

Владислав Славов

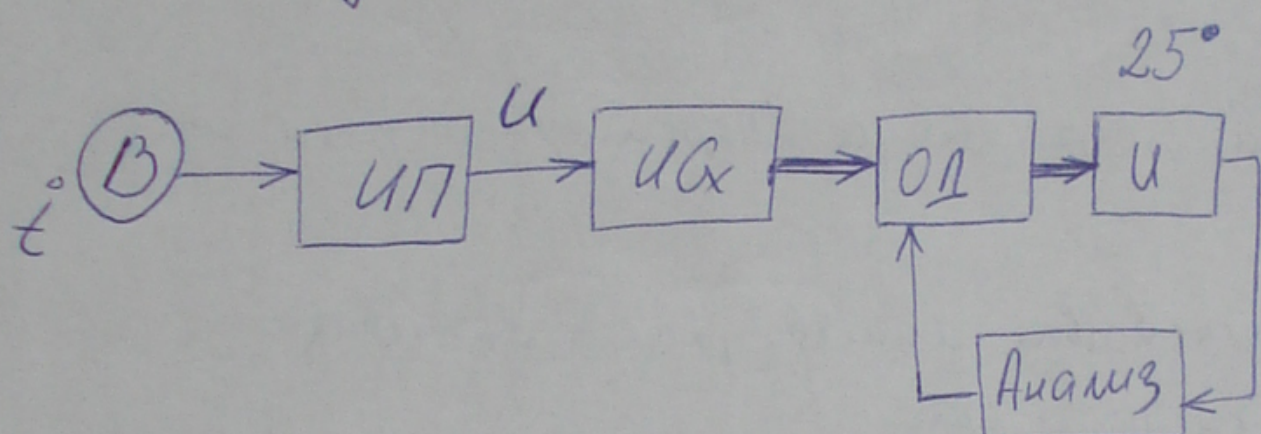
2434

v-slavov@tu-sofia.bg

eitstudents@abv.bg

Ръководство за ЕУ част 1

Измерване



U – напрежение
 t – температура
 B – величина
 ИП – измервателни преобразуватели
 ИХ – измервателна схема
 ОД – обработени данни
 U – индикатор

1. **Определение** – познавателен процес, при който чрез физичен експеримент се определят стойностите на измерваната величина, ~~придадена~~ съвпада с равно измерван резултат, стойности на друг величина, еднородна с измерваната с цел да се реши основното уравнение на измерването

Q – измервана величина

q – стойност на измерваната величина

$[Q]$ – измервателна единица

$$Q = q, [Q]$$

Всяко измерване включва в себе си и контрол

Контрол – познавателен процес, при който чрез физ. експеримент се проверява дали стойност на изм. величина приключва със дадено множество от стойности

Основните понятия в измерване са проверка и центриране

Метрология

12

Величина – свойство, качествено отношение, еднаво за различни обекти или системи или за тяхното състояние, но индивидуално в количествено отношение

Видове величини:

- от вещественна група – описват физичните и физикохимичните свойства на обекта
- от енергийната група – свойства, описващи енергийните х-ти на предметите и явленията
- от информационната група – притежават свойства, които описват химичните и статистичните х-ти на обекта

СИ

основни

$t [s]$

$l [m]$

$m [kg]$

$I [cd]$

$I [A]$

$Q [K]$

$[mol]$

производни

всички останали...

γ

1. По начина на получаване на измерването, за стойността на първоначалната величина и грешката
- пряко измерване – когато стойността на измерваната величина се получава непосредствено от експеримента
 - косвено измерване – когато стойността се получава чрез аналитични зависимости м/у тази величина и други величини, които са измервани пряко

- съвкупни измервания - когато косвено едновременно се определят няколко измерени еднородни величини
- съвместни - ако са разнородни

2. По краткост

- еднократно - величината се измерва само веднъж и в този измервания не можем да получим информация за грешка
- многократно - измервателния процес се повтаря няколко пъти и получените резултати подлежат на математическа обработка

3. По състоянието на измерваната величина

- статични - когато величината не се изменя във времето
- динамични - когато величината се променя във времето

Средства за измерване

устройство, с което се измерва стойността на дадена величина

Елементарни - мярка, еталон, измервателен преобразувател, компаратор

1. Мярка - средство за измерване, предназначено за възпроизвеждане на физична величина със зададен размер при определена грешка
2. Еталон - мярка или комплекс от средства за измерване, с които се осъществява възпроизв. или съхранение на единицата на дадената величина

- първични - националните еталони

- вторични - устройства, които могат да се съхраняват в лаборатории

3. Измервателен преобразувател - извършва преобразуване, което обхваща: преобразуване на една физична величина в друга;

съгласуване на изхода на източника на сигнала с входа на средството за измерване; съгласуване на големината на измерваната величина с входа на средството за измерване (масово преобразуване); функционално преобразуване и преобразуване на непрекъснат сигнал в код и обратно

$Y = f(x)$ - функция на преобразуване

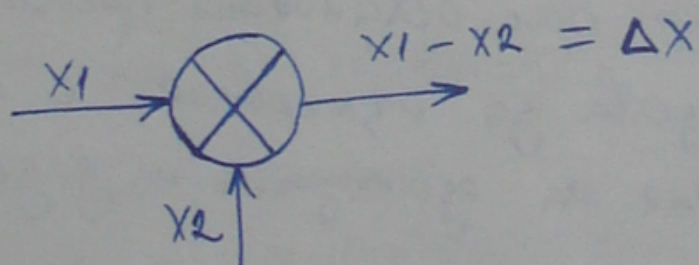
Според вида на входната и изходната величина:

- преобразуватели на електрическа - от една ел. в друга ел.
- преобразувател от намагнитна в електрическа величина
- преобразувател на електрическа в неелектрическа
- преобразувател на електрическа в намагнитна
- преобразувател на неелектрическа в електрическа

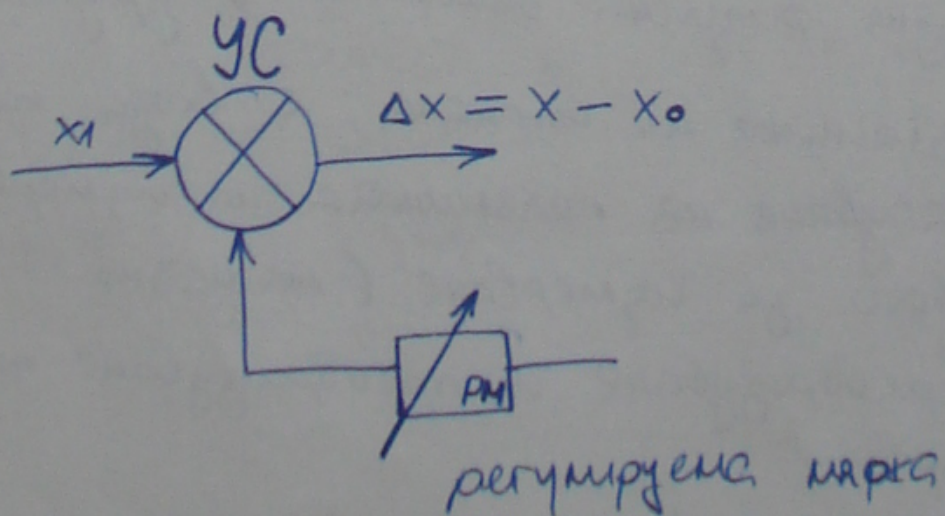
Според вида на входната величина и начина на преработка на изходната:

- аналогови
- дискретни
- аналого-цифрови
- цифрово-аналогови
- модулационни

4. Компаратор - сравнява 2 величини, като на изхода си има логическа стойност



Измервателните процедури се осъществяват чрез прости измервателни операции и с помощта на елементарни средства за измерване

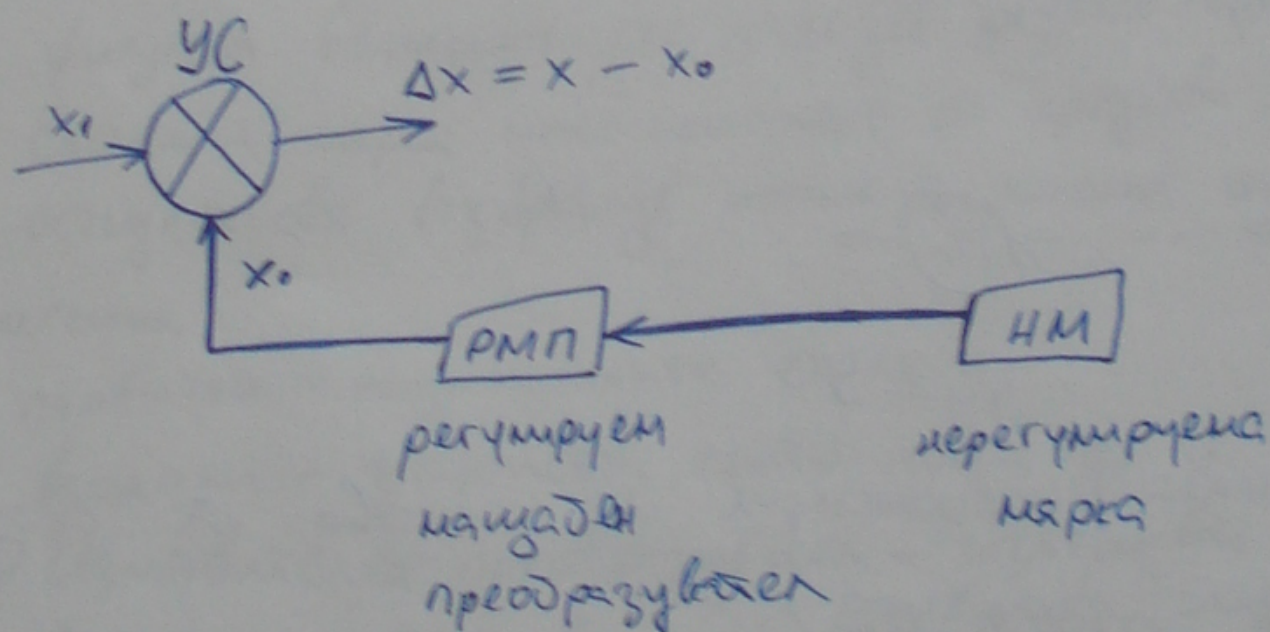


Методи за измерване

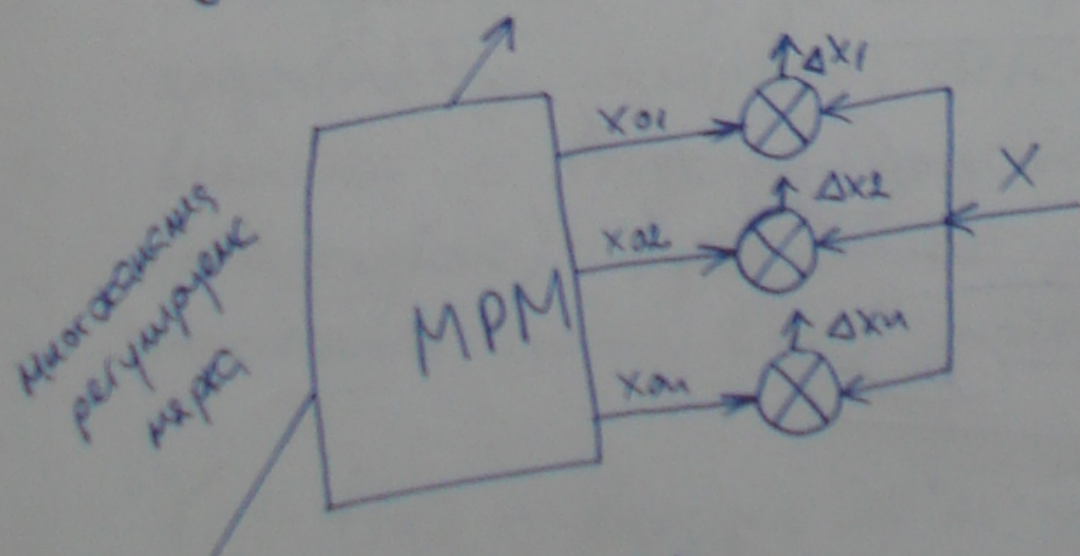
съвкупност от математически и експериментални операции, използвайки в последствие с даден принцип

физично явление, което представлява
научна основа на метода на измерване

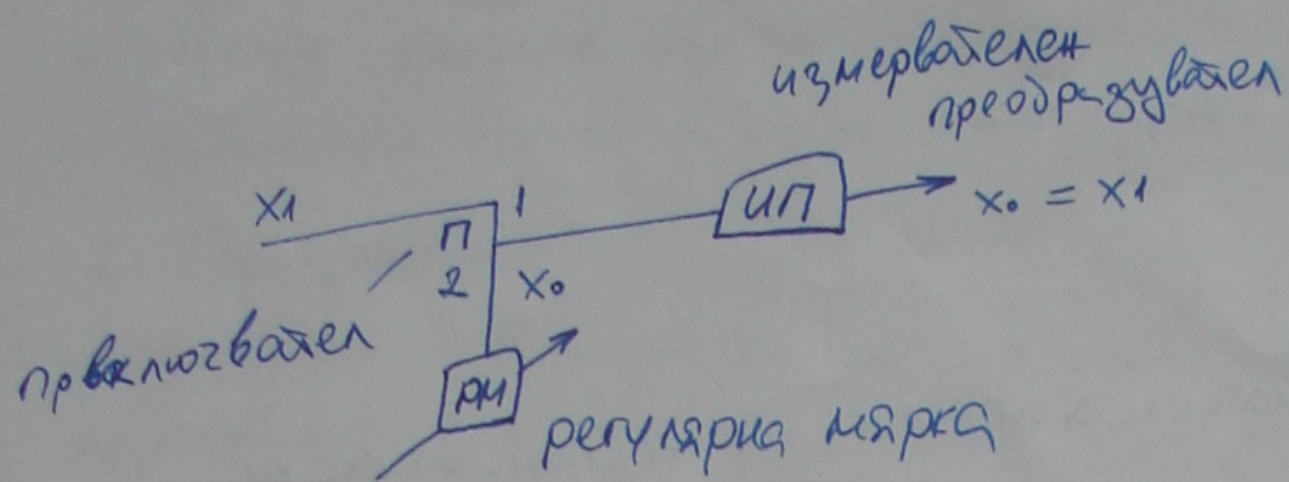
1. Метод със съпоставяне – съпоставянето се осъществява еднократно и почти мигновено, при което участват всички средства за измерване
 2. Метод с уравновесяване – последователно се извършва и на етапи, като участващите в него средства за измерване не се използват едновременно
- нулев метод



– метод на паралелно уравновесяване



3. Метод от заместване



Към входа на ИП се подава сигнала x_1 , чрез П се записва стойността на изх. сигнал x_0 от РМ, който се изменя докато $x_0 = x_1$

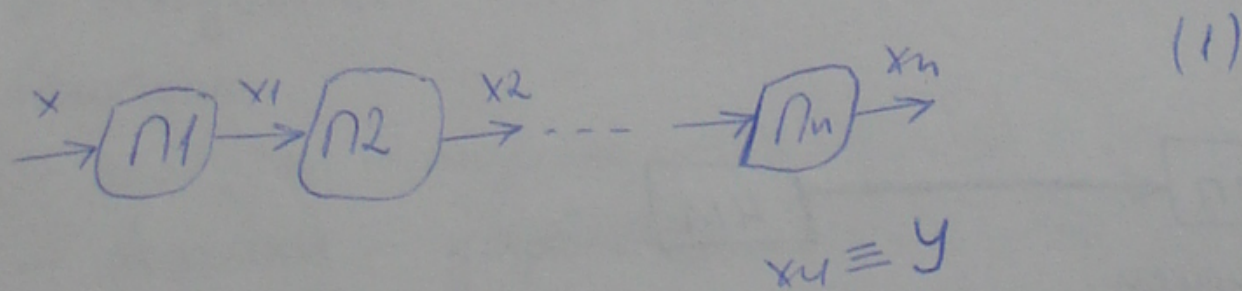
cs - tinfoia. m → за информация

Структура на средствата за измерване

1. Измервателен уред — съвкупност от елем. средства за измерване, които притежават определена структура

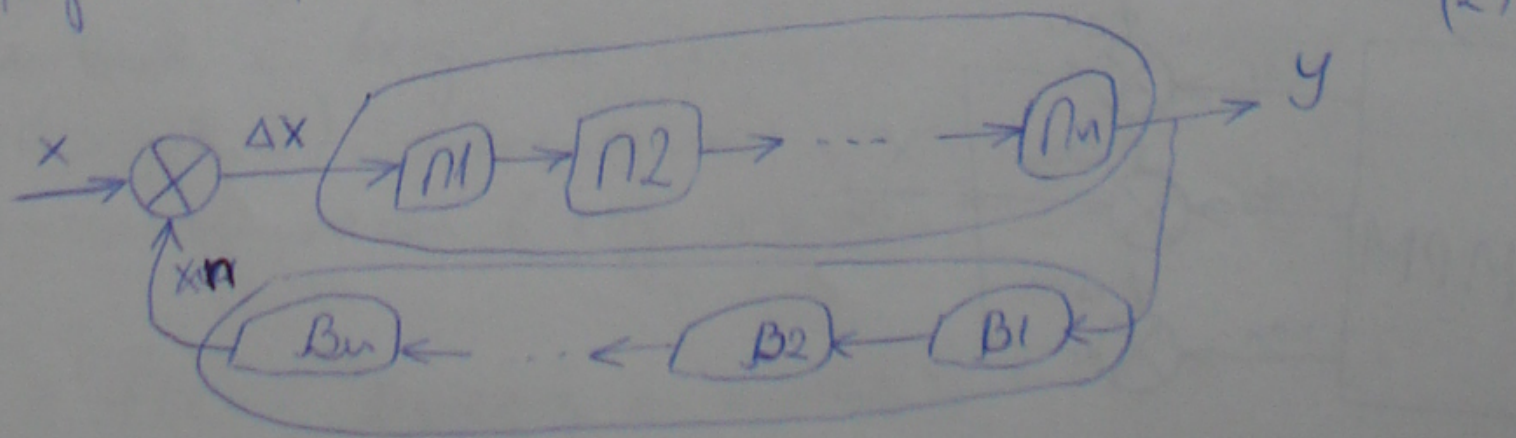
2. Структура

а) уреди с пряко преобразуване



При тях измервателната информация се предава от входа към изхода (отворена структура)

б) уреди с уравновесяване



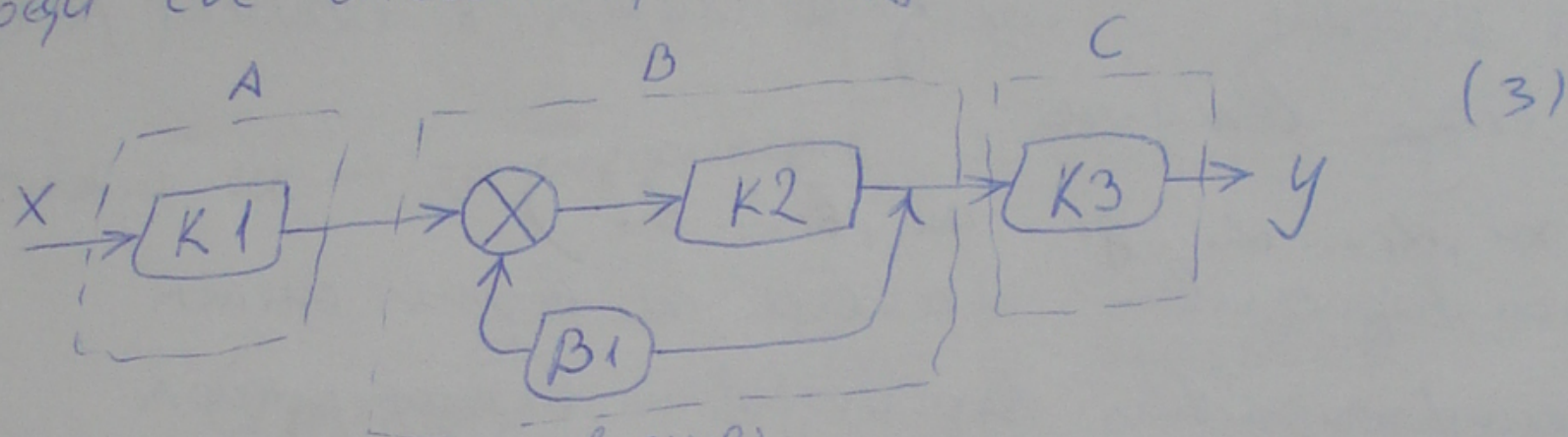
Съдържа две вериги: на пряко и обратно преобразуване
 $\mu_1, \mu_2 \dots \mu_n$ - коефициенти на пряко преобразуване
 $\beta_1, \beta_2 \dots \beta_n$ - коефициенти на обратно преобразуване

$$\Delta X = X - X_M$$

Преобразуването продължава докато $\Delta X = 0$

Тези вериги са затворени

в) уреди със смесено преобразуване



Според начина на сравнение:

- уреди с непосредствено сравнение - измерваната величина при всяко изпитание се сравнява пряко с позната еднородна величина.

Тези уреди се уреди с уравновесяване

- уреди с непосредствена оценка - имат предварително продуцирана скала в единици на измерваната величина. Скалата се продуцира чрез образцова мрежа. Те могат да са с пряко или смесено преобразуване

Според предназначение:

- показващи

- записващи - регистрират изменението на измерваната величина във времето

Според начина представяне на изходната информация

- аналогови - вижда се убедително грешка

- цифрови - няма убедителна грешка

3. Информационна измервателна система - съвкупност от средства за измерване и е предназначена за сложни измервателни задачи

Статистични характеристики и параметри на средствата за измерване

1. Функция на преобразуване - връзка м/у информативни параметри на входния и изходния сигнал в даден режим при постоянна входна величина

$$Y = f(x_1, \dots, x_n, \alpha_1, \dots, \alpha_m, g_1, \dots, g_l, v_1, \dots, v_k)$$

x_1 до x_n - информативни параметри на входния сигнал

α_1 до α_m - неинформативни параметри на входния сигнал

g_1 до g_l - параметри, свързани с техническите особености

v_1 до v_k - външни влияещи фактори

$$Y = KX \Rightarrow K = \frac{Y}{X}$$

K - коефициент на преобразуване

$$K = \frac{x_1}{x} \cdot \frac{x_2}{x_1} \cdot \dots \cdot \frac{x_n}{x_{n-1}} = K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n \rightarrow \text{за верига (1)}$$

$$Y = K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n \Delta X$$

$$X_{\text{ш}} = v_1 \cdot v_2 \cdot \dots \cdot v_k Y$$

$$\Delta X = X - X_{\text{ш}}$$

$$X = \Delta X + X_{\text{ш}}$$

K_F - коеф. на преобразуване на затворен верига

$$K_F = \frac{Y}{X} = \frac{Y}{\Delta X + X_{\text{ш}}} ; K_F = \frac{K \Delta X}{\Delta X + K v \Delta X} = \frac{K}{1 + vK}$$

Коеф. е $1 + vK$ по-малък от K . При $vK \gg 1$, K_F не зависи от K

$$K = K_1 \cdot \frac{K_2}{1 + \beta_1 K_2} \cdot K_3 \rightarrow \text{за верига (3)}$$

9

2. Тубавителност — характеризира способността на средството за измерване да ~~измери~~ възприема изменението на измерваната величина. Най-малкото изменение, което средството може да измери се нарича праг на тубавителността

$$S = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{dY}{dX}$$

Разрешителна способност — най-малката величина, която може да се измери или възпроизведе чрез средството за измерване

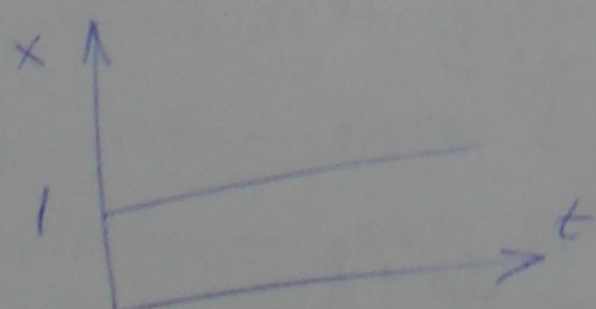
Динамични характеристики на
средствата за измерване

Те са когато измерваната величина се изменя във времето

1. Предавателна функция — определя се при входно въздействие от правоъгълен, триъгълен или миебелн изменящ се сигнал и се нарича още операторна тубавителност

$$K(p) = \frac{Y(p)}{X(p)}$$

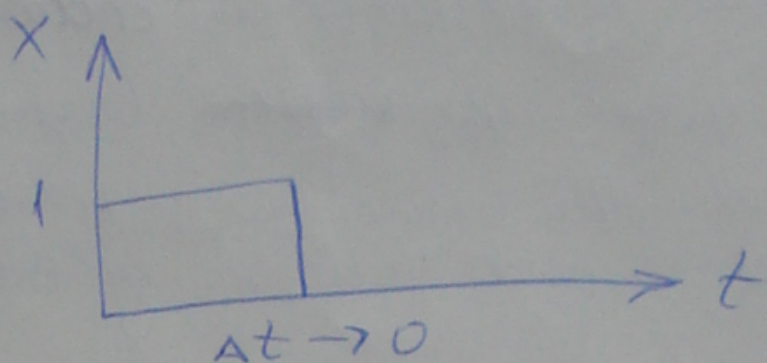
2. Преходна функция — реакцията на изхода при входно въздействие е единичен съгловиден сигнал. Характеризира преходния процес на средството за измерване при преминване от едно състояние в друго



$$h(t)$$

3. Импульсна характеристика - ползва се когато вх. сигнал представя единичен импулс. Определя се при нулеви начални условия

$h_1(t)$



4. Комплексен коэффициент на предаване

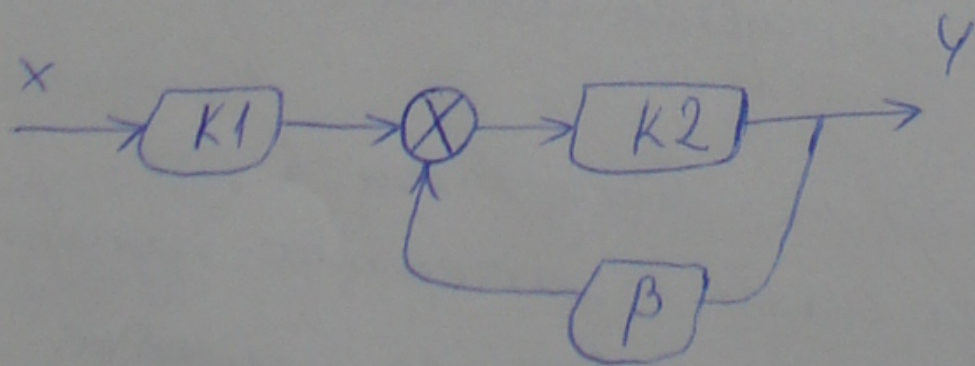
$$K(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$$

$A(\omega)$ - амплитудно действие х-та

$\varphi(\omega)$ - фазово действие х-та

5. Бързодействие - времето, за което стрелката се установява със зададената точност (за аналогови); броят на измерванията за секунда или времето за установяване на стабилно цифрово показание в/у дисплей на уред (за цифрови)

Задача!



$$K_1 = 1$$

$$K_2 = 2$$

$$\beta = \frac{1}{p+1}$$

Изведете аналитично и изчислете амплитудно действаща характеристика на средното за измерване

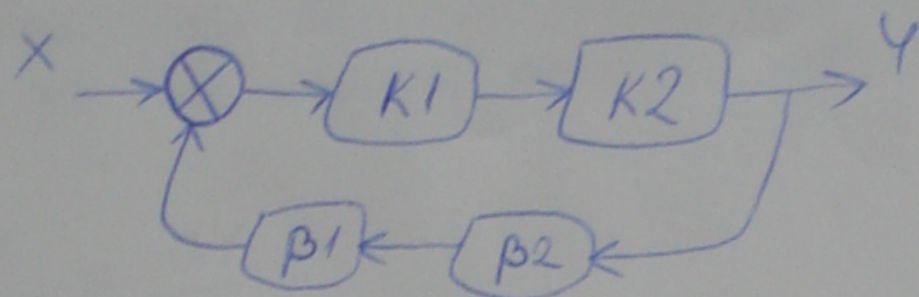
$$K_F(p) = K_1 \frac{K_2}{1 + \beta K_2} = 1 \frac{2}{1 + \frac{1}{p+1} \cdot 2} = \frac{2}{\frac{p+1+2}{p+1}} = \frac{2p+2}{p+3}$$

$$K(j\omega) = \frac{2j\omega + 2}{j\omega + 3} \cdot \frac{j\omega - 3}{j\omega - 3} = a + jb \Rightarrow A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$$

11

Задачи за домашно:

1)



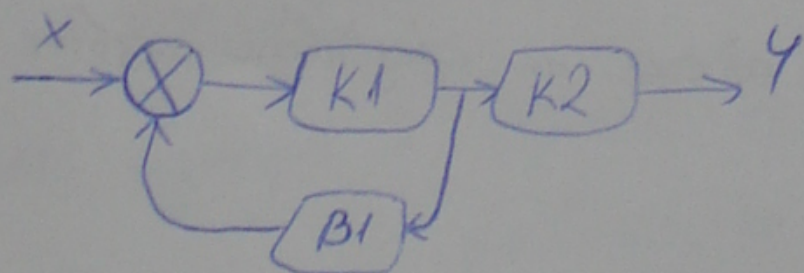
Ако входната x -та е синусоидален сигнал

Род $K_1 = 2$
а $K_2 = \frac{1}{p+1}$

$\beta_1 = 2$
 $\beta_2 = \frac{2}{p+2}$

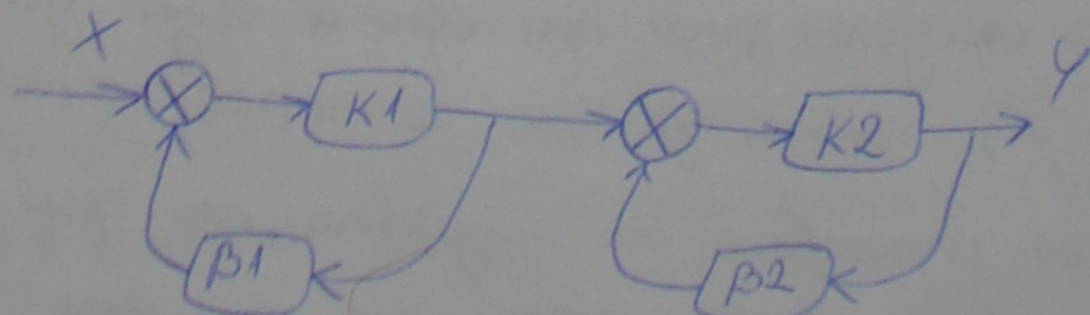
Условието от което
на решаваше
задача...

2)



$K_1 = 3$
 $\beta_1 = \frac{1}{p+3}$
 $K_2 = 2$

3)



$K_1 = 1$
 $\beta_1 = \frac{1}{p+1}$
 $K_2 = 4$
 $\beta_2 = \frac{1}{p+2}$
 $\omega = 1s^{-1}$

за се изчисля и
фазата

Грешки при измерване

1. По размерността си, грешките са:

а) абсолютна грешка

$$\Delta = x_{изм.} - x_{действ.}$$

б) относителна грешка

$$\delta, \% = \frac{\Delta}{x_{действ.}} \cdot 100, \%$$

в) редуцирана грешка (приведена)

$$\gamma, \% = \frac{\Delta}{x_n} \cdot 100, \%$$

2. Според причината и условия на възникване

→ основни – ползват се при нормални условия (средството бива проверено или калибрирано)

→ допълнителни – ползват се при работа на средството извън нормалните условия

3. По характер на изменението

→ систематични – за всички точки от статистичната x -та, грешката е постоянна или се изменя по определен закон при едни и същи условия за измерване. Близостта на тази грешка до нула се нарича точност

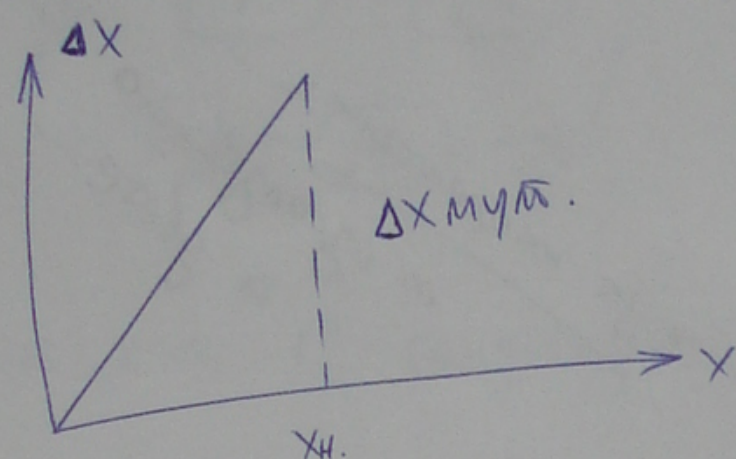
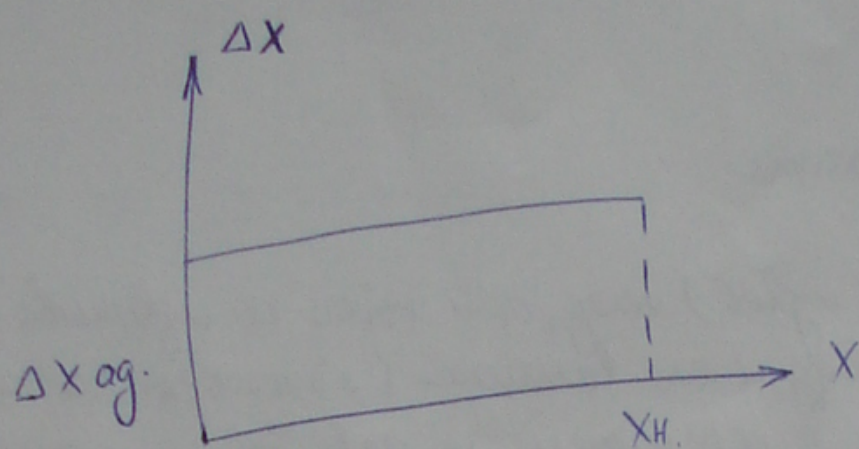
→ случайни – при многократно използване на средството при едни и същи условия, но грешката има различни стойности (случайни), т.е. те не могат да бъдат предвидени. Близостта на този тип грешка до нула е сходимост

4. По степента на зависимост на измерваната величина x

→ адитивна – не се влияе от

→ мутлипликативна

→ грешки от нелинейност



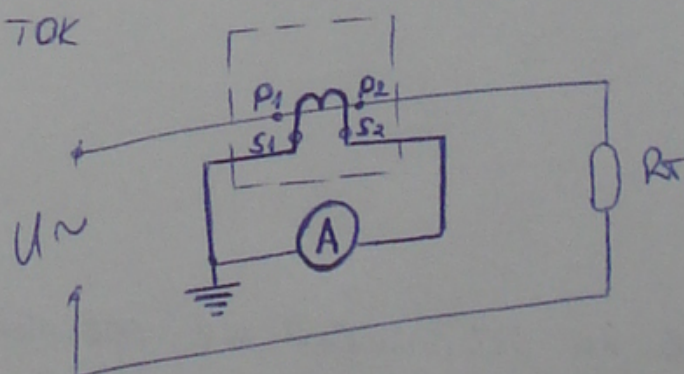
Измерване на ток и напрежение

1. Измерване на нискофреквенентни токове и напрежения
2. Изследване на много малки токове и напрежения ($10^{-10} \div 10^{-8} V$ и $10^{-10} A$)
3. Измерване на много големи токове и напрежения (кА, кV) - уредите за измерване трябва да имат голямо вътрешно съпротивление

Измерване на ток

$$R_{из} = \frac{R_m}{m-1}$$

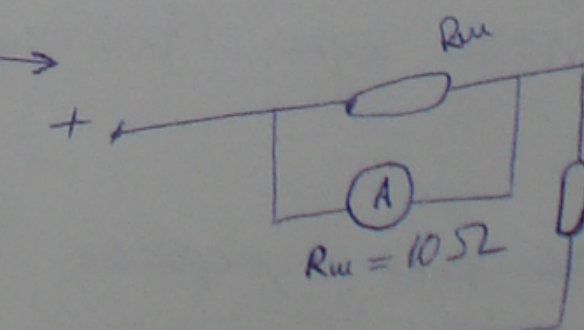
$$m = \frac{I_H'}{I_H}, \text{ при } m=2,5 \rightarrow 3$$



$$K_{из} = \frac{I_H}{I_H'}$$

задача: ток 1mA се измерва с (A) 100μA и вътрешно съпротивление 10Ω. Нагледайте схемата на свързване на тока, означете стойностите на елементите по схемата

задача 2: постоянен ток със стойност 20mA се измерва с аналогов (A) с вътр. съпр. 5Ω и обхват 10mA и 10 скални деления. Нагледайте измервателната сх. Изчислете стойностите на елементите



каква е състоятелността на уреда при разширяване на обхвата и след

$$m = \frac{I_x}{I_H} = \frac{10mA}{100\mu A} = 10; R_{из} = \frac{10}{9} \Omega$$

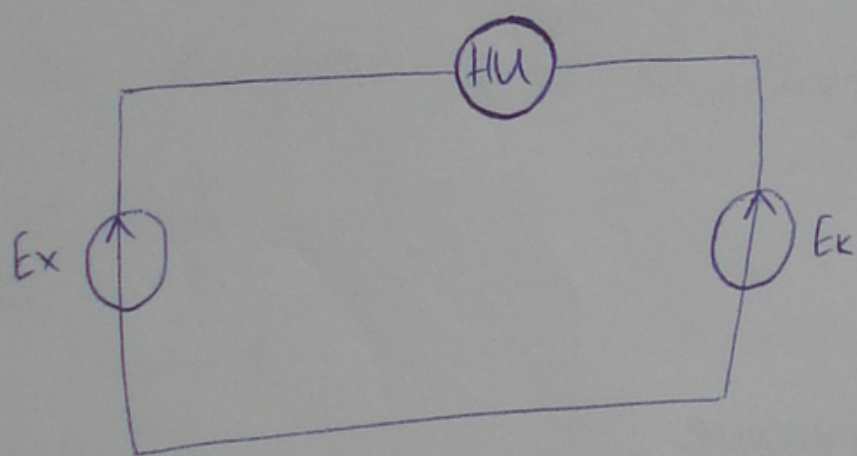
колко деления ще покаже стрелката при измерване на тока

Измерване на напрежение

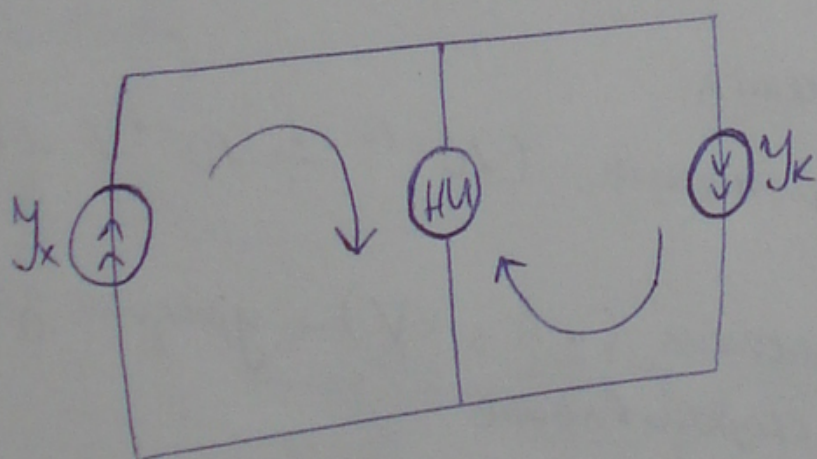
задата променливо напрежение с $200V$ се измерва с $\odot V$ с одхва $200V$ и вътрешно съпротивление $10k\Omega$. Изчертайте схемата на свързване и изчислете стойностите на елементите

Измерване с компенсатори

1. Компенсационен метод – сравнителен (нулев) метод, при който се извършва пряко сравняване (противопоставяне) на две еднородни ел. величини (обикновено те имат напрежение). Едната от тези величини е регулируема и известна, а другата е неизвестната (измерваната) величина



→ ЗС напрежение
по използването
от двете...



→ ЗС ток

E_x и U_x – неизвестните
 E_k и U_k – компенсация

Отчитането се извършва когато нулевият индикатор покаже нула

E_k се регулира чрез промяна на тока чрез регулируемо съпротивление или чрез промяна на компенсационно съпротивление. Регулираният ток се нарича работен ток

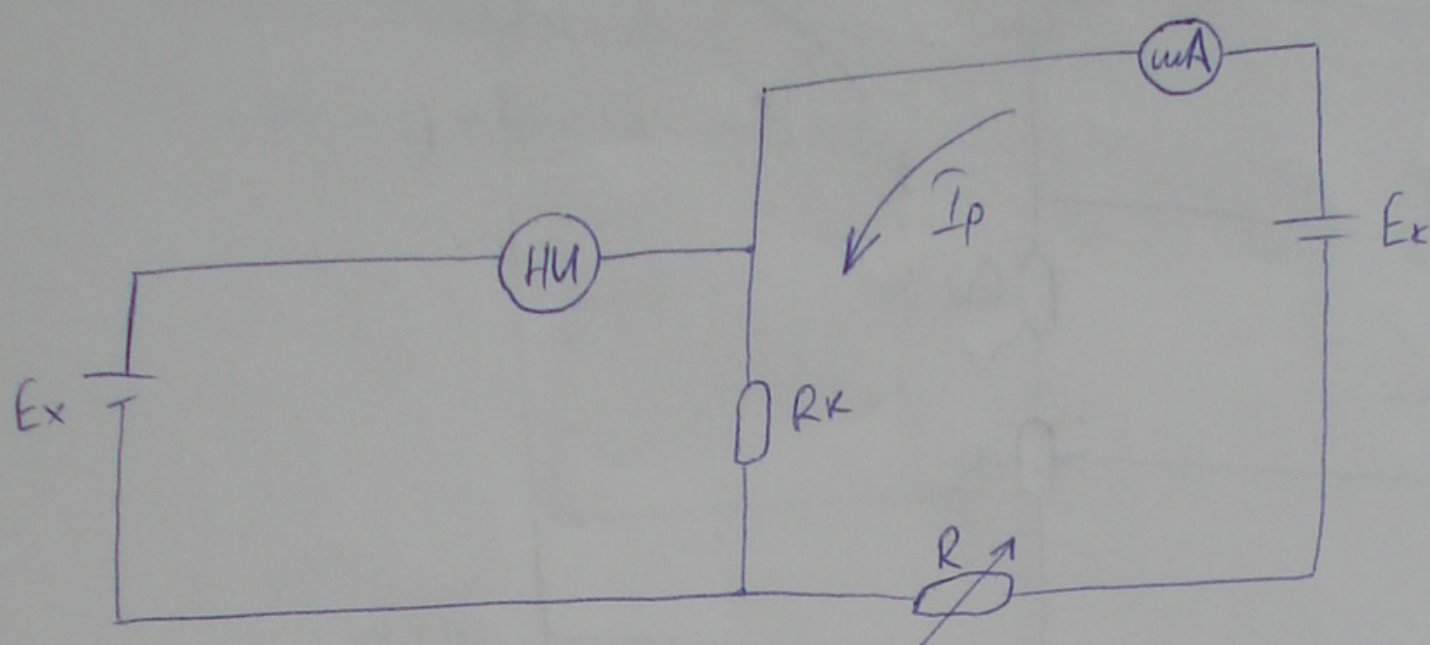
$$E_k = I_p R_k = U_x$$

Предимства: по време на отчитането не протича ток, консумацията на схемата е почти нула. Приложим при измерване на отделни източници

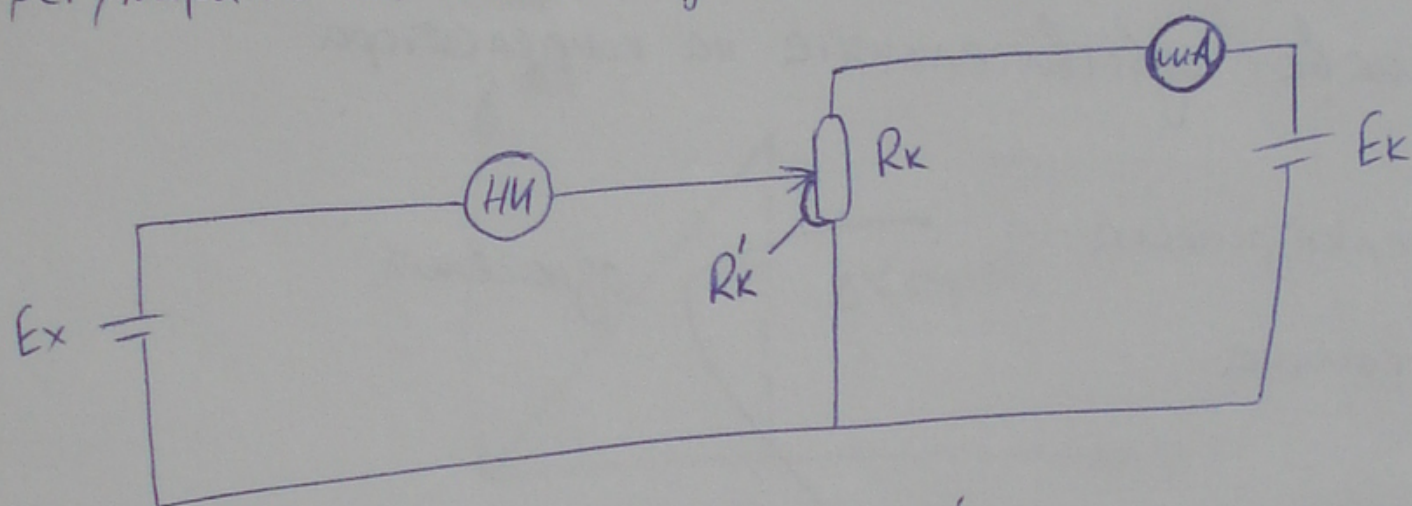
С компенсаторите пряко измерваме U , а косвено – съпротивление, ток и мощност

2. Схеми на компенсатори

а) с регулиране работния ток

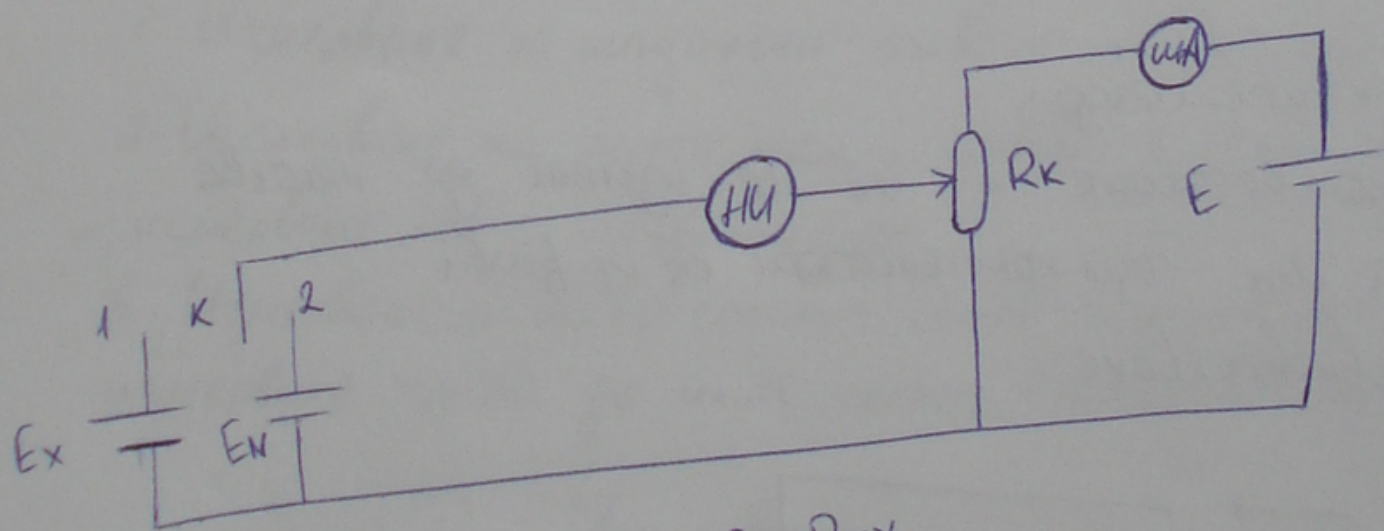


б) с регулиране на компенсационното съпротивление



$$E_x = E_x \frac{R_k'}{R_k}$$

в) с регулиране на нормален елемент



$$E_x = E_N \frac{R_{kx}}{R_{kN}}$$

3. Компенсатори за постоянно напрежение

$$R_N + r_N = \frac{E_N}{I_p}$$

Задача 2: постоянен ток със стойност 20mA се измерва с аналогов (А) с вбр. съпр. 5Ω и обща 10mA и 40mA делени. Нагледите измервателния ок. Изчислете стойностите на делението на измервателния ок.

$$m = \frac{I_x}{I_N} = \frac{10 \text{ A}}{100 \text{ A}} = 10; R_{in} = 10 \dots \Omega$$

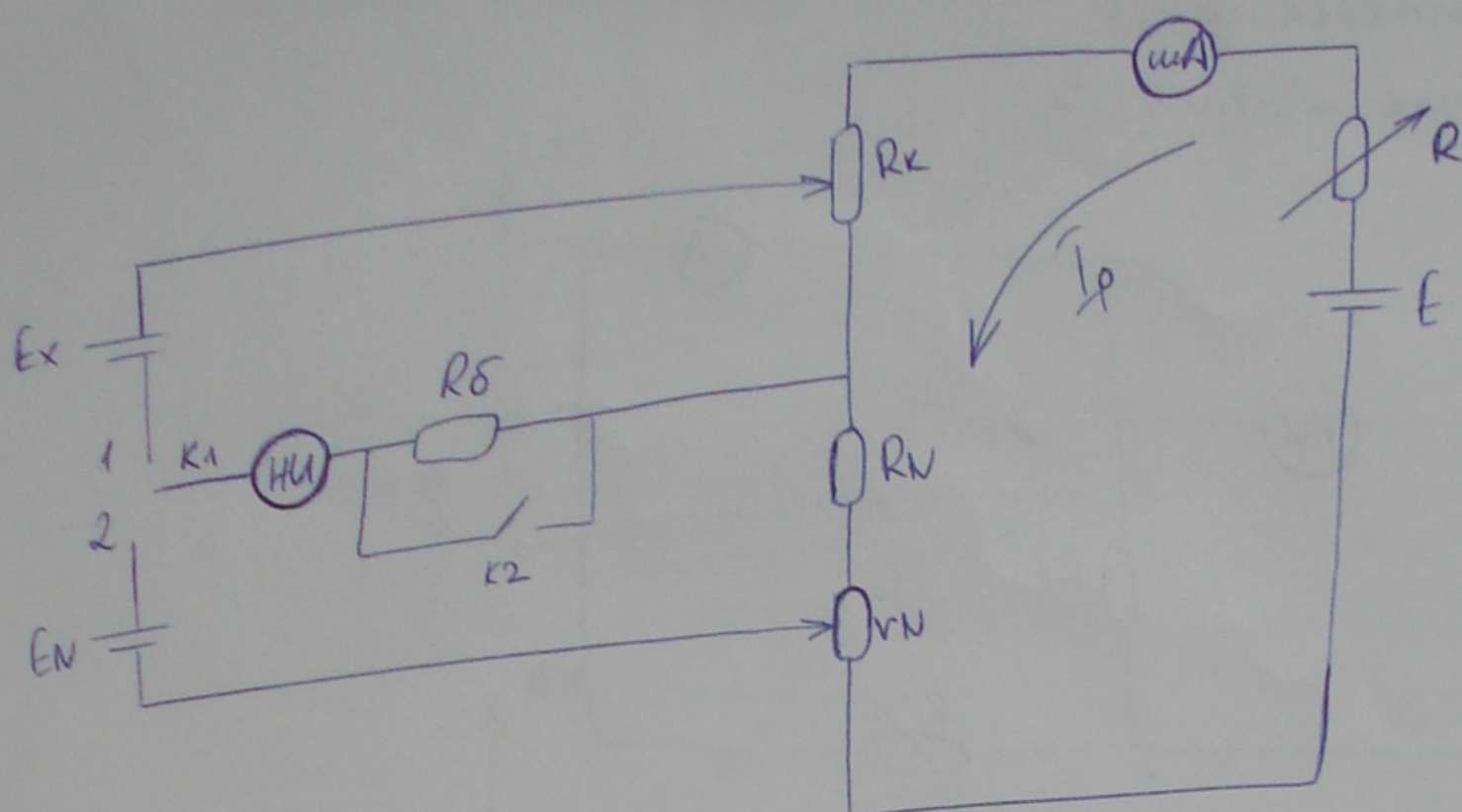
$$K(j\omega) = 2j\omega + 2 \cdot j\omega - 3 - a + ib \rightarrow \dots \dots i\varphi(\omega)$$

K =

→ инициализация R...

16

13



Чрез R_5 се повишава губителността на компенсатора

Δ → магнитоелектрическа

$\uparrow$ → електромагнитна

$\ominus$ → електродинамична

$\equiv$ → електростатична

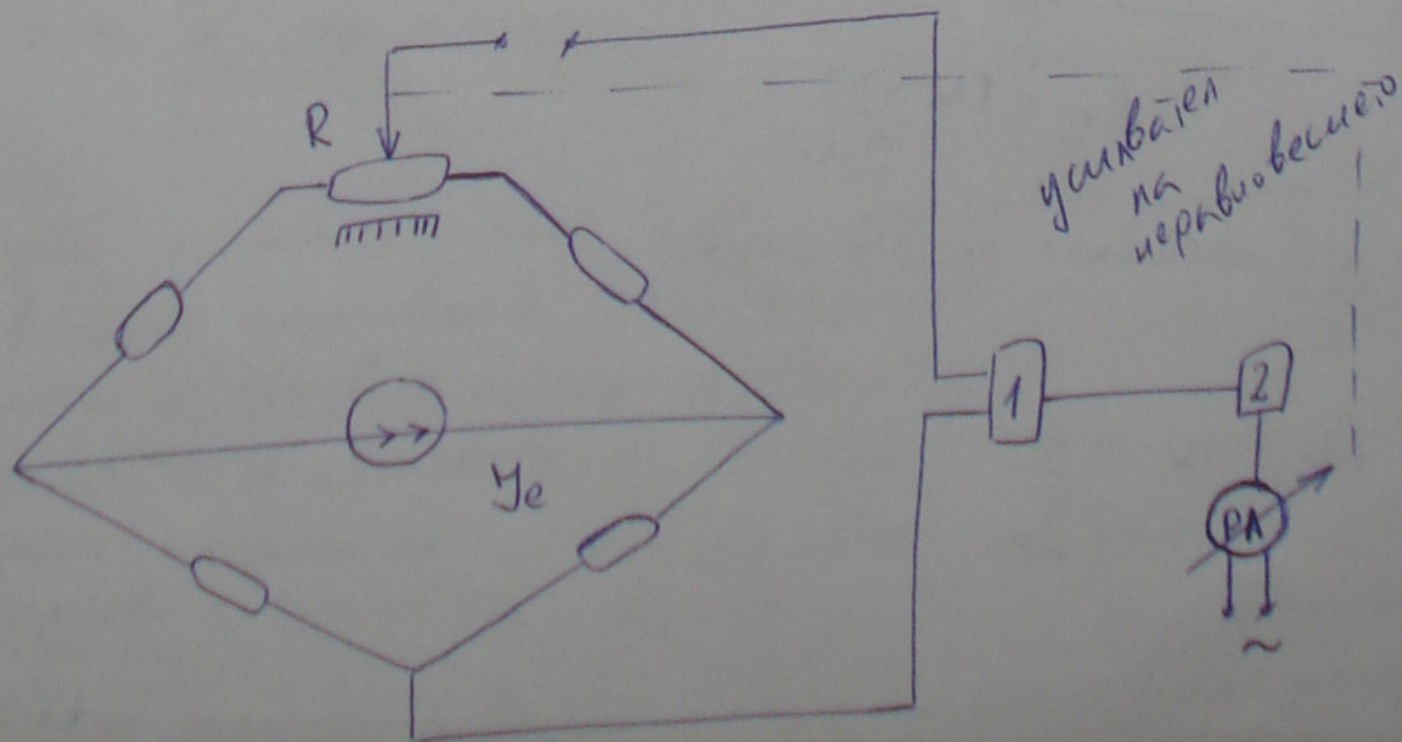
означения

10^{-10} A

3. Автоматизирани компенсатори

а) с циклично уравнивяване — ик се изменя до някаква максимална стойност $I_{\text{ки}}$. Тези компенсатори са цифрови

б) със следящо уравнивяване

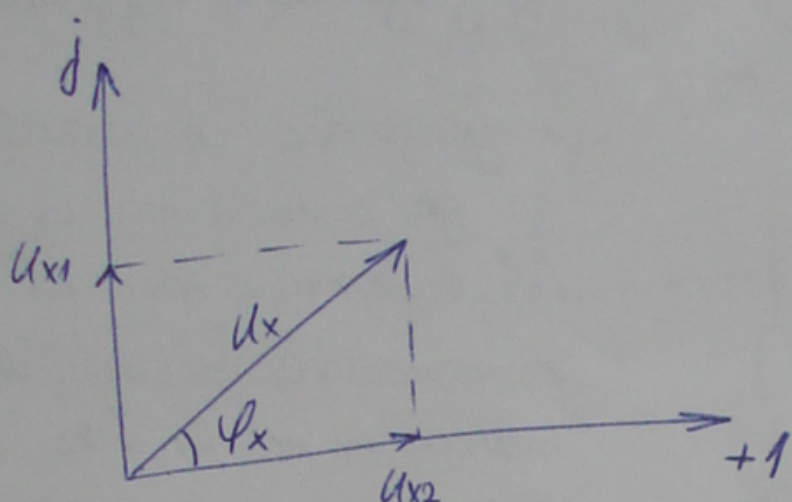


и к
и к
и к
и к

Ω

$\sim$

бързодействие е между 5 и 0,2с
грешката при измерване е от 0,5 до 1%



$$\dot{U}_x = U_x e^{j\varphi_x}$$

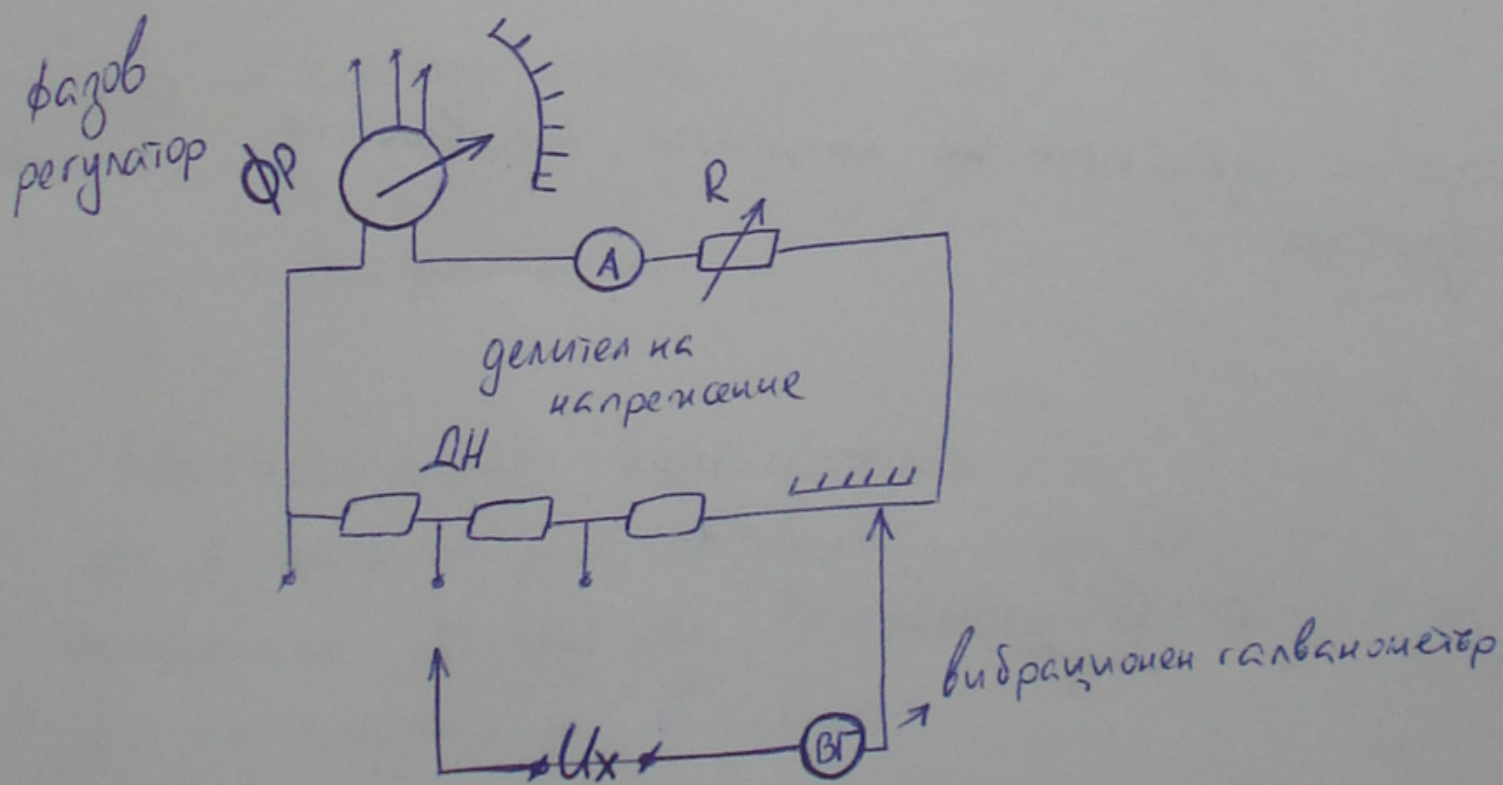
$$U_x = U_{x1} + jU_{x2}$$

компенсаторите за променливо U се правят само по синусоидални напрежения

ако в напрежението има ~~хармонични~~ ^{хармонични}, компенсирането се прави само за основния хармоник

няма нормални елементи. За определяне работния ток се използва амперметър с по-голяма грешка

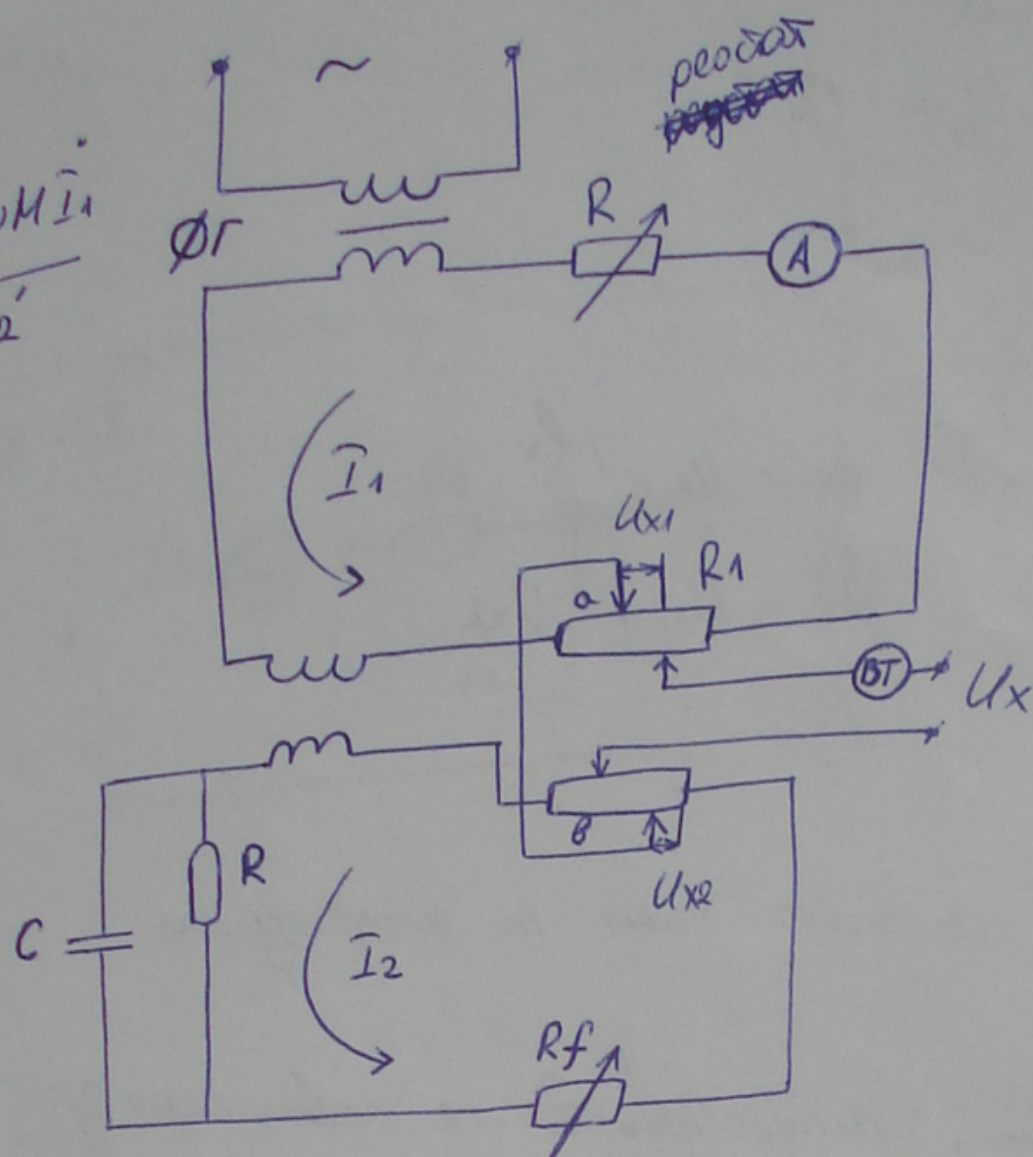
а) поляри компенсатори (поляри координатни)



б) правоъгълни координатни компенсатори

$$K(j\omega) = 2j\omega + 2j\omega - 3 - a + ib \Rightarrow \dots \angle \varphi(\omega)$$

$$\dot{I}_2 = \frac{j\omega M \dot{I}_1}{R_2'}$$



Торовете I_1 и I_2 са дефазирани на ъгъл $\frac{\pi}{2}$ чрез взаимната индуктивност M

кондензатора се поставя за да компенсира индуктивността във вторичната намотка. Компенсацията се извършва чрез преместване на R_1 и R_2 , а работния ток се определя от R и R_f

Грешките възникват при високите хармоници на напрежение, от използваните измервателни уреди и от влиянието на външни магнитни полета

Измерване на ел. мощност

Мощност – скоростта на изменение на енергията, предавана от източника към консуматора

$$P = U \cdot I$$

$$p = u \cdot i$$

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i \, dt \rightarrow \text{активна мощност}$$

$$u = U_m \sin \omega t$$

$$i = i_m \sin(\omega t + \varphi)$$

$$\Rightarrow P = U \cdot I \cos \varphi$$

ефективни стойности

→ фактор на мощността, където φ е ъгълът на дефазироване м/у I и U

$$P = \sum_{n=0}^{\infty} U_n I_n \cos \varphi_n$$

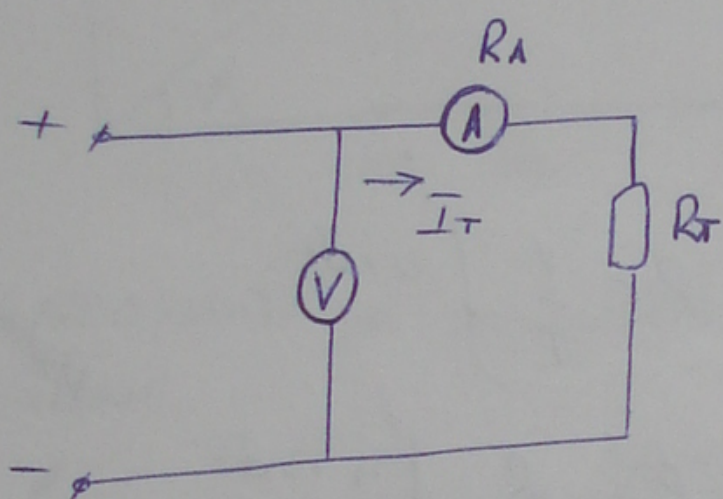
Активната мощност се преобразува в топлинна или механична

$$Q = U \cdot I \sin \varphi \rightarrow \text{реактивна мощност}$$

$$S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2} \rightarrow \text{пълна мощност}$$

Измерване на активна мощност във
вериги с постоянен ток

1. Схема VA



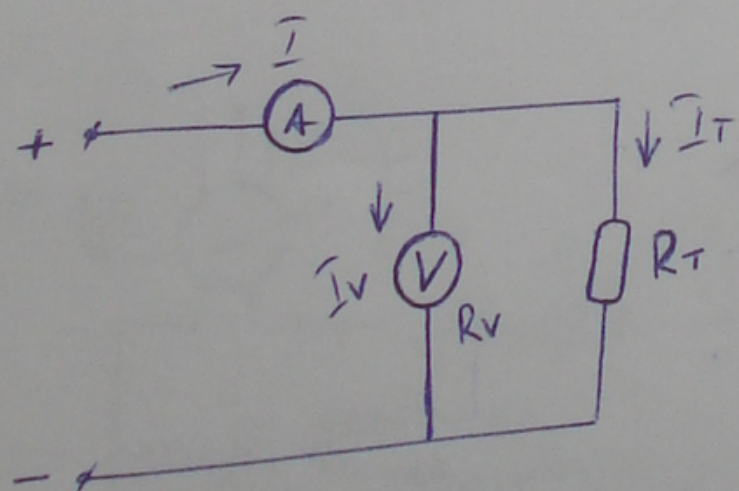
$$P' = U \cdot I = (R_A I_T + I_T R_T) I$$

$$P' = R_A I_T^2 + I_T^2 R_T$$

$$\delta' = \frac{P' - P}{P} = \frac{R_A I_T + P - P}{U_T I_T} =$$

$$= \frac{R_A I_T}{U_T} = \frac{R_A}{R_T}$$

2. Схема AV



$$P' = U I = U (I_T + I_V) \quad \text{собственная
консумация}$$

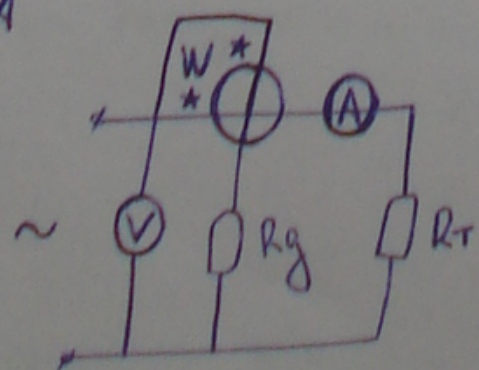
$$P' = U I_T + U I_V = P + \frac{U^2}{R_V}$$

$$\delta'' = \frac{P' - P}{P} = \frac{U^2 / R_V}{U I} = \frac{R_T}{R_V}$$

1. и 2. са косвени измервания; 3. и 4. са преки измервания

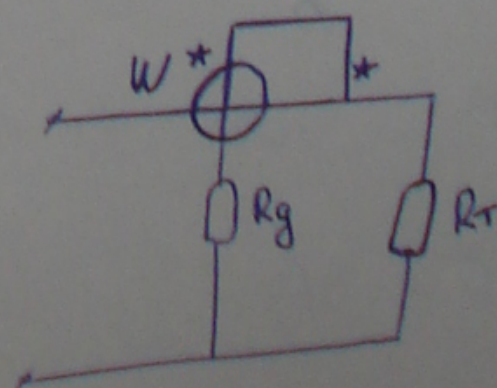
Ваттметър се състои от 2 намотки - токова и напрежителна

3. Схема VA



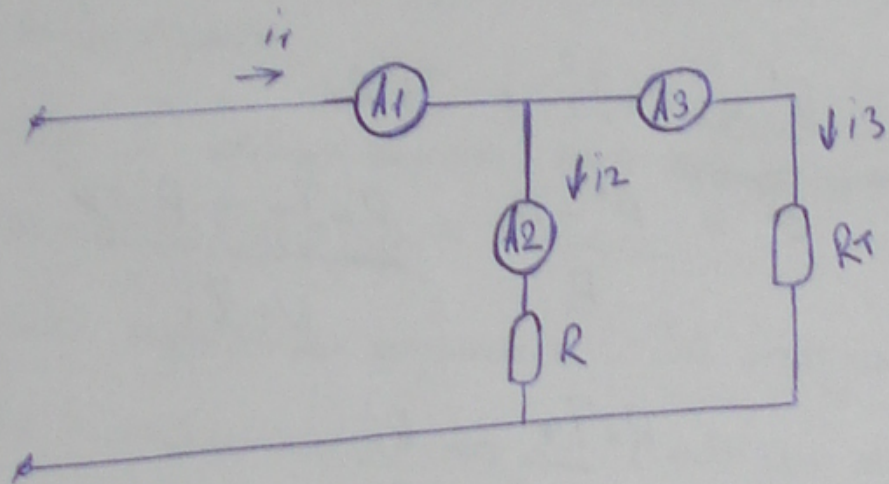
$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

4. Схема AV



Задача: да се изготви схемата на свързване при измерване на активна мощност с ватметър в променливотох. верига, като одхвата на ватметъра се разширява по I и U с трансформатори. Свърсете и контролни амперметър и волтметър, на които одхвата се разширява с същите трансформатори

5. Измерване на активна мощност в променливотох. верига с 3 амперметъра



$$P = \frac{1}{T} \int u i dt$$

$$P = \frac{R}{T} \int i_2 i_3 dt$$

моментни
стойности

$$(i_1)^2 = (i_2 + i_3)^2$$

$$i_1^2 = i_2^2 + 2i_2 i_3 + i_3^2$$

$$i_2 i_3 = \frac{1}{2} (i_1^2 - i_2^2 - i_3^2)$$

$$P = \frac{R}{2} (\bar{I}_1^2 - \bar{I}_2^2 - \bar{I}_3^2)$$

ефективни
стойности

Измерване на активна мощност в трифазна верига

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T (i_{1u1} + i_{2u2} + i_{3u3}) dt$$

$$P = I_1 U_1 \cos \varphi_1 + I_2 U_2 \cos \varphi_2 + I_3 U_3 \cos \varphi_3$$

$$P = 3P_1$$

$10^{-10} A$

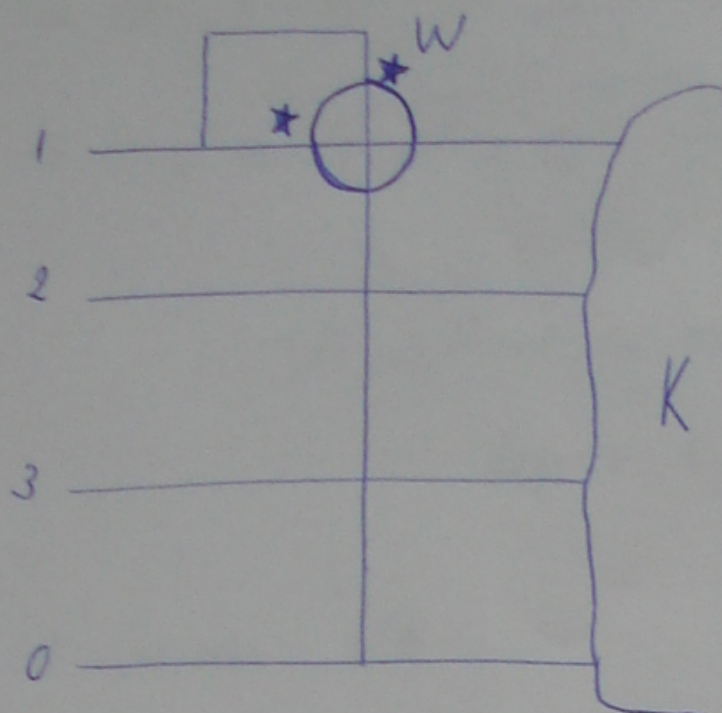
0.35

0.35

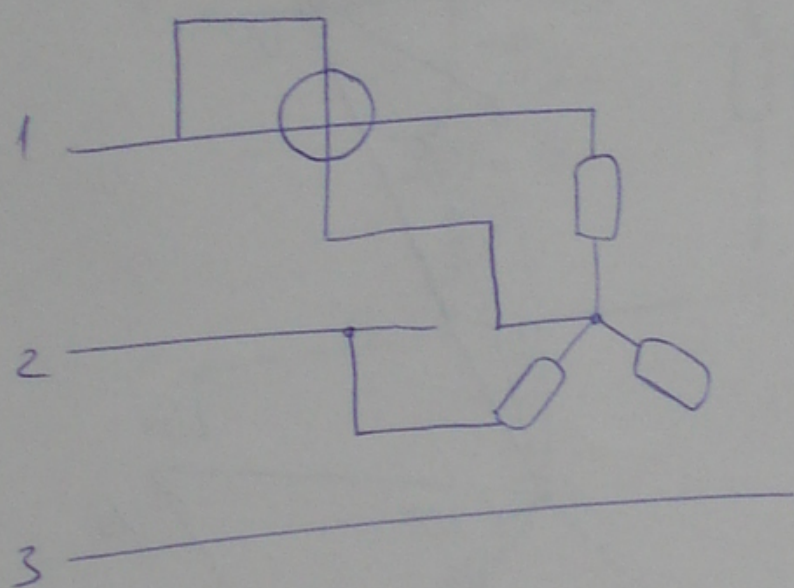
1. Измерване на активна мощност в симетрична трифазна верига

21

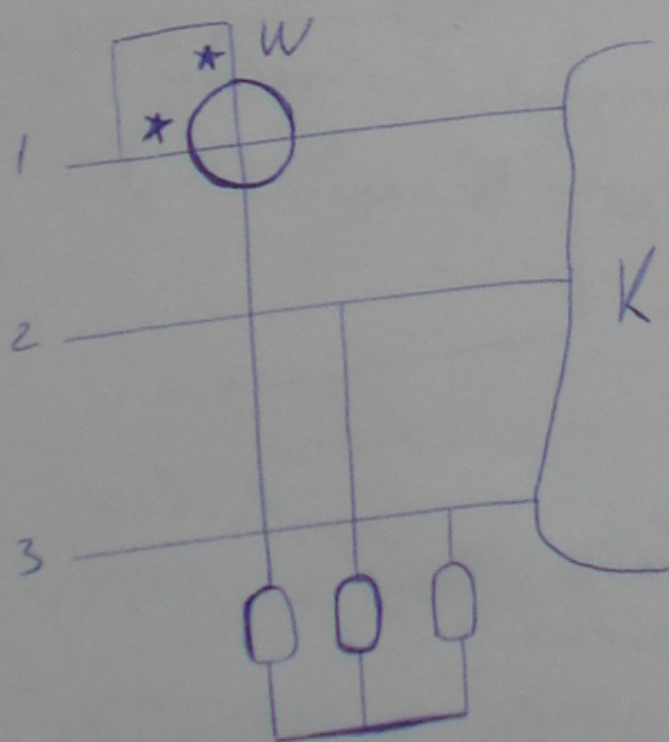
а) четирипроводна



$$P = 3U_{01} I_{01} \cos \varphi_2$$



б) трипроводна



а
всичка

Всички са включени само когато се разширява обхвата на
вольтметра по напрежение

4

бързодействие е немен 5 и по-малко.

2. Измерване в несиметрична трифазна верига

22

а) чрез два ватметра (схема Крап)

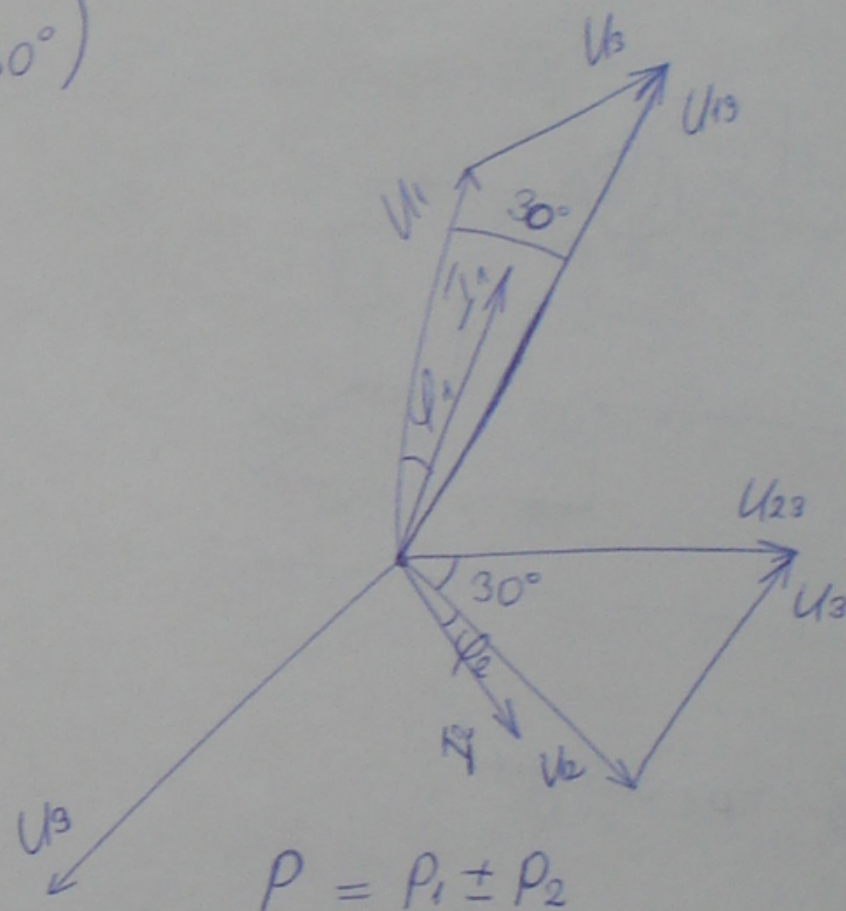
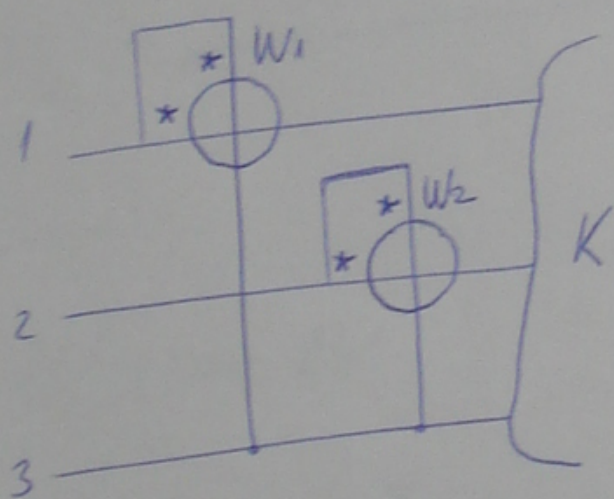
$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

$$i_3 = -i_1 - i_2$$

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T (i_1 u_1 + i_2 u_2 - i_1 u_3 - i_2 u_3) dt$$

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T (i_1 (u_1 - u_3) + i_2 (u_2 - u_3)) dt$$

$$P = I_1 U_{13} \cos(\varphi_1 - 30^\circ) + I_2 U_{23} \cos(\varphi_2 + 30^\circ)$$



P_2 се взема със знак минус, когато има индуктивен товар ($\varphi_2 > 60^\circ$)

P_1 се взема със знак минус, когато $\varphi_1 > 60^\circ$ (капацитивен)

Измервателни мостове

Изм. мостове имат 2 режима - равновесен и неравновесен (уравновесен и неуравновесен)

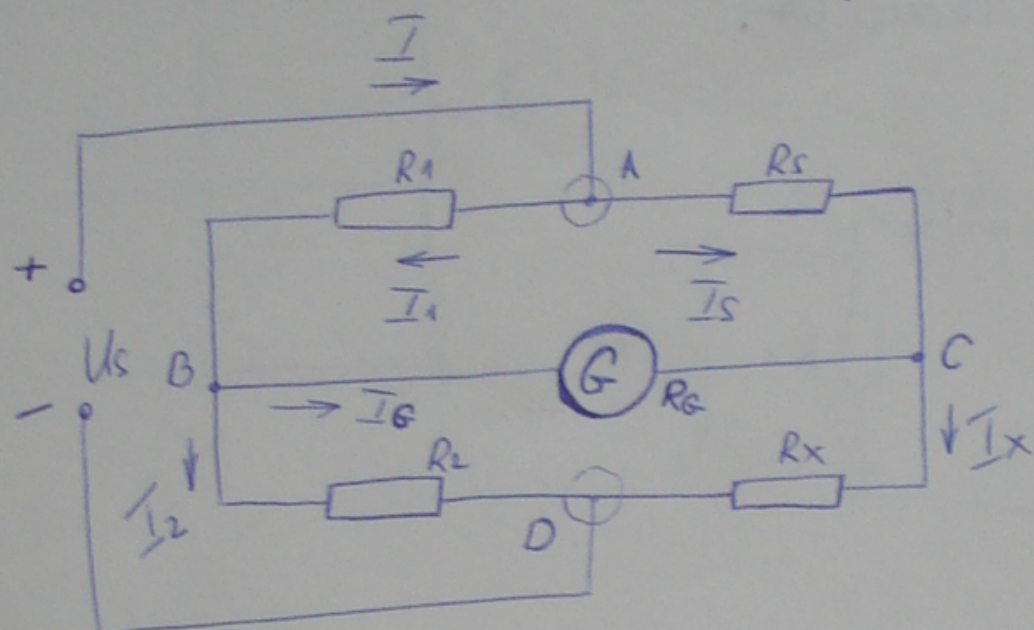
Изм. мост е в равновесие когато I и U в изм. диагонален на моста са нула, в противен случай - неравновесие. Методите, които използват изм. мостове в равновесен режим са точни, тъй като резултатите не зависят от калибрирането и неопределеността на измервателния уред.

държателите е мени.

Много често мостовете се използват като схеми за контрол.
Тогата поне в едно от рамената на моста има резистивен елемент
във функция от изм. величина

Мостове за постоянен ток

1. Единичен мост (мост на Уинстъун)



$$I = I_1 + I_3$$

$$I_1 = I_2 + I_g$$

$$I_x = I_g + I_3$$

$$I = I_2 + I_x$$

$$I_g = 0$$

$$U_{R1} = U_{R3}$$

$$I_1 = I_2$$

$$U_{R2} = U_{Rx}$$

$$I_x = I_3$$

$$\frac{I_1 R_1}{I_2 R_2} = \frac{I_3 R_3}{I_x R_x}$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x} \Rightarrow R_1 R_x = R_2 R_3$$

условие за
равновесие
при моста

$$\Rightarrow R_x = \frac{R_2}{R_1} R_3$$

$$U_{th} = U_s \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_x}{R_3 + R_x} \right)$$

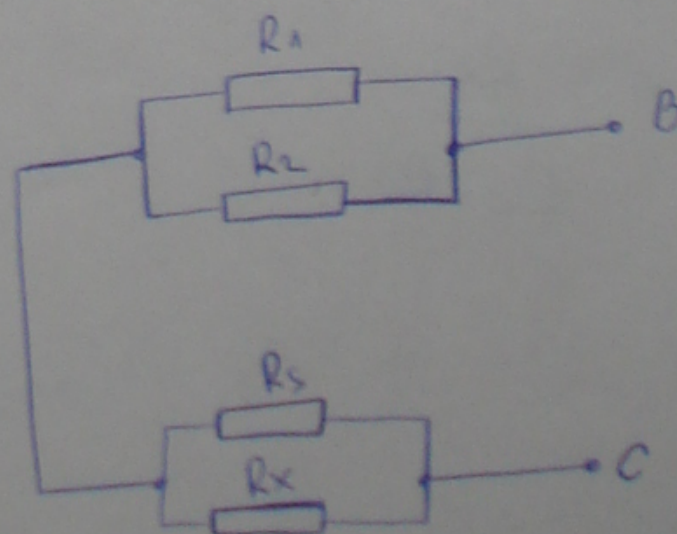
$$R_{th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 R_x}{R_3 + R_x}$$

$$I_g = \frac{U_{th}}{R_{th} + R_g}$$

$$U_{th} = V_B - V_C$$

$$V_B = U_s \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

$$V_C = U_s \left(\frac{R_x}{R_3 + R_x} \right)$$



активна е мощност

$$Q = U \cdot I \sin \varphi \rightarrow \text{реактивна мощност}$$

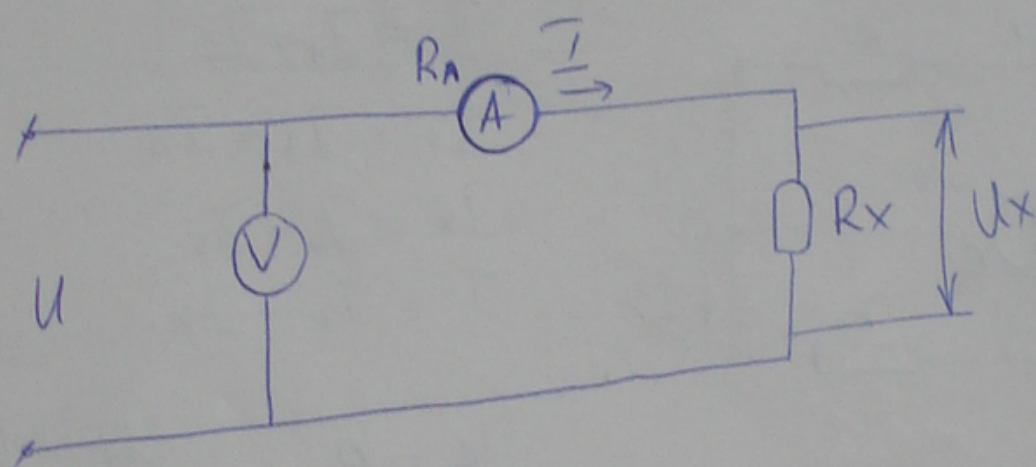
19

24

задача: на схемата има мост на Унстатч, да се изведе условието за равновесие. Ако мостът е в неравновесие да се изчисли I_G , ако: $R_1 = 2k\Omega$, $R_2 = 4k\Omega$, $R_3 = 3k\Omega$, $R_x = 6k\Omega$, $R_0 = 100\Omega$, $U_s = 10V$

Измерване на ел. съпрот. при постоянен ток - косвени методи

1. Измерване съпротивлението чрез схема VA

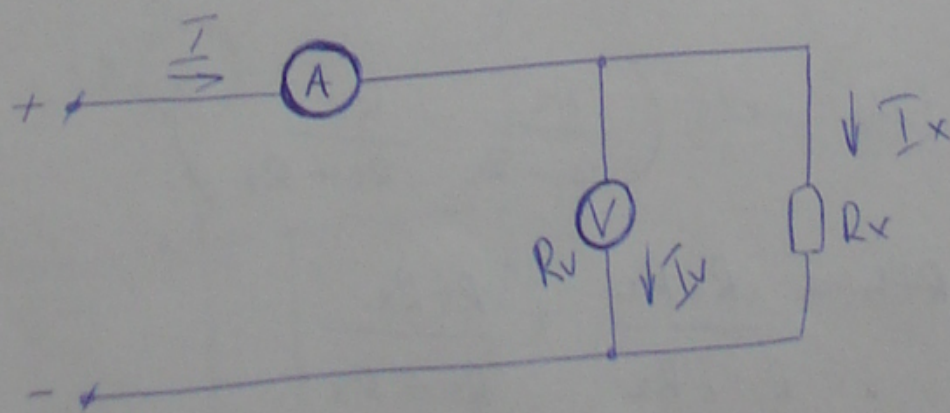


$$R'_x = \frac{U}{I} = \frac{I R_A + U_x}{I} = \frac{I R_A}{I} + \frac{U_x}{I} = R_A + R_x$$

$$\delta' = \frac{R'_x - R_x}{R_x} = \frac{R_A + R_x - R_x}{R_x} = \frac{R_A}{R_x} \cdot 100\%$$

всичко
науча

2. Схема AV - за измерване на малки съпротивления



$$\delta'' = \frac{R_x}{R_x + R_v}$$

Изследване на свойства на магнитните материали

1. Основни χ -ки на магнитните материали

а) магнитномеки материали

$$H_c < 4 \text{ кА/м}, \mu^{\uparrow}$$

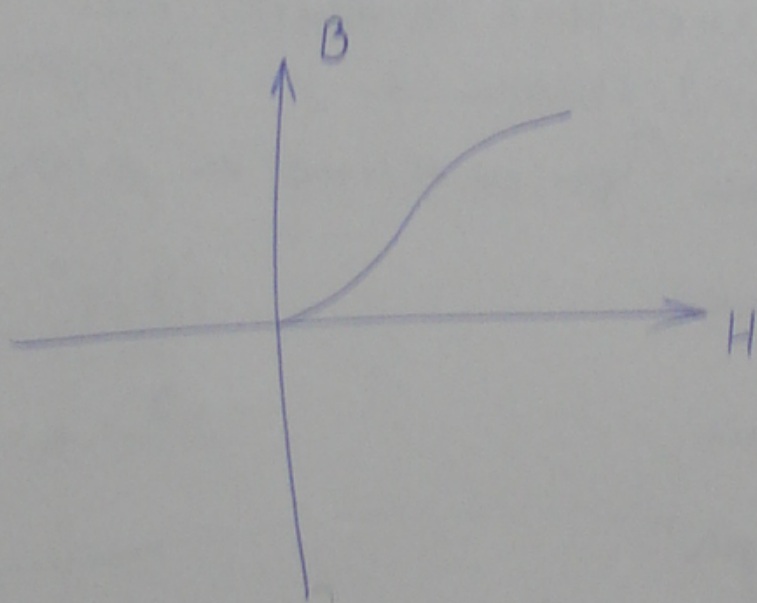
б) магнитнотвърди материали

$$H_c \geq 4 \text{ кА/м}, \mu^{\downarrow}$$

в) магн. мат. със специални св-ва

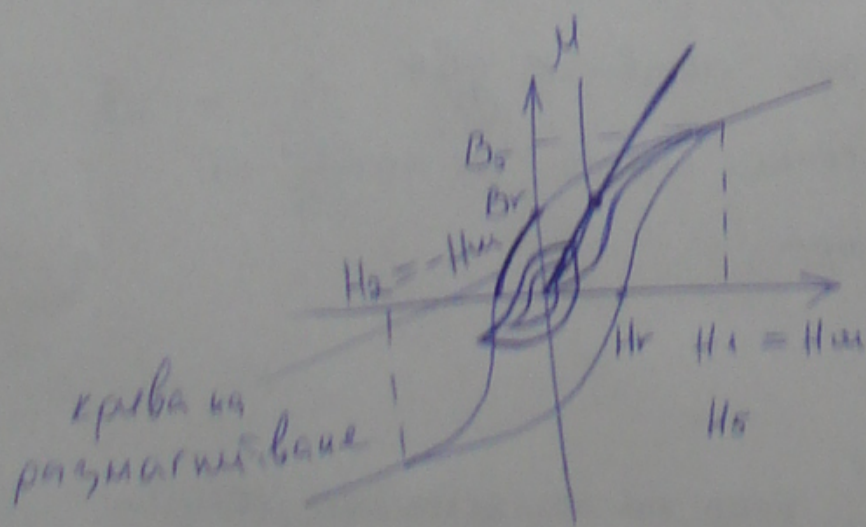
2. Статични χ -ки — определят се при постоянни или дефинирано изменящо се магнитно поле. Основ. χ -ки: магн. инд., магн. инт., магн. проникваемост и загубите $\propto$ хистерезис (P_h) $\downarrow B$ $\downarrow H$ $\downarrow M$

а) крива на първоначалното намагнитване — зависимостта B от H , която се получава когато напълно размагнитен образец се намагнитва



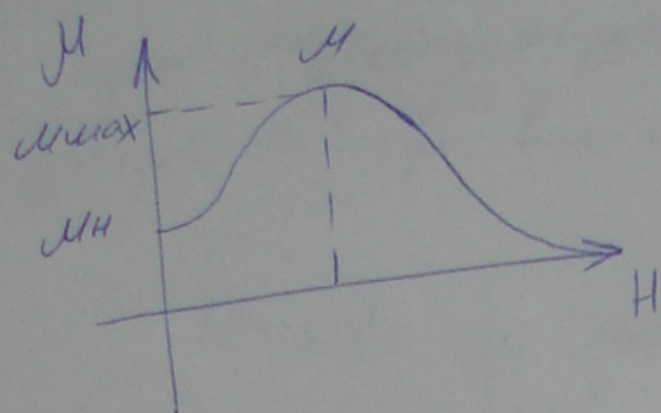
б) хистерезисен цикъл — зависимостта B от H при промяна на H м/у две стойности. При $H_1 = H_m$, а $H_2 = -H_m \rightarrow$ симетричен хистерезисен

цикъл. Когато H достига H_m , площта на цикъла спира да расте. Тази стойност на интензитета $\rightarrow$ интензитет на насищане, а индукцията $\rightarrow$ инд. на насищане. Този цикъл се нарича граничен хистерезисен цикъл. Граничната пресечна точка с осъ B се нарича остатъчна магн. инд. Точката, при която се пресича осъ H се нарича координатен изх.



в) основна крива на намагнитване — изг. първоначалната и представя геометрично изг. на точки на върховете на последователно поредени хистерезисни цикли

г) магнитна проникваемост — максималната и стойност се получава като едн. основната и крива се построи допълнително, която пресича през началото на координатната система с основната крива на намагнитване



$$\mu d = \frac{dB}{dH}$$

г) крива на намагнитване — във втори квадрант на хистерезисния цикъл

е) загуби от хистерезис — при циклично намагнитване на материала. Те са енергийни загуби. Интегрирането е по контура на хистерезисния цикъл. Колкото по-голяма е площта, толкова по-големи са и загубите

$$P_x = \oint B dH$$

$$W_x$$

3. Динамични х-ки — при променливо магнитно поле. Появяват се вихрови токове, които предизвикват изместване на полето към повърхността на материала (skin ефект). Работи се със средни стойности на индукцията и индукцията. Три режима на работа:

- синусоидален инд. и несинусоид. инд.
- несинусодален инд. и синусоид. инд.
- несинусоид. инд. и несинусоид. инд.

а) динамичен хистерезисен цикъл — по площ е по-голям от статичния, заради допълнителните загуби от вихровите токове.

Определя се от честотата, макс. ст. на индукцията и от теглото на материала. Най-силно влияние оказват първите две

б) динамична осн. крива на намагнитване — геом. място от точки на върховете на постоянно нарастващи хист. цикли

в) динамична магнитна пропусаемост

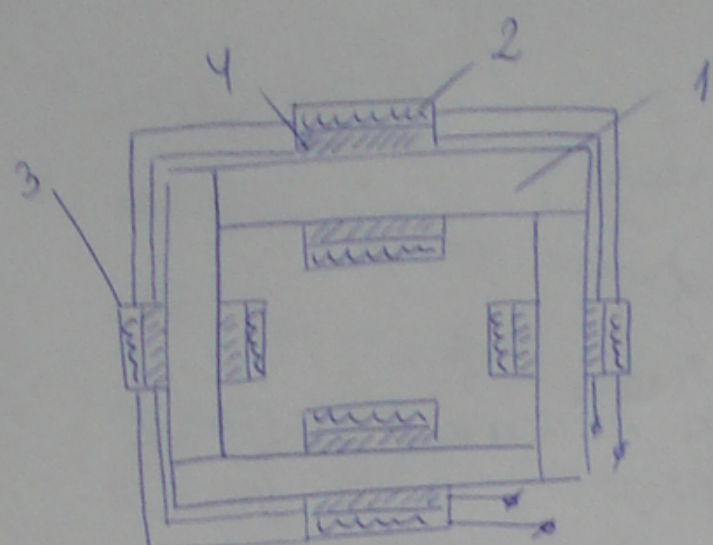
амплитудна: $\mu_a = \frac{B_m}{H_m}$

комплексна: $\hat{\mu} = \mu_1 + j\mu_2 = |\mu| e^{-j\delta}$

ефект на магнитните загуби
еластична и
пластична
магнитна
пропусаемост

24

Изследване на магнитни материали при променливо магнитно поле с апарат на Еджуайн



1. Устройството

Изследва се при 2 вида образци:

- формата на топлуи
- правоъгълна форма - по-лесна за реализация, използва се апарата

Ленти от магнитния материал (1) се поставят в кухината на макарите (2), около които са навити две намотки: намагнитваща (3) и измервателна (4)

(4) е отбоя за се намагнитва въздушната междина при измерването

Има 2 вида апарати: малък и голям

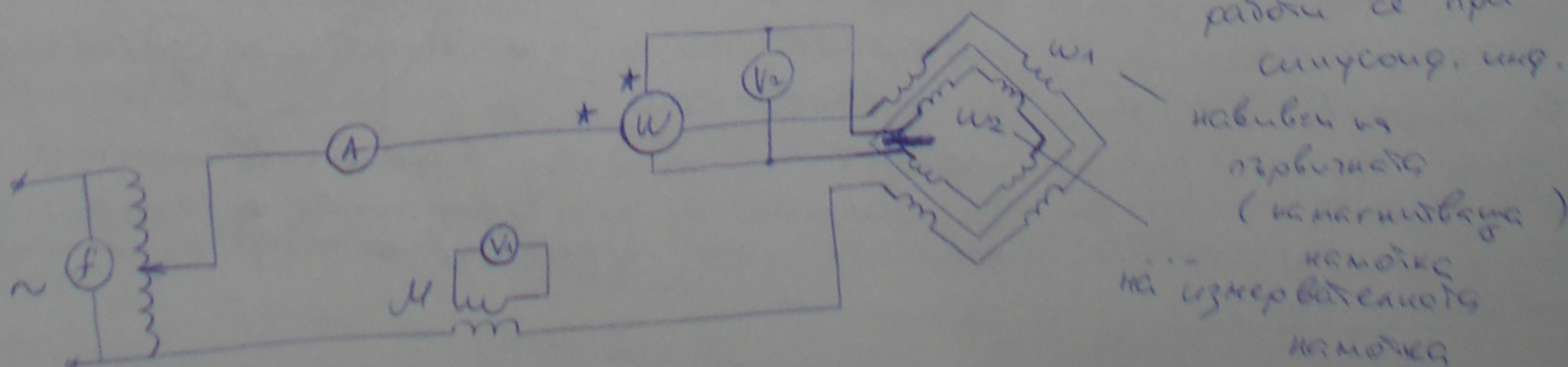
с дължина на (1) 1m

с дължина на (1) 2m

Грешки се ползват поради неминималните въздушни междини, които се ползват в устройството, в които се свързват (1). Ползват се разсейване на магнитния поток

С апарата се изследват загубите от хист. и вихрове токове, построават се основните криви на намагн. и хист. цикли

2. Схема на свързване на апарат на Еджуайн и принцип на действие



работи се при синусов. инф. навити на първия (намагнитваща) намотка на измервателната намотка

Връзката м/у намагн. ток и нап. се дава със з-н за пълния ток

се ползва допълнителна, която прелива през... на координатната система с основната...

$I_m = \frac{H_m l_{cp} m}{w_1}$ — средна густина на магн. лини

максимална стойност

$E_{1av} = \gamma f_m I_m = \gamma f_m \frac{H_m l_{cp} m}{w_1}$

средна стойност на напрежение (average)

Чрез автотрансформатор се регулира намагнитен ток

$H_m = \frac{E_{1av} w_1}{\gamma f_m l_{cp} m}$

$E_{2av} = \gamma f w_2 S B_m$

↓
плътна на обреза

$B_m = \frac{E_{2av}}{\gamma f w_2 S}$

$P_{xb} = \frac{w_1}{w_2} \cdot \rho - \frac{E_2^2}{R_{wv}}$ — ефективна стойност
↓
 R_{wv} — вътр. съпр. на напрех. намотко на (w)

$P'_{xb} = \frac{P_{xb}}{m}, \frac{W}{kg}$ — специфични загуби, за маса

$P'_{xb} = \frac{P_{xb}}{V}, \frac{W}{m^3}$ — за обем

$P_x = a f$ — загуби от хистерезис
 $P_v = b f^2$ — загуби от вихрови токове

$\begin{cases} P_{xv1} = a f_1 + b f_1^2 \\ P_{xv2} = a f_2 + b f_2^2 \end{cases} \Rightarrow P_{xb} = a f + b f^2$

задача: изчислете загубите от хист и вихрови токове при изсл. на феромагн. материал с апарат на Едунга ако $w_1 = 100$, $w_2 = 10$, константа на (w) = 1W/den. $B = 25$ ден. $E_2 = 100V$, $R_{wv} = 100 \Omega$. Отговор: 150W

задача 2: при изсл. феромагн. материал с тегло 2kg в променливо магн. поле се установява, че при честота 10Hz, загубите от хист и вихр. токове са 30W, а при 50Hz е 110W. Изчислете специфичните загуби от хист и вихр. токове в изсл. материал при 10Hz. Отговор: 60W

Ěěiñâà îîñěăăíěý óďíê, êàêòî è òîý çà îîñòîââòâ.