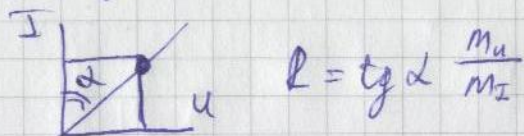
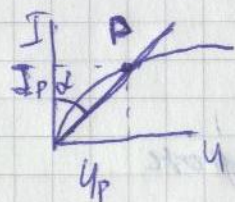


Засимпл. в 1-й части курса элемент
обладает линейной ВАХ $U = I \cdot R$



Нелинейные эл-ты хар. нелиней. ВАХ

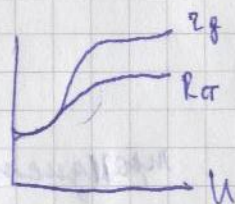
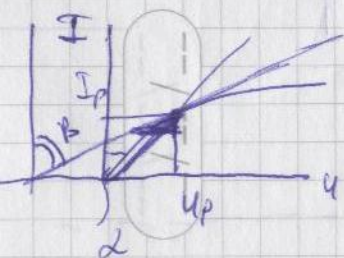


Если режим работы нелиней.
эл-та остается неизм., напряж.
точка P на графике то в
этом реж-ме (катушка, диод)

$$R_{pt} = \operatorname{tg} \alpha \frac{m_u}{m_I}$$

Если реж-м раб. эл-та хар. нелиней, но
пост. откл. от раб. точки, то
эл-т характеризуется динамич. сопротив.

$$Z_g = \lim_{\Delta I \rightarrow 0} \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{dU}{dI} = \operatorname{tg} \beta \frac{m_u}{m_I}$$

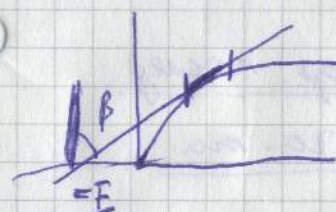


Для эл-тов с хар. участка
ВАХ (мупл. диод.) эти сопр.

могут иметь разный знак.

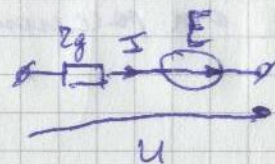
Замена нелинейных эл-тов эквивалентными и д.а.с.

Если изобр. точка перемещ. по ВАХ
в раз. диапазоне, то ВАХ на этом участке
можно заменить касан.



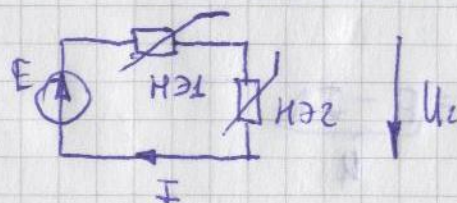
$$U = Z_g I - E \quad (1)$$

т. уравн. (1) соотв. след.
схема замещ.



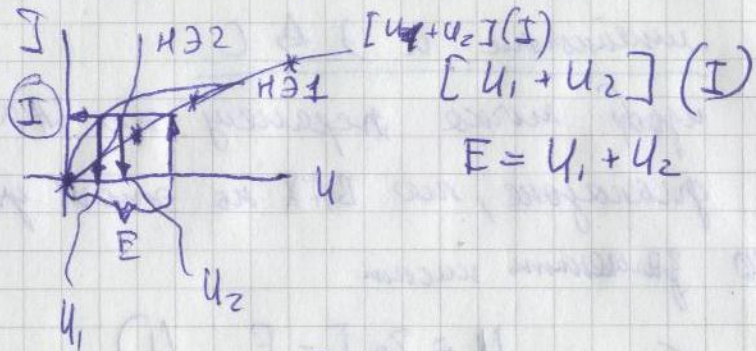
Тогда вып. такой замены
нелиней. эл-та в схеме замещ.
пронесают, схему приобретает ин. вид и
расчит. общ. методами.

Задача эл. цепей с нелиней. соед.
нелинейных эл-тов



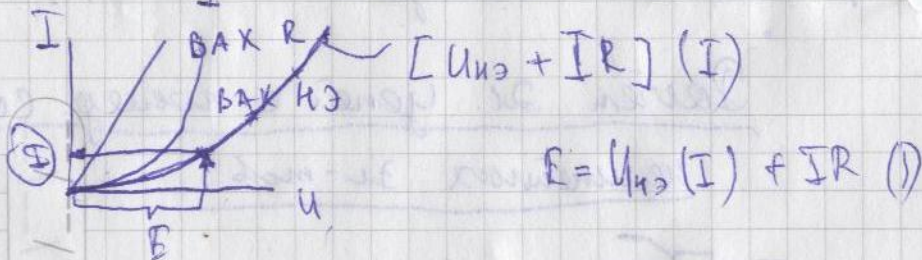
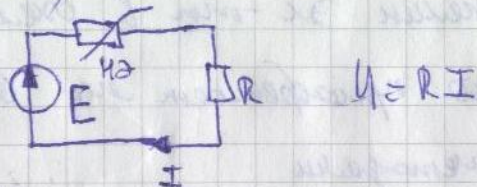
Дано: E , BAX_1 , BAX_2

Найти: I .

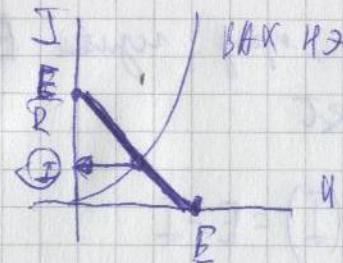


Расчёт цепи, сод. послед.
клемм и мин. ЭЭ-та

Случ 1 (прямой не отним. от расчётной
 вилки)

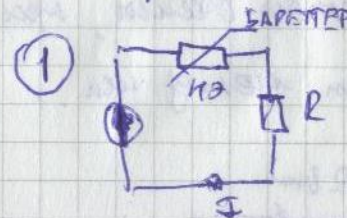


Случ 2
 (16) $U_{H3}(I) = \frac{E - IR}{u}$



Стандартная модель на Лареттер.

Станд. модель - цепь - во, представляющая рез.
 подпрт. катод. или полупров. диоды тока в
 нагрузке, при изменении напряжения входе или
 сопротив.

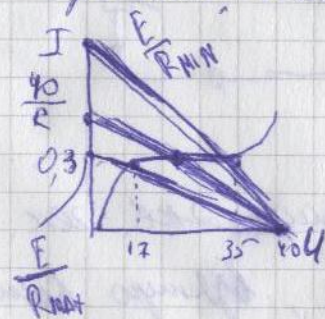


В схеме цеп. Лареттер

$B0317-35 \subset E=40V$
 предел

Опред. $\sqrt{u_{max}}$. $R_{нагрузки}$,

при ком. ток макс. ост. катод.



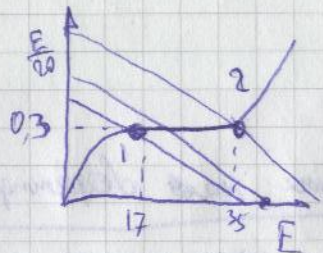
$$17 = 40 - 0,3 \cdot U_{H3 \max}$$

$$35 = 40 - 0,3 \cdot R_{H \min}$$

$$R_{H \max} = \frac{17 - 40}{-0,3} = 77 \text{ Ом}$$

$$R_{H \min} = \frac{35 - 40}{-0,3} = 17 \text{ Ом}$$

② $R_H = 20 \text{ Ом}$ опред. пред. измен E , при
 ном. I в пар. = const



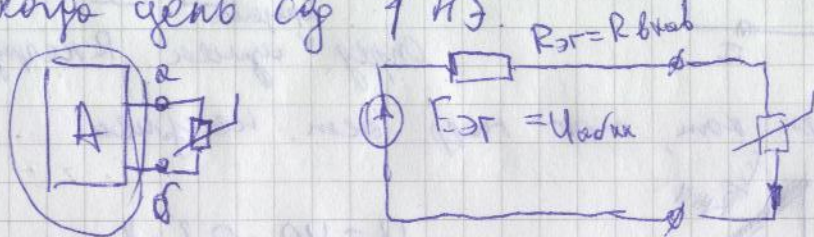
$$U_{H3}(I) = E - I$$

$$17 = E_{\min} - 0,3 \cdot 20 \Rightarrow E_{\min} = 23 \text{ В}$$

$$35 = E_{\max} - 0,3 \cdot 20 \Rightarrow E_{\max} = 41 \text{ В}$$

Расчет цепи цепи МЭГ

Метод экв. зк. применяют для расчета
 тока в одной, любой ветви схемы, при
 расчете цепи цепи - этот метод исп.,
 когда цепь сод. 1 МЭ.



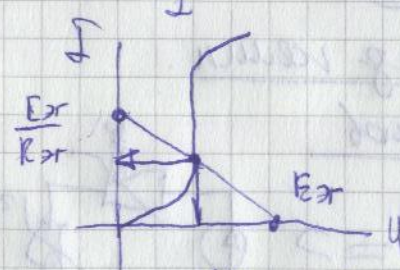
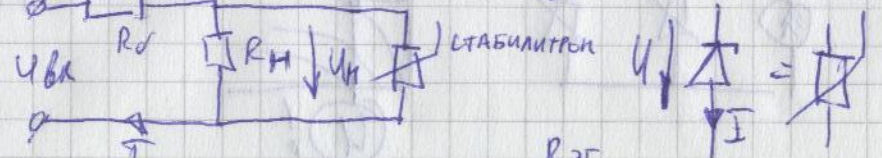
После замены лн. схемы экв. зк.
 снова построим схему, в которую войдет,
 которая примет. аналог. сод.

18

стабильн. напр.

Упр-во, коррект. нелинейн. напр.
 нелинейн. напр. напр., при сри. сод. напр.
 и напр. напр. на вход схемы.

Простейший сод. след. сод.



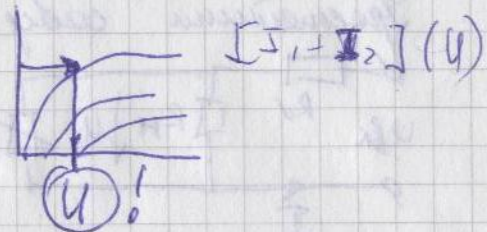
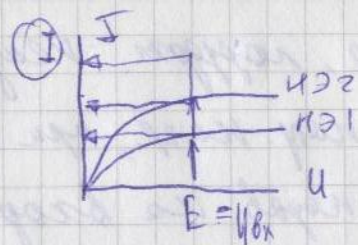
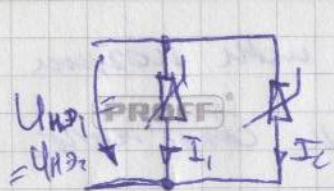
$$E_{ЭГ} = \frac{U_{ЭГ}}{R_ЭГ} R_H; (3) \quad R_{ЭГ} = \frac{R_ЭГ R_H}{R_ЭГ + R_H} (4)$$

$$\frac{E_{ЭГ}}{R_{ЭГ}} = \frac{U_{ЭГ}}{R_ЭГ} (5)$$

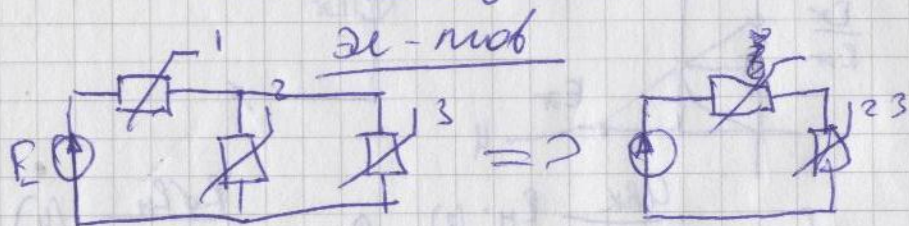
Далее задача решается аналогично
 пар. про стаб. тока, зк. напр.
 упр. напр. тока 1, 2, но с упр. напр.
 формул (3) (4) (5)

Паралел. сод. цепи
 Эл-тов

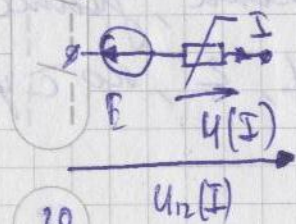
19



Смеш. соедин. диодов

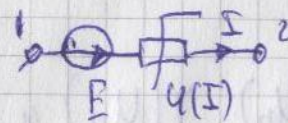


аналог пред. параграф. H22 и H23
замен эквив. H2, потом найдем
схему расчета, как при послед.
соед.

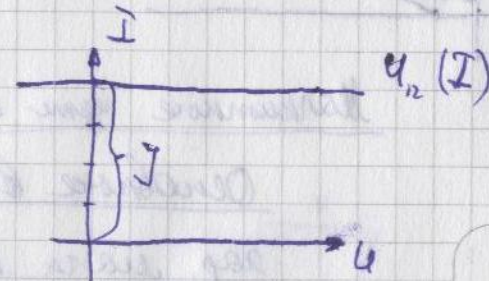
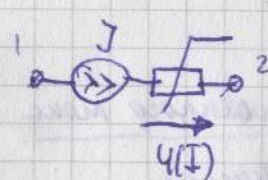
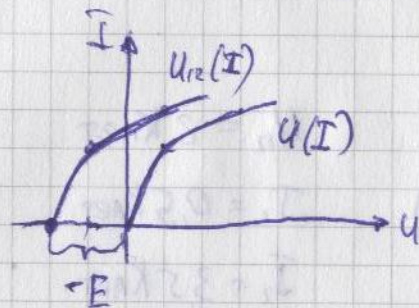


$$U_{H2} = E + U(I)$$

20

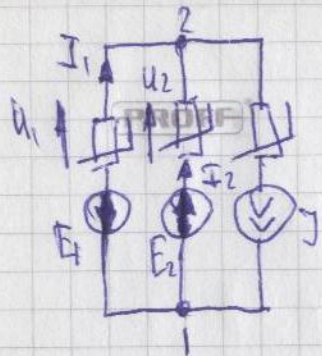


$$U_{H2}(I) = -E + U(I) \quad (2)$$



Расчет смеш. электр. цепи
методом 2-х узлов

21



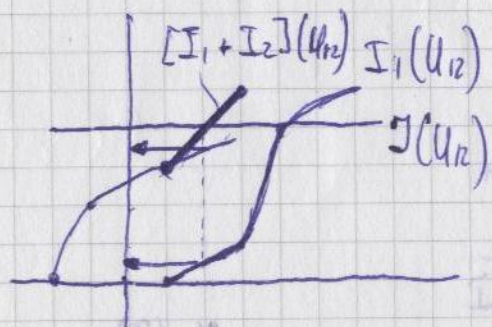
Дано: $I_1(U_1)$; $I_2(U_2)$; E_1 ,

E_2 , J

Найти: I_1 , I_2 ,

$$I_1 + I_2 = J$$

Строим график $I_1(U_2)$, $I_2(U_2)$, $J(U_2)$ и
узнаем, опред при каком U_2 будет J закон
Кирхгофа.



$$U_2 = 2 \text{ КВет}$$

$$I_1 = 0,5 \text{ Квет}$$

$$I_2 = 3,5 \text{ Квет}$$

Магнитное поле постоянного тока

Основные величины,

хар. магн. поле

Магн. поле софф. эл. токами и
опред. по действию на эл. ток

Магн. индукция B — вектор-
ная велич., опред ~~магн.~~ действие

магн. поле на ток

Если рассм. магн. поле в вакууме,
то $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$, где $\vec{H}$ — вектор магн. поля,
связанный с током законом полного тока:

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = \sum_{\text{скл}} I_k \quad (1)$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Г/м}$$



$$\oint \vec{H} d\vec{l} = I_1 + I_2 - I_3$$

Если такие же токи будут магн.
поле не в вак., а в какой-то среде,
то поле может оказаться больше или
меньше того, что было в вакууме

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{J}) \quad (3)$$

$\vec{J}$ — намагниченность.

В общем случае J связ с H

$J = \chi H$ (4), коэфф χ зависит от
 H ; $\chi(H)$ — завис нелинейн и для
расчетов не применяется.

$$\vec{B} = \mu_0 (1 + \chi) \vec{H} = \mu \vec{H} = \mu_0 \vec{H} \quad (5)$$

μ - магнит проницаемость

μ_0 - вак. магнит прониц.

Завис (5) линейная

$$\Phi = \int_S \vec{B} dS \quad (6) \text{ магнитный поток}$$

$$[\Phi] = [BS]$$

$$[B] = [T]$$

$$[H] = [A/m] = [J]$$

При расчёте магн. поток обычно используют

$\vec{B}$ и $\vec{H}$, а коэффициент μ не используют

Ферромагнитные материалы

и их св-ва

Векторное по магн. св-вам делит

на диэлектрик, парамагн.	парамагн.	ферромагн.
$\mu \approx 1$	$\mu \approx 1$	$\mu \gg 1$
(< 1)	(> 1)	($10^4 \div 10^6$)
вакуум	магнетит	железо, никель, кобальт
0,99983	1,00036	

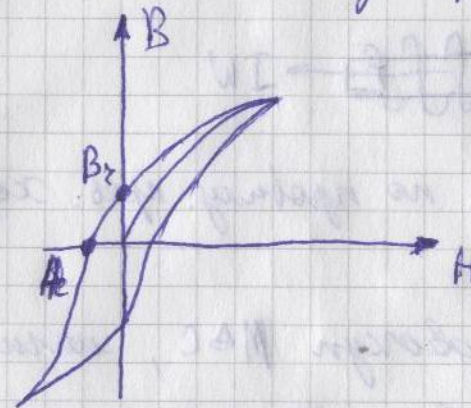
В электр. машинах, трансформаторах, сердечниках,

24) создание магн. поток и т.д.

опред. конфигурацию. Для этого

в магнит. цепи используют ферромагн. материалы. Чаще всего используют ферромагн. материалы.

Св-ва ферромагн. матер. характеризуется завис. $B(H)$. Если предв. различия ферромагн.



намагниченности, намагн. ф-ция H намагн. поперечную кривую намагниченности.

B_r - остаточная индукция

H_c - коэрцитивная сила

При перемагничивании матер. происходит затраты энергии. Затрата энергии перемагничивания

$$\oint \vec{B} d\vec{H}$$

$$\oint \vec{H} d\vec{B}$$

пропор. площади гистерезисной петли.

В эл. машинах переход постоянные перемагничивающ. матер.

поставлю в них искали. мелкие ферромагн.
с двойной потерей. петлей

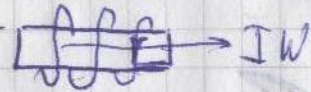
магнитовизи (показан)

силы

называют IW

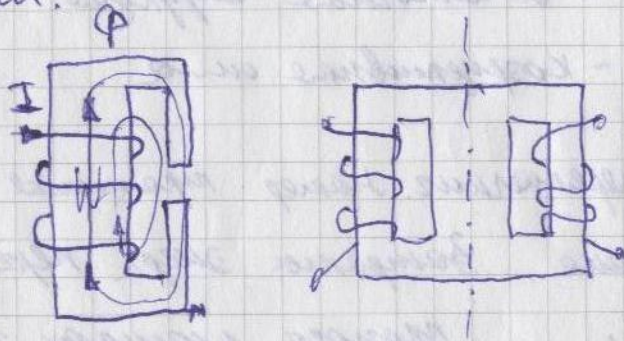
$\Delta AC \rightarrow I$

$\Delta AC \rightarrow \Phi$



Направление опред по правилу прав. хоров
визита.

Матн. цепь — совокуп ΔAC , магн.
тел или сред, по кот. замык. магн.
поток.



Внешние ферромагн.

матер. на возбуд.

магн. поле

Имеется орбитал сердечн. с рад. сред
линии 10 см. Площадь поперечного сечения
 2 см^2 . На сердечнике намотан обмотка с
числом витков 200.



$$S = 2 \text{ см}^2$$

$$R = 10 \text{ см}$$

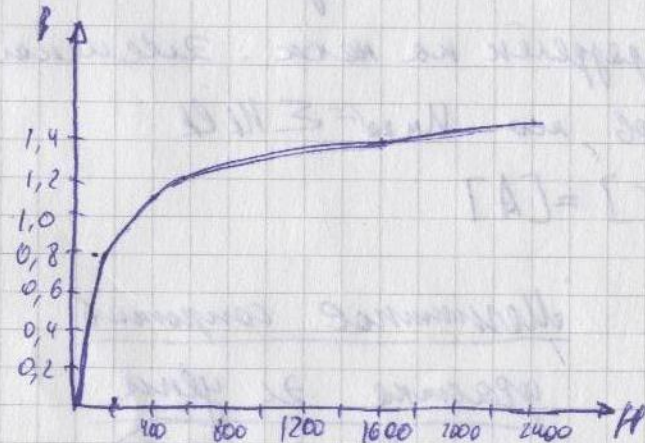
$$W = 200$$

$$I = 1 \text{ А}$$

Опред потоки Φ ,

в 1-ом и 2-ом сердечн.

$B, \text{ Тл}$	0	0,4	0,8	1,1	1,2	1,4	1,5
$H, \text{ А/м}$	0	30	150	400	550	1600	2400



$$\oint \vec{H} d\vec{l} = \sum_{\text{all}} I_k \quad Hl = H 2\pi R = IW \quad 27$$

$$H = \frac{IW}{2\pi R} = 318 \text{ А/м}$$

$$B = \mu_0 H = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 318 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Тл}$$

$$\Phi = BS = 8 \cdot 10^{-9} \text{ Вб}$$

Для ферромагн. В находим из кривой намагнич. $B(4-318) = 1,02 \text{ Тл}$

$$\Phi_2 = B \cdot S = 2,04 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$$

Гарантие магн. напряж.

Магн. напряж. ~~на~~ на участке между полюсами a и b , магн. цепи назыв. величину $\mathcal{U}_{маг} = \int_a^b H dl$

$$\mathcal{U}_{маг} = H \int_a^b dl = H l_{аб}$$

Если какой-то участок цепи состоит из нескольких элементов, то $\mathcal{U}_{маг} = \sum H_k l_k$

$$[\mathcal{U}_{маг}] = [A]$$

Магнитное сопротивление участка эл. цепи

$$28 \quad \mathcal{U}_m = H \cdot l = \frac{B \cdot l}{\mu \mu_0} = \frac{l}{S \mu \mu_0} \cdot \Phi = R_m \cdot \Phi$$

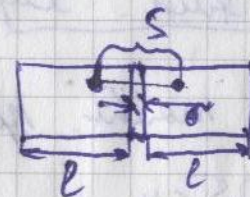
так как M нелинейно завис от H , след. M нелинейно завис от Φ , след. $R_m(\Phi)$ - нелинейн.

Внешнепроявленная реакция - закон Ома для магнитных цепей

Бедер - вилерная характеристика

Бедер - вил. хар. цепи - зависимость Φ по этому участку от падение магн. напр. на этом участке

$\Phi(\mathcal{U}_m)$
Вб
А



мед. посур бед-вил. хар. отнород эл-тов S и l пер. сечен. и длина воздушный зазор.

- Допущение: 1) отсутствует рассеивание магнитного потока;
2) отсутствует расщепл. сил. линий в возз. зазоре

Формулы расчета:

$$1) B (0 \div 1,5 T_1)$$

$$2) \Phi = B \cdot S$$

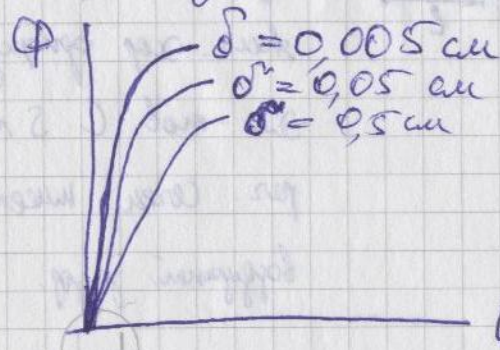
$$3) H_1(B) = H_2(B) \quad H_0 = \frac{B}{\mu_0}$$

$$4) U_m = H_1 \cdot l_1 + H_0 \cdot \delta + H_2 \cdot l_2$$

B	$\Phi = B \cdot S$	U_m
→	→	→
→	→	→
→	→	→

Линейные возг. харак. на
вед-хмп. хар.

Если данные магн. представ. упр., то



Чем больше возг. хар. - тем длиннее
вед-хмп. хар. к магн. цепи

30

Законы Кирхгофа
магн. цепи

1-й з-н Кирхгофа: (следует из принципа
на кепир магн. потока)

2-й з-н Кирхгофа: (линейная форма закона
полного тока)

$$\sum_{\text{ан}} U_m = \sum_{\text{ан}} I N \quad \text{для узлов}$$



$$\sum_{\text{ан}} H_k l_k = \sum_{\text{ан}} I N$$



$$\sum_{\text{ан}} R_m \Phi = \sum_{\text{ан}} I N$$

для контуров

Порядок сост. ур-ний по
закону Кирхгофа

1) узлы, ветви;

2) I з-н = y - 1 уравн.

3) II з-н = b - (y - 1) уравн.

При этом уравнений покрывается
потоков и опоры контуров
выбирают произвольно.

31

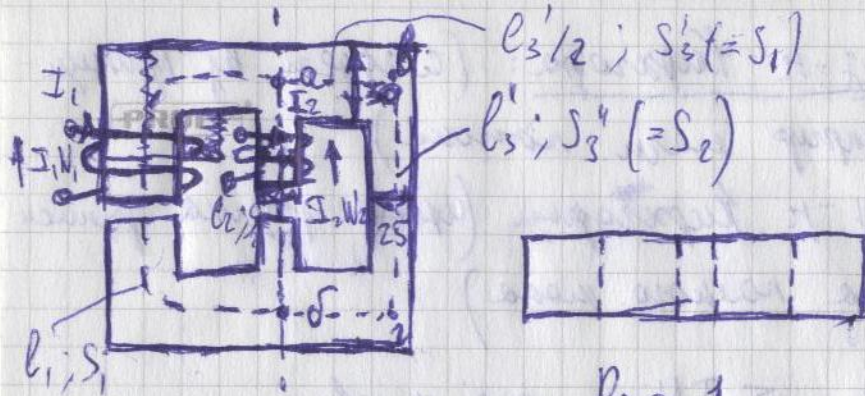


Рис. 1

Φ_1 направ вверх

Φ_2 и Φ_3 направ вниз

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

$$H_1 l_1 + H_2 \delta_1 + H_2 l_2 + H_2 \delta_2 = I_1 N_1 - I_2 N_2$$

$$- H_2 l_2 - H_2 \delta_2 + H_3' l_3' + H_3'' l_3'' = I_2 N_2$$

Уравнение по 2-му закону Кирхгофа
можно соед. с испану. сопротив R_M

$$\begin{cases} \Phi_1 = \Phi_2 + \Phi_3 \\ R_{M1} \Phi_1 + R_{M2} \Phi_1 + R_{M2} \Phi_2 + R_{M2} \Phi_2 = I_1 N_1 - I_2 N_2 \\ - R_{M2} \Phi_2 - R_{M2} \Phi_2 + R_{M3}' \Phi_3 + R_{M3}'' \Phi_3 = I_2 N_2 \end{cases}$$

32 Поскольку H и R_M не зависят от Φ , решение

выберем. упр-ний анализ методом достаточно простейшая задача.

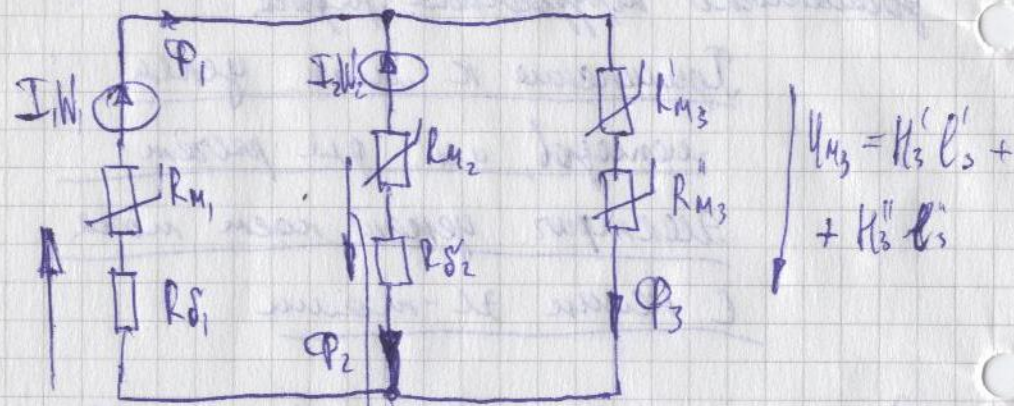
Применение к магн. цепи
методов, исп. для расчёта
электр. цепей поет пона
с теми же-тами

Электр. и магн. цепи опис. сход по структуре замкнутой цепи и Кирхгофа. Аналог.: приёмы расчёта эл. цепей с теми же-тами применяются и к расчёту магн. цепей.

Эл. цепи	Магн. цепи
ЭДС E	МДС IN
I	Φ
R	R_M
$U = R \cdot I$	$U_M = R_M \cdot \Phi = Hl$
ВАХ	ВАХ

33 Расчёт магн. цепей эквивалентно

исполнить схематическое изображение:

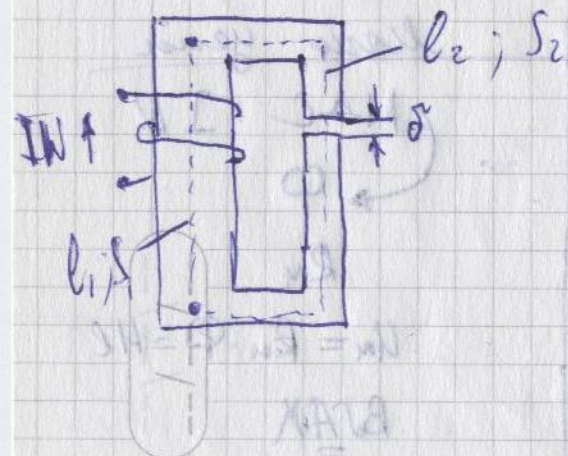


$$H_1 = H_1 l_1 + H_{\delta 1} \cdot \delta_1$$

$$H_2 = H_2 l_2 + H_{\delta 2} \cdot \delta_2$$

$$H_3 = H_3 l_3 + H_{\delta 3} \cdot \delta_3$$

Задача МАС пересчета
мат. цепи по зад. потоку Φ



Дано: размеры магнитопровода;

завис. $B(H)$ и Φ

(или индукция B в

к-ль из стержней)

Найти: МАС

1) Принимаем произвольное значение

2) Задаем магн. цепь на участке пост. сечения S_1 и S_2 и определяем эти участки (по средней силовой линии)

3) Если Φ известен - определяем индукции $B_1 = \Phi / S_1$; $B_2 = \Phi / S_2$

4) По извест. $B(H)$ находим H_1 по B_1 , H_2 по B_2 , а в дуго $H_{\delta} = \frac{B_2}{\mu_0}$

5) $H_m = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_{\delta} \delta = I W$

Обратная задача

Определение потока Φ в пересчете цепи по зад. МАС.

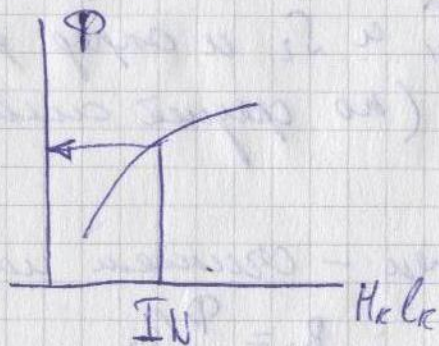
Дано: размеры магн. цепи, крив. намагн. $B(H)$ и $I W$

Найти: магн. поток Φ .

Решение:

Задаем разность B для

каждого из них погреш $\Phi = B \cdot S$ и $\sum H_k l_k$, строим график.



Задача рассчитать магн. цепи методом 2-х узлов

Рассчитать по примеру магн. цепи, пример по рис 1.

Законы: $B(H)$

$B, Тл$	0	0,4	0,8	1,1	1,2	1,4	1,5
$H, А/м$	0	30	150	400	550	1600	2400

$$I_N W_1 = 800 A \quad \delta_1 \approx 0,05 \text{ мм}$$

$$I_N W_2 = 300 A \quad \delta_2 = 0,22 \text{ мм}$$

36 Найти: $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3 - ?$

Аналогично вычисляем. строим в АХ магн. цепи $S_1 \approx 8 \text{ см}^2 = 8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$

$$l_1 = 0,24 \text{ м}$$

l_1 - длина линии

$$\delta_1 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$I_N W_1 = 800 A$$

$\Phi_1, \text{вб}$	0	50	75	100	112,5	125	$\cdot 10^{-3}$
$B_1, Тл$	0	0,56	0,83	1,1	1,25	1,4	
$H_1, А/м$	0	50	150	400	1700	1600	
$H \delta_1 = \frac{B}{\mu_0}$	0	4,45	6,6	8,83	9,95	11,14	
$U_{m1} = H_1 \cdot \delta_1$	0	34	81	140	218	440	
$U_{m \text{ вб}} = I_N W_1$	800	766	716	660	582	360	

$$U_{m, \text{ вб}} = [I_N \cdot W_1 - U_{m1}]$$

Переходные процессы в линии и цепи

1 Введение:

Под переходными процессами понимают переход от одного процесса (режима) к другому (режиму), тем или иным образом от предыдущего. Например, конфигурация, параметры элементов, параметры источников (активная, реактивная). Всегда можно считать, что переход сопровождается коммутацией, переключением.

При расчёте ПП принято считать, что коммутация происходит мгновенно, т.е. сразу всего принимаем начало при $t=0$, а момент после коммутации $t=0+$.

Физически переходный процесс — переход от одного состояния, соответствующего докоммутации, режиму к другому состоянию, соответствующему послекоммутации, режиму.

38 Переход процессы протекать. البته, но могут сопровождаться токами и

напряжениями с существенными превышениями номинального значения.

§1. Начальные значения величин

Докоммутация. дог. знач. коз. значение токов и напряж. в момент, предшествующий коммутации. $t=0-$

Послекоммутация — значения после коммутации при $t=0+$

§2. Законы коммутации

1. $i_L(0-) = i_L(0+)$ ток в индукт. ветви не меняется.

2. $u_C(0-) = u_C(0+)$ напряжение в ёмкости не меняется.

С энерг. точки зрения невозможно изменение i_L или u_C означает невозможность мгновенного изменения запасённой энергии в ёмкости или индуктивности.

$$W_L = \frac{L i_L^2}{2}$$

$$W_C = C \frac{u_C^2}{2}$$

Сколькообразное изменение энергии, характеризующееся бы бесконечной мощностью.

PROFF

23. Краткие и долгие послекашущий ползун

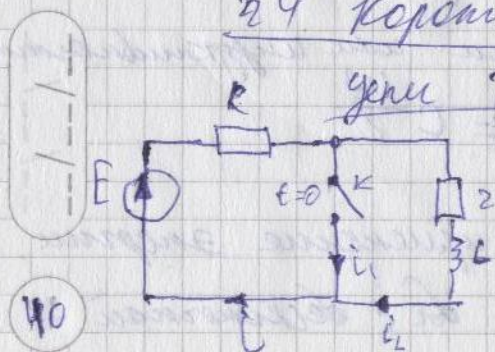
Знать i_L и U_C , найти из расчета
докашущий, резистор и конденсатор в момент
касания, найти краткие колебательные
процессы (уравнение) [ННУ]

Знание от токов и напряж. при $t=0+$
называется долгие колебательные процессы
(уравнения) [ЗНУ]

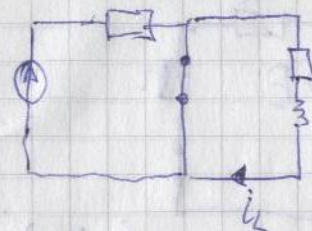
~~24. Короткое замыкание~~

ЗНУ опред для послекашущего состояния
по предв. найденным $i_L(0-)=i_L(0+)$ и
предв. найденному $U_C(0-)=U_C(0+)$ с
применением законов Ома и Кирхгофа.

24. Короткое замыкание



даны E, R, L
 $i_L(t) = ?$



$$Z i_L + L \frac{di_L}{dt} = \{1\}$$

{1} - однородное дифф. ур. 1-го порядка

Уравнение {1} свобод от источника энергии

Поскольку i_L принято называть свободными i_{Lcb}

$$i_L = i_{Lcb} \quad [1]; \text{ подстав } [1] \rightarrow \{1\}$$

$$Z i_{Lcb} + L \frac{di_{Lcb}}{dt} = 0 \quad \{2\}$$

$$i_{Lcb} = A \cdot e^{pt} \quad [3] \text{ подстав } [3] \rightarrow \{2\}$$

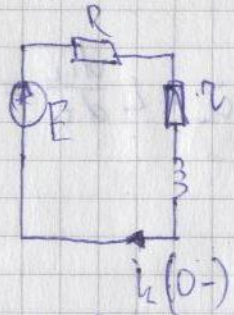
$$Z \cdot A e^{pt} + L p A e^{pt} = 0,$$

$$Z + L p = 0 \quad - \text{ характеристическое ур.} \quad [4]$$

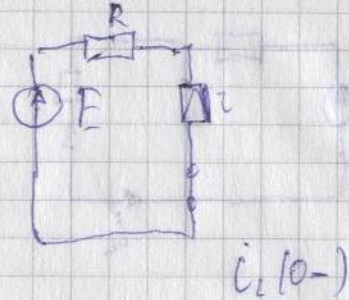
$$p = -\frac{Z}{L} \quad [5]$$

$$i_{Lcb}(0+) = i_L(0+) = A e^{p \cdot 0} = A e^0 = A = ? \quad [6]$$

Определив, что подстав в ур [6] вместо
знака вопроса, найдем A, для этого
используем ННУ.



$\Rightarrow$



$$i_L(0-) = \frac{E}{R+L} \quad [7]$$

[8] Закон сохранения энергии

$$i_L(0-) = i_L(0+) = \frac{E}{R+L}$$

из ур-я [6] после подстановки в него [8]

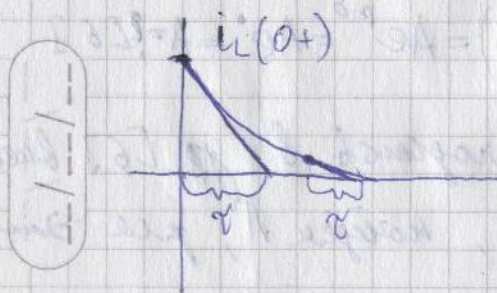
$$A = \frac{E}{R+L} \quad [10]$$

$$[11] \quad i_L = i_{Lob} = \frac{E}{R+L} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Последнее выражение можно записать в виде функции

$$i_L - i_{Lob} = i_L(0+) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

где $\tau = \frac{L}{R}$



τ - постоянная времени цепи
 $\tau = \frac{L}{R}$

За время τ ток уменьшается в е раз

$$t = 0+$$

$$i_L(0+)$$

$$t = \tau$$

$$i_L(0+) e^{-\frac{\tau}{\tau}} = \frac{i_L(0+)}{e}$$

С достаточной точностью (95-99%) все уравнения для времени 3-5 τ

$$i_{Lob} = i_L(0+) = \frac{E}{R+L}$$

$$E = iR \quad i = \frac{E}{R}$$

и по закону сохранения энергии, а также проверить по 1-ому закону Кирхгофа.

! Построить график изменения i_L со временем!

§5 Основные этапы

процесса переходных процессов

в цепи с одним накопителем энергии

на примере вычисления τ - L цепи на постоянное напряжение