   
 $J_4 = 10 \text{ A.}$   
 $r_1 = r_2 = 4 \text{ Ом.}$   
 $r_3 = 3 \text{ Ом.}$   
 $I, U_{H\Delta}, I_1, I_2, I_3 - ?$

Метод эквив. генератора:

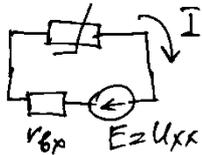


$I_1 = I_2 = \frac{E}{r_1 + r_2}$

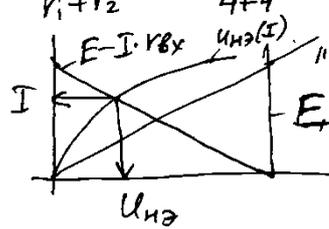
$I_3 = J_4$

$U_{XX} = I_3 r_3 - I_2 r_2 = 10 \cdot 3 - \frac{4}{4+4} \cdot 20 = 20 \text{ B.}$

$R_{BX} = r_3 + \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} = 3 + \frac{4 \cdot 4}{4+4} = 5 \text{ Ом.}$



$U_{H\Delta} = E - I \cdot r_{BX}$

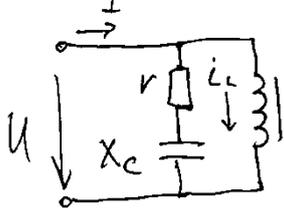


$I_3 = J_4 - I; I_2 = \frac{I_3 r_3 - U_{H\Delta}}{r_2};$

$I_1 = I_2 + I_3 - J_4.$

Какова...?

№7



$U_{BP} = U \sqrt{2} \sin \omega t.$

$r = 40 \text{ Ом.}$

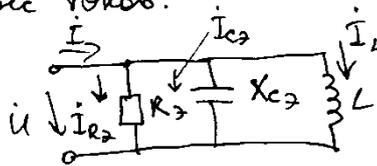
$X_c = \frac{1}{\omega c} = 30 \text{ Ом.}$

$I_L = \frac{0,124}{100 - U}.$

$Y_{RC} = \frac{1}{R - jX_c} = \frac{1}{40 - 30j} = \frac{40}{2500} + j \frac{30}{2500} = \frac{4}{250} + j \frac{3}{250}.$

Возможен резонанс токов.

$I = I_{R3} + I_{C3} + I_L$



$U_{BX} = \frac{U \sqrt{2}}{\sqrt{2}} = U.$

$I_{C3} = I_L \Rightarrow \frac{0,124 U}{100 - U} = U \cdot \frac{3}{250} \Rightarrow 30 = 300 - 3U \Rightarrow U = 90 \text{ B.}$

$I = I_R = \frac{U}{R} = \frac{90}{60} = 1,5 \text{ A.}$

$\approx \frac{360}{250} = \frac{36}{25} \approx 1,44 \text{ A.}$

silence must be heard

Дом вопросы Гладишова

из чего ротор, якорь - (к 17)

Б23, Б26 (Павлов) -

в схеме замещ. приведем асинхр. двигатель

что в реал. увил. замещает  $R_n' = R_2 \cdot \frac{1-s}{s}$  s - скольз.

Гр-н работы двигателя

→ как меняется нагрузка

Мощ. полез., мощность крутящая?

Ур - с мех. хар-ки  $u = ?$

Решимы ДПТ (s); решимы генератора  
двигателя  
& X  
мощн  
Э/М. Горюхи.

Б10 (Павлов) - Решим генератора

нарис хар-ку асинхр. двигателя

$M(u) - ?$   $M(s) - ?$  Пои уагь где какой решим

Б6 - (Сидорин) - 1) как на схеме оберт. приведем асинхр. двигатель -

ответ: штрихами во вторич. обмотке  
у всего штрихи что и штрихами 2

2) ситуация: трансформатор в ХХ, есть  $\Phi_n$ , что  
будет с  $\Phi_n$  при подании нагрузки.

→ ответ: в установивш. режиме  $\Phi_n = \text{const}$  но  
в первой обмотке уменьш.  $\Phi_1$  - за вошло  
во вторич. обмотке потока  $\Phi_2$  встроится к  $\Phi_n$

т.к.  $u_1 = \text{const}$  на  $u_1 = 4,44 f W \Phi_n$

Б5. Козабы Трансфр. схема замещения

Слотин

(тип увил-дпт)  $\cos \phi - ?$  затем

$\cos \phi = 0$  мощность = 0, увил. не ф.

напр. |A| - анализ р-ш и ч-пел-ос

Б14  
доп вопр

- 1: фазный ротор
- 2: Бамбья клетка

1) Мы знаем ур-е пассивности (А) также  
в форме  $Y$   
ответ:  $Y_{12} = -Y_{21}$

Б15  
Ситуация

- $r_i$  - актив. потери
- $L \frac{di}{dt}$  - потери рассеяние
- $W \frac{d\varphi}{dt}$  - ЭДС индукции

как осущ. переходы при прохождении  
мимо магнитов (соединения)

Б22

Ситуация

- посеток. парис. схему трансформатора

Б11

- 1) Мех. х-ка и вращ. момент асинхр. двигателя.
- 2) Особенности расклет в маломощных эл. цепей.

Б12

- 1) Способы регулирования скорости двигателя пост. тока
- 2) Схема замещения катушки с ферромагнитным сердечником.

Б10

- 1) Телеграфные уравнения динاميки машины
- 2) Приведенная схема замещ. асинхр. двигателя (исполн. движ.)

Б4

- 1) Механ. цепи. Хар-ка механ. эл-тов.
- 2) Принцип действия машины пост. тока

Б6

1. Схема замещ. 4-полюсника (двост. дин. Т обратной)
2. Асинхр. ур-е двигателя (приведенное)

Б5.

1. 4-пол. цепи XX и КЗ вводится постр. формы А
2. Асинхр. двигатель, принцип действия. Вращ. маши. чаш

Б14

1. Осн. ур-е 4-пол-ка А, У, Э.
2. Принцип действия асинхр. двигателя и его устройство

Б15

1. Метод экв. симуляц для катушки с ферромагн. сердечником.
2. ЭДС и момент двигателя пост. тока

516

1. Методы расчета магн. цепей
2. Асинхр. двигатели. Конт. хар-ки. ЭЛ-маши. машины

522

1. Катушка со сталью. Упр-е, схема замещ. катушки.
2. Принцип действия <sup>катушки</sup> генератора пост. тока.

527

1. Вект. диагр. привед. трансформатора
2. ДДС и электрич. машины машины ДПТ

528

1. Катушка с ферромагн. сердечником. Вект. диагр. диаграммы.
2. Пуск. ДПТ. Пусковые к-ты

53.2 - осн. законы магн. цепей

54.2 - осн. упр-е трансформатора

5:26

1. Теорема
2. двигатель пост. тока с // возбужд.

523

1. схема замещ. привед. асинхр. двиг.
2. теорема

529 1. Пр-и действия машины пост. тока

2. Потери в стали трансформатора. Учет потерь при расчете методами Эвлинга, Шварца.

525

1. Методы расчета магн. цепей при пост. потоках
2. схемы замещ. приведенного трансформатора

527

- 1) Двигатель машины дрос. упр-е дин. ветв. цепи
- 2) схема замещ. привед. трансформатора

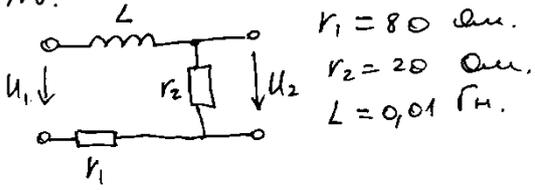
517

- 1) Маши. ЭЛ-ты, парам и хар-ки 2) Однофаз. двигатели. Принцип

521

- 1) Методы расчета магн. цепей 2) Двиг. пост. тока с // возбужд. с <sup>(идеоло ротор, биполяр)</sup> <sub>с // возбужд. с // возбужд.</sub>

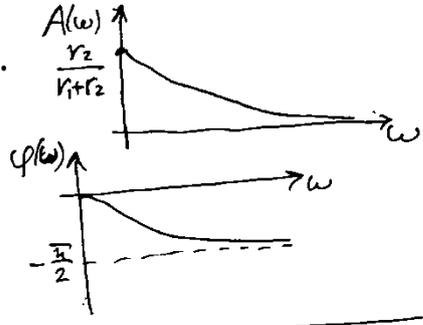
N8:



$$k(j\omega) = \frac{r_2}{r_1 + r_2 + j\omega L} \approx \frac{r_2 e^{-\arctan \frac{\omega}{r_2}}}{\sqrt{(r_1+r_2)^2 + (\omega L)^2} e^{\arctan \frac{\omega L}{r_1+r_2}}}$$

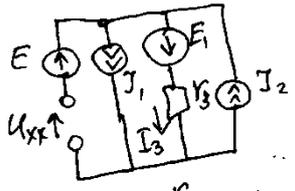
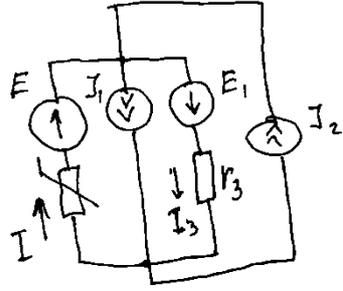
$$A(\omega) = \frac{r_2}{\sqrt{(r_1+r_2)^2 + (\omega L)^2}} \cdot \frac{r_2}{r_1+r_2}$$

$$\varphi(\omega) = -\arctan \frac{\omega L}{r_1+r_2}$$



(Dymeno, zero-to me x basax :)

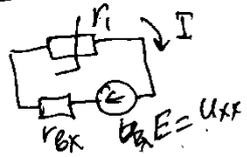
Метод эквив. цепи:



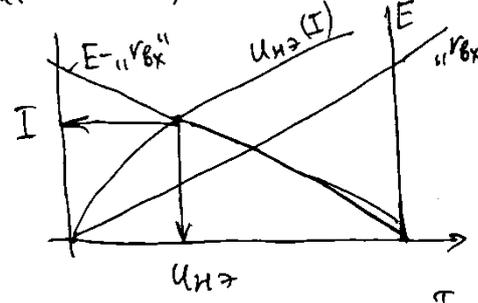
$$I_3 = I_2 - I_1$$

$$U_{xx} = E + E_1 - I_3 r_3 = E + E_1 - r_3(I_2 - I_1)$$

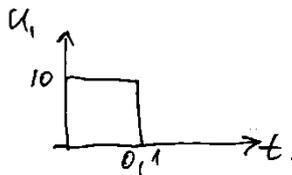
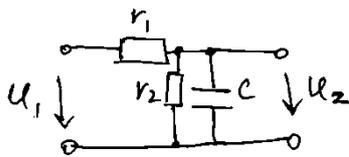
$$r_{\text{вх}} = r_3$$



$$E = I r_{\text{вх}} + U_{\text{кз}}(I) \rightarrow U_{\text{кз}} = E - I \cdot r_{\text{вх}}$$

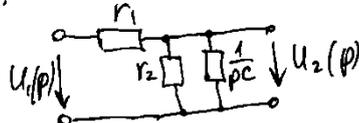


$$I_3 = I_2 + I - I_1$$



$R_1, R_2 = 200 \text{ Ohm}$   
 $C = 0,001 \text{ F}$

Опер-ая форма:

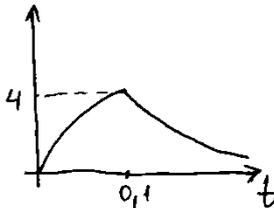


$$U_2(p) = \frac{\frac{1}{pC}}{r_1 + \frac{1}{pC}} U_1(p) = \frac{1}{r_1 p C + 1} U_1(p)$$

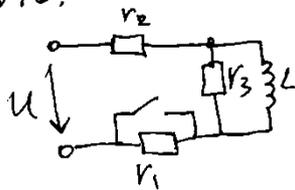
$$U_1(t) = 10 \cdot 1(t) - 10 \cdot 1(t - 0,1) \Rightarrow \frac{10}{p} - \frac{10}{p} e^{-0,1p} = U_1(p) \Rightarrow$$

$$U_2(p) = \frac{1}{p r_1 C + 1} \left( \frac{10}{p} - \frac{10}{p} e^{-0,1p} \right) = \frac{\frac{10}{r_1 C}}{p(p + \frac{1}{r_1 C})} - \frac{\frac{10}{r_1 C}}{p(p + \frac{1}{r_1 C})} e^{-0,1p} =$$

$$\frac{50}{p(p+5)} - \frac{50}{p(p+5)} e^{-0,1p} \Rightarrow 10(1 - e^{-5t}) - 10(1 - e^{-5(t-0,1)}) = U_2(t)$$



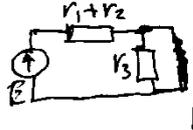
N16.



$U = 100 \text{ B}$   
 $r_1 = 40 \text{ Ohm}$   
 $r_2 = 10 \text{ Ohm}$   
 $r_3 = 30 \text{ Ohm}$   
 $L = 75 \text{ мГн}$

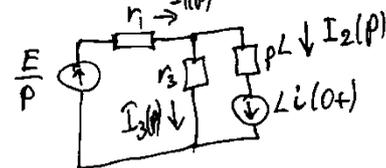
$i_3(t) = ?$

До зам:



$$i_2(0-) = i_2(0+) = \frac{E}{r_1 + r_2} = \frac{100}{40 + 10} = 2 \text{ A}$$

После зам:  
 опер. форма.



$$\begin{cases} I_1 = I_2 + I_3 \\ I_1 r_1 + I_3 r_3 = E/p \\ I_2 pL - I_3 r_3 = L i(0+) \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_3(p) = \frac{2/7}{p + \frac{1600}{7}} \Rightarrow \frac{2}{7} e^{-\frac{1600}{7}t}$$



## 2. Теория

277-49-64

### ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ ПО КУРСУ «ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ» ч. 2 (для специальности ИУ 2)

1. Операторный метод расчёта переходных процессов, основные свойства преобразования Лапласа Компонентные уравнения элементов. Операторные схемы замещения элементов.
2. Законы Кирхгофа в операторной форме. Операторная схема замещения участка цепи с ненулевыми начальными условиями. Переход от изображения к оригиналу.
3. Операторная передаточная функция. Связь передаточной функции с импульсной и переходной характеристиками. Четырёхполосники, их классификация. Уравнения пассивных четырёхполосников, способы определения их параметров (показать на примерах).
4. Схемы замещения (канонические) пассивных четырёхполосников. Связь параметров четырёхполосников с сопротивлениями T-образной схемы замещения.
5. Схемы замещения (канонические) пассивных четырёхполосников. Связь параметров четырёхполосников с сопротивлениями П-образной схемы замещения.
6. Входные сопротивления и передаточные коэффициенты 4-полосников.
7. Согласование четырёхполосников. Характеристические параметры.
8. Дифференцирующие и интегрирующие цепи.
9. Нелинейные электрические цепи: общие понятия, нелинейные элементы электрических цепей, их параметры и характеристики.
10. Способы описания характеристик нелинейных элементов, линеаризация характеристик.
11. Графический метод расчета простых (с одним источником) нелинейных резистивных цепей постоянного тока при последовательном, параллельном и смешанном соединении элементов.
12. Расчет сложной электрической цепи постоянного тока с одним нелинейным элементом.
13. Магнитные цепи при постоянном (не изменяющемся во времени) магнитном потоке. Основные законы и особенности магнитной цепи, расчетная аналогия между электрическими и магнитными цепями.
14. Схема замещения магнитной цепи при постоянном магнитном потоке, система уравнений, характеристики элементов схемы замещения, метод расчета.
15. Задачи расчета магнитной цепи при постоянном магнитном потоке (показать на примере неразветвленной цепи).
16. Расчет магнитной цепи постоянного магнита.
17. Особенности периодических процессов в цепях с нелинейными элементами электрические цепи.
18. Графический и аналитический методы анализа нелинейных цепей переменного тока при использовании характеристик элементов для мгновенных значений.
19. Анализ установившихся режимов в цепях переменного тока с нелинейными элементами: метод эквивалентных синусоид.
20. Катушка индуктивности с ферромагнитным сердечником в установившемся режиме при синусоидальном воздействии: форма кривых тока, потока, напряжения; потери мощности в сердечнике, выбор эквивалентных синусоид.
21. Уравнения, векторные диаграммы и эквивалентные схемы замещения катушки с ферромагнитным сердечником в установившемся режиме при синусоидальном воздействии.
22. Комплексное магнитное сопротивление, его связь с электрическим сопротивлением.
23. Графический метод расчета нелинейных цепей, основанный на введении эквивалентных синусоид. Показать на примере последовательного соединения линейного резистора с нелинейной индуктивностью без потерь, подключенных к синусоидальному источнику.
24. Феррорезонансное явление при последовательном соединении катушки с ферромагнитным сердечником и ёмкости.
25. Феррорезонансное явление при параллельном соединении катушки с ферромагнитным сердечником и ёмкости.
26. Трансформатор: конструкция, принцип действия, основные уравнения и соотношения.
27. Приведенный трансформатор: параметры, система уравнений, векторная диаграмма при активно-индуктивной нагрузке.
28. Приведенный трансформатор: параметры, система уравнений, векторная диаграмма при активно-емкостной нагрузке.
29. Определение параметров схемы замещения трансформатора. Рабочие характеристики трансформатора.
30. Электрические машины - электромеханическое преобразование энергии. Основные конструктивные элементы электрических машин. Классификация электрических машин.
31. Простейшая модель машины постоянного тока, принцип действия, энергетические соотношения.
32. Конструкция машины постоянного тока, электромагнитные процессы, протекающие в машине.
33. Электродвижущая сила и электромагнитный момент машины постоянного тока.
34. Характеристики исполнительного двигателя постоянного тока с независимым возбуждением.
35. Способы регулирования скорости двигателя постоянного тока с независимым возбуждением, их характеристики.
36. Способы торможения исполнительного двигателя постоянного тока с независимым возбуждением.
37. Асинхронные электрические машины: устройство, принцип образования вращающегося магнитного поля.
38. Принцип действия асинхронного двигателя, режимы его работы.
39. Магнитные поля, эдс и индуктивности обмоток асинхронного двигателя. Схема замещения фазы обмотки статора и ротора АД без учёта потерь мощности в стали.
40. Замещение вращающегося ротора АД неподвижным, схемы замещения.
41. Энергетическая диаграмма и вращающий момент асинхронного двигателя.
42. Механические характеристики асинхронного двигателя.
43. Способы регулирования вращения ротора асинхронного двигателя.

Вопросы подготовлены в соответствии с прочитанным курсом лекций в весеннем семестре 2002 – 2003уч. года.

Лектор доц. Ю. Г. Шерстников.

1. Метод линейризации.  
 2. Как 4-е полюсник с  $U_{1x}, I_{1x}, U_{1c}, I_{1c}$ , как ретик хар. сопротивлением найти разность фаз м/у входным канф. и ток.

1. Ретик ред. фвнция.  
 2. Метод линейризация.

$U_1 \neq U_2$   
 $I_{c1} \neq I_{c2}$

$\frac{U_2}{I_{c2}} - ?$

$U_{c2} - ?$   $R_{c2} - ?$

ул. Маршала Соколовского, д. 3  
 Тел./факс: (095) 974-77-20, 194-77-39  
 E-mail: mail@erebus.ru; www.erebus.ru

1. Трансформатор, ретик ХХ, КЗ, потери

1.  $\int dl = z; W$   $z$   $W$   $z$   $W$   
 2. Машина пост. тока  
 3. Какти параметр трансформатора

2. Ветро элемент МПТ, эдс  
 3. Маши. поле 3-и период.

Какти метод эдс. пер.

ул. Маршала Соколовского, д. 3  
 Тел./факс: (095) 974-77-20, 194-77-39  
 E-mail: mail@erebus.ru; www.erebus.ru

1) принцип непрерывности магнитного поля  
 2) привед. трансформатор в-од. схема, ретик ХХ, КЗ  
 3)  $V_{ab}$

Какти:  $I$   $U$   $BAH$  и.э.  
 $I = 1A$   
 $\varepsilon = 10V$   
 $V_{ab}(I) - ?$

1) потери в ферромагнитном сердечнике  
 2) магнитное поле. Основ. закон магнитного поля  
 3) две электромагнитные цепи.  $I_{m1}$ ,  $I_{m2}$  и  $I_{m3}$ . Какти  $I_{c2}$ . При нуле  $\omega=0$   $I_m$  задано. Какти до какой скорости рдс электромагнит  $I_{c2} = M=0$

ул. Маршала Соколовского, д. 3  
 Тел./факс: (095) 974-77-20, 194-77-39  
 E-mail: mail@erebus.ru; www.erebus.ru

1. Кемплетное цепи, метод эдс. генератора  
 2. Ретик работы МПТ, мех. функция  
 3.  $I$   $a$   $b$   $c$

$BAH$  и.э.  
 Какти  $I_{c2}$   $U$   $V_{ab}$

1. Силовой трансформатор  
 2. Магнитное поле

Какти:  $V = 120$   $V$   $BAH$  и.э.  
 все сопр

Какти  $I$  методом эдс. генератора

ИЗДАТЕЛЬСКО-ПОЛИГРАФИЧЕСКАЯ ГРУППА

1. Кемплетное цепи, метод эдс. генератора  
 2. Ретик работы МПТ, мех. функция  
 3.  $I$   $a$   $b$   $c$

$BAH$  и.э.  
 Какти  $I_{c2}$   $U$   $V_{ab}$

1. Силовой трансформатор  
 2. Магнитное поле

Какти:  $V = 120$   $V$   $BAH$  и.э.  
 все сопр

Какти  $I$  методом эдс. генератора

ИЗДАТЕЛЬСКО-ПОЛИГРАФИЧЕСКАЯ ГРУППА

1. Феррореомагнитный сердечник  
 2) Конструкция и принцип действия обмотки; ретик маг. ретик, обмотки

Какти все  $I_{c2}$   $A$

1. Опять ХХ, КЗ трансформатора  
 2. Магнитное поле. Промыш. задача  
 3. Какти упр. поле электроф. Задача параметр ретик генератора. Какти  $\varepsilon_2$

1. 3-и полное тока  
 2. Устройства электр.  
 3.  $I$   $a$   $b$   $c$

$X_{c1} = X_{c2} = 200$   
 $X_{c1} = X_{c2} = 50$   
 $X_M = 80$   
 Опр. входные параметр, метод. А

ИЗДАТЕЛЬСКО-ПОЛИГРАФИЧЕСКАЯ ГРУППА

277-49-64

ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ  
ПО КУРСУ «ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ» ч. 2  
(для специальности ИУ 2)

1. Операторный метод расчёта переходных процессов, основные свойства преобразования Лапласа Компонентные уравнения элементов. Операторные схемы замещения элементов.
2. Законы Кирхгофа в операторной форме. Операторная схема замещения участка цепи с ненулевыми начальными условиями. Переход от изображения к оригиналу.
3. Операторная передаточная функция. Связь передаточной функции с импульсной и переходной характеристиками. Четырёхполосники, их классификация. Уравнения пассивных четырёхполосников, способы определения их параметров (показать на примерах).
4. Схемы замещения (канонические) пассивных четырёхполосников. Связь параметров четырёхполосников с сопротивлениями T-образной схемы замещения.
5. Схемы замещения (канонические) пассивных четырёхполосников. Связь параметров четырёхполосников с сопротивлениями П-образной схемы замещения.
6. Входные сопротивления и передаточные коэффициенты 4-хполосников.
7. Согласование четырёхполосников. Характеристические параметры.
8. Дифференцирующие и интегрирующие цепи.
9. Нелинейные электрические цепи: общие понятия, нелинейные элементы электрических цепей, их параметры и характеристики.
10. Способы описания характеристик нелинейных элементов, линеаризация характеристик.
11. Графический метод расчета простых (с одним источником) нелинейных резистивных цепей постоянного тока при последовательном, параллельном и смешанном соединении элементов.
12. Расчет сложной электрической цепи постоянного тока с одним нелинейным элементом.
13. Магнитные цепи при постоянном (не изменяющемся во времени) магнитном потоке. Основные законы и особенности магнитной цепи, расчетная аналогия между электрическими и магнитными цепями.
14. Схема замещения магнитной цепи при постоянном магнитном потоке, система уравнений, характеристики элементов схемы замещения, метод расчета.
15. Задачи расчета магнитной цепи при постоянном магнитном потоке (показать на примере неразветвленной цепи).
16. Расчет магнитной цепи постоянного магнита.
17. Особенности периодических процессов в цепях с нелинейными элементами электрические цепи.
18. Графический и аналитический методы анализа нелинейных цепей переменного тока при использовании характеристик элементов для мгновенных значений.
19. Анализ установившихся режимов в цепях переменного тока с нелинейными элементами: метод эквивалентных синусоид.
20. Катушка индуктивности с ферромагнитным сердечником в установившемся режиме при синусоидальном воздействии: форма кривых тока, потока, напряжения, потери мощности в сердечнике, выбор эквивалентных синусоид.
21. Уравнения, векторные диаграммы и эквивалентные схемы замещения катушки с ферромагнитным сердечником в установившемся режиме при синусоидальном воздействии.
22. Комплексное магнитное сопротивление, его связь с электрическим сопротивлением.
23. Графический метод расчета нелинейных цепей, основанный на введении эквивалентных синусоид. Показать на примере последовательного соединения линейного резистора с нелинейной индуктивностью без потерь, подключенных к синусоидальному источнику.
24. Феррорезонансное явление при последовательном соединении катушки с ферромагнитным сердечником и ёмкости.
25. Феррорезонансное явление при параллельном соединении катушки с ферромагнитным сердечником и ёмкости.
26. Трансформатор: конструкция, принцип действия, основные уравнения и соотношения.
27. Приведенный трансформатор: параметры, система уравнений, векторная диаграмма при активно-индуктивной нагрузке.
28. Приведенный трансформатор: параметры, система уравнений, векторная диаграмма при активно-емкостной нагрузке.
29. Определение параметров схемы замещения трансформатора. Рабочие характеристики трансформатора.
30. Электрические машины - электромеханическое преобразование энергии. Основные конструктивные элементы электрических машин. Классификация электрических машин.
31. Простейшая модель машины постоянного тока, принцип действия, энергетические соотношения.
32. Конструкция машины постоянного тока, электромагнитные процессы, протекающие в машине.
33. Электродвижущая сила и электромагнитный момент машины постоянного тока.
34. Характеристики исполнительного двигателя постоянного тока с независимым возбуждением.
35. Способы регулирования скорости двигателя постоянного тока с независимым возбуждением, их характеристики.
36. Способы торможения исполнительного двигателя постоянного тока с независимым возбуждением.
37. Асинхронные электрические машины: устройство, принцип образования вращающегося магнитного поля.
38. Принцип действия асинхронного двигателя, режимы его работы.
39. Магнитные поля, ЭДС и индуктивности обмоток асинхронного двигателя. Схема замещения фазы обмотки статора и ротора АД без учёта потерь мощности в стали.
40. Замещение вращающегося ротора АД неподвижным, схемы замещения.
41. Энергетическая диаграмма и вращающий момент асинхронного двигателя.
42. Механические характеристики асинхронного двигателя.
43. Способы регулирования вращения ротора асинхронного двигателя.

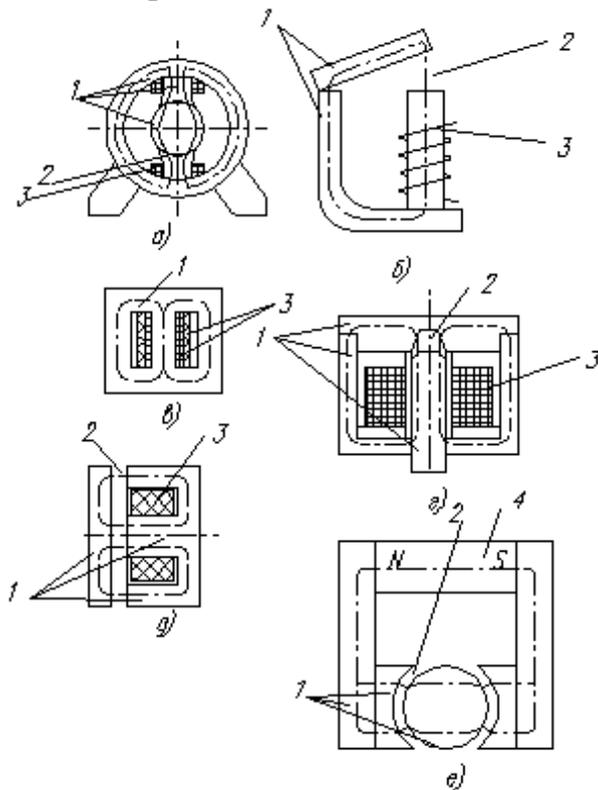
Вопросы подготовлены в соответствии с прочитанным курсом лекций в весеннем семестре 2002 – 2003уч. года.

Лектор доц. Ю. Г. Шерстников.

# Магнитные цепи при постоянной магнитодвижущей силе (МДС).

**Магнитная цепь (МЦ)** – часть электротехнического устройства, предназначенного для создания в определенном месте пространства магнитного поля требуемой интенсивности и направленности. Магнитные цепи составляют основу практически всех электротехнических устройств и многих измерительных приборов.

В составе МЦ имеются элементы, возбуждающие магнитное поле (одна или несколько намагничивающих обмоток или постоянные магниты) и магнитопровод, выполненный в основном из ферромагнитных материалов.



Использование ферромагнетиков обусловлено их способностью многократно усиливать внешнее (по отношению к ним) магнитное поле, создаваемое намагничивающими обмотками или постоянными магнитами. Ферромагнетики отличаются высокой магнитной проницаемостью по сравнению с окружающей средой, что дает возможность концентрировать и направлять магнитные поля.

На рис. 1.1 в качестве примера представлены МЦ некоторых электромагнитных устройств: а – машин постоянного тока, б – электромагнитного реле, в – трансформатор, г и д – тормозных электромагнитов, е –

магнитоэлектрического

измерительного прибора. Цифрой 1- обозначены ферромагнитные части магнитопроводов, 2 – воздушные зазоры, 3 – намагничивающие катушки, 4 – постоянный магнит.

МЦ с *постоянной* МДС называются цепи, в которых магнитное поле возбуждается постоянными токами намагничивающих обмоток или постоянными магнитами.

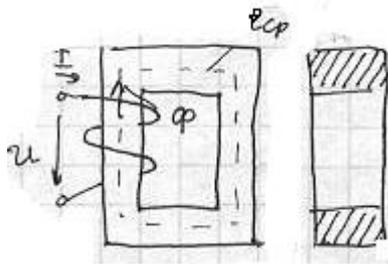
При анализе и расчете магнитных цепей пользуются следующими величинами, характеризующими магнитное поле:

1.  $\vec{B}$  – **вектор магнитной индукции**. Характеризует интенсивность и направленность магнитного поля в данной точке пространства.

Единица измерения – **тесла** ( $1 \text{ Тл} = 1 \frac{\text{Вб}}{\text{м}^2} = 1 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}$ ).

### Задачи расчета МЦ при постоянном потоке

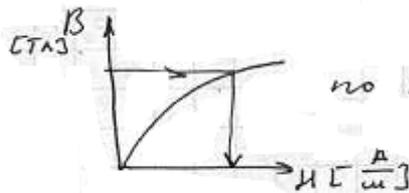
Аналогия между ЭЦ и МЦ позволяет применить методы расчета НЦ к МЦ. Заданы конфигурация магнитопровода, его р-ры, материал и расположение катушек постоянного тока. При расчете МЦ поставлены задачи: прямая-задана индукция или поток, требуется определить намагнич силу необход для создания этой индукц или потока. Обратная задача-задана намагн сила, надо опред. создаваемые ей потоки или индукции на участках магнитопровода. При расчете в случае неразветвленной цепи достаточно ур-я составленного по 3-ну полного тока, а в случае разветвленной ее разбивают на замкнут кон-ры, состоящие из отдельных ветвей и решают систему ур-ний по ЗНК. **Пример расчета неразветвл МЦ:**



$$\Phi = 10^{-3} \text{ Вб} ; \text{Э 11}$$
$$W = 100 \text{ Вт}$$
$$S = 10^{-3} \text{ м}^2$$
$$l_{cp} = 1 \text{ м}$$

КОВ

- 2) Зная поток находим  $B = \Phi/S$
- 3) По кривой намагничивания для данного материала и известной  $B$  определяем  $H$



$$\text{по } B = 1 \text{ Тл} \quad H = 502 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

- 0) Определ направл потока  $\Phi$  и намагн силы  $l_w$  по пр-лу правого винта
- 1) Разбив МЦ на уч-ки постоянного сечения и одинаковой магнитной проницаемости и определ площади  $S$  и длины  $L$  уч-
- 4) По 3-ну полного тока зная  $H$  определяем  $l_w$ :  
 $H \cdot L = I \cdot w$
- 5) Зная число витков определяем ток.

### Особенности переходных процессов в ЭЦ с НЭ.

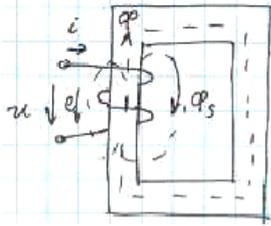
Переходные процессы в НЦ, как и установившиеся процессы, описываются нелинейными дифференциальными уравнениями, которые не имеют общего решения, поэтому применяют приближенные аналитические и графические методы решения нелинейных дифференциальных уравнений, как-то: метод условной линеаризации, кусочно-линейной аппроксимации и т.д. Основная задача-определение временной зависимости тока или напряжения на заданном участке цепи, если известен закон изменения всех ЭДС и источников тока в цепи, то можно провести гармонический анализ искомой величины тем или иным методом. В тех случаях когда вопрос о форме кривых  $I(t)$  и  $U(t)$  нас непосредственно не интересует, можно воспользоваться методом эквивалентных синусоид, что позволяет применить к расчету комплексный метод (метод расчета по действующим значениям).

Остальных вопросов не нахожу в лекциях! В книгах пишушь которую очень неприятно перебивать

20. КАТУШКА ИНДУКТИВНОСТИ С ФЕРРОМАГНИТНЫМ СЕРДЕЧНИКОМ В УСТАНОВИВШЕМСЯ РЕЖИМЕ ПРИ СИНУСОИДАЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ: ФОРМА КРИВЫХ ТОКА, ПОТОКА, НАПРЯЖЕНИЯ, ПОТЕРИ МОЩНОСТИ В СЕРДЕЧНИКЕ, ВЫБОР ЭКВИВАЛЕНТНОЙ СИНУСОИДЫ.

$$\psi = f(i)$$

Напряжение на зажимах катушки:  $U = ir + d\psi_1/dt$



$r$  - активное сопротивление катушки

$\psi_1$  - потокосцепление катушки:  $\psi_1 = \psi + \psi_s$

$\psi$  - основное потокосцепление

$\psi_s$  - рассеивающее потокосцепление, замыкается по воздуху, поэтому считают:  $L_s = \psi_s / i$

Предполагают, все витки катушки производят основное потокосцепление  $\Phi$ :

$$U = ir + L_s di/dt + Wd\Phi/dt = ir + L_s di/dt + U_0$$

Т.к.  $\Phi(i)$  - нелинейная, то из уравнение невозможно определить  $i(t)$ ,  $\Phi(t)$  при заданном  $u(t)$ .

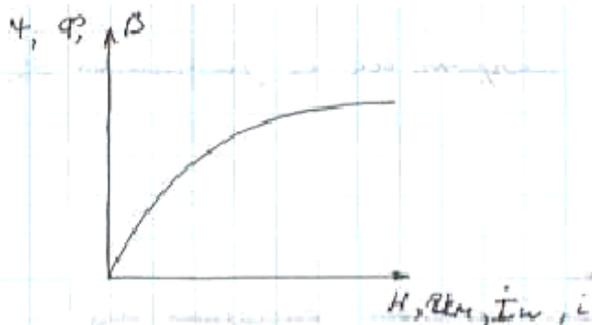
Допущения:

- сопротивление катушки мало  $r \sim 0$
- $\Phi_s \sim 0$  по сравнению с  $\Phi$

Тогда  $U_r + U_{L_s}$  малы в сравнении с  $U(t) \Rightarrow U = U_0 = Wd\Phi/dt$  (1)

$e = -u = -Wd\Phi/dt = -d\psi/dt$ ,  $\psi \neq Li$ , если с сердечником.

Зависимость  $\psi(i)$  подобна  $B(H)$ : петля гистерезиса.



Из (1) можно определить  $\Phi$  или  $\psi$ , если задано  $U(t)$ :

$$U = U_m \cos \omega t = d\psi/dt = Wd\Phi/dt \Rightarrow \Phi = [U_m / (wW)] \sin \omega t = \Phi_m \sin \omega t$$

$$\psi = (U_m / w) \sin \omega t = \psi_m \sin \omega t \quad 2\pi / \sqrt{2} = 4,44$$

$$\Phi_m = U_m / (wW),$$

$$U_m = wW\Phi_m$$

$$U = 2\pi f WBS = 4,44 f WSB_m$$

Кривую тока можно построить графически, если известна  $U(t)$  и петля гистерезиса  $\Phi(i)$ .

При синусоидальном потоке катушки с ферромагнитным сердечником ток будет несинусоидальный. Для правильного выбора электрической схемы, заменяющей действительные несинусоидальные кривые тока и напряжения в сердечнике, надо рассмотреть потери энергии в сердечниках при периодическом изменении магнитного потока. Эти потери складываются из потерей на вихревые токи и на гистерезис.

1. Под действием переменного магнитного потока в сердечнике наводится ЭДС, вызывающая токи, называемые вихревыми (правило Ленца), они (вихревые токи) вызывают размагничивание. Протекание вихревых токов приводит к выделению тепла в сердечнике, соответственно мощность называется потерями на вихревые токи.

$$P_v = k \sigma f^2 B_m^2 G, \text{ где}$$

$k$  - эмпирический коэффициент пропорциональности,

**1. Операторный метод расчета переходных процессов, основные свойства преобразования Лапласа. Компонентные уравнения элементов. Операторные схемы замещения элементов.**  
Переходный процесс – процесс перехода цепи от одного энергетического состояния к другому. Эти процессы вызываются коммутацией эл. цепи. Коммутация – любое изменение параметров цепи, ее конфигурации, а также отключение и подключение источников. Коммутацию считают мгновенной, однако перех. процесс протекает опред. время. Следствие – законы коммутации:

$$1) i_L(0_-) = i_L(0_+) \quad 2) U_C(0_-) = U_C(0_+).$$

Операторный Метод расчета переходных процессов. Сущность ОМ – исходные интегродифференциальные уравнения, записанные на основании законов коммутации, заменяются алгебраическими в области комплексного переменного  $s = \sigma + j\omega$ . В основе метода лежит преобразование Лапласа

$$F(s) = \int_0^{\infty} f(t) \cdot e^{-st} dt \quad (1), \quad f(t) \text{ - оригинал. Для перехода от } f(t) \text{ к } F(s) \text{ необх.: } |f(t)| < A \cdot e^{\sigma_0 t} \text{ при } t > 0,$$

$A$  и  $\sigma_0$  - положительные константы. Изображением  $f(t)$  по Лапласу или операторным изображением называется функция  $F(s)$  комплекс. переменного  $s$ , определяемая прямыми преобраз.

Лапласа. Обратное преобразование:  $f(t) = (1/2\pi j) \cdot \int_{\sigma_0 - j\omega}^{\sigma_0 + j\omega} F(s) \cdot e^{st} ds$  где  $s = \sigma + j\omega$ .  
 $f(t) \doteq F(s); F(s) \doteq f(t)$ .

Основные св-ва преобраз. Лапласа.

- 1) Теор. линейности:  $\sum_{k=1}^n a_k \cdot f_k(t) \doteq \sum_{k=1}^n a_k \cdot F_k(s)$
- 2) Теор. дифференцирования оригинала  $f'(t) \doteq s \cdot F(s) - f(0)$
- 3) Теор. интегрирования оригинала  $\int_0^t f(t) dt \doteq F(s) / s$
- 4) Теор. запаздывания  $f(t \pm \tau) \doteq e^{\pm s\tau} \cdot F(s)$
- 5) Теор. смещения  $e^{\pm \lambda t} \cdot f(t) \doteq F(s \mp \lambda)$
- 6) Теор. о предельных сложениях  $\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot F(s), \quad \lim_{t \rightarrow 0} f(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} s \cdot F(s)$

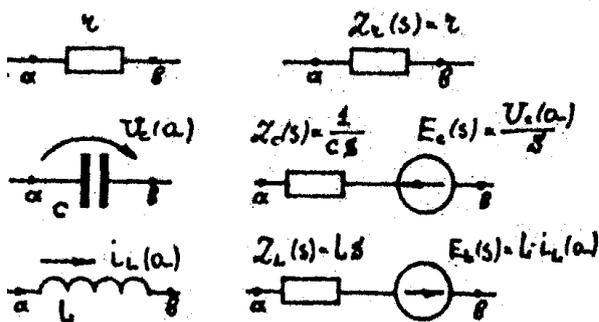
(?) Компонентные уравнения элементов

Убедимся в том, что этапы составления системы диф. ур-ий и их преобразования по Лапласу можно заменить прямым составлением ур-ий для изображений.

$$U_L(t) = L \cdot (di_L / dt), \quad i(t) \doteq I(s), \quad U_L(t) \doteq U_L(s) = sL \cdot I(s) - L \cdot i(0)$$

$$\text{Для } U_C(t) = (1/c) \cdot \int_0^t i \cdot dt + U_C(0), \quad (1/c) \cdot \int_0^t i \cdot dt \doteq I(s) / (s \cdot c), \quad U_C(0) \doteq U_C(s) / s$$

$U_C(t) \doteq U_C(s) = I(s) / (s \cdot c) + U_C(0) / s$ , Т.о. при составлении ур-ий цепи в операторной форме автоматически будут учитываться начальные условия.



Операторные схемы замещения элементов.

Для составления операторной схемы, в исх. схеме после коммутации заменяют все элементы их изображениями. Изображения заданных ЭДС и источников тока в общем случае находят по таблице оригиналов и изображений, в частном случае если  $E = \text{const}, I = \text{const}$ , то  $E(s) = E/s$  и  $I(s) = I/s$ .

Изображение  $r$  совпадает с оригиналом.

Изображение  $L$  при ненулевых н.у. состоит из двух эл-тов: пассивного  $L \cdot s$  и ист. ЭДС  $E_L(s) = L \cdot i_L(0_-)$  направленного по направлению с током  $i_L(0_-)$ .

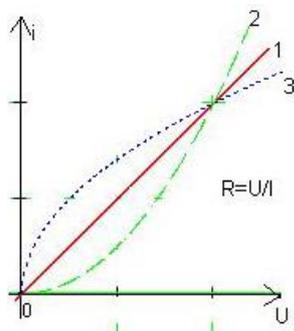
$$U_L(s) = sL \cdot I(s) - Li_L(0_-)$$

Изображ.  $c$  сост. из 2 эл-тов:  $1/s \cdot c$  и  $E_c(s) = U_c(0_-) / s$  направленного против направления  $U_c(0_-)$ .

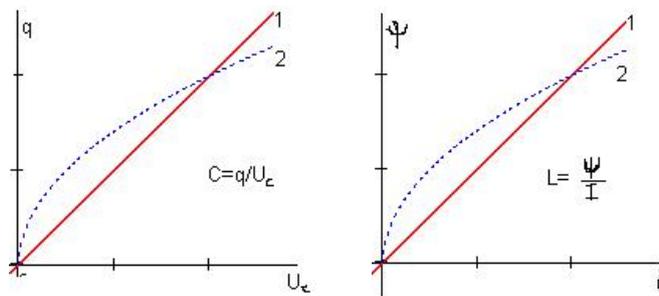
$$U_C(s) = \frac{I_C(s)}{s \cdot c} + \frac{U_C(0_-)}{s}$$

## Нелинейные ЭЦ. Общие понятия, параметры нелинейных элементов.

Нелинейной считается такая ЭЦ, которая содержит в себе хотя бы один нелинейный элемент (НЭ), т.е. элемент  $U$  и  $I$  на зажимах которого связаны нелинейной зависимостью. В нелинейных ЭЦ различают НЭ емкости, резисторы, индуктивности.



НЛ резистор характеризуется ВАХ:  
Хар-ка 2- сопр-е уменьшается с ростом тока (Электрич лампа, полупр-ковые диоды)  
Хар-ка 3- сопр-е растет с увелич. тока (лампа накаливания, нагревательные эл-ты)  
Для  $L$  и  $C$  смотри рисунки:



Соответственно  $L$  хар-ся Вебер-Амперной хар-кой,  $C$  –Кулон-Вольтной.

В нелинейных ЭЦ неприменим принцип наложения, т.к. параметры элементов зависят от режима их работы. Процессы в нелинейных ЭЦ описываются нелинейными алгебраическими или дифференциальными уравнениями, составленными по законам Кирхгофа.

### Классификация НЭ

Бывают без ферромагнитных сердечников, с ними.

Делятся по разным признакам: В зависимости от способности рассеивать электрическую энергию в виде тепла или копировать магнитную или электрическую энергию.

Различают НЭ с симметричной относительно осей координат. (Лампа накаливания, Бареттер-стабилизатор тока в некоторых пределах) и несимметричные (диод) ВАХ. Сопротивление НЭ с несимметричной ВАХ зависит от величины и направления тока.

**Неуправляемые и управляемые** НЭ (Управл. хар-ся семейством кривых параметром которых является управляющий фактор)

**Инерционные и безынерционные:** Характерной особенностью НЭ при переменном токе является инерционность, которая определяется например изменением сопротивления по действию изменения температуры. Так нагрев НЭ происходит не сразу, поэтому такие НЭ не реагируют на мгновенные всплески тока, а величина сопротивления определяется действующим значением тока через НЭ. Если к инерционному сопротивлению приложить  $U(\sin)$  действующее значение которого const, то ток через него также будет синусоидальным; а для безынерционных (диод) – не  $\sin$ .

Существуют НЭ, которые при малых частотах рассматриваются как безынерционные. Изменение сопротивления безынерционных НЭ связано с перераспределением носителей зарядов, которое происходит с большой скоростью. Величина сопротивления в этом случае зависит от мгновенного значения  $U$  или  $I$  на НЭ.

21. УРАВНЕНИЯ, ВЕКТОРНЫЕ ДИАГРАММЫ И ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ КАТУШКИ С ФЕРРОМАГНИТНЫМ СЕРДЕЧНИКОМ В УСТАНОВИВШЕМСЯ РЕЖИМЕ ПРИ СИНУСОИДАЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ.

$$U = Ir + d\psi_1/dt \quad (1) \quad \psi_s = L_s i$$

$$\psi_1 = \psi + \psi_s \quad (2) \quad \psi = W\Phi$$

$\psi(i)$  – не линейна, т.к. магнитная проницаемость  $\mu$  и, следовательно, магнитное сопротивление сердечника зависят от напряженности магнитного поля.

$$U = ir + L_s di/dt + U_0 \quad U_0 = Wd\Phi/dt$$

Заменим несинусоидальные кривые тока и потока ЭквСин (напряжение считаем синусоидальным). Тогда можем записать уравнения комплексным методом:

$$\dot{U}_m = \dot{I}_m r + j\omega L_s \dot{I}_m + j\omega W \dot{\Phi}_m = \dot{I}_m r + j\omega L_s \dot{I}_m + \dot{U}_{0m}$$

Уравнения катушки в комплексной форме записи:

$$\dot{U}_m = \dot{I}_m r + j\omega L_s \dot{I}_m + j\omega W \dot{\Phi}_m = \dot{I}_m r + j\omega L_s \dot{I}_m + \dot{U}_{0m}$$

$$\dot{U} = \dot{I} r + j\omega L_s \dot{I} + j\omega W \dot{\Phi} = \dot{I} r + j\omega L_s \dot{I} + \dot{U}_0$$

Эквивалентная синусоида тока отстает от эквивалентной синусоиды напряжения  $U_0=d\psi/dt$  на  $\varphi_0 < \pi/2$ , вследствие наличия потерь в сердечнике:

$$P_{ст} = P_B + P_r = U_B I \cos \varphi_0 > 0$$

Т.к. эквивалентная синусоида потока или потокосцепления отстает от эквивалентной синусоиды напряжения  $U_0=Wd\Phi/dt$  ( $\psi=W\Phi$ ) на  $\pi/2$ , то ЭквСин потока  $\Phi(\psi)$  отстает от ЭквСин тока  $i$  на угол  $\delta = \pi/2 - \varphi_0$

$$e = -U_0 = -Wd\Phi/dt$$

$$U_0 = 4,44fW\Phi_m$$

Угол  $\delta$  - угол потерь или угол магнитного запаздывания.

Векторная диаграмма.(Слева)

Ниже относится к параметрам схем замещения:

$g$  – расчетная активная проводимость (учитывает потери в стали сердечника),

$x_0$  – расчетное реактивное сопротивление,

$b_0$  – расчетная реактивная проводимость (учитывает основной магнитный поток  $\Phi$ )

$x_s = \omega L_s$  – реактивное сопротивление обмотки, учитывает наличие потока рассеивания,

$r_0$  – расчетное активное сопротивление,

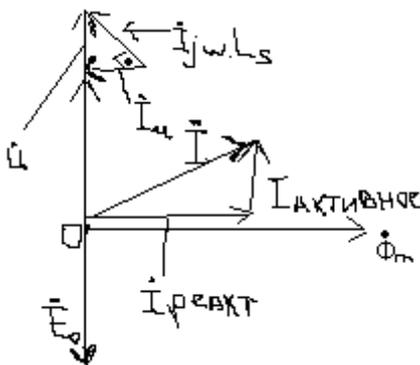
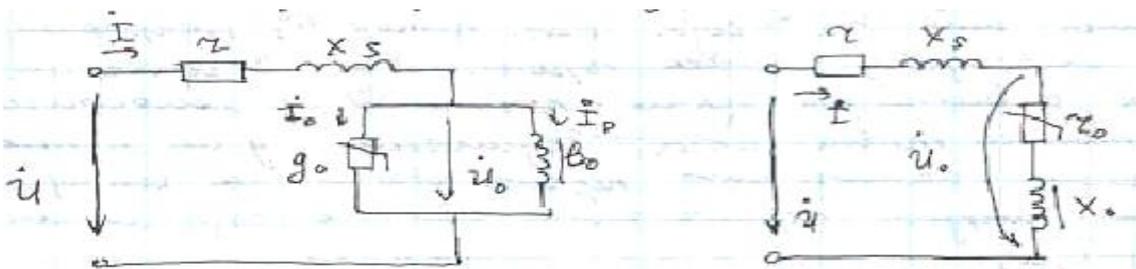


Схема замещения катушки при  $r \neq 0$ :



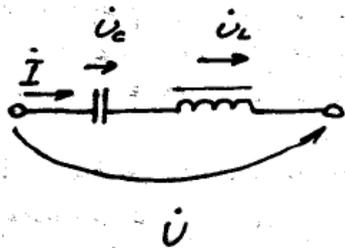
$g$  учитывает активно  
е сопротивление обмотки

и катушки.

24. ФЕРРОРЕЗОНАНСНОЕ (ФР) ЯВЛЕНИЕ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ  
КАТУШКИ С ФЕРРОМАГНИТНЫМ СЕРДЕЧНИКОМ И ЕМКОСТИ (НАПРЯЖЕНИЙ).

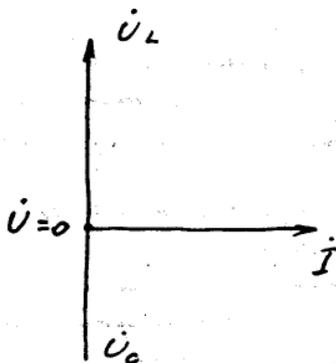
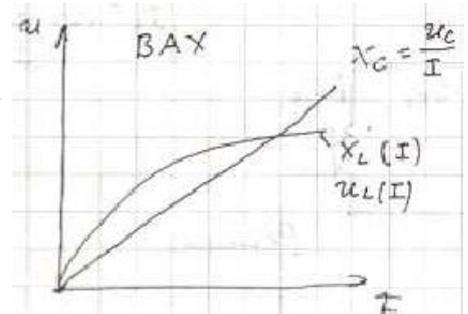
ФР – это резонанс в цепи, содержащей катушку с ферромагнитным сердечником соединенную последовательно или параллельно с емкостью.

ФР напряжений. Пусть есть цепь последовательно соединенных нелинейной катушки и линейной емкости.

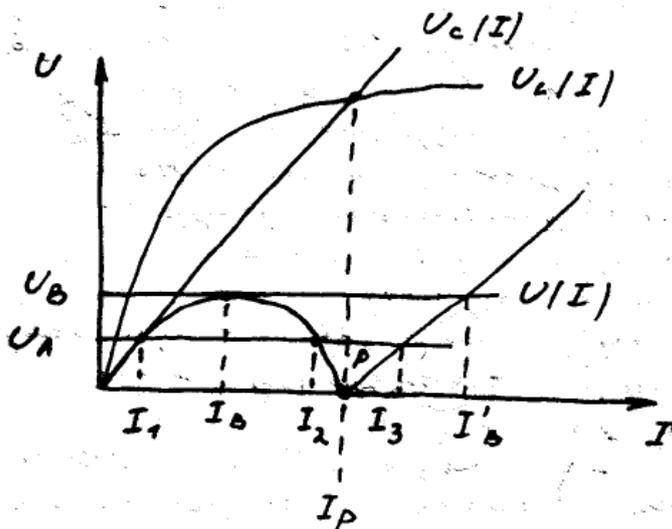


По ПзК:

$$\begin{aligned} \dot{u} &= \dot{u}_L + \dot{u}_c \\ u &= |\dot{u}| = |\dot{u}_L + \dot{u}_c| = \\ &= u_L - u_c \end{aligned}$$



Т.к.  $U_L = |E_L| = 4,44fw\Phi_{max}$ , т.е.  $U_L = \Phi_m$ , то кривая  $U_L(I)$  подобна кривой  $\Phi(I)$ , т.е. подобна основной характеристике  $B(H)$ .



ВАХ  $U_L(I)$  подобна  $B(H)$ .

$$U_c(I) = I \cdot X_c = I \cdot (1/wc) \quad U = |U_L - U_c|$$

т. с соответствует ФР напряжений, т.к.  $U_L = U_c, X_L = X_c$

**Особенности ФР:**

- 1) возможность настроить цепь в резонанс не только путем изменения частоты или параметров цепи ( $R - L - C$ ), но и путем изменения напряжения или тока источника.
- 2) Возможность получения триггерного эффекта (релейного), т.е. эффекта скачкообразного изменения напряжения или тока.

19. АНАЛИЗ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ В ЦЕПЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С НЕЛИНЕЙНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ: МЕТОД ЭКВИВАЛЕНТНЫХ СИНУСОИД.

Возможные методы:

- графические методы
- аналитические методы
- графоаналитические
  
- гармонический анализ
- метод эквивалентных синусоид

Для точного расчета НЛЦПТ надо решить систему нелинейных дифференциальных уравнений, составленных по законам Кирхгофа, что не всегда удается. => Широкое применение имеют приближенные методы:

- метод малого параметра и условной линеаризации
- метод аналитической аппроксимации нелинейной характеристики
- метод кусочно-линейной аппроксимации нелинейной характеристики
- итерационный метод и т.д.

Основная задача – определение временной зависимости  $i(t)$  или  $u(t)$  на заданном участке цепи, если известен закон изменения всех ЭДС и источников тока в цепи, т.е. провести гармонический анализ искомой величины тем или иным методом. В тех случаях, когда вопрос о форме кривых  $i(t)$  или  $u(t)$  нас непосредственно не интересует можно воспользоваться методом эквивалентных синусоид (замена несинусоидальных кривых напряжения и тока эквивалентными синусоидами), что позволяет применять к расчету комплексный метод (метод расчета по действительным значениям).

**Метод эквивалентных синусоид.**

Метод линеаризации систем, имеющих сравнительно малую нелинейность, когда внешние гармоники невелики и поэтому режим близок к синусоидальному. Поэтому можно все несинусоидальные величины ( $i, u, \Phi$ ) заменяются эквивалентными синусоидальными. Выбор экв синусоид  $i$  и  $u$ , т.е. их амплитуд и их начальных фаз может быть осуществлен тем или иным способом, в зависимости от поставленной задачи.

Если “U” синусоидальное и хотим сохранить неизменной мощность в НЛЭ, то эквивалентной синусоидой должна быть выбрана первая гармоника тока, т.е.

$P$  – активная мощность,

$$U = U_m \sin(\omega t)$$

$$i = I_{1m} \sin(\omega t - \varphi_{(1)}) + I_{2m} \sin(2\omega t - \varphi_{(2)}) + \dots$$

$$P = P_{(1)} + P_{(2)} + P_{(3)} + \dots = U_1 I_1 \cos(\varphi_{(1)}) + U_2 I_2 \cos(\varphi_{(2)}) + \dots$$

Все слагаемые, кроме первого  $=0$ , т.к. в напряжении присутствует только первая гармоника тока.  $U_{(2)}=U_{(3)}= \dots =0$

Целесообразно заменить  $i(t)$  синусоидой, эквивалентной ему по действительному значению.  $P_r = \text{const}$  Условие эквивалентности:

неизменность действительных значений  $i$ ,  $u$  и потерь в этом НЛЭ. Если пренебречь потерями в НЛЭ, то эквивалентная синусоида определяется лишь по действительным значениям несинусоидальных величин.

$$\varphi_{(1)} = \arccos(P_1 / (I_1 U_1))$$

$$I_d = I_{\max} / \sqrt{2}$$

Переход к эквивалентным синусоидам позволяет применить комплексный метод и векторные диаграммы и составить эквивалентные схемы с эквивалентными параметрами.

Широкое применение метод Экв Син находит при расчете устройств, содержащих ферромагнитный сердечник, например катушки со сталью и трансформаторы с сердечниками.

## **Электрические машины.**

### *Принцип действия, основные узлы.*

Электрическая машина – электрическое механическое устройство для взаимного преобразования электрической и механической энергий, в основе работы лежат законы электромагнитной индукции и силы.

Если в магнитном поле перемещать проводник таким образом, чтобы он пересекал силовые линии, то в проводнике будет возникать ЭДС. Любая машина состоит из подвижной и неподвижной частей. Одна из этих частей создаёт магнитное поле, а на другой расположена электропроводящая среда (как правило, обмотка). Если к электрической машине приложить механическое усилие, то подвижная часть начнёт перемещаться (как правило, вращаться). В проводниках обмотки вследствие пересечения ими силовых линий будет наводиться ЭДС, если подсоединить нагрузку, то появится ток (такая машина – генератор).

Взаимодействие протекающего тока в обмотке с магнитным полем вызовет электромагнитную силу, которая будет направлена навстречу ЭДС. В состоянии равновесия эти силы равны. Если к обмотке электрической машины подключить источник, то протекающий ток, совместно с магнитным полем, создаст электромагнитную силу, приложенную к проводникам. Эта сила приведёт в движение подвижные части двигателя, эта машина – двигатель. В любой машине электромагнитные преобразования происходят в активной части, где расположена обмотка. Она может быть в подвижной и неподвижной части.

Любая машина может быть и генератором и двигателем. Признак обратимости – наведённая в обмотке ЭДС.

Для электромагнитного преобразования энергии необходимо устройство, создающее первичное поле, и среда, по которой замыкается электрический ток (обмотка, электропроводящая среда) и взаимное перемещение. В активной зоне возникает ЭДС и электромагнитная сила. Все электрические машины обратимые.

### *Основные узлы.*

Индуктор – устройство, создающее первичное поле.

Якорь – активная зона, в которой происходит преобразование электромагнитной энергии.

Статор – неподвижная часть машины.

Ротор – вращающаяся часть машины.

Магнитная цепь – основные участки, по которым замыкается основной магнитный поток.

Электрическая цепь – обмотка, контакты и среды, по которым протекает электрический ток.

Разделение машин на генераторы и двигатели является принципиальным. Классификацию осуществляют по принципу работы, в основе которого лежит и конструкция электрической машины.

Машины бывают бесконтактными и контактными (коллекторные). К бесконтактным относятся машины переменного тока (асинхронные АМ; и синхронные машины СМ). В зависимости от числа фаз различают 3-х фазные, 2-х фазные и однофазные (конденсаторные). Асинхронные бывают с фазным ротором и короткозамкнутым.

Синхронные с возбуждением от постоянных магнитов и электромагнитов. Коллекторные машины питаются в основном от источника постоянного тока. Применяются универсальные машины, которые питаются от постоянного и переменного тока.

*Машины постоянного тока, простейшая модель, принцип работы. Энергетические соотношения.*