



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н.Э. БАУМАНА

Учебное пособие

Курс лекций

«Основы электротехники»

МГТУ имени Н.Э. Баумана

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н.Э. БАУМАНА

Курс лекций

«Основы электротехники»

Москва
МГТУ имени Н.Э. Баумана

2012

УДК 681.3.06(075.8)
ББК 32.973-018
И201

Курс лекций «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 курсе лекций 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

The course of lectures addressed the main themes of the course "Fundamentals of Electrical Engineering," such as how to calculate the principal electric circuits, namely the nominal electronic radio components, 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.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ЛЕКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО КУРСУ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ	7
1.1 Лекция 1.....	7
1.2 Лекция 2.....	10
1.3 Лекция 3.....	11
1.4 Лекция 4.....	15
1.5 Лекция 5.....	18
1.6 Лекция 6.....	21
1.7 Лекция 7.....	24
1.8 Лекция 8.....	28
1.9 Лекция 9.....	30
1.10 Лекция 10.....	33
1.11 Лекция 11.....	34
1.12 Лекция 12.....	37
1.13 Лекция 13.....	40
1.14 Лекция 14.....	45
ВЫВОДЫ.....	51
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	52

ВВЕДЕНИЕ

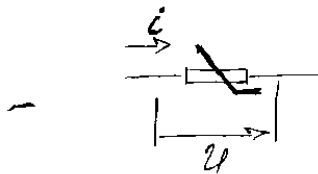
Данный конспект лекций составлен на основе лекционного курса, читаемого в МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре иу4 преподавателем Баранов Е. Н. Курс лекций рекомендован к выполнению текущих аттестационных мероприятий и подготовки к зачету по предмету «Основы электротехники».

1 ЛЕКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО КУРСУ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Лекция №1 (19.02.2007)

Нелинейные электрические и магнитные цепи.

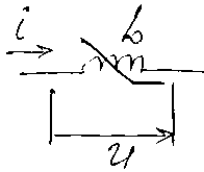
Нелинейн явл. электрические цепи параметры кот. (R, L, C) зависят от режима работы цепи, т.е. явл. ф-ями напряжен или токов на этих элементах.



$$u = r \cdot i;$$

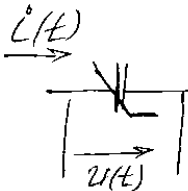
$$r = r(i, u) \neq \text{const}$$

r - ф-я тока или напряж.



$$u = L \frac{di}{dt};$$

$$L = L(i);$$



$$i = C \frac{du}{dt}$$

$$C = C(u)$$

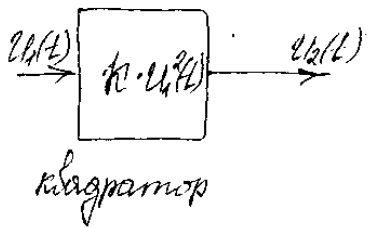
Нелин. цепями можно набр. цепи по отнош. к кот. нельзя примен. принцип суперпозиции.

$$f(x_1 + x_2) \neq f(x_1) + f(x_2);$$

Все методы в кот. исп. принцип в/л нелинейн (в общем случ.) для нелинейн. электр. цепей (без учета использ. метод узлов потенциал. и метод жёстк. точек)

Нелин. можно считать цепи необл. св/вал преобраз. частотного спектра сигналов.

Пример

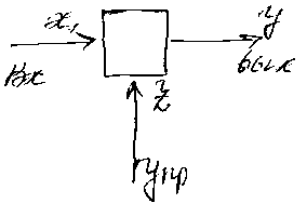


$$u_1(t) = U_{1,max} \sin \omega t$$

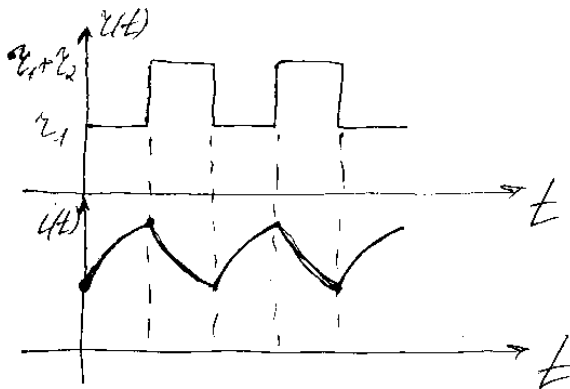
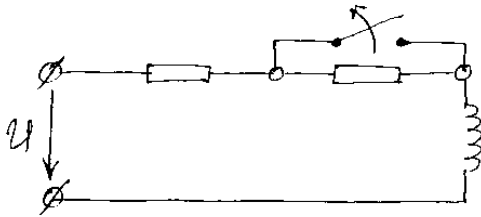
$$u_2(t) = k U_{1,max}^2 \sin^2 \omega t =$$

$$= \frac{k U_{1,max}^2}{2} (1 - \cos 2\omega t)$$

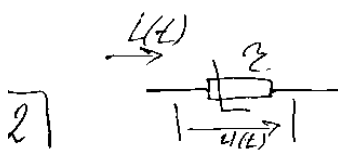
Примечание: спектра сигнала с.п. также параметр. цепи или цепи с нелинейн. н-ми.



Пример

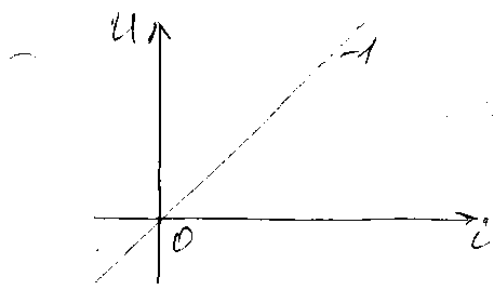


Нелин. электр. сопротивл.

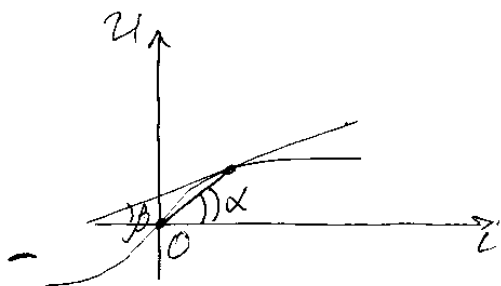


$$u(t) = z(i) \cdot i(t)$$

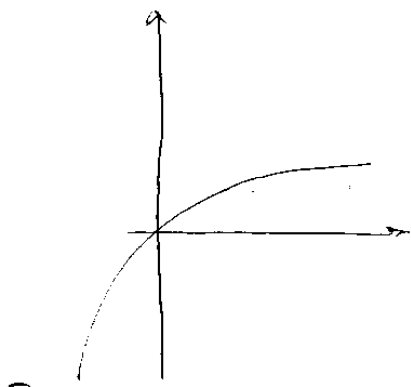
$$u = f_1(i); \quad i = f_2(u) \quad (\text{ВАХ})$$



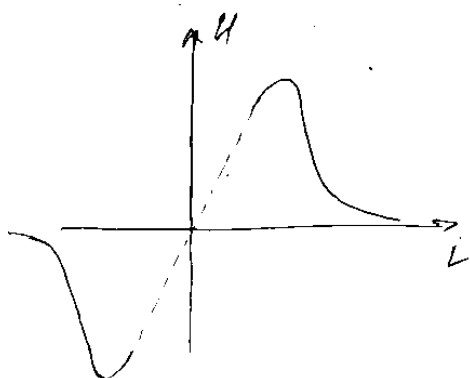
1-ВАХ
линейного компонента.



линей. ВАХ



нелиней. ВАХ (грав.)



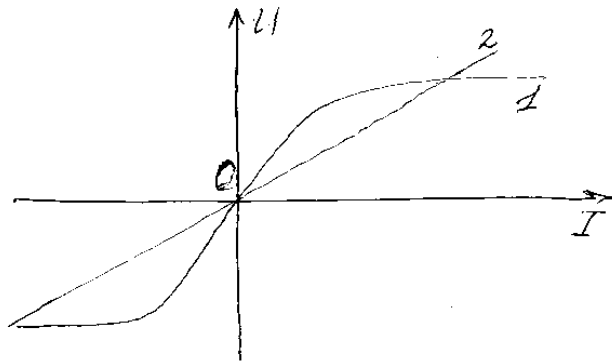
Статический и дифференциальный коэффициенты.
Нелиней. симметричная.

$$\chi_{cm} = \frac{U}{I} = \text{tg} \alpha$$

$$\chi_{dcm} = \frac{dU}{dI} = \text{tg} \beta;$$

Лекция №2 (20.02.2007)

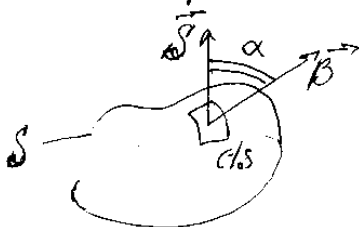
Инерционные и безинерционные
нелин. Э-тэл.



Инерц. отличие тэл, что ВАХ зависит от скорости сдвига. (2 - быстр, 1 - медлен)

Самые типичные инерцион. - это термоэлементы.

Принцип непрерывности магнитн. потока.



$$\Phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s}$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H}; \quad \mu = \mu_0 \mu_r;$$

$$\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{Тл}}{\text{А}} \right]$$

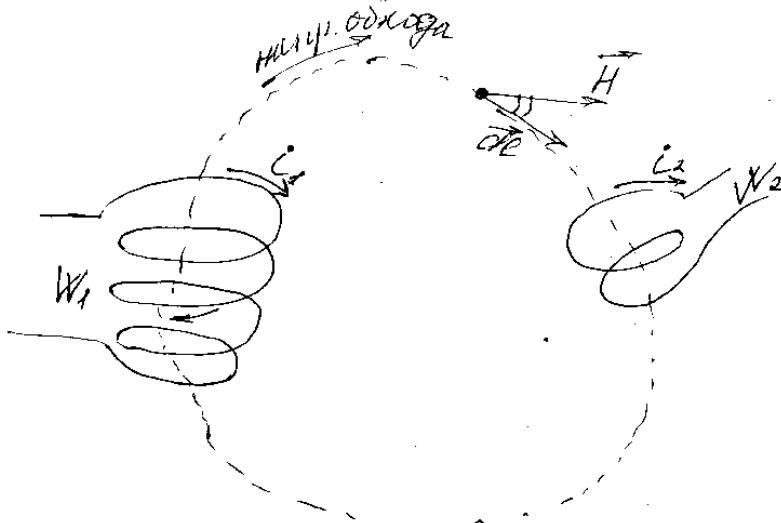
(проникн. вакуума)

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$$

- принцип непрерывности магнитн. потока

Магнитн. поток через замкнутую поверхность равен 0.

Закон полного тока.



$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \sum I \quad - \text{закон полного тока}$$

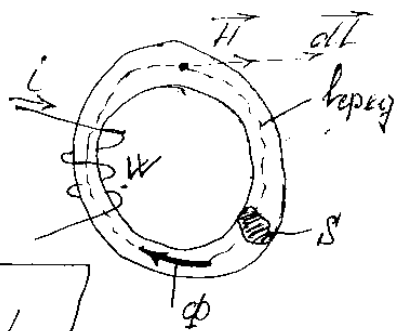
$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = -I_1 W_1 + I_2 W_2$$

Кемпеліная індуктыўнасць.

$$L_{\text{em}} = \frac{\Psi}{I} = \frac{W \Phi}{I} = \frac{W S B}{I} \Leftrightarrow$$

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \oint_L H dl = H \oint_L dl = H \cdot l;$$

$$\Leftrightarrow \frac{W^2 S B}{H l} = \frac{W^2 S}{\mu_{\text{em}} l} \mu_{\text{em}} = L_{\text{em}}$$



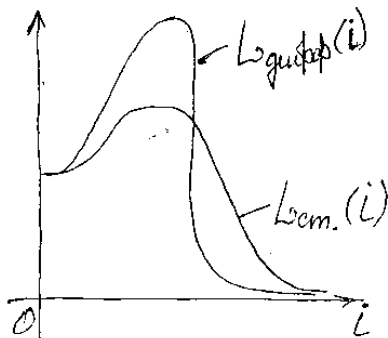
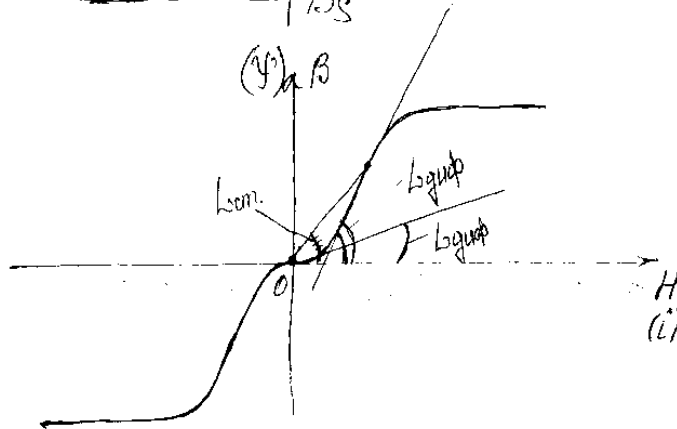
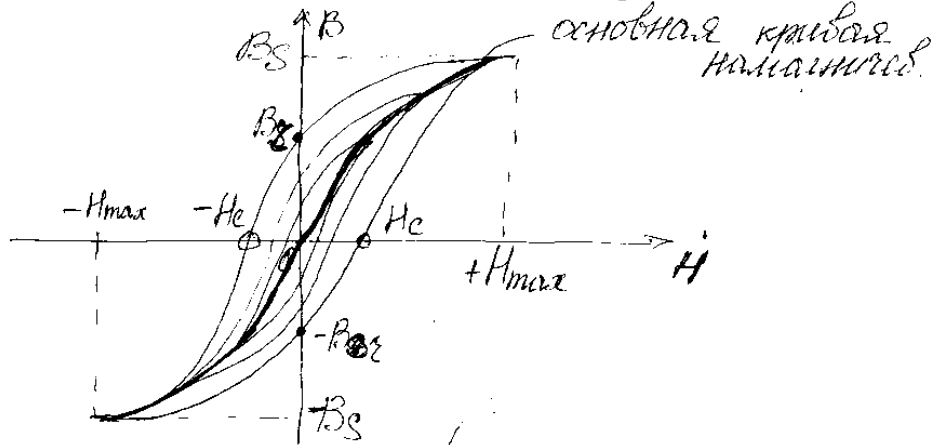
$$I W = H l;$$

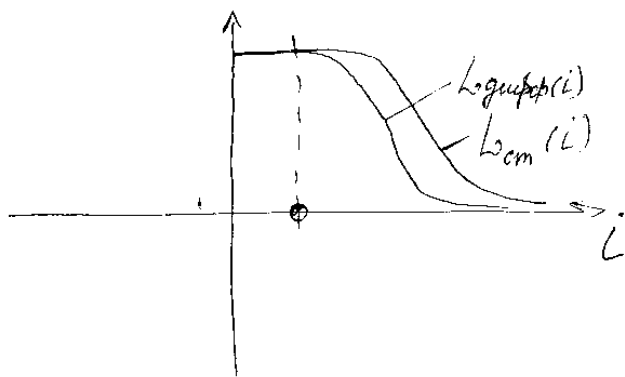
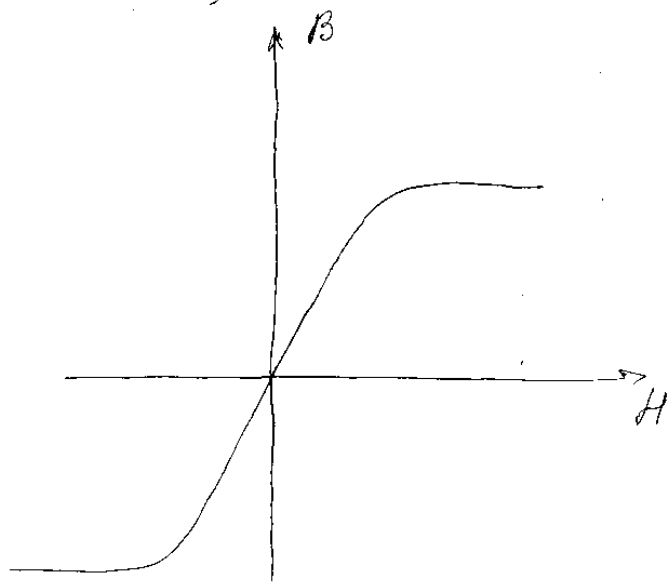
$$I = \frac{H l}{W}$$

Лекция № 3 (27.02.2007)

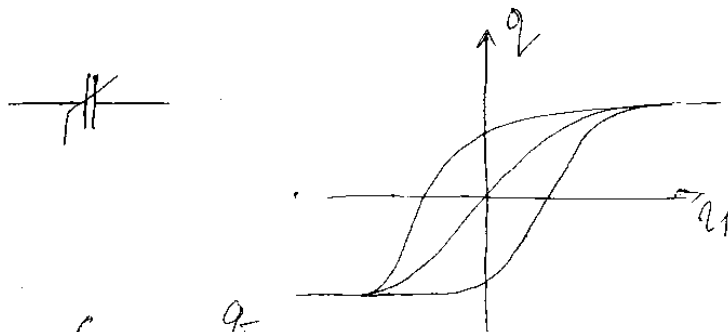
$$L_{cm} = \int_{-H_{max}}^{+H_{max}} \mu_{cm} \cdot \frac{W^2 S}{l_{ep}}; \quad \mu_{cm} = \frac{B}{H};$$

$$L_{quadr} = \frac{d\Psi}{di} = \frac{d(B \cdot S \cdot W)}{d(H \cdot l_{ep}/W)} = \frac{W^2 S}{l_{ep}} \left(\frac{dB}{dH} \right) = \mu_{quadr} \cdot \frac{W^2 S}{l_{ep}};$$





Нелинейная емкость.



$$C_{cm} = \frac{q}{u},$$

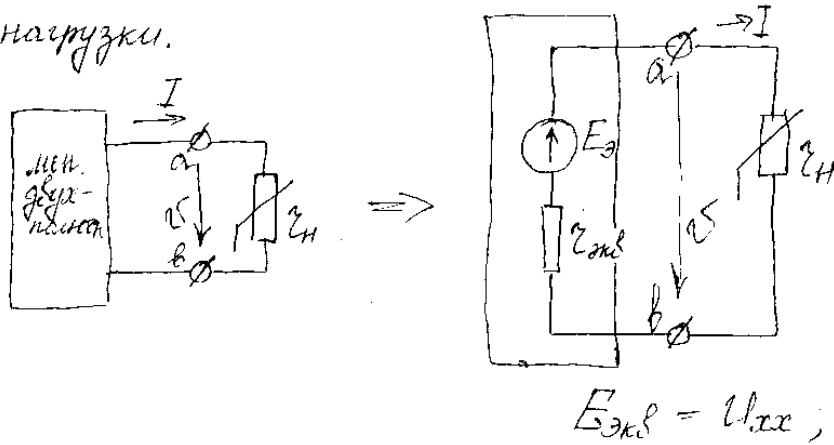
$$C_{diff} = \frac{dq}{du}$$

Методы расчета миним. цепей пост. тока.

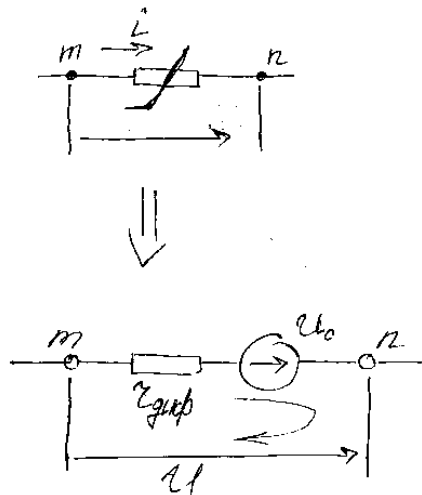
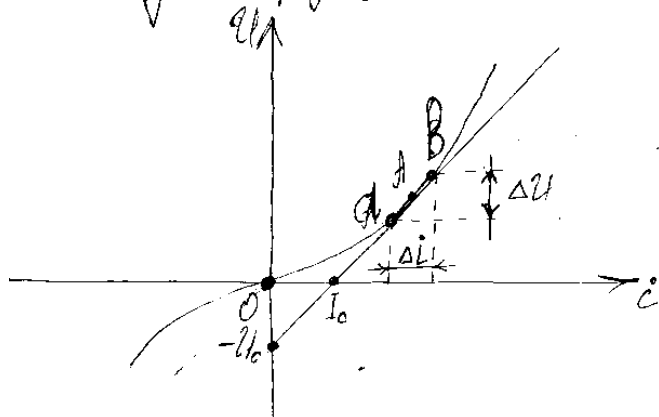
- 1) Графа - аналит. методы (семинар)
- 2) Метод эквивалентного генератора

В общем случае не применимы, т.к. в ходе доказ. использован принцип суперпозиции, его примен.

- возможно если миним. элементы содержат только в одной ветви i ; именно эта ветвь выбирается в качестве ветви нагрузки.



3) Метод линеаризации



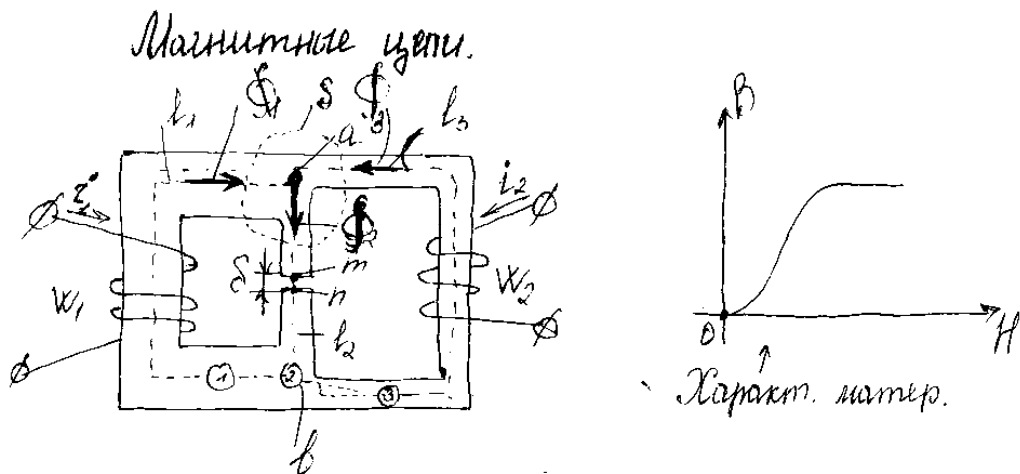
$$U_0 = -U + I \cdot Z_{эфф}$$

$$U = -U_0 + I \cdot Z_{эфф}$$

При задане миним. сопротивл. мин. экв. необход.:

- 1) Направл. напряят. и тока на выходн. и на линейар. делителю выбираться одинаково.
 - 2) Если аппроксимир. прям. отсек. по всем отрезк.
 $-U_0 + i_0$, то ЭДС U_0 на осеи направл. по току.
 - 3) Если $+U_0 - i_0$, то ЭДС U_0 против.
- Если расчет. линейной осеи замещ. показ, что ток. величины соотв. стороны ав.

Лекция №4 (06.03.2007)



l_1, l_2, l_3 - длины средн. линий
 S_1, S_2, S_3 - поперечн. сечен.

узн: задано w_k, i_k ; Φ_k - ?

Ограничен. ~~на~~ ~~на~~ ~~на~~ :

- 1) Величины опред. поперечн. сечен. магнитопров. сущают. меньше длин. ~~на~~ соотв. участков.
- 2) Катод. из разн. опред. поперечн. сечен. стертые делителю быть сущ. больше, чем δ , в этом случае

тогда поперечн. сечен. зазора можно считать тожд. тожд. магнитопровода. В этом случае можно пренебречь боков. распорж. сечен. магн.

3) Магнитопровод. не даются насед в сест. глубокого насыщен. в этом случ. потоки насыщ. малы и ими можно пренебречь.

Запишем уравн. для дан. контр. из прин-ципа непрер. магнитного потока и закону полн. тока

$$\Phi_1 + \Phi_3 - \Phi_2 = 0;$$

$$\Phi_1 + \Phi_3 - \Phi_2 = 0;$$

Отв. 2 уравн. сест. для замкн. контр. по закону полного тока, при этом контуры выберем совпаду с средн. линией соответ. стержней.

$$\oint_{\vec{l}} \vec{H} d\vec{l} = \sum I;$$

Для любого контура:

$$\begin{aligned} \oint_{\vec{l}} \vec{H} d\vec{l} &= \int_{ba}^a \vec{H}_1 d\vec{l} + \int_a^m \vec{H}_2 d\vec{l} + \int_m^n \vec{H}_3 d\vec{l} + \int_n^b \vec{H}_4 d\vec{l} = \\ &= H_1 \int_b^a dl + H_2 \int_a^m dl + H_3 \int_m^n dl + H_4 \int_n^b dl = \\ &= H_1 l_{ba} + H_2 l_{am} + H_3 l_{mn} + H_4 l_{nb} = \\ &= H_1 l_{ba} + H_2 l_2 + H_3 \delta; \end{aligned}$$

$$\begin{cases} H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_3 \delta = + i_1 w_1; \\ H_1 l_1 - H_3 l_3 = i_1 w_1 - i_2 w_2; \\ \varphi_1 + \varphi_3 - \varphi_2 = 0; \end{cases}$$

$$\left. \begin{array}{l} \vec{\varphi}_3 \\ \vec{H} \\ \vec{dl} \end{array} \right\} \int_a^b \vec{H}_3 d\vec{l} = \int_a^b H_3 \cos \theta dl = -H_3 l_{ba} = -H_3 l_3;$$

$$\mathcal{U}_M = \int_a^b \vec{H} d\vec{l} (A) \quad - \text{магнитное напряжение}$$

$$\begin{cases} \varphi_1 + \varphi_3 + \varphi_2 = 0; \\ \mathcal{U}_{M1} + \mathcal{U}_{M2} + \mathcal{U}_{M3} = i_1 w_1; \\ \mathcal{U}_{M1} - \mathcal{U}_{M3} = i_1 w_1 - i_2 w_2; \end{cases}$$

$$\begin{array}{l} \sum_{k=1}^n \varphi_k = 0; \quad \varphi \rightarrow i \\ \sum_{k=1}^n i_k w_k = \sum_{k=1}^n \mathcal{U}_{Mk}; \quad i w \rightarrow e \\ \mathcal{U}_M \rightarrow \mathcal{U} \\ \mathcal{Z}_M \rightarrow \mathcal{Z} \end{array}$$

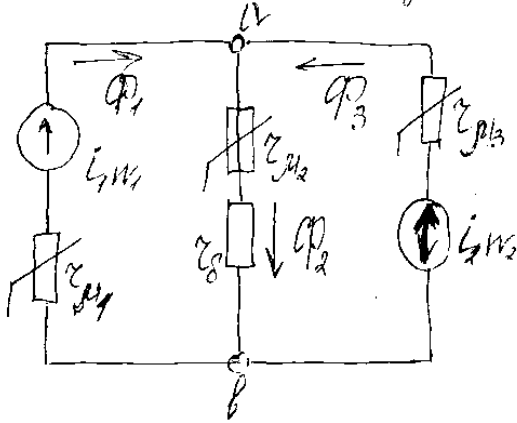
$$\mathcal{Z}_M = \frac{\mathcal{U}_M}{\varphi} \left[\frac{A}{B \cdot S} \right] = \left[\frac{A}{\mu \cdot S} \right] = \left[\frac{1}{\mu \cdot S} \right];$$

$$\mathcal{Z}_M = \frac{\mathcal{U}_M}{\varphi} = \frac{H l}{B \cdot S} = \frac{H l}{\mu H \cdot S} = \frac{l}{\mu \cdot S} = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{S};$$

Магнитн. сопротив. для ферромагн. участков является нелинейн., линейн. для воздушн. зазоров.

$$\begin{cases} \varphi_1 + \varphi_3 - \varphi_2 = 0; \\ \varphi_1 \cdot z_{\mu_1} + \varphi_2 \cdot z_{\mu_2} + \varphi_3 z_{\mu_3} = \dot{I}_1 W_1; \\ \varphi_1 z_{\mu_1} - \varphi_3 z_{\mu_3} = \dot{I}_1 W_1 - \dot{I}_2 W_2; \end{cases}$$

Расчетная схема цепи магн. цепи:



Лекция №5 (в.ОЗ.2007)

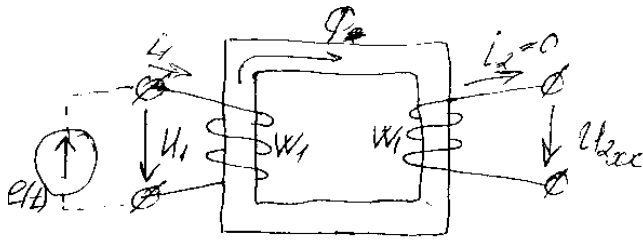
Нелинейное электр. элем. с
синусоид. ист. ЭДС

Если в цепи имеется хотя бы 1 нелинейн элем., напряжение и токи на отдельн. участках не будут синусоид. даже при синусоид. источнике питания. Они будут период. если периодич. период протв. с периодом цепи всег равн периоду источника питания.

Метод ~~уравн~~ послед. нелинейн. цепей с перем. ЭДС исп. ВАХ нелинейн. элем. для нелинейн. элементов.

Расч. работу трансформатора в режиме холост. хода:

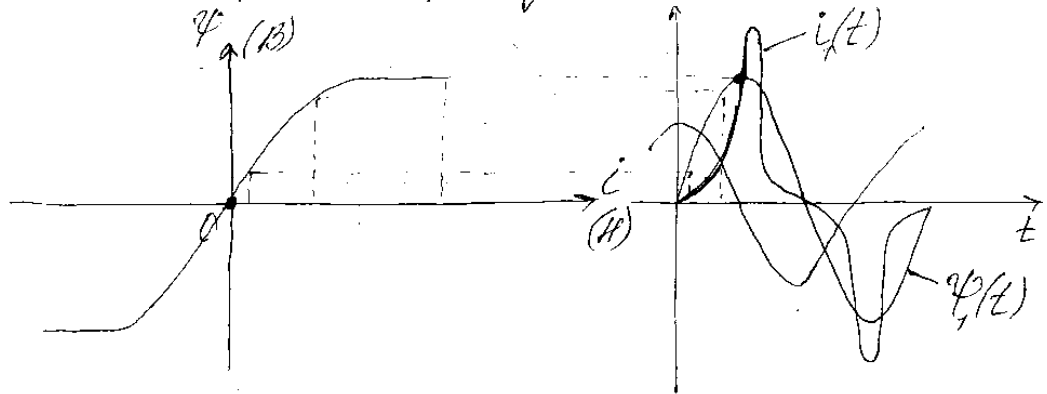
а) При питании от источника ЭДС



$$i_1 r_1 + \frac{d\Phi N_1}{dt} = U_1; \quad \Psi_1 = N_1 \cdot \Phi;$$

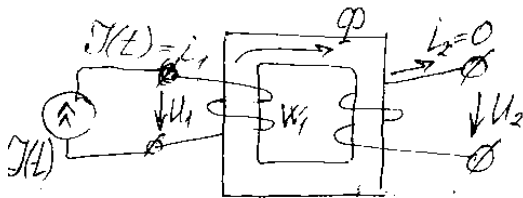
$$i_1 r_1 \ll \frac{d\Phi N_1}{dt} \Rightarrow \frac{d\Phi N_1}{dt} \approx U_1$$

Если к обмотке приложено синусоид. напряжение, то и поток будет синусоид.



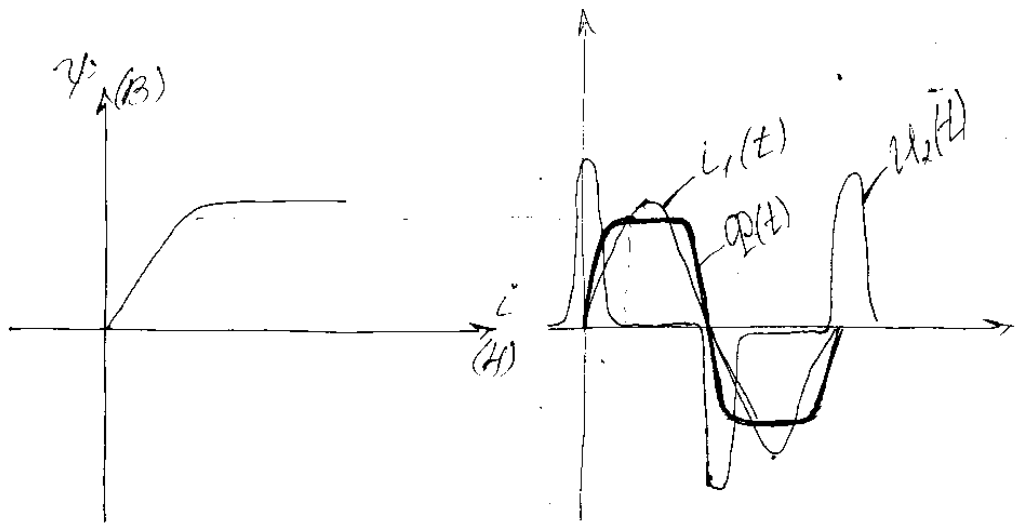
$$\Psi_2 = N_2 \Phi; \quad U_2 = \frac{d\Psi_2}{dt} = N_2 \frac{d\Phi}{dt};$$

б) При питании от пом. тока:



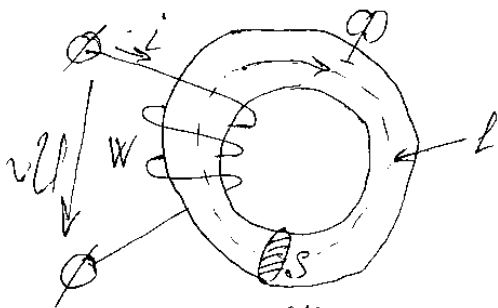
$$i_1 r_1 + \frac{d\Phi N_1}{dt} = U_1;$$

$$i_1 r_1 \approx U_1;$$



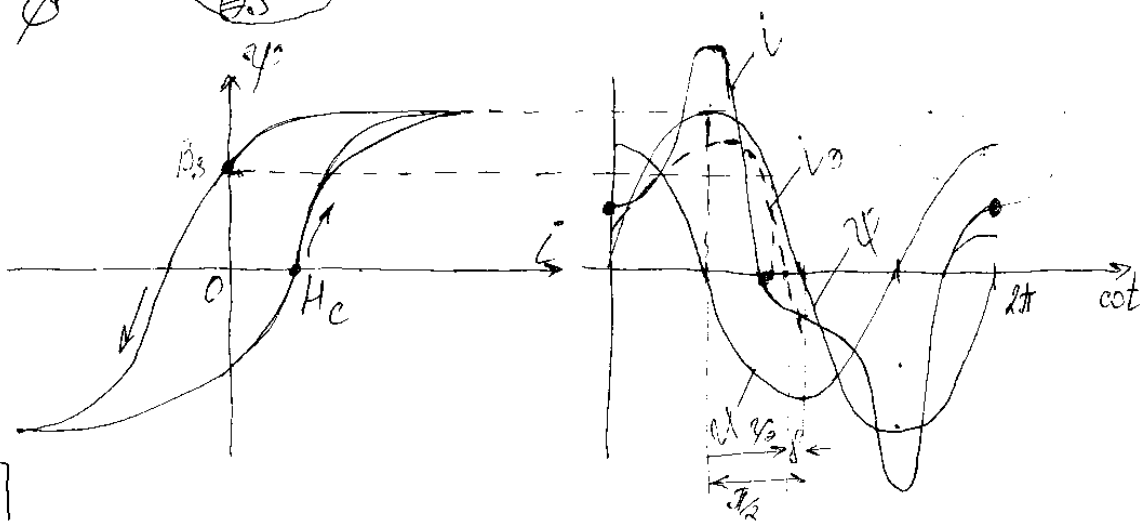
Результаты пик-трансформатора.

Катушка с ферромагн. сердечником
в цепи перемен. тока.
Метод экв. синусоиды



$$u = \frac{d\psi}{dt} \quad i_2 \ll \frac{d\psi}{dt}$$

$$i_2 + \frac{d\psi}{dt} = u$$



Подобные упр. реш. методом ж.б. синусоид, где все несинусоидальные замени. ж.б. упроб.

Период ж.б. синусоиды = ^{период} истинного несинусоид. процесса.
 Действ. знак ж.б. синусоид выбирается равным действ. знак. истинного процесса.

$$U_{m\alpha} = \sqrt{2} U$$

Метод ж.б. синусоид применим когда не синусоид. процесс не сред. кривиз. действ. данного процесса, особенно когда не синусоид не сильно выгнута (крив. к — точке α), (не крив. к β)

$$\varphi_0 + \gamma = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \varphi_0 = \frac{\pi}{2} - \gamma;$$

γ — угол естественных потерь.

$$P = UI_{жб} \cos \varphi_0 \neq 0;$$

Активн. мощность не $\equiv 0$, преобразуется в тепло, т.к. $\tau = 0 \Rightarrow$ нагревается сердечник.

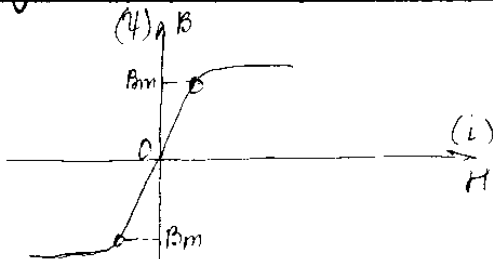
$$U = \frac{d\psi}{dt} = \frac{d(\psi_m \sin \omega t)}{dt} = \psi_m \omega \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$U_m = \omega \psi_m = 2\pi f W S \cdot B_m$$

$$U = \sqrt{2} \pi f W S B_m = 4,44 f W S B_m \quad (1)$$

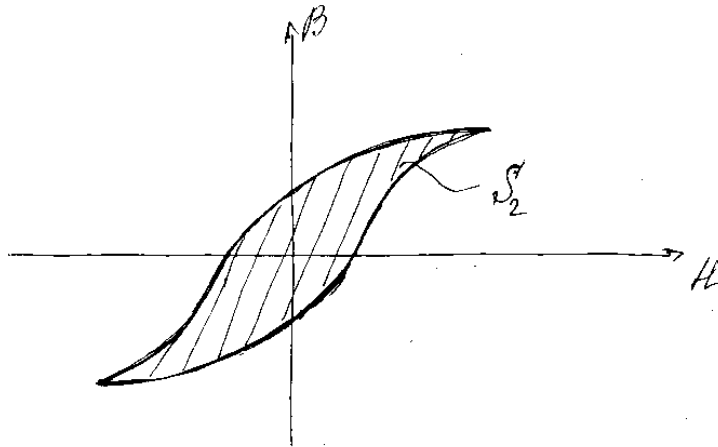
Лекция №6

(20.03.2007)



Потери энергии в ферромагнитной сердечнике.

а) Потери на гистерезис

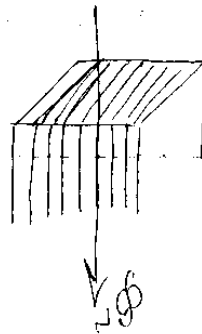
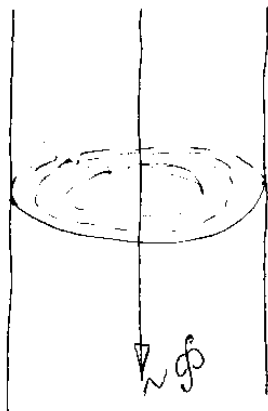


Площадь петли гистерезиса в координ. В-Н равна потерям энергии в сердечнике в ед. объема за один период намагничивания.

$$P_{\text{гист}} = S_2 \cdot V \cdot f$$

$$P_{\text{гист}} = \sigma_2 B_m^2 f V$$

б) Потери на вихревые токи.



$$P_{\text{вихр}} = \epsilon_{\frac{1}{2}} \cdot a^2 B_m^2 f^2 V$$

a - толщина листов;

$$P_{\text{сталь}} = P_{\text{вихр}} + P_{\text{магн}},$$

$$P_{\text{ст}} = UI \cos \varphi_3;$$

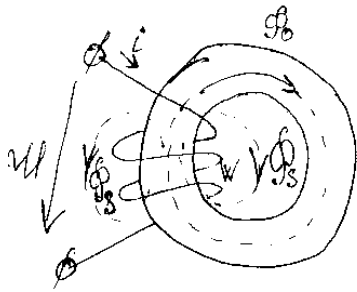
$$\cos \varphi_3 = \frac{P_{\text{ст}}}{UI}$$

Пример: катушка со сталью, работает на част. $f = 50 \text{ Гц}$ и напря U , подключ к сети U и $f = 500 \text{ Гц}$.
Как измен потери на нагрев;

Ответ: общие потери на нагрев сердечника несколько уменьшатся, потому что в 10 раз уменьш. B_m из (1).

Уравнения, векторная диаграмма и схема замещения катушки с ферромагнитн. сердечником.

При расчете используем метод эквивалент синусоид.
При этом учитыв. сопротивление, индуктивный характер кривой намагнич., и наличие вихр. токов (потери в стали), а также наличие магнит. потоков рассеяв. не полностью замык по сердечнику.



$$iZ + \frac{d\psi}{dt} = U;$$

$$\psi = W(\Phi_0 + \Phi_s) = W\Phi_0 + W\Phi_s;$$

$$L_s = \frac{\psi_s}{i}$$

→ индуктивность рассеяния.

$$\psi_s = L_s \cdot i;$$

$$L_s = \text{const};$$

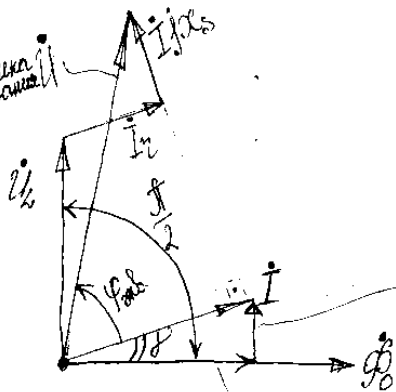
$$iZ + L_s \cdot \frac{di}{dt} + W \cdot \frac{d\Phi_0}{dt} = U;$$

$$\dot{I}Z + j\omega L_s \cdot \dot{I} + j\omega W \dot{\Phi}_0 = U;$$

$\omega L_s = X_s$; - индуктивное сопротивление рассеяния

$$j\omega W \dot{\Phi}_0 = U_b; \quad \omega W \dot{\Phi}_0 = U_b;$$

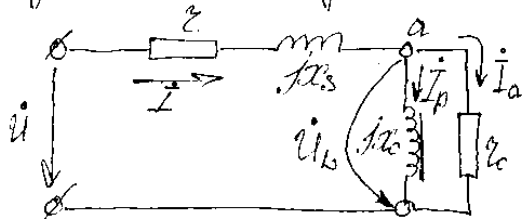
Угол сдвига фаз между i и U_b



\dot{I}_a - активная, сред. мощность

\dot{I}_r - реактивная, связан с потоком.

Если замкнуть катушки с ферромагнитным сердечником



$$\begin{cases} \dot{I} = \dot{I}_a + \dot{I}_p; \\ \dot{I}z + \dot{I}jx_s + U_0 = \dot{U}; \end{cases}$$

jx_s - фактор рассеив.;

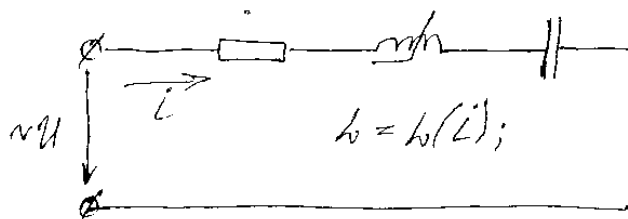
U_0 - потери в стали;

jx_c - индукт. сопротив. отрез. магнитной ш/к;

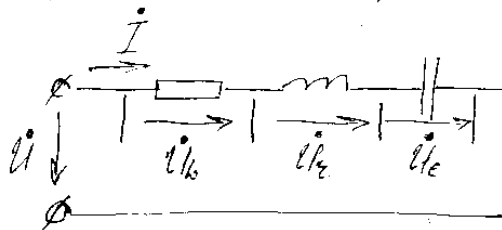
Феррорезонансные цепи.

- это цепи с источниками переменного тока, вилот, в себя нелинейную индукт и линейную емкость, в таких цепях возник явление феррорезонанса:

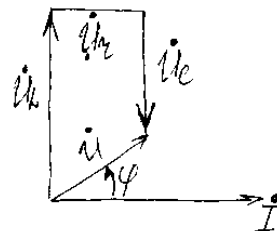
а) Феррорезонанс напряжений:

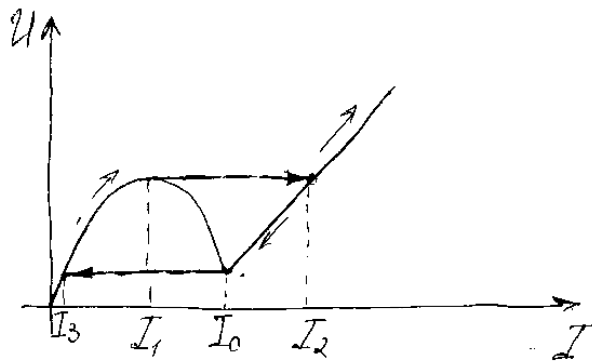
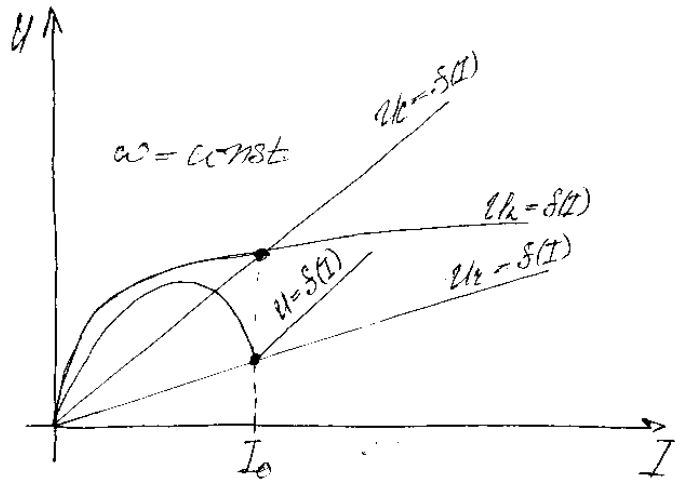


Будем использов. для анализа ВАХ для детерм. значений напряжений и тока, и метод эквив. амплитуд.

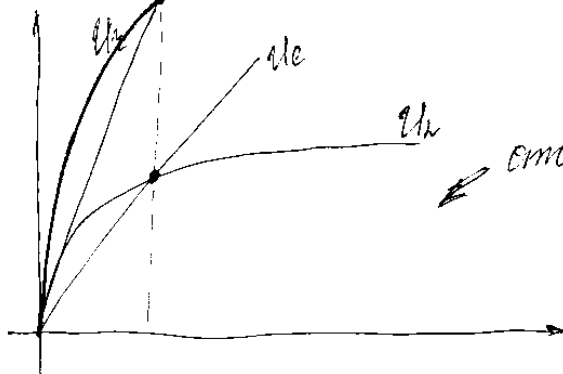
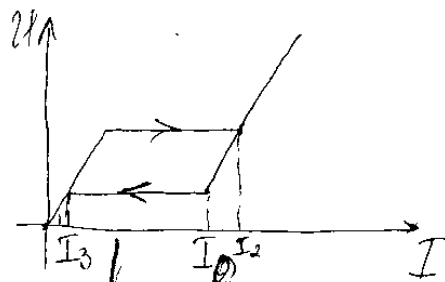


$$U = \sqrt{U_C^2 + (U_R - U_L)^2};$$



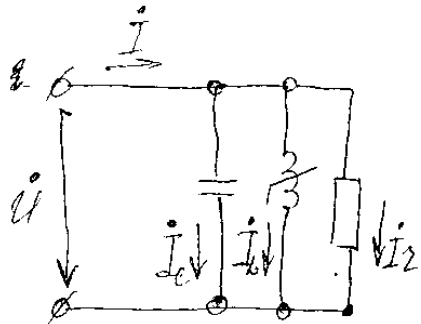


Резонансная цепь обладает триггерным эффектом

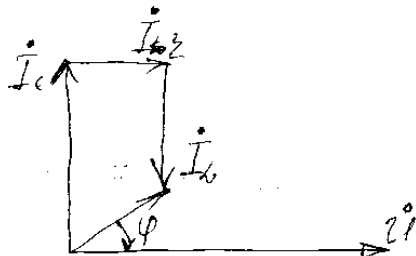


отсутствие тригг. эффекта при большой активной нагрузке

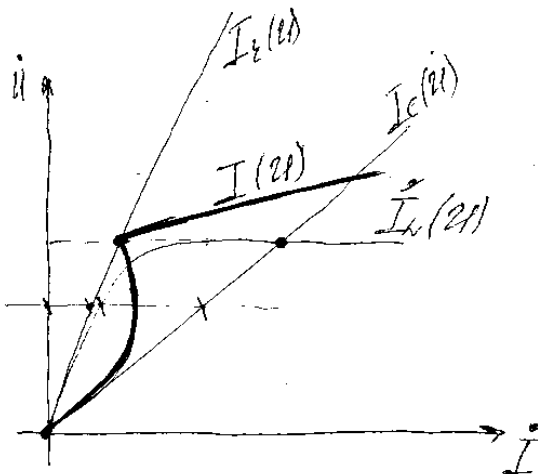
8) Ферррезонанс тэков:



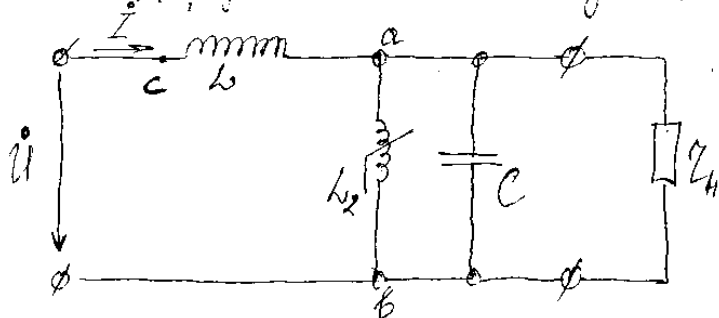
$$\dot{I}_c + \dot{I}_z + \dot{I}_b = \dot{I};$$

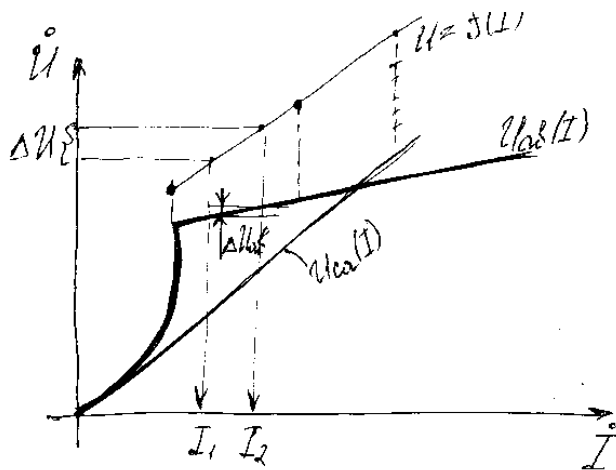


$$I = \sqrt{I_z^2 + (I_c - I_b)^2}$$



Ферррезонансний стабілізатор напруження



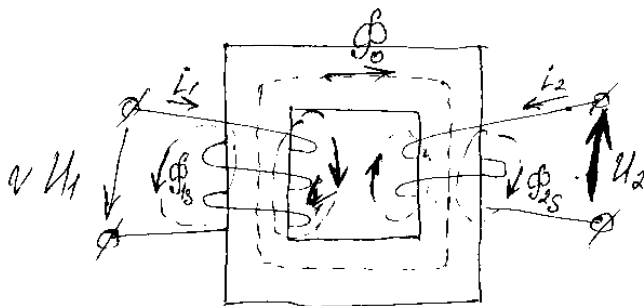


$$\dot{U} = U_{ca} + U_{ab}$$

линейный трансформатор.

Линия № 8

(03.04.2007)



$$\begin{cases} i_1 L_1 + \frac{d\psi_1}{dt} = U_1; \\ i_2 L_2 + \frac{d\psi_2}{dt} + U_2 = 0; \end{cases}$$

Статический аппарат для преобр. напр. и удлин. без удлин. частоты и преобр по мощности.

Φ_0 - основной поток,

Φ_{1s} - поток рассеивания;

Кроме ретивля U_{xx} Φ_{0} Φ_{1s} Φ_{2s} тькаи i_1 и i_2

$$\psi_1 = W_1 (\Phi_0 + \Phi_{1s})$$

$$\psi_2 = W_2 (\Phi_0 + \Phi_{2s})$$

Для точек 1 и 2:

$$L_{15} = \frac{W_1 \Phi_{15}}{I_1} = \text{const}; \quad L_{23} = \frac{W_2 \Phi_{23}}{I_2} = \text{const};$$

$$W_1 \Phi_{15} = L_{15} \cdot I_1; \quad W_2 \Phi_{23} = L_{23} \cdot I_2;$$

$$\begin{cases} I_1 \mathcal{U}_1 + L_{15} \frac{dI_1}{dt} + W_1 \frac{d\Phi_0}{dt} = U_1; \\ I_2 \mathcal{U}_2 + L_{23} \frac{dI_2}{dt} + W_2 \frac{d\Phi_0}{dt} + U_2 = 0; \end{cases}$$

$$\mathcal{U}_{k1} = W_1 \frac{d\Phi_0}{dt}; \quad \mathcal{U}_{k2} = W_2 \frac{d\Phi_0}{dt};$$

— Правильно считать ~~этот~~ трансформатор не работает. В цепи наводимая, магн. процессы в нем близки к синусоид и можно воспользоваться методом эквив. синусоид, магн. можно применить и комплексный метод.

$$\begin{cases} \dot{I}_1 \mathcal{U}_1 + j\omega L_{15} \dot{I}_1 + j\omega W_1 \cdot \dot{\Phi}_0 = \dot{U}_1; \\ \dot{I}_2 \mathcal{U}_2 + j\omega L_{23} \dot{I}_2 + j\omega W_2 \cdot \dot{\Phi}_0 + \dot{U}_2 = 0; \end{cases}$$

$$\begin{aligned} X_{15} &= \omega L_{15}; \quad X_{23} = \omega L_{23}; \\ j\omega W_1 \dot{\Phi}_0 &= \dot{U}_{k1}; \quad j\omega W_2 \dot{\Phi}_0 = \dot{U}_{k2} \end{aligned}$$

$$k = \frac{U_{k1}}{U_{k2}} = \frac{U_{k1}}{U_{k2}} = \frac{W_1}{W_2} \quad \text{— коэффициент трансформации.}$$

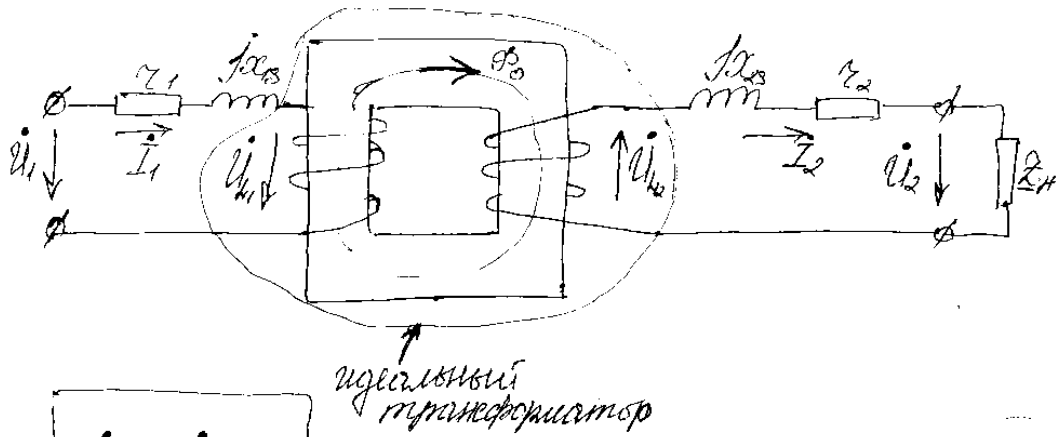
В цепи эк. эк.:

$$I_1 \approx (0,02 \div 0,05) I_{\text{ном}}$$

$$I_2 = 0;$$

$$k \approx \frac{U_1}{U_2}; \quad U_1 \approx U_{k1}; \\ U_2 \approx U_{k2};$$

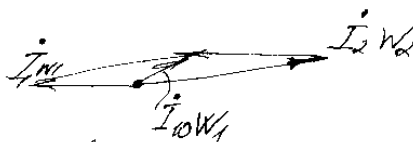
$$(1) \begin{cases} \dot{I}_1 r_1 + \dot{I}_1 j\omega L_{\sigma 1} + \dot{U}_{k1} = \dot{U}_1; \\ \dot{I}_2 r_2 + \dot{I}_2 j\omega L_{\sigma 2} + \dot{U}_{k2} + \dot{U}_2 = 0; \end{cases}$$



$$\dot{U}_2 = \dot{I}_2 Z_H$$

Уравнение намагничив. сил трансформатора: →
 Для прав. расчит трансф. справедливы $\dot{U}_{k1} \approx \dot{U}_1$
 $\dot{U}_1 \approx j\omega W_1 \Phi_0$ $U_1 = const$; - значит значение,
 тогда $\Phi_0 = const$;

$$(2) \dot{I}_0 W_1 = \dot{I}_1 W_1 + \dot{I}_2 W_2$$



Первичная и вторичная обмотка работает во
 противоположных направлениях.

Лекция №9

(10.04.2007)

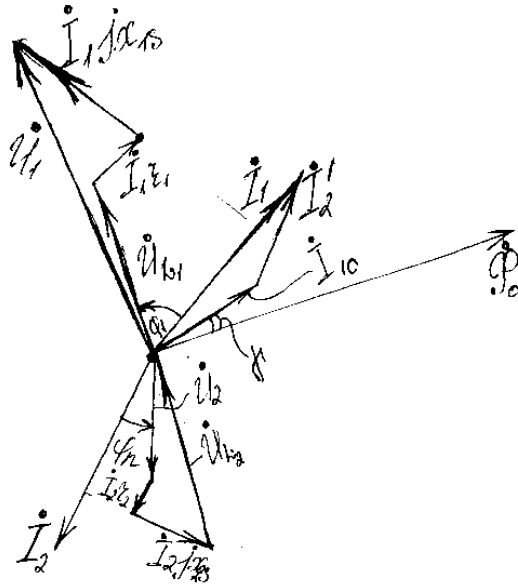
$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 - \dot{I}_2 \frac{W_2}{W_1};$$

$$\dot{I}'_2 = -\dot{I}_2 \frac{1}{n}$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 - \dot{I}_2 \cdot \frac{1}{n};$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}'_2;$$

Векторная диаграмма
нагруженного трансформатора.



вспротив нагрузки активно-индуктивное.

$$\begin{cases} U_{1e1} = j\omega W_1 \Phi_0; \\ U_{2e2} = j\omega W_2 \Phi_0; \end{cases}$$

Преобразователь трансформатор
с его осью замкнута.

При преобраз. трансф. его вторичн. обмотка замкнута, преобраз. обмоткой гласно витков кат. равно первичн., при этом режим работы первичн. не должен меняться и не должно меняться энергетическое усл.об.

Если $W_1 = W_2$, то $U_{1e1} = U_{2e2}$,

$$U_{1e1}' = U_{1e2} \cdot n$$

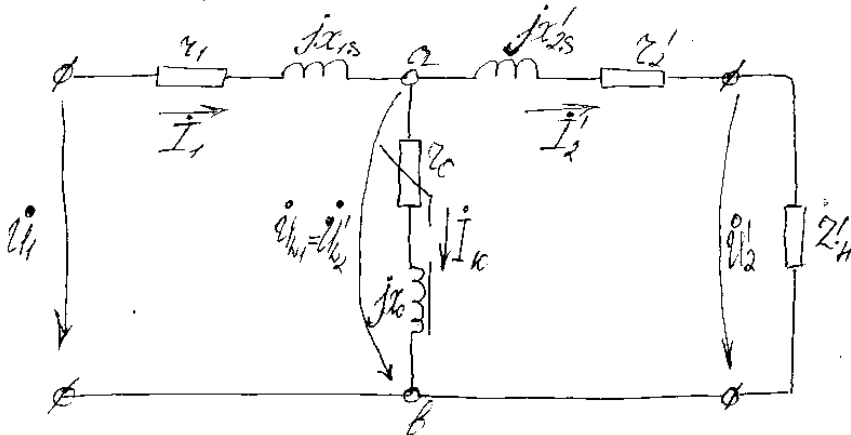
Все напряж. преобраз. единствен. его действ. значен. на коэффициент трансформации.

$$I_2' = \frac{I_2}{n}; \leftarrow \text{привед. токи};$$

Приведим. сопротивление:

$$I_2^2 z_2 = (I_2')^2 \cdot z_2'; \quad z_2' = z_2 \cdot \frac{(I_2)^2}{(I_2')^2} = z_2 \cdot \left(\frac{I_2}{\frac{I_2}{n}}\right)^2 = z_2 \cdot n^2;$$

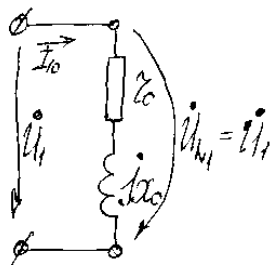
T-образн. схема замещения:



$$\begin{cases} \dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2' \\ \dot{I}_1 z_1 + \dot{I}_1 jx_{1s} + U_{k1} = U_1; \\ \dot{I}_2' z_2' + \dot{I}_2' jx_{2s} + U_2' - U_{k2}' = 0; \\ U_2' = \dot{I}_2' Z_H \end{cases}$$

Параметры схемы замещ. получ. из экв. х.х. и к.з.

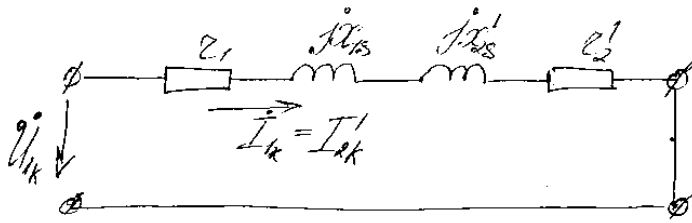
1) Отсут. х.х. $U_1 = U_{ном}$; $I_2 = 0$; $I_1 = I_{10} \approx (0,01 \div 0,05) I_{ном}$;



$$Z_0 = \frac{U_1}{I_{10}}; \quad z_0 = Z_0 \cos \varphi_0; \\ x_0 = Z_0 \sin \varphi_0;$$

$$P = P_{отм};$$

2) Отсут. к.з. $U_k \approx (0,01 \div 0,05) U_{ном}$; $I_1 \approx I_{ном}$; $I_2 \approx I_{ном}$;



$$Z_k = \frac{U_k}{I_k}; \quad Z_1 + Z_2 = Z_k \cos \varphi_k$$

$$X_{13} + X'_{23} = Z_k \sin \varphi_k$$

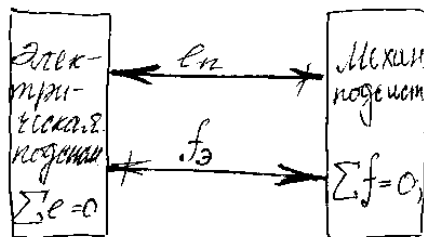
$$Z_1 = Z_2 = \frac{Z_1 + Z_2}{2}; \quad X_{13} = X'_{23} = \frac{X_{13} + X'_{23}}{2}$$

Лекция 10

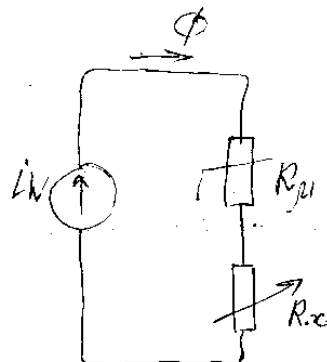
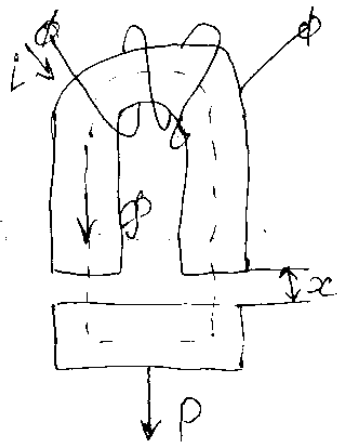
(17.04.2007)

Электромехан. преобр. энергии.
Преобр. электр. энергии в механическую.

структурная схема электромеханической системы.



f -силы действ. на сив-ию.
 f_3 -сила электр. проток
 e_n -ЭДС машины



$$\phi = \frac{iW}{R_M + R_x} = \frac{iW}{R_M + \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{2x}{s}} \Rightarrow$$

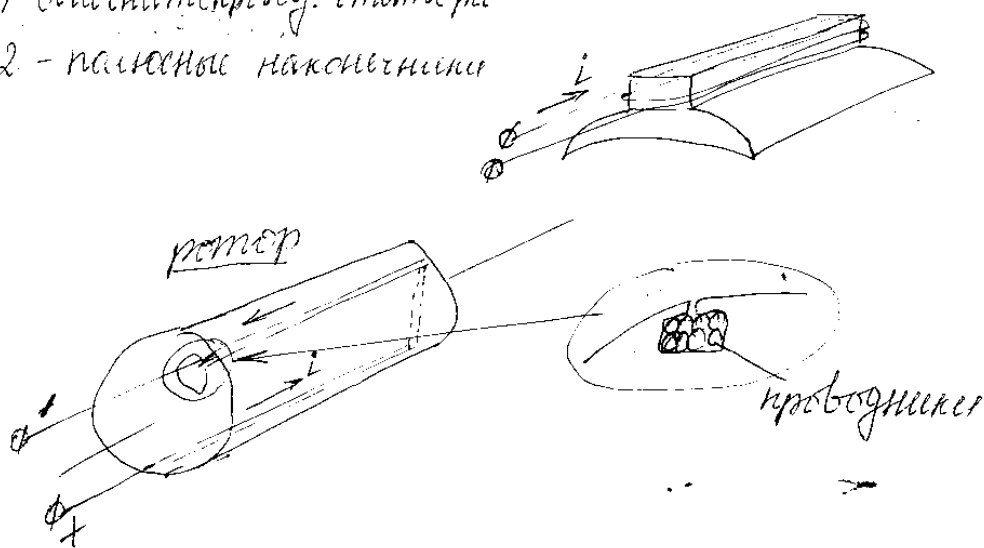
$$\phi = \phi(x), \quad x = x(t)$$

$$e = - \frac{d\psi}{dt} = -W \frac{d\phi}{dt} \neq 0;$$

Машина с возмущенной током.

1 - Магнитопровод статора

2 - паковые наконечники



Обмотка возбужд. созд. сильное магнитное поле. Внешнее по стн. ~~е~~ проводн. ротора.

совпад. M_z и ω есть призм. двж.

Итого: e и I не совпад.

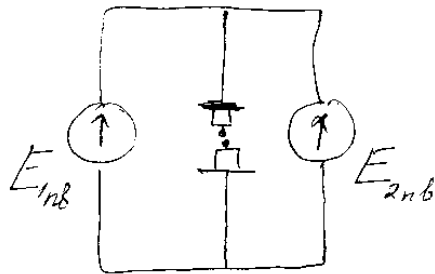
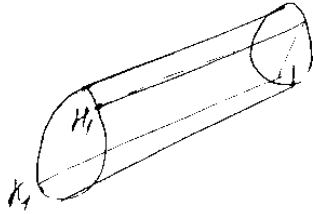
e и I - совпад \Rightarrow генератор.

Лекция №11

(24.04.2007)

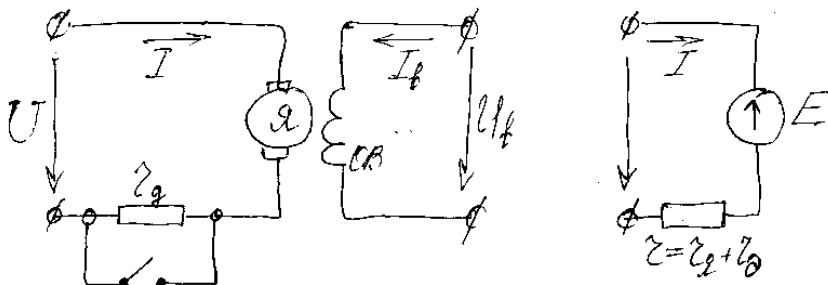
Конструкция. Обмотки якоря.

Машина с возм. током.



Контур обмотки якоря обмотки с коллектором.
 обмотка. преобр. пот. тока пот. тока. в много-
 фазн. ток перв. част. Сдвиги перв. эдс. в катуш.
 секции обмотки преобр. в пот. ЭС на вых. цепях.
 Простая. ваиов. обмотка.

Расчетная схема земли. пот. тока.



Z_g - сопр обмотки якоря.

$$-E = I \cdot r - U$$

$$U = E + I r;$$

$$UI = EI + I^2 r;$$

UI - электр. мощность потр. в цепи.

$I^2 r$ - тепловые потери.

EI - мощность переход. в механ. (плунж. машин).

$$EI \Rightarrow M \omega$$

$$I = \frac{U - E}{r}$$

$$E = k_e \Phi \omega$$

$$e = Blv \Rightarrow E,$$

$$M_{эл} = k_{эл} \Phi I$$

$$f = Blv;$$

$$U = E + I r$$

$$\begin{matrix} \uparrow & \uparrow \\ k_e \Phi \omega & \frac{M_{эм}}{k_{эл} \Phi} \end{matrix}$$

$$\omega = \frac{U}{k_e \Phi} - \frac{r}{k_e k_{эл} \Phi^2} \cdot M_{эм} \quad \text{— механич. характеристика}$$

$$\omega = f(M) \quad \left. \begin{matrix} \Phi = \text{const} \\ U = \text{const} \\ r = \text{const} \end{matrix} \right\} \text{— механ. характ.}$$

$$\omega = f(U) \quad \left. \begin{matrix} r = \text{const} \\ M = \text{const} \\ \Phi = \text{const} \end{matrix} \right\} \text{— плунж. характ.}$$

Уравнение моментов

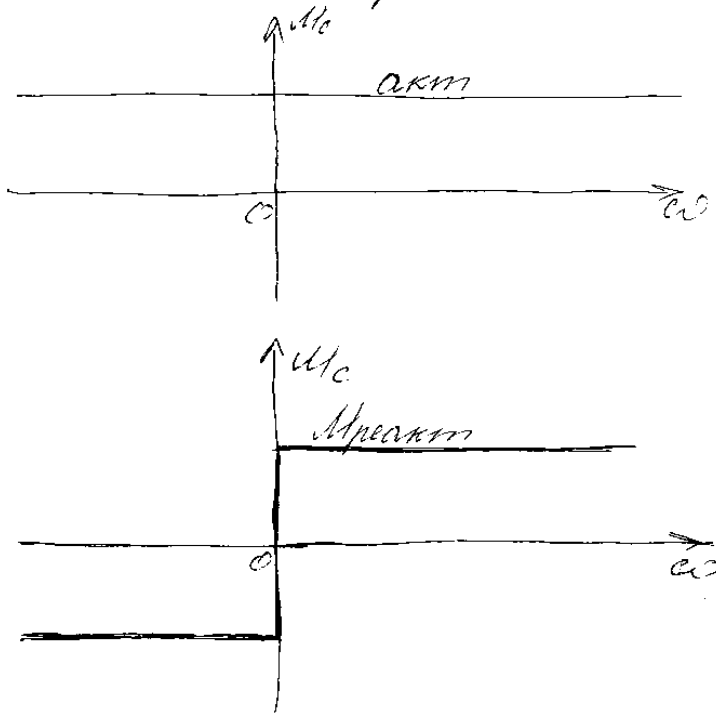
$$\mathcal{J} \frac{d\omega}{dt} = M_g - M_c$$

- 1) Если $M_g > M_c$, то $\frac{d\omega}{dt} > 0$;
- 2) $M_g < M_c$, то $\frac{d\omega}{dt} < 0$;
- 3) $M_g = M_c$, то $\frac{d\omega}{dt} = 0$, $\omega = \text{const}$;

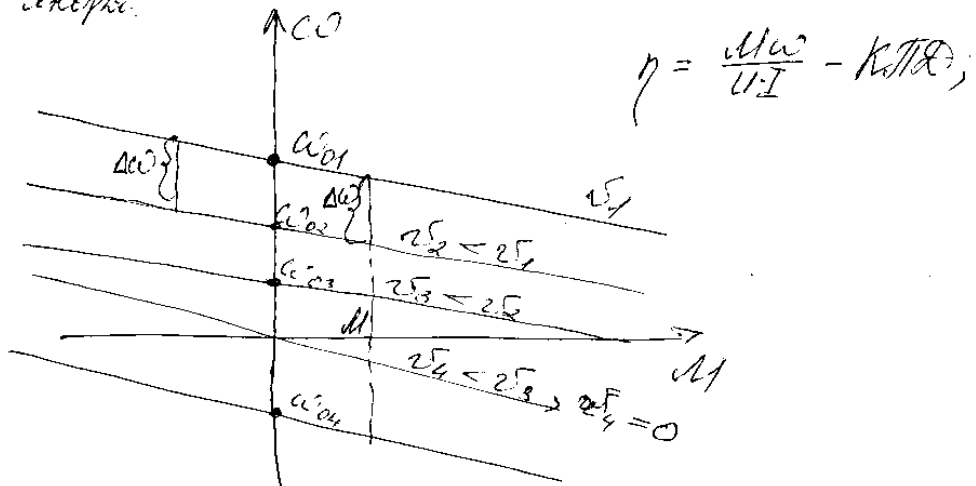
При любой угл. скорости момент гравит. равен мом. сопр.

Устан. ~~а~~ тем скор. моментом сопрот.

Активные и реактивные моменты сопрот.



1) Режим. величины напряж. кит. обмотки якоря.

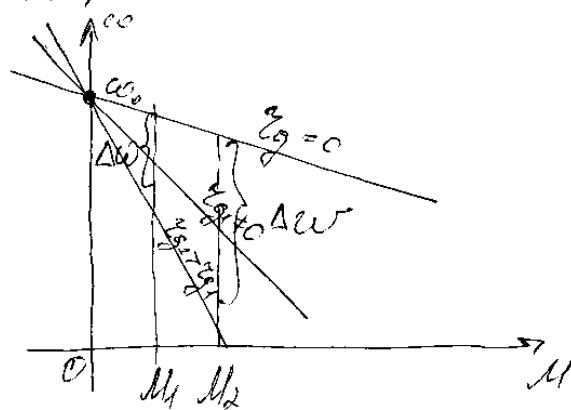


⊕: кривая т.ч. резонанс.

сегран. наклона. м.в. характ. в кривой рез.
широкий диапазон режим.

⊖: м.в. рез. устр. не м.в. м.в. рез. устр.

2) Режим. скорости. добавочного ветр. в цепи якоря.

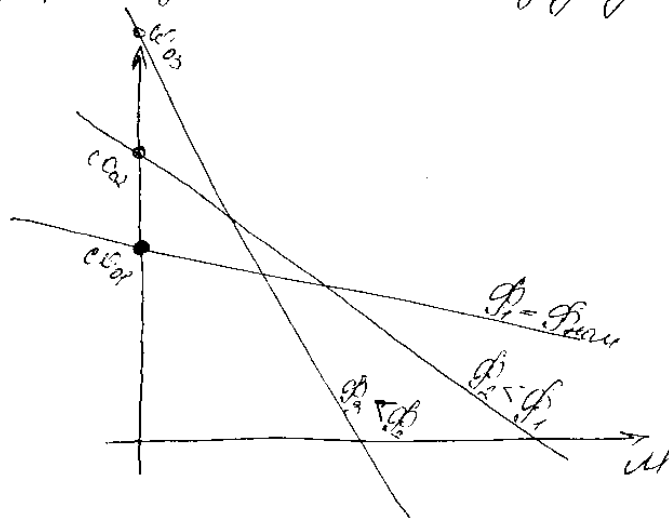


⊖ Низшей КТД

Низкий наклона

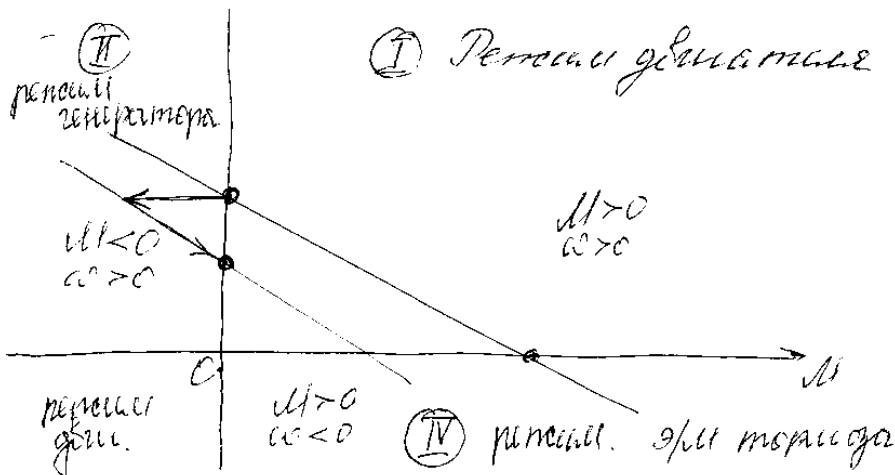
Тренируем для рез. ветр.

3) Режимов. измен. потока возбужд.



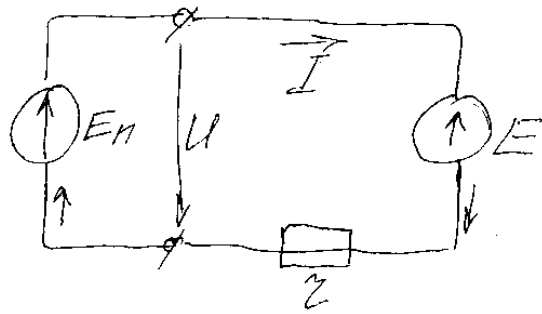
Получит. изменен. потока 30%
 - Насогн. режим.
 Большая скор. при малой "M"

Режимом. режимом
 машины. пото. тока.
 способ. тормит.



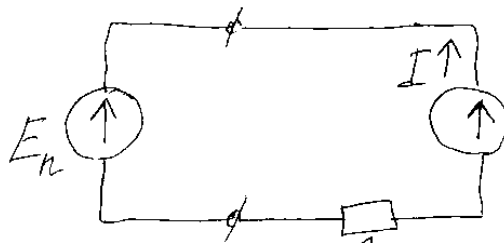
В режиме генератора и в режиме фид тормоза
 фид. переход. в режим генер и все эти моменты
 стан.в. тормозн.

1) Перемычка.



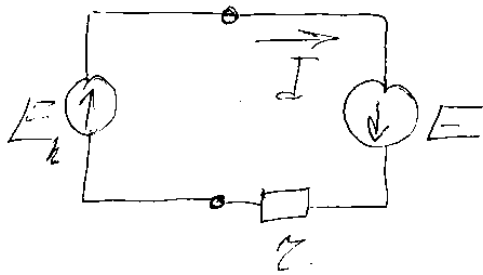
$$E_n > E$$

2)



$$E_n < E$$

3)

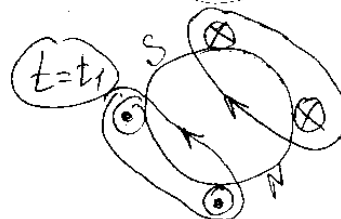
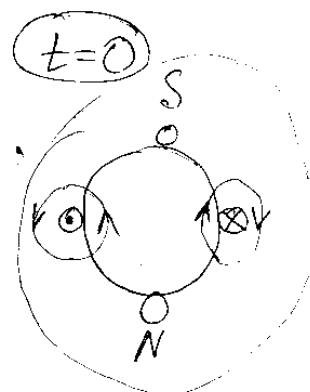
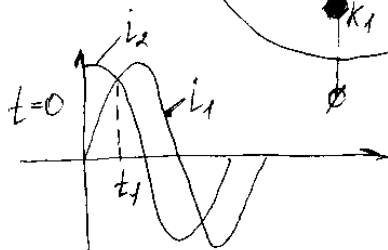
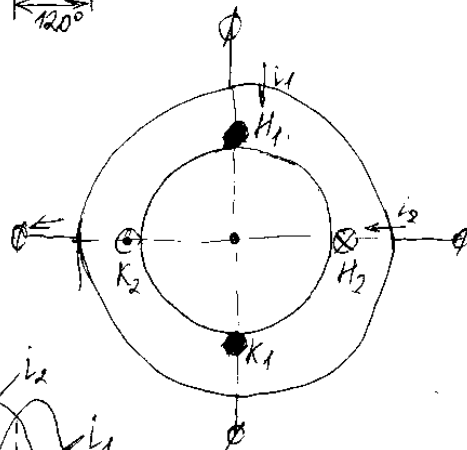
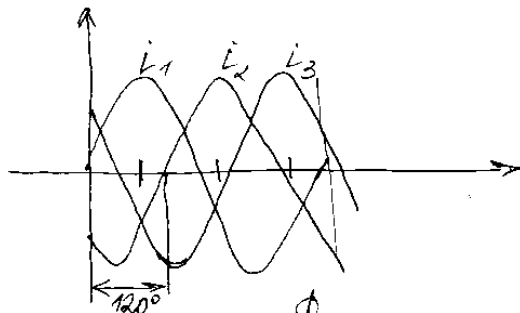
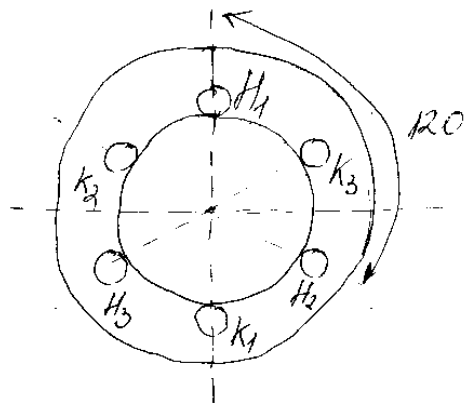


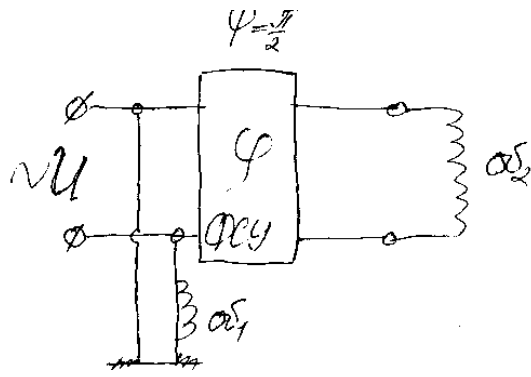
Асинхронный электродвигатель.

Трех. только в качестве электродвигателя.

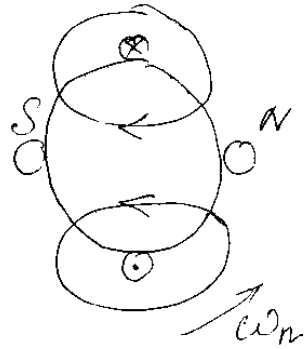
Конструкция обмотки статора

Вращающ. магнитное поле статора



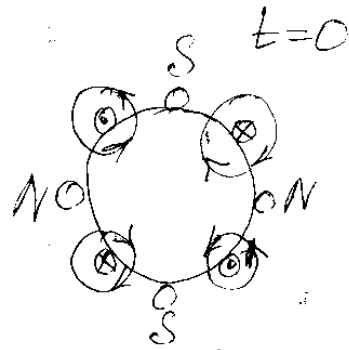
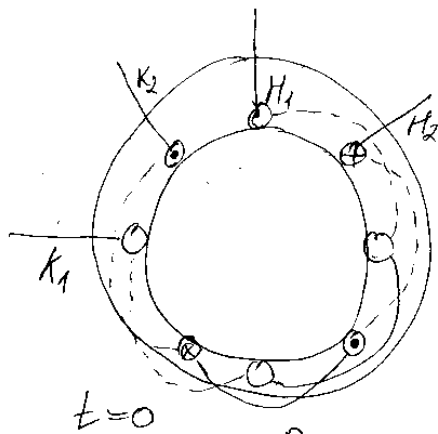


$t = t_2$

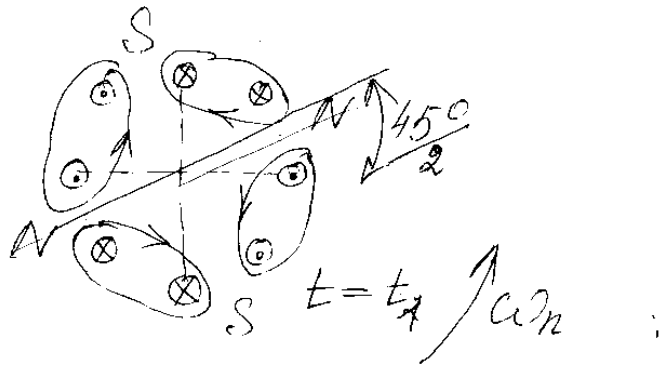


$\omega_n = 2\pi f \frac{\text{рад}}{\text{с}}$

$n = 60f \frac{\text{об}}{\text{мин}}$



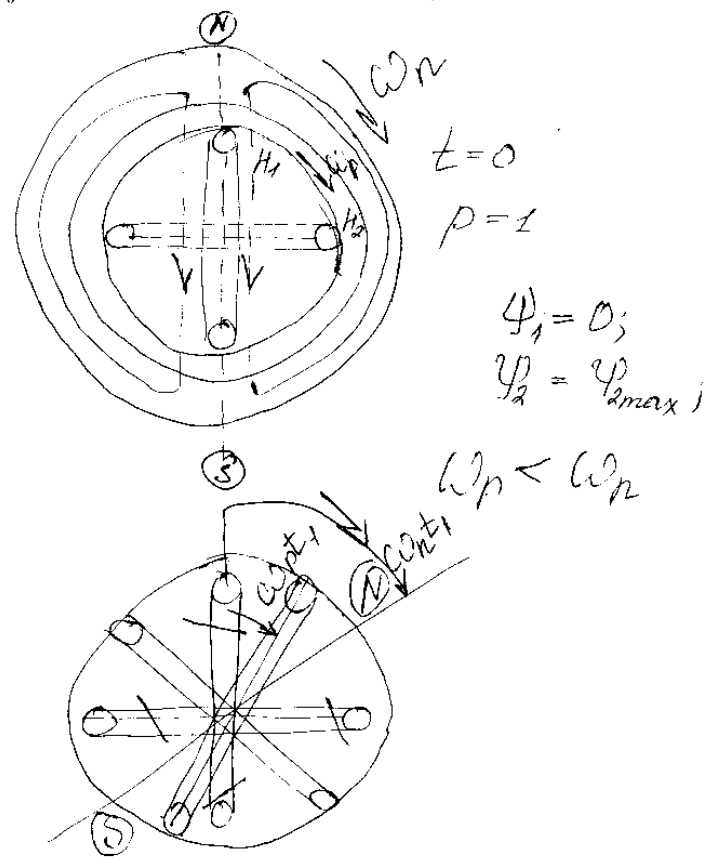
$P=2$ - количество пар полюсов

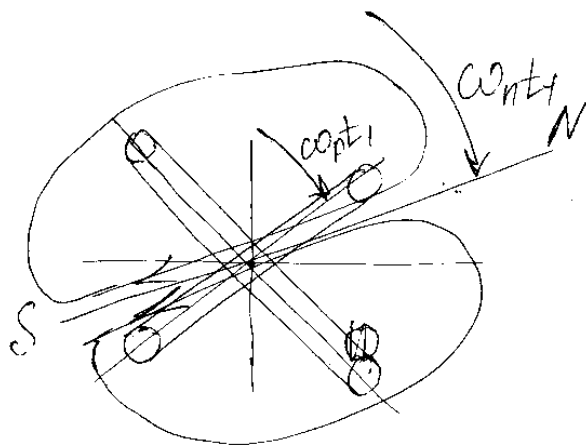


$$\omega_n = \frac{2\pi f p}{2}$$

$$n_n = \frac{60 \cdot f}{p} \text{ об/мин}$$

Контрреакция АД (прямая генерация)





$$\Psi_1 = \Psi_m \sin[(\omega_n - \omega_p) \cdot t]$$

$$\Psi_2 = \Psi_m \sin[(\omega_n - \omega_p)t + \frac{\pi}{2}]$$

$$e_1 = - \frac{d\Psi_1}{dt} = (\omega_n - \omega_p) \Psi_m \cos[(\omega_n - \omega_p)t - \frac{\pi}{2}]$$

$$e_2 = - \frac{d\Psi_2}{dt} =$$

$$e_1(t) = \frac{\omega_n - \omega_p}{\omega_n} \cdot \omega_n \cdot \Psi_m \sin[(\omega_n - \omega_p)t - \frac{\pi}{2}] =$$

$$= s \cdot \omega_n \Psi_m \sin[(\omega_n - \omega_p)t - \frac{\pi}{2}]$$

$$s = \frac{\omega_n - \omega_p}{\omega_n} - \text{скользящие}$$

$$e_m = s \cdot \omega_n \cdot \Psi_m$$

В эквив. схеме ротора под действием дт. статора навед. двухфазн. система эдс в. асд и двухфазн. сист. ~~дв~~ токов в обм. ротора. Част. этих эдс и токов равна

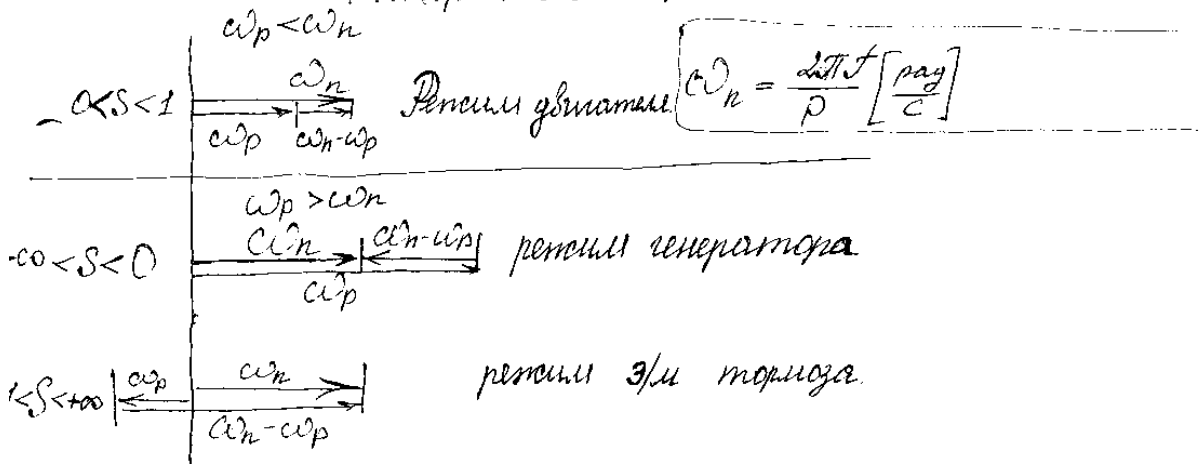
$(\omega_n - \omega_p)$. Следов. эти токи созд. ~~вращ~~ магн. поле ротора вращ. относ. ротора со угл. $(\omega_n - \omega_p)$ а относ. статора ω в простр. $\omega' = (\omega_n - \omega_p) + \omega_p = \omega_n$

$$e(t) = (\omega_n - \omega_p) \Psi_m \sin[(\omega_n - \omega_p)t] = \omega_n s \Psi_m \sin[\omega_n s \cdot t]$$

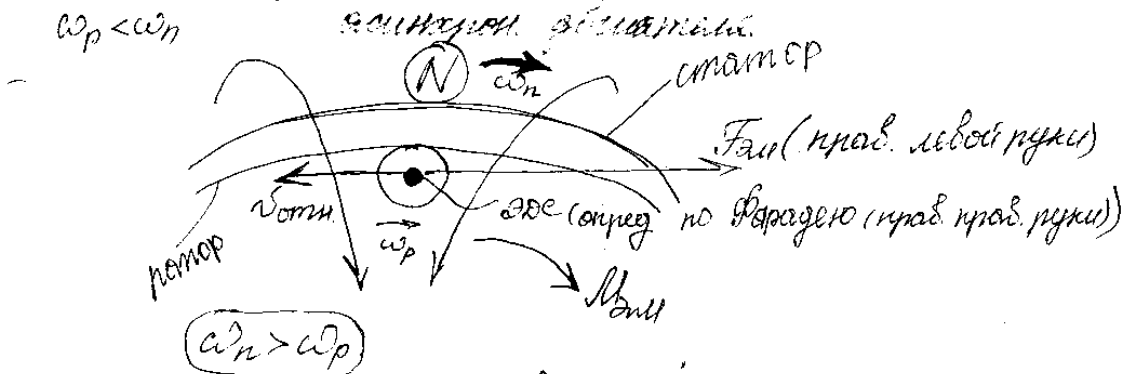
$$s = \frac{\omega_n - \omega_p}{\omega_p}$$

$$E_m = \omega_n s \cdot \Psi_m;$$

Амплитудная характеристика
функции машины.

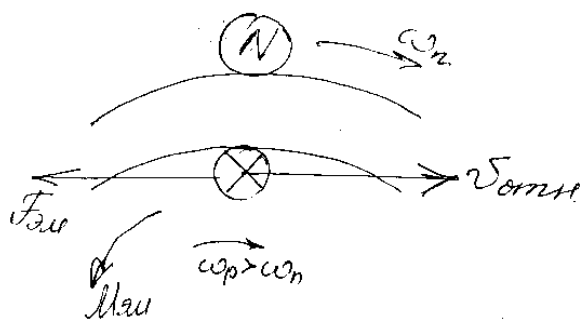


Крутящий момент



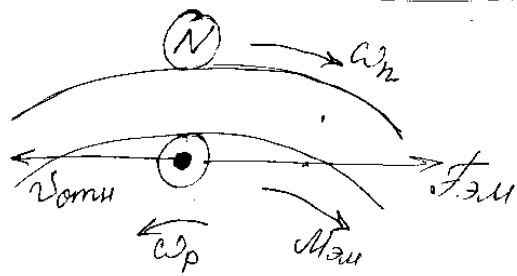
Крутящ. момент. действует в напр. дѣлн. поле статора.

$M_{мех} \uparrow, \omega_{эм} \uparrow, \omega_p \downarrow \Rightarrow M_{инд} \uparrow \Rightarrow a \downarrow \Rightarrow \omega_p = const$
 увелич., увелич. т.к. угловая $\omega = \omega_p$
 ($\omega \uparrow$ и увелич. инд. сопр.) и $e \uparrow$
 $i = \frac{e}{z}$



$$\omega_r > \omega_n$$

режим генерат.

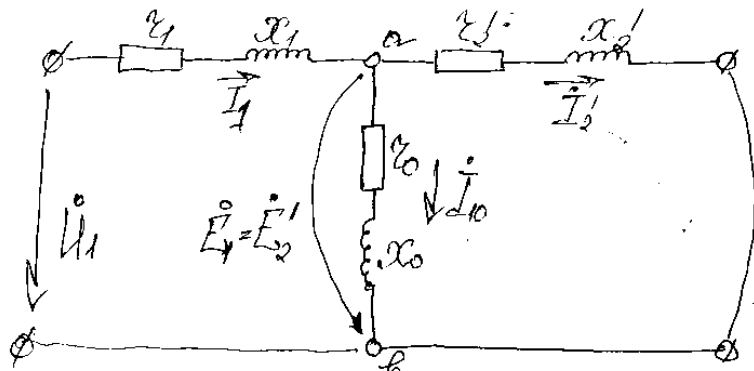


режим ЭД/моториза

Механизм. характ. асинхр. д.б.

Асинхр. д.б.м. одн. динам. трансф. с брасс. вторичн. обмот. ротора, все энергии на ротор подается эдм путем.

Схема замещения А.М. при неподв. роторе (в расчете на 1 фазу)



x_1 - инд. сопр. рассеян обмотки статора

x_2 - ин. ————— || ————— || ————— ротора

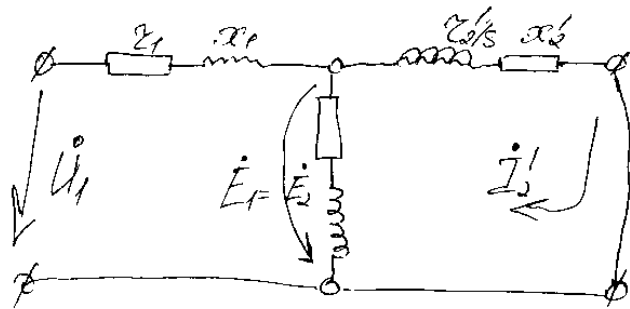
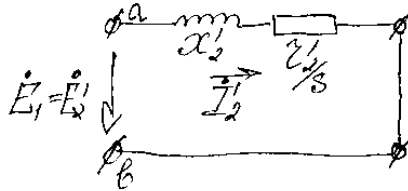
$$I_2' = \frac{E_2'}{\sqrt{(r_2')^2 + (x_2')^2}}$$

$$x_2' = \omega_n \cdot L_2$$

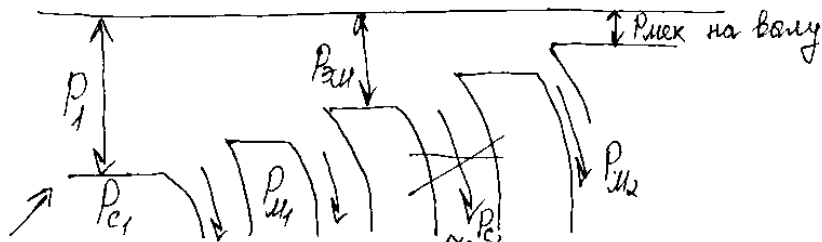
$$E_{2s}' = E_2' \cdot s; \text{ — ЭДС брассен.}$$

$$x_{2s}' = s \cdot \omega_n \cdot L_2 = s \cdot x_2'$$

При трансформаторном режиме: $I_2' = \frac{L_2 s}{\sqrt{(Z_2')^2 + (sX_2')^2}} =$
 $= \frac{E_2' \cdot s}{\sqrt{(Z_2')^2 + (sX_2')^2}} = \frac{E_2'}{\sqrt{\left(\frac{Z_2'}{s}\right)^2 + (X_2')^2}}$



Эквивалентная схема.



энергия поступает от сети

потери в роторе

P_{c1} - потери в стали

P_{ω} - потери в меди

$P_{\omega_2} - P_{\omega_{max}} = P_{\omega_{\text{loss}}}$; - потери на нагрев обмотки ротора.

$$m(I_2')^2 \cdot Z_2' = P_{\omega_{\text{loss}}}$$

m - число фаз.

$$M_{\omega_{\text{loss}}} (\omega_n - \omega_p) = m \cdot (I_2')^2 Z_2'$$

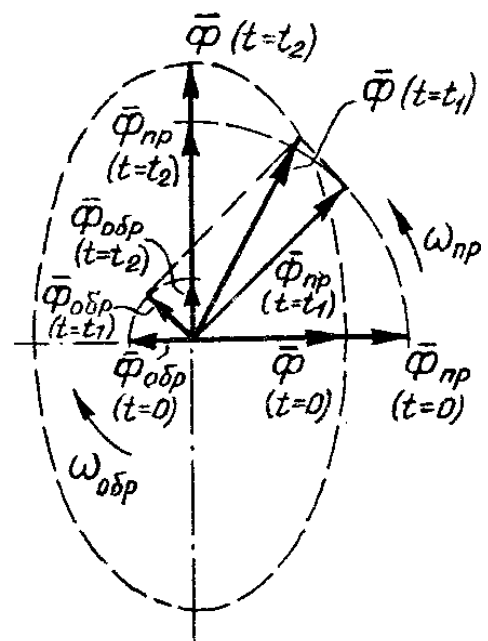
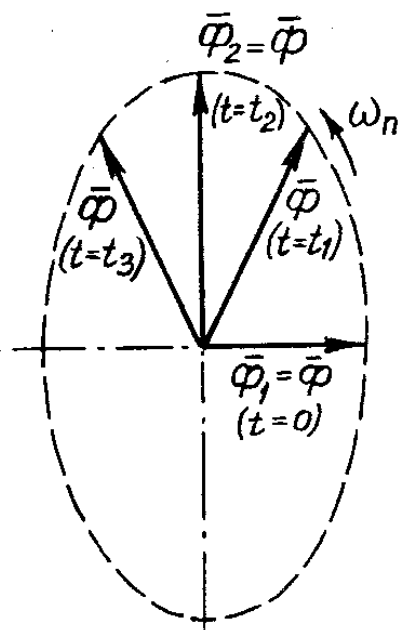
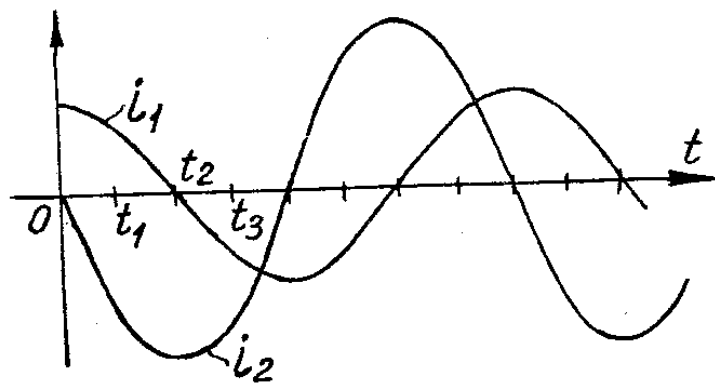
$$M_{\omega_{\text{loss}}} = \frac{m(I_2')^2 Z_2'}{\left(\frac{\omega_n - \omega_p}{\omega_n}\right) \cdot \omega_n} = \frac{m(I_2')^2 Z_2'}{\omega_n \cdot s} \text{ (E)}$$

$$P_{\omega_{\text{loss}}} = M_{\omega_{\text{loss}}} \cdot \omega_n;$$

$$P_{\omega_{\text{loss}}} = M_{\omega_{\text{loss}}} \cdot \omega_p;$$

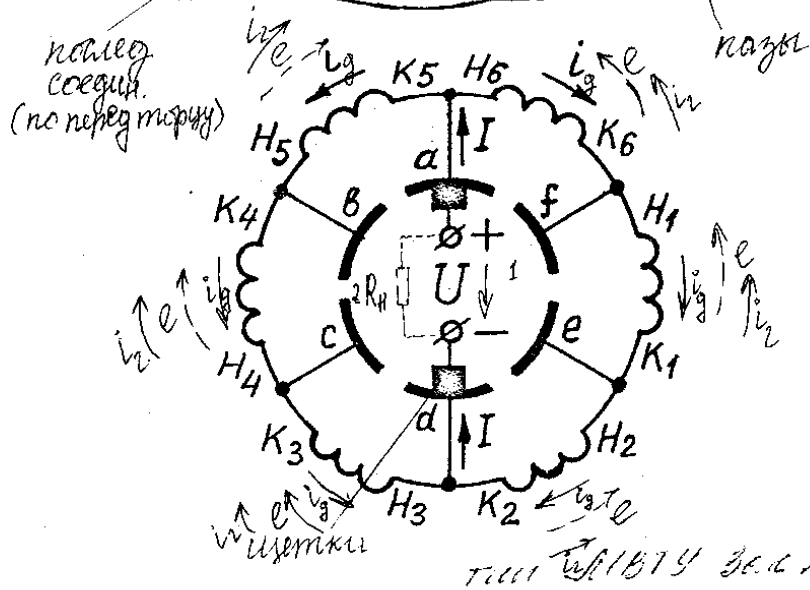
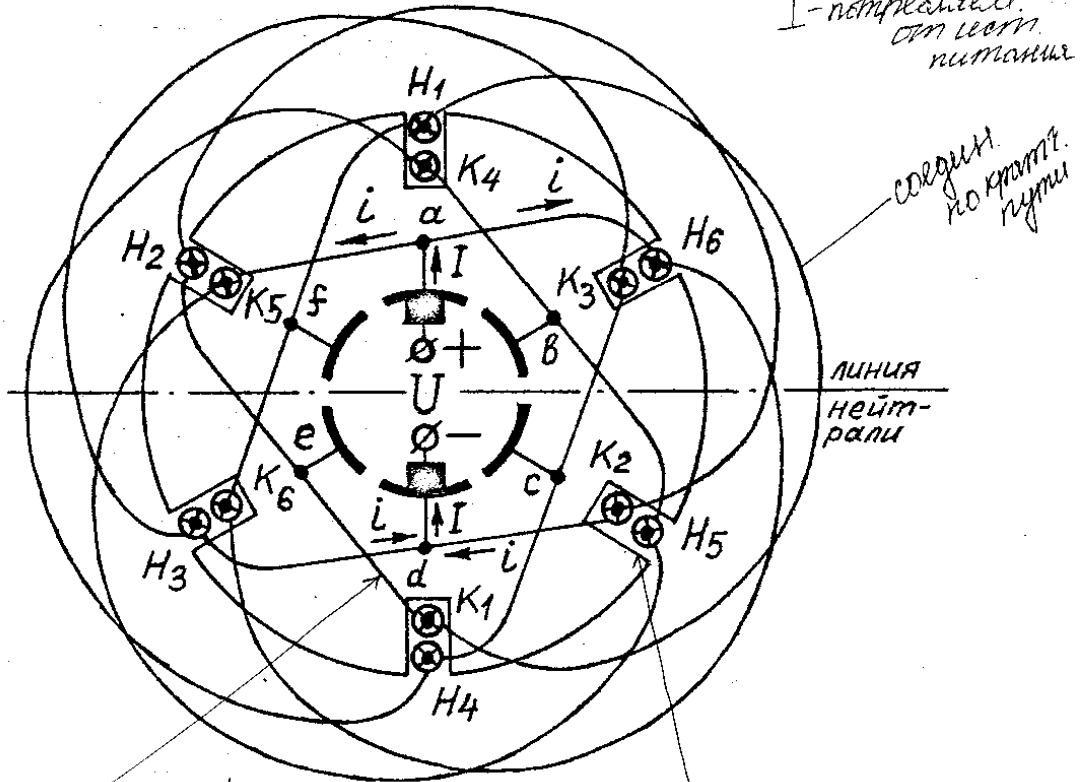
$$\textcircled{2} \quad \frac{m(I_2')^2 \cdot \frac{2l}{8}}{\frac{2\pi f}{\rho}} \quad \Bigg\} \quad \boxed{\mathcal{M}_{au} = \frac{\rho m(I_2')^2 \cdot \frac{2l}{8}}{2\pi f}}$$

Эллиптическое вращающееся магнитное поле статора машины переменного тока

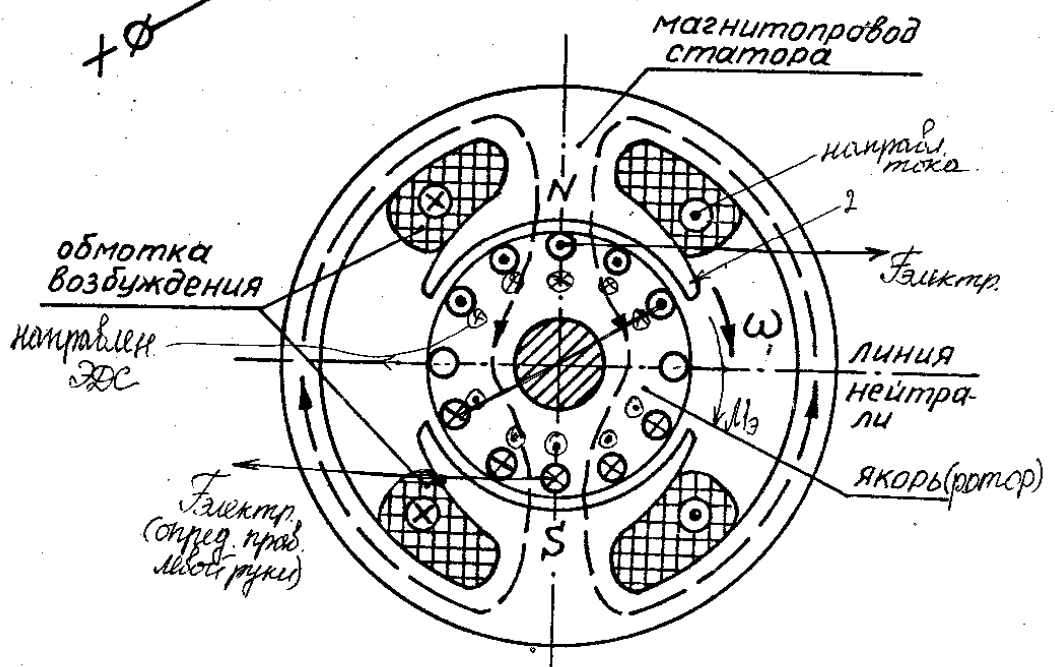
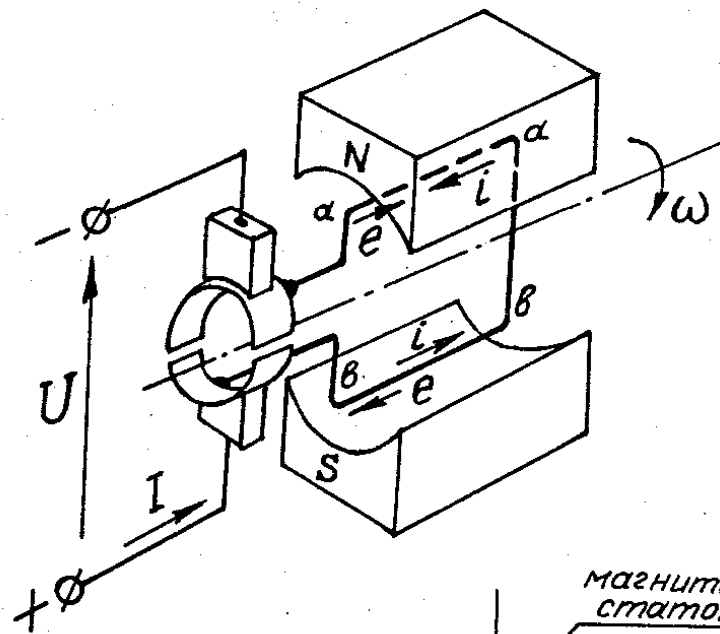


ТУММ. УИИТЧ. ВОО. 865-800

Конструкция и схема соединения секций волновой обмотки якоря машины постоянного тока



Конструкция машины постоянного тока



ВЫВОДЫ

В курсе лекций 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.

Данный конспект лекций составлен на основе лекционного курса, читаемого в МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре иу4 преподавателем Баранов Е. Н. Курс лекций рекомендован к выполнению текущих аттестационных мероприятий и подготовки к зачету по предмету «Основы электротехники».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи: Учебник для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей вузов.–7-е изд., перераб. и доп.– М.: Высш. школа, 2008. – 528 с.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электромагнитное поле: Учебник для студентов вузов.–7-е изд., перераб. и доп.– М.: Высш. школа, 2008. – 231 с.
3. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. В 2-х т.: Учебник для вузов. Том 1. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоиздат, 2007. – 536 с.