

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY
Katedra teoretickej elektrotechniky
a elektrického merania

Miroslav Mojžiš – Ján Molnár

ELEKTROTECHNICKÉ PRAKTIKUM
(Všeobecná časť)

Košice 2009

Miroslav Mojžiš, Ján Molnár

ELEKTROTECHNICKÉ PRAKTIKUM (Všeobecná časť)

Recenzoval: prof. Ing. Irena Kováčová, CSc.
doc. Ing. Martin Orendáč, CSc.

Všetky práva vyhradené.
© Miroslav Mojžiš, Ján Molnár

Miroslav Mojžiš, Ján Molnár
ELEKTROTECHNICKÉ PRAKTIKUM (Všeobecná časť)
Technická univerzita v Košiciach, Košice 2009
1. vydanie

ISBN 978-80-553-0259-1

Predslov.

Predkladaný vysokoškolský učebný text ma elektronickú formu a obsahuje všeobecné poznatky súvisiace s praktickou výučbou v rámci predmetu „Elektrotechnické praktikum“. Tento predmet je súčasťou študijných programov bakalárskeho štúdia na Fakulte elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach. Jedná sa o akreditované študijné programy: „Automobilová elektronika“ a „Elektronika“ (v študijnom odbore „Elektronika“), „Priemyselná elektrotechnika“ (v študijnom odbore „Elektrotechnika“) a „Telekomunikácie“ (v študijnom odbore „Telekomunikácie“). Forma výučby predmetu sú cvičenia. Jeho absolvovaním študenti získajú 5 resp. 6 kreditov.

Učebná látka je rozdelená do hlavných kapitol: Používanie meracích prístrojov, Meranie elektrického odporu a impedancie, Meranie vlastnej a vzájomnej indukčnosti, Meranie elektrického napätia voltmetrom, Meranie elektrického prúdu ampérmetrom, Základne pojmy z EP, Analógové meracie prístroje, Osciloskopy, Číslicové meracie prístroje.

S touto učebnou látkou úzko súvisí učebný text: M. Mojžiš – J. Molnár: Elektrotechnické praktikum (Návody na cvičenia), ktorý obsahuje základnú učebnú látku praktickej výučby.

Ďakujeme recenzentom tohto učebného textu prof. Ing. Irene Kováčovej, CSc. a doc. Ing. Martinovi Orendáčovi, CSc. za ich cenné pripomienky, ktoré nám umožnili tento učebný text skvalitniť.

Autori.

**Vydané s finančnou podporou projektov
VEGA 1/4174/07, VEGA 1/0660/08
a
KEGA 3/5227/07, KEGA 3/6388/08, KEGA 3/6386/08.**

OBSAH

0. POUŽÍVANIE MERACÍCH PRÍSTROJOV	1
0.1. POUŽÍVANIE ANALÓGOVÝCH MERACÍCH PRÍSTROJOV.....	1
0.2. POUŽÍVANIE ČÍSLICOVÝCH MERACÍCH PRÍSTROJOV.....	2
1. MERANIE ELEKTRICKÉHO ODPORU A IMPEDANCIE	4
1.1. Ú V O D.....	4
1.1.1. Etalóny elektrického odporu.....	4
1.1.2. Metódy merania elektrického odporu – prehľad.....	5
1.1.3. Meranie impedancie.....	6
2. MERANIE VLASTNEJ A VZÁJOMNEJ INDUKČNOSTI A ELEKTRICKEJ KAPACITY	7
2.1. Ú V O D.....	7
2.1.1. Etalóny vlastnej a vzájomnej indukčnosti.....	7
2.1.2. Metódy merania indukčnosti.....	8
2.1.3. Etalóny elektrickej kapacity.....	9
2.1.4. Metódy merania elektrickej kapacity.....	10
3. MERANIE ELEKTRICKÉHO NAPÄTIA VOLTMETROM	11
3.1. Ú V O D.....	11
3.1.1. Etalóny elektrického napätia.....	11
3.1.2. Meranie jednosmerného elektrického napätia.....	12
3.1.3. Meranie striedavého elektrického napätia.....	13
4. MERANIE ELEKTRICKÉHO PRÚDU AMPÉRMETROM	15
4.1. Ú V O D.....	15
4.1.1. Etalóny elektrického prúdu.....	15
4.1.2. Meranie jednosmerného elektrického prúdu.....	15
4.1.3. Meranie striedavého elektrického prúdu.....	16
A. ZÁKLADNÉ POJMY Z ELEKTROTECHNICKÉHO PRAKTIKA	18
5. PRESNOSŤ MERANIA	18
5.1. DEFINÍCIA.....	18
5.2. STANOVENIE PRESNOSTI MERANIA.....	18
5.3. SÚSTAVA VELIČÍN A JEDNOTIEK SI.....	22
5.3.1. Úvod.....	22
5.3.2. Fyzikálne veličiny.....	22
5.3.3. Jednotky veličín.....	23
B. ANALÓGOVÉ MERACIE PRÍSTROJE (AMP)	25
6. DEFINÍCIA, PRINCÍP ČINNOSTI AMP	25
6.1. DRUHY AMP.....	26
6.2. ZNAČKY NA STUPNICI AMP.....	27
6.3. HLADISKÁ HODNOTENIA AMP (FUNKČ. PRINCÍPOV ČINNOSTI).....	28
6.4. POMOCNÉ ZARIADENIA K AMP.....	28

6.5. OSCILOSKOPY	29
6.5.1. Úvod, rozdelenie.....	29
6.5.2. Obyčajný osciloskop.....	29
C. ČÍSLICOVÉ MERACIE PRÍSTROJE (ČMP).....	32
7.1. ÚVOD	32
7.2. PRINCÍP FUNKCIE ČMP.....	32
7.3. METROLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY ČMP	34
7.4. POROVNANIE VLASTNOSTI ČMP S AMP	35
7.5. PRÍKLADY ČMP	36
Literatúra.....	38
Použité symboly a značky	39

0. POUŽÍVANIE MERACÍCH PRÍSTROJOV

0.1. POUŽÍVANIE ANALÓGOVÝCH MERACÍCH PRÍSTROJOV

Používanie analógových meracích prístrojov si vyžaduje minimálne znalosť, na základe ktorej z odčítanej výchylky vieme určiť meranú hodnotu.

Pre analógové meracie prístroje platí základný vzťah:

$$X = k \cdot \alpha \quad \text{kde} \quad \begin{array}{l} X - \text{je hodnota meranej veličiny} \\ k - \text{je tzv. konštanta prístroja} \\ \alpha - \text{je výchylka jeho ukazovateľa} \end{array}$$

X - je hodnota meranej veličiny a udáva sa ako násobok niektorej jej jednotky (hlavná, násobná, dielčia, vid. stranu 22). Zápis má tvar dekadického čísla, za ktorým je skratka príslušnej jednotky.

k - je číslo, ktoré udáva aká hodnota veličiny spôsobí výchylku ukazovateľa o 1 dielik stupnice. Určí sa zo vzťahu:

$$k = X_r / \alpha_r \quad \text{kde} \quad \begin{array}{l} X_r - \text{rozsah v jednotkách veličiny} \\ \alpha_r - \text{rozsah stupnice v dielikoch} \\ \alpha - \text{výchylku odčítame a dosadíme} \\ \text{v dielikoch.} \end{array}$$

$$X = k \cdot \alpha = X_r / \alpha_r \cdot \alpha = X_r \cdot \alpha / \alpha_r \quad [j; j; d; d] \quad (0.1)$$

Výsledná nameraná hodnota sa potom rovná súčinu rozsahu meracieho prístroja v jednotkách (j) meranej veličiny a pomeru aktuálnej výchylky (v dielikoch) k plnej výchylke v dielikoch.

Povolená (max) chyba ΔX_{mx} :

$$\Delta X_{mx} = \frac{tp \cdot X_r}{100} \quad (0.2)$$

tp - trieda presnosti

Dovolená (max) relatívna chyba (δx_{mx}):

$$\delta x_{mx} = \frac{\Delta X_{mx}}{X} \cdot 100 \quad (0.3)$$

Ak nameraná hodnota (X) sa blíži k nule, tak veľkosť chyby sa teoreticky blíži k nekonečnu, čo je celkom neprípustné. Metrológovia sa preto dohodli, že prípustná hraničná veľkosť tejto chyby sa bude rovnať trojnásobku triedy presnosti. Z tejto podmienky vyplynulo odstupňovanie rozsahov analógových meracích prístrojov v pomere 1:3.

$$X = \frac{\Delta X_{mx}}{\delta_{xmx}} \cdot 100 = \frac{tp \cdot X_r}{100} \cdot \frac{1}{3 \cdot tp} \cdot 100 = \frac{X_r}{3}$$

Príklad 1: Ručička analógového voltmetra ukazuje 65 dielikov. Určte aké napätie voltmeter meria, ak jeho stupnica má 120 dielikov a zvolený rozsah je 240 V !

Podľa vzťahu (0.1) bude platiť:

$$U = k_v \cdot \alpha_v = \frac{U_r}{\alpha_r} \cdot \alpha_v = \frac{240}{120} \cdot 65 = 130 \text{ V}$$

Príklad 2: Aká je hodnota meraného elektrického prúdu a aká je dovolená (maximálna) hodnota relatívnej chyby merania elektrického prúdu, ak ampérmeter ukazuje 50 dielikov na 120 dielkovej stupnici? Rozsah ampérmetra je 360 mA a trieda presnosti 0,5.

$$\text{Meraná hodnota je: } I = k_A \cdot \alpha_A = \frac{I_r}{\alpha_r} \cdot \alpha_A = \frac{360 \cdot 10^{-3}}{120} \cdot 50 = 150 \cdot 10^{-3} = 150 \text{ mA}$$

Maximálne dovolená relativita chyby meraného prúdu podľa vzťahu (0.3 a 0.2) bude:

$$\delta I_{mx} = \frac{\Delta I_{mx}}{I} \cdot 100 = \frac{tp \cdot I_r}{100 \cdot I} \cdot 100 = 1,2\%$$

0.2. POUŽÍVANIE ČÍSLICOVÝCH MERACÍCH PRÍSTROJOV

Číslkové meracie prístroje (ČMP) meranú hodnotu priamo ukazujú na stupnici (displeji) v tvare dekadického čísla a skratky príslušnej jednotky fyzikálnej veličiny. Nameranú hodnotu nevypočítavame, navyše sa môže ďalej spracovávať pomocou PC resp. tlačíť na tlačiarňi.

V prípade potreby zisťovania chyby merania túto je už potrebné vypočítavať. Údaje o presnosti používaného meracieho prístroja nie sú však uvedené na stupnici ako v prípade analógových meracích prístrojov, ale v priloženom certifikáte (návode).

Presnosť ČMP býva udávaná v tvare: (napr. pre voltmeter)

$$\text{absolútna chyba} - \Delta U_{dov} = \pm (a_1 U_x + a_2 U_r) \quad (0.4)$$

$$\text{a relatívna chyba} - \delta U_{dov} = \pm (a_1 + a_2 (U_r/U_x)) \quad (0.5)$$

Kde U_x je merané napätie, U_r napätie používaného rozsahu, a a_1, a_2 konštanty. Presnosť je spravidla pre rôzne rozsahy rôzna.

Príklad 3: V certifikáte číslicového voltmetra (ČV) je údaj o dovolenej (max. prípustnej) chybe ($0.05\%U_x + 0.02\%U_r$). Na rozsahu 20V voltmeter ukazuje 13,25V. S akou chybou meria? Napíšte výsledok merania s prihliadnutím k max. dovolenej chybe. Podľa vzťahu (0.1) máme:

$$\Delta U_{dov} = \pm (0,05\% \cdot 13,25 + (0,02/100) \cdot 20) = \pm (6,625 \cdot 10^{-3} + 4 \cdot 10^{-3}) = \pm 0,0106V$$

Výsledok určíme v tvare:

$$U_v = (13,25 \pm 1,06 \cdot 10^{-2})V$$

$$\text{Chyba: } \delta U_{dov} = \Delta U_{dov}/U_x = 0,0106/13,25 = 8 \cdot 10^{-4} = 8 \cdot 10^{-2} \%$$

Najnovšie výrobcovia ČMP udávajú presnosť kombinovaným spôsobom napr:

$$\Delta U_{dov} = \pm (0,8\%(U_x \text{ alebo } U_r)) + 3 \text{ číslice) pre rozsah } U_r \quad (0.6)$$

Príklad 4: Ak $U_x = 15,00V$ a $U_r = 20,00V$. Aká bude dovoľená chyba merania?

Podľa rovnice (0.6 a)

$$\Delta U_{dov} = \pm (0,8/100 \cdot 15 + 0,03) = \pm (0,12 + 0,03) = \pm 0,15V$$

a rovnice (0.6 b)

$$\Delta U_{dov} = \pm (0,8/100 \cdot 20 + 0,03) = \pm (0,16 + 0,03) = \pm 0,19V$$

a relatívna dovoľená chyba merania bude

$$\text{a) } \delta U_{dov} = (\pm 0,15V/15V) \cdot 100 = \pm 1\%$$

$$\text{b) } \delta U_{dov} = (\pm 0,19V/15V) \cdot 100 = \pm 1,27\%$$

1. MERANIE ELEKTRICKÉHO ODPORU A IMPEDANCIE

1.1. Ú V O D

Elektrický odpor je pasívna elektrická veličina a je definovaný ako pomer medzi jednosmerným elektrickým napätím a elektrickým prúdom na pasívnom elektrickom prvku (odporníku). Definícia vyplýva z platnosti Ohmovho zákona ($R = U/I$):

Hlavnou jednotkou elektrického odporu je jeden ohm (1Ω). Je to odpor (rezistencia) vodiča, v ktorom stále (jednosmerné) elektrické napätie o veľkosti jedného voltu (1 V) medzi jeho koncami vyvolá stály (jednosmerný) prúd o hodnote jedného ampéra (1 A).

Na realizáciu jednotiek odporu sa používajú vzory (etalóny, normály, štandardy) vyrobené spravidla so špeciálnych zliatin, napríklad manganínu alebo konštantánu. Tvoria buď samostatné objekty alebo dekády v rozmedzí hodnôt 10^{-4} až $10^5 \Omega$.

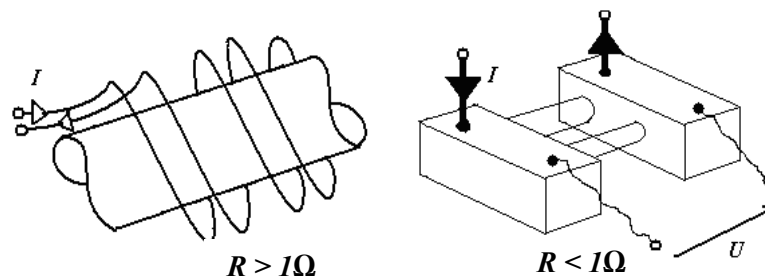
Meraním elektrického odporu potom znamená porovnávať jeho hodnotu s jeho vzorom jednotky a to buď priamo alebo nepriamo. Samotné metódy merania závisia od veľkosti meranej vzorky, ktorá môže patriť medzi malé ($10^{-4} \div 0,1 \Omega$), stredné ($0,2 \div 10^5 \Omega$) alebo veľké odpory ($2 \cdot 10^5 \Omega$ a viac).

V prípade, že použijeme striedavé elektrické napätie, hovoríme, že máme do činenia s elektrickou impedanciou, ktorá sa udáva tiež v ohmoch.

1.1.1. Etalóny elektrického odporu

Etalóny elektrického odporu sú zhotovené z rôznych časovo stálych odporových materiálov (veľká hodnota merného odporu) s malou a zároveň presne definovanou teplotnou závislosťou odporu. Najčastejšie používaný materiál je manganín ($\rho = 0,44 \mu\Omega \cdot \text{m}$, $\alpha = 10^{-5} \text{ K}^{-1}$), respektíve konštantán.

Z konštrukčného hľadiska sa vyhotovujú v dvoch usporiadaniach ako jednotlivé samostatné telesá alebo ako prepínateľné dekády. Najpresnejšie etalóny (s chybou menšou ako $10^{-3}\%$) tvoria samostatné telesá s hodnotou elektrického odporu v rozmedzí $10^{-4} \div 10^5 \Omega$. Kvôli chybe, ktorá by vznikla nedovoleným oteplením je ich stratový príkon obmedzený na hodnotu 1 W na vzduchu a 3 W v oleji. Ich konštrukčné usporiadanie je v zásade dvojité. Pre hodnotu elektrického odporu $1 \div 10^5 \Omega$ tvorí vlastné teleso etalónu bifilárne vinutý vodič na valcovej izolačnej kostre (spravidla porcelán, respektíve keramika). Bifilárne vinutie eliminuje vlastnú indukčnosť normálu na minimum. Etalóny malého odporu ($1 \div 10^{-4} \Omega$) majú vlastné odporové teleso v tvare trubiek (minimalizuje sa vplyv skin efektu), ktoré sú privarené na príruby, ku ktorým sú pripojené dva prúdové a dva napäťové prívoody (obr.1.1). (Samotný odpor reprezentuje potom úbytok napätia meraný na napäťových prívodoch, ak prúdovými prívodmi a telesom etalónu preteká presne známy dovolený elektrický prúd.)



Obr. 1.1

Odporové dekády majú menšiu presnosť (chyba $0,2 \div 0,01 \%$), znášajú menšie výkonové zaťaženie (jednotlivé odporníky $0,1 \div 0,2 \text{ W}$). Pomocou príslušných prepínačov je však možné zvoliť hodnotu ich odporu až na 6 platných desatinných miest.

1.1.2. Metódy merania elektrického odporu – prehľad

Metódy merania elektrického odporu vytvárajú skupiny podľa odhadovanej veľkosti odporu, ktorý chceme merať.

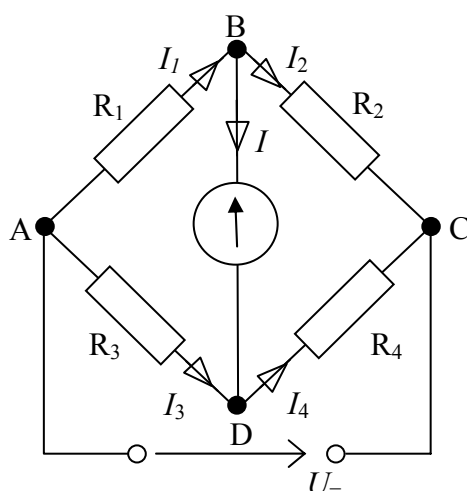
A. MERANIE MALÉHO ODPORU :

Porovnávanie úbytku napätia na známom a meranom odpore (je na praktickom cvičení) – vhodná metóda na väčšie malé odpory.

Špeciálnym mostíkom (napríklad takzvaným Thomsonovým) – vhodná metóda na všetky malé odpory, náročná na laboratórne vybavenie.

B. MERANIE STREDNÉHO ODPORU :

Volt–ampérová metóda. V dvoch modifikáciách vhodná pre všetky stredné odpory (je na praktickom meraní).



Obr. 1.2

Mostíková metóda (takzvaný Wheastoneov mostík (obr. 1.2)).

Mostík meria vo vyváženom stave, tj. ak $I_g = 0$.

Použitím Kirchhoffovho zákona máme:

$$U_{AB} = U_{AD} = R_1 \cdot I_1 = R_3 \cdot I_3$$

$$\text{a } U_{BC} = U_{DC} = R_2 \cdot I_2 = R_4 \cdot I_4 \quad (1.1)$$

Použitím I. Kirchhoffovho zákona pre uzol B: $I_1 = I_2$ a pre uzol D: $I_3 = I_4$. Dosadením do rovníc (1.1) a ich delením máme:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad , \text{ respektíve ak } R_1 = R_X = \frac{R_3}{R_4} \cdot R_2$$

C. MERANIE VEĽKÉHO ODPORU :

Vhodná je napríklad metóda porovnávaním prúdov. K zdroju elektrického napätia pripojíme známy odpor (R_N) a paralelné neznámy odpor (R_X) (odhadovaný ako veľký odpor). Na základe Ohmovho zákona je elektrický prúd pretekajúci elektrickým odporom nepriamo

úmerný jeho veľkosti, teda $R_X = \frac{I_N}{I_X} \cdot R_N$.

Metóda „vybíjaním kondenzátora“: nabitý kondenzátor vybíjame cez meraný odpor. Keďže odpor je veľký, čas vybíjania kondenzátora je tiež veľký a môžeme ho manuálne merať. Zároveň meriame úbytok napätia na kondenzátore. So známých vzťahov z teoretickej elektrotechniky určíme meraný R_X .

Metóda je vhodná na väčšie veľké odpory. Je málo presná ale bezpečná. (Pri neznalosti približnej hodnoty R_X neriskujeme poškodenie žiadneho meracieho zariadenia.)

1.1.3. Meranie impedancie

Impedancia (Z) alebo zdanlivý elektrický odpor je definovaná ako pomer efektívnej hodnoty elektrického napätia (U_{\sim}) a efektívnej hodnoty elektrického prúdu (I_{\sim}) na danej pasívnej súčiastke, teda $Z = \frac{U_{\sim}}{I_{\sim}}$. V symbolickom výpočte platnom pre harmonické veličiny

máme $\dot{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}}$ [Ω , V, A], kde $\dot{Z}, \dot{U}, \dot{I}$ sú fázory príslušných veličín. Sú to komplexné čísla,

ktoré majú svoju reálnu a imaginárnu časť. Reálnu časť predstavuje **činný odpor** (R), imaginárna časť sa volá **reaktancia** (X) a predstavuje takzvaný **jalový odpor**, čo reprezentuje transformáciu elektrickej energie na energiu magnetického poľa (cievka) alebo na energiu elektrického poľa (kondenzátor).

$$\dot{Z} = R + jX \quad \text{Pre cievku platí} \quad : \quad \dot{Z}_L = R_L + j.X_L = R_L + j.\omega.L$$

Pre kondenzátor (ak zanedbávame jeho zvod, čo je možné vo veľkej väčšine prípadov) máme:

$$\dot{Z}_C = -jX_C = -j \frac{1}{\omega.C}$$

2. MERANIE VLASTNEJ A VZÁJOMNEJ INDUKČNOSTI A ELEKTRICKEJ KAPACITY

2.1 ÚVOD

Indukčnosť (L) je pasívna elektrická veličina, ktorá vyjadruje závislosť magnetického toku od elektrického prúdu, ktorý ho vytvára. Matematicky vyjadrené, $L = \Phi / I$ (tzv. statická definícia) alebo $L = \frac{u}{di / dt}$ (tzv. dynamická definícia). Hlavná jednotka indukčnosti je 1 henry (1H) a má ju cievka, ktorá vytvorí magnetický tok 1 webera (1Wb), ak ňou prechádza elektrický prúd 1A (statická definícia), resp. cievka, v ktorej zmenou elektrického prúdu o 1A za 1s sa indukuje elektrické napätie 1V (dynamická definícia).

Vzájomná indukčnosť vyjadruje závislosť indukovaného napätia v jednej cievke od elektrického prúdu v inej cievke. Túto závislosť spôsobuje spoločný magnetický tok oboch cievok (Ψ_{12}), vyjadrené matematicky $M_{12} = \Psi_{12} / I_1$ (statická definícia), resp. $M_{12} = \frac{u_2}{di_1 / dt}$ (dynamická definícia). (Indukované napätie u_2 v druhej cievke od zmeny elektrického prúdu v prvej cievke.)

Vzor indukčnosti tvorí cievka so vzduchovým jadrom, ktorá má pevne uložené vinutie (zaliate izolačnou hmotou). Vzor vzájomnej indukčnosti tvoria dve pevne spojené cievky.

Elektrická kapacita je pasívna elektrická veličina, ktorá vyjadruje pomer elektrického náboja a elektrického napätia na kondenzátore. Matematicky vyjadrené $C = Q/U$ (statická definícia), alebo $C = \frac{\int i \cdot dt}{u}$ (dynamická definícia). Hlavnou jednotkou elektrickej kapacity je 1 farad (1F). Kapacitu 1F má kondenzátor, ktorý pri elektrickom napätí 1V pojme náboj 1 coulombu (1C).

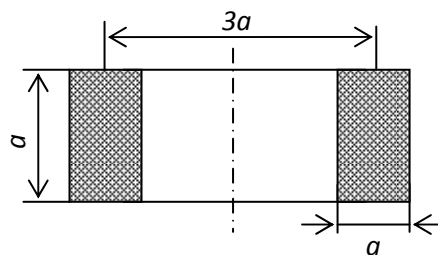
Etalón kapacity je konštruovaný ako kovový valec, v ktorom na troch izolátoroch nad sebou sú pripevnené kruhové elektródy, tieto tak tvoria kondenzátor so vzduchovým dielektrikom. Okrem jednotlivých normálov sú ako vzor kapacity používané aj kapacitné dekády.

2.1.1. Etalóny vlastnej a vzájomnej indukčnosti

Etalón vlastnej indukčnosti (L) tvorí cievka so vzduchovým jadrom (obr. 2.1). Pri jeho výrobe sa kladie dôraz na stálosť jeho hodnoty indukčnosti, čo predpokladá nemennosť polohy jednotlivých vodičov jeho vinutia a pevnosť celkovej konštrukcie. Jeho kostra je preto masívna a vinutie zaliate (napr. epoxidom). Približná hodnota vlastnej indukčnosti sa určí podľa empirického vzťahu:

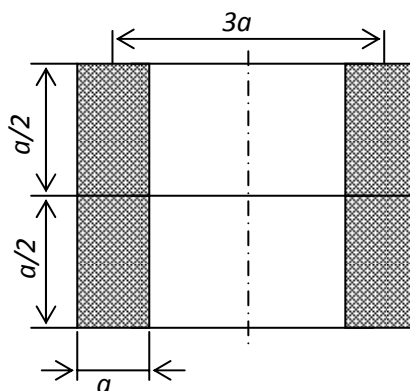
$$L = 24,5 \cdot a \cdot N \cdot 10^{-7} [H; m; 1]$$

Použitelná frekvencia je do 1kHz, pre väčšie frekvencie sa mení odpor následkom skinefektu ($5\text{kHz} \div 2x$), $C = 25 \div 250\mu\text{F}$, presnosť $0,1 \div 0,01\%$. Pri jeho používaní nesmú byť v blízkosti feromagnetické telesá.



Obr.2.1

Etalón vzájomnej indukčnosti (M) tvoria dve, mechanicky spojené cievky, ktorých osi sú totožné (obr.2.2). Hodnota vzájomnej indukčnosti sa stanoví meraním alebo sa doladí zmenou počtu závitov. Požiadavky kladené na tento etalón sú rovnaké ako na etalón vlastnej indukčnosti. Presnosť býva $0,1 \div 0,05\%$, použiteľnosť do frekvencie 1kHz.



Obr.2.2

2.1.2. Metódy merania indukčnosti

Metódy merania indukčnosti rozdeľujeme spravidla do dvoch skupín, a sice na výchylkové a nulové.

Prvú skupinu tvoria rôzne modifikácie volt-ampérovej metódy (Ohmov zákon pre striedavé veličiny). Modifikácie sa vzájomne líšia použitými meracími prístrojmi, ktorými odmeriame impedanciu (V a A , osciloskop, wattmeter). Z nej potom určenie L , respektíve M je už identické a preberáme ho pri praktickom meraní.

Druhú skupinu tvoria metódy využívajúce mostík (obr.2.3). Tento je napájaný harmonickým napätím a platia pre neho podobné vzťahy ako pre Wheastoneov mostík, teda:

$$\dot{Z}_1 \cdot \dot{Z}_4 = \dot{Z}_2 \cdot \dot{Z}_3 \quad (2.1)$$

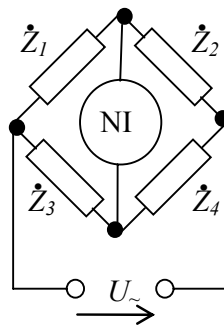
Máme rovnicu s komplexnými číslami, z ktorej získame dve rovnice – pre reálnu a pre imaginárnu časť, teda:

$$\operatorname{Re} [\dot{Z}_1 \cdot \dot{Z}_4] = \operatorname{Re} [\dot{Z}_2 \cdot \dot{Z}_3] \quad (2.2)$$

a

$$\operatorname{Im} [\dot{Z}_1 \cdot \dot{Z}_4] = \operatorname{Im} [\dot{Z}_2 \cdot \dot{Z}_3] \quad (2.3)$$

Z prvej rovnice určíme reálnu časť meranej impedancie napríklad R_I a z druhej reaktanciu X_I a následne indukčnosť L_I . Presnosť mostíkov býva v rozmedzí $0,1 \div 0,01\%$.



Obr.2.3

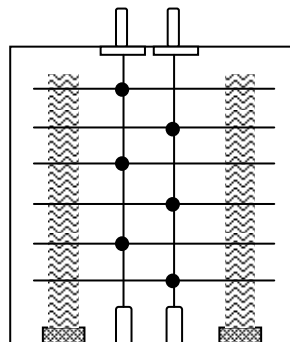
2.1.3. Etalóny elektrickej kapacity

Etalóny elektrickej kapacity (obr.2.4) sú konštruované v podobe kovového valca, v ktorom sú na troch izolátoroch nad sebou pripevnené kruhové kovové elektródy. Každá druhá v poradí je spojená s jedným vývodom, ktorý má na spodnej časti tvar dierky a v hornej časti má podobu kolíka. To preto aby paralelné zapojenie etalónov bolo možné vytvoriť jednoducho - ich poukladaním na seba.

Dielektrikum do hodnoty 1000 pF je vzduch, nad túto hodnotu styroflex respektíve sľuda.

Ich presnosť býva v rozmedzí $0,1 \div 0,01\%$, zvod $R_i = 10^{13} \div 10^{15} \Omega$, indukčnosť $L_i \cong 1 \mu\text{H}$.

Etalóny majú aj podobu dekád, u ktorých je možné nastaviť hodnotu na 6 platných miest. Posledné dve miesta sa nastavujú otočným kondenzátorom.



Obr.2.4

2.1.4. Metódy merania elektrickej kapacity

Metódy merania elektrickej kapacity môžeme rozdeliť na špecifické (využívajúce jednosmerné elektrické veličiny) a na metódy merania impedancie (využívajúce striedavé elektrické veličiny).

Metódu porovnávania kapacity so známou podrobne preberáme na praktickom meraní. K špecifickým metódam radíme aj metódu vybíjania neznámej kapacity cez známy odpor, čo je už spomínaná metóda používaná na meranie veľkých odporov.

Metódy merania impedancie sú zhodné ako v prípade určovania indukčnosti z impedancie (výchylkové aj mostíkové). Meranú kapacitu určíme zo vzťahu:

$$C = \frac{1}{\omega X_C} \cong \frac{1}{\omega Z_C} = \frac{I_C}{\omega U_C} \quad [\text{F, A, Hz, V}]$$

3. MERANIE ELEKTRICKÉHO NAPÄTIA VOLTMETROM

3.1. Ú V O D

Elektrické napätie je definované ako rozdiel dvoch potenciálov. Hlavnou jednotkou elektrického napätia je 1 volt, ktorá je definovaná ako rozdiel potenciálov medzi dvoma koncami vodiča, do ktorého stály prúd 1 A dodáva výkon 1 W.

Meracie prístroje určené na priame meranie elektrického napätia sa nazývajú voltmetre, podľa jeho hlavnej jednotky. **V obvode voltmeter zapájame paralelne k objektu, na ktorom chceme odmerať elektrické napätie.** Zapojením voltmetra do elektrického obvodu sa však zmení (klesne) jeho impedancia, zvýši sa celkový prúd prechádzajúci meraným obvodom o prúd prechádzajúci voltmetrom. Dôsledkom tejto zmeny je zníženie napätia na meranom objekte, ktorý predstavuje chybu metódy.

3.1.1. Etalóny elektrického napätia

Etalón elektrického napätia vzhľadom ku svojej funkcii má čo najlepšie spĺňať nasledujúce požiadavky:

1. Časová stálosť elektrického napätia.
2. Malá a presne definovaná závislosť napätia od teploty.
3. Malý vnútorný odpor.

Skupinu klasických etalónov tvoria galvanické články, z nich daným požiadavkám najlepšie vyhovuje Westonov článok. Tvorí ho sklenená zatavená nádoba v tvare písmena H s chemikáliami podľa (obr.3.1).

Vlastnosti:

1. Elektrické napätie

$$U = 1,01865V \text{ pri } 20^\circ C$$

Jeho nestálosť je cca 1 μ V/1rok a závisí od čistoty chemikálií a skla. Jednotlivé články majú napätie podľa certifikátu a vzájomne sa líšia najviac o 100 μ V.

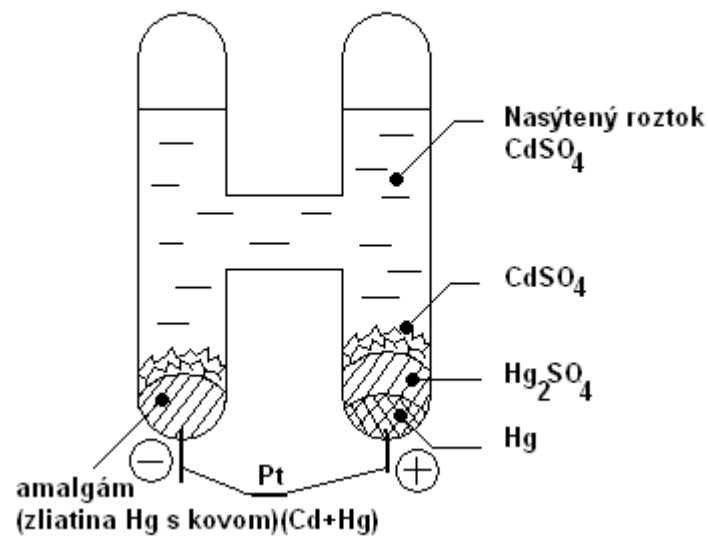
2. Teplotná závislosť napätia je malá, a je daná Taylorovým rozkladom:

$$U_\vartheta = U_{20} - 4,06 \cdot 10^{-5} (\vartheta - 20) - 9,5 \cdot 10^{-7} (\vartheta - 20)^2 + 10^{-8} \cdot (\vartheta - 20)^3 \quad (V, ^\circ C)$$

Býva udaná tabelárne. Pri najpresnejších meraniach je napriek tomu potrebné niekoľko hodín pred meraním udržiavať konštantnú teplotu jeho okolia.

3. Vnútorný odpor býva niekoľko sto ohmov a s časom sa zväčšuje.

Pri jeho používaní je maximálny zaťažovací prúd 1 μ A a článok sa nikdy nesmie skratovať ani preklopiť, pretože by sa jeho chemikálie zmiešali a článok by bol zničený.



Obr.3.1

3.1.2. Meranie jednosmerného elektrického napätia

Vo všeobecnosti elektrické napätie meriame voltmetrom, ktorý môže byť výchylkový alebo bez výchylky (kompenzačný). Voltmeter pripájame k meranému objektu paralelne.

Voľba vhodného voltmetra bude závisieť od požadovanej presnosti merania, od možnosti zaťaženia meraného objektu, od veľkosti meraného napätia, od úrovne a povahy rušenia, od dostupnosti meracieho prístroja resp. finančných možností objednávateľa merania.

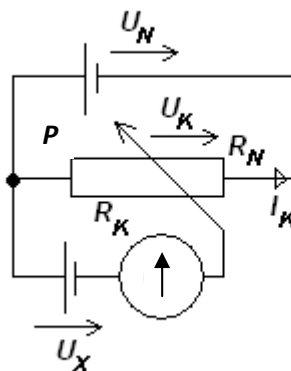
Pripojením výchylkového voltmetra do meracieho obvodu vzniká chyba metódy, ktorá je spôsobená jeho vlastnou spotrebou a je odvodená pri praktickom meraní.

Pri meraní jednosmerného napätia môžeme použiť voltmeter fungujúci na kompenzačnom princípe (obr. 3.2), t.j. merané napätie (U_X) vykompenzujeme (vyrovnáme) známym (kompenzačným - U_K). Rovnosť napätí potvrdzuje nulový indikátor (nulový rozdiel medzi nimi).

Potenciometer P je kalibrovaný priamo v jednotkách meraného napätia pre ktoré platí:

$$U_K = U_X = R_K \cdot I_K = \frac{R_K}{R_N} \cdot U_N$$

Nakoľko medzi meraným objektom (U_X) a voltmetrom (U_K) vo vykompenzovanom stave nepreteká prúd, kompenzačný voltmeter nemá spotrebu, a preto nespôsobuje chybu metódy. Táto výhoda je však vyslúžená jeho podstatne zložitejšou zostavou oproti výchylkovému voltmetru.



Obr.3.2

Na meranie jednosmerného napätia sú používané analógové a číslicové výchylkové voltmetre s označením DV (Direct Voltage). Kvalitnejší voltmeter je ten, ktorý okrem lepšej triedy presnosti má väčší vnútorný odpor.

Na meranie vysokého napätia (kV) sa používajú k voltmetrom pripojené predradné odpory alebo deliče napätia.

3.1.3. Meranie striedavého elektrického napätia

Pri výbere optimálneho voltmetra na meranie konkrétneho striedavého elektrického napätia je potrebné okrem hľadísk uplatňovaných pri výbere jednosmerného voltmetra vziať do úvahy aj ďalšie skutočnosti.

Pred vlastným meraním musíme vedieť, ktorú z definovaných hodnôt striedavého napätia chceme merať – efektívnu, strednú alebo maximálnu. Ak to nie je na voltmetri zvlášť vyznačené, znamená to, že meria efektívnu hodnotu. Voltmetre sú kalibrované na efektívnu hodnotu harmonického priebehu.

Okrem odhadovanej amplitúdy musíme mať vedomosti aj o frekvencii meraného napätia, ak sa nejedná o sieťovú frekvenciu. Frekvencia meraného napätia sa musí nachádzať vo frekvenčnom rozsahu použitého voltmetra. Prípad, kedy tak tomu nie je, si ukážeme na praktickom meraní.

V prípade, že merané napätie má neharmonický priebeh, tak situácia je najzložitejšia. Na jej posúdenie sú potrebné širšie vedomosti o meracích prístrojoch. V tomto prípade ostáva nádej, že situácia bude popísaná v návode na použitie príslušného voltmetra. Vo všeobecnosti je najlepšie použiť voltmeter na tepelnom princípe.

Okrem výchylkových voltmetrov môžeme použiť aj striedavé kompenzátory. Dve striedavé elektrické napätia sú však vykompenzované, ak majú až štyri parametre zhodné:

1. Amplitúdu .
2. Fázu .
3. Frekvenciu.
4. Tvar časového priebehu.

Kompenzátorom vieme zistiť prvé dva. Ďalšie dva parametre musia byť dané (zaručené) vopred.

Na meranie veľkého striedavého napätia (nad 400V), sa k voltmetrom používajú napäťové meracie transformátory.

4 MERANIE ELEKTRICKÉHO PRÚDU AMPÉRMETROM

4.1. Ú V O D

Elektrický prúd vzniká prechodom elektrického náboja cez nejaký vodič za časovú jednotku.

Hlavnou jednotkou elektrického prúdu je jeden ampér (1 A). Takýto prúd vzniká prechodom elektrického náboja o veľkosti 1 coulombu za 1 sekundu. Elektrický prúd je však základná veličina a ako taká musí byť naviazaná na neelektrickú oblasť fyziky, v tomto prípade, prostredníctvom jeho silových účinkov, teda mechaniky. Definícia základnej jednotky 1 A znie:

1 A je elektrický prúd, ktorý pri stálom prietoku dvoma priamymi rovnobežnými vodičmi zanedbateľného kruhového prierezu uloženými vo vákuu, 1 m od seba, vyvolá medzi nimi silu $2 \cdot 10^{-7}$ N na jeden meter ich spoločnej dĺžky.

Meracie prístroje určené na priame meranie elektrického prúdu sa nazývajú ampérmetre, podľa jeho základnej jednotky. **V obvode ampérmeter zapájame do série s objektom, v ktorom chceme odmerať elektrický prúd.** Zapojením ampérmetra do obvodu sa však zmení jeho impedancia, a tým aj pôvodný prúd, ktorý sme chceli odmerať – vzniká chyba metódy. Našou úlohou bude určiť ju a korigovať podľa nej výsledok merania.

4.1.1. Etalóny elektrického prúdu

Primárny etalón elektrického prúdu tvoria veľmi jemné a presné váhy, ktorých konštrukcia vyplýva z definície hlavnej jednotky elektrického prúdu.

Sekundárne etalóny používané v laboratóriách elektrického merania sa realizujú nepriamo, prostredníctvom etalónu elektrického napätia a etalónu elektrického odporu. Presná hodnota prúdu sa určí potom tak, že sa meria úbytok napätia vytvorený jeho prechodom cez etalón elektrického odporu.

4.1.2. Meranie jednosmerného elektrického prúdu.

Vo všeobecnosti elektrický prúd meriame ampérmetrom, ktorý môže byť výchylkový alebo s indikátorom nulového prúdu. Ampérmeter zapájame do série s meraným objektom. Pre veľké prúdy existujú špeciálne meracie zapojenia.

Voľba vhodného ampérmetra bude závisieť od požadovanej presnosti merania, od veľkosti prúdu, od úrovne a povahy rušenia, od dostupnosti meracieho prístroja, resp. finančných možností objednávateľa merania.

Ak pri rozhodovaní chceme vziať do úvahy aj chybu metódy, ktorá vznikne zaradením ampérmetra do meracej zostavy, tak je potrebné mať na mysli aj jeho vnútorný odpor (mal by byť čo najmenší). Určenie chyby metódy je uvedené pri praktickom meraní.

Ampérmetre môžu byť rôznych princípov a to analógové alebo číslicové.

Na meranie veľkých prúdov (0,1kA do 100kA) sa používajú špeciálne zariadenia, napr. zariadenia používajúce Hallovu sondu, ktorá meria magnetickú indukciu v medzere feromagnetického prstenca obklopujúceho vodič s merným prúdom. Ampérmetre indukujúce nulový prúd sa volajú galvanometre. Sú to najcitlivejšie ampérmetre s konštantou 10^{-11} A/d.

4.1.3. Meranie striedavého elektrického prúdu

Pri výbere optimálneho ampérmetra na meranie konkrétneho striedavého elektrického prúdu je potrebné vziať do úvahy okrem hľadísk uplatnených pri meraní jednosmerného elektrického prúdu nasledujúce skutočnosti :

Pred vlastným meraním je potrebné vedieť, ktorú z definovaných hodnôt striedavého prúdu chceme merať – **efektívnu, strednú** alebo **maximálnu**. Ampérmetre sú kalibrované na efektívnu hodnotu harmonického priebehu. Ďalej musíme vziať do úvahy frekvenciu prúdu, ktorá sa musí nachádzať vo frekvenčnom rozsahu vybraného ampérmetra.

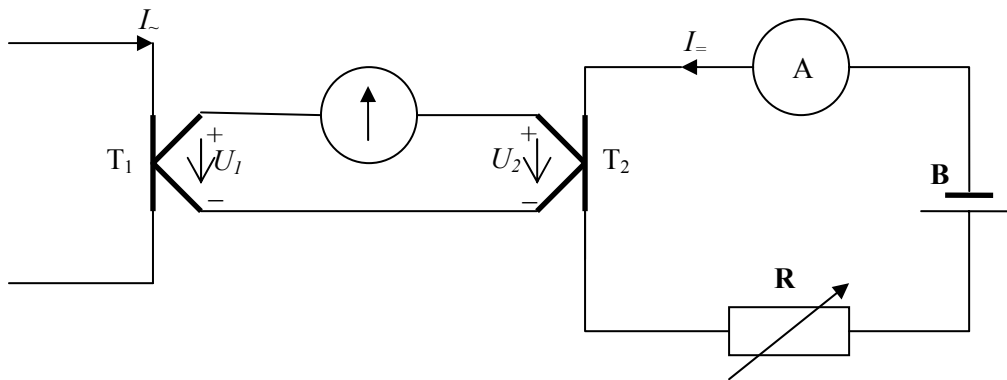
Ak môže mať meraný elektrický prúd neharmonicky priebeh, tak sa musíme presvedčiť v certifikáte prístroja, či je možné ho použiť a akú hodnotu v takom prípade bude ukazovať.

Na meranie veľkých striedavých prúdov (0,1 ÷ 100kA) sa k ampérmetrom používajú meracie transformátory prúdov, ktoré majú svoje špecifické podmienky použitia. (Pri harmonickom priebehu 25 ÷ 100% nominálnej hodnoty, sieťová frekvencia)

Špecifickú skupinu ampérmetrov tvoria také, ktoré merajú presnú efektívnu hodnotu elektrického prúdu s akýmkoľvek časovým priebehom. Sú to tzv. **komparátory**. Fungujú na princípe, ktorý priamo vyplýva z definície efektívnej hodnoty.

Efektívna hodnota striedavého prúdu je taká hodnota jednosmerného prúdu, ktorá vyvolá rovnaké tepelné účinky na činnom elektrickom odpore ako daný striedavý prúd.

Najznámejší je termistorový resp. termočlánkový komparátor (obr.4.1).



Obr. 4.1

Termočlánky (T_1) a (T_2) majú zhodné charakteristiky. Meraný striedavý prúd I zohreje odporový vodič termočlánku (T_1). Vzniknuté napätie U_1 sa vykompenzuje napätím U_2 termočlánku (T_2). Zhodnosť napätí indikuje galvanometer (G). Vyváženie komparátora dosiahneme rezistorom R . Hodnota jednosmerného prúdu I_{dc} odčítaná na ampérmetri (A) je potom efektívna hodnota meraného prúdu I_{rms} .

Továrensky vyrábaný komparátor dosahuje presnosť 0,05%.

A. ZÁKLADNÉ POJMY Z ELEKTROTECHNICKÉHO PRAKTIKA

5. PRESNOSŤ MERANIA

5.1. DEFINÍCIA

Presnosť merania je kľúčovým parametrom v meraní a v zásade môžeme ho považovať za synonymum kvality merania.

Kvantitatívne sa presnosť merania vyjadruje nepriamo prostredníctvom relatívnej chyby merania spravidla vyjadrenej v % meracieho rozsahu. Potom napr. presnosť prístroja s chybou 1 % je vlastne 99 %. Označenie je dané historickým vývojom a jeho zaužívaním. Ak sa chceme vyhnúť tejto principiálnej chybe je potrebné hovoriť “presnosť s chybou x %”.

Vyjadrené matematicky:

Absolútna chyba: $\Delta X' = X - X'$

X je výsledok menej presného merania

X' je výsledok presnejšieho merania

Relatívna chyba merania: $\delta_x' = \Delta X'/X'$ resp., keď X' nepoznáme $\delta_x' = \Delta X'/X$

Relatívna chyba vzťahnutá k meraciemu rozsahu X_r a vyjadrená v percentách bude: $\delta_{X_r}' = (\Delta X'/X_r) \cdot 100$

Merame potom s presnosťou δ_{X_r} percent.

5.2. STANOVENIE PRESNOSTI MERANIA

Číselne presnosť merania môžeme stanoviť v zásade dvoma spôsobmi:

1. Výpočtom z výrobcom zaručenej presnosti použitých meracích prístrojov.

2. Výpočtom pomocou štatistickej matematiky z hodnôt získaných opakovaním merania za rovnakých podmienok.

1. Výhoda prvého spôsobu je, že k vyhodnoteniu nám postačuje jedna nameraná hodnota a údaj výrobcu meracieho prístroja. U analógových prístrojov je to tzv. **trieda presnosti tp** , ktorá je totožná s δ_{X_r} . Maximálna dovolená chyba merania ΔX_{mx} je $\Delta X_{mx} = (tp \cdot X_r) / 100$ (kde X_r je rozsah) a presnosť jednotlivého merania bude:

$$\delta_{X_{mx}} = (\Delta X_{mx} / X) \cdot 100 \quad (5.1)$$

Je to vlastne maximálne dovolená hranica chyby merania, ktorá nepriamo vyjadruje presnosť merania. **Presnosť merania sa vo všeobecnosti nerovná presnosti meracieho prístroja!**

Vo veľkej väčšine prípadov chyba merania je väčšia ako chyba príslušného meracieho prístroja. Aby nebola väčšia ako trojnásobok chyby príslušného meracieho prístroja je odstupňovanie rozsahov analógových meracích prístrojov tretinové. (platí $\delta_{X_{mx}} = \Delta X/X = (t_p \cdot X_r)/(X_r/3) = 3t_p$, ak maximálna hodnota $X=X_r/3$) U číslicových meracích prístrojoch sa ich presnosť nevyjadruje triedou presnosti ale maximálne dovolenou relatívnou chybou (δ_{X_m}) určenou vzťahom:

$$\delta_{X_{mx}} = \delta_{1mx} + \delta_{2mx} \cdot (X_r/X) \quad (5.2)$$

kde δ_{1mx} je tzv. **chyba údajá** a δ_{2mx} je **chyba rozsahu**.

2. Výhoda druhého spôsobu stanovenia presnosti merania je, že takto stanovená chyba merania nie je jej maximálnou dovolenou hranicou **ale najpravdepodobnejšou chybou** a navyše zahŕňa v sebe aj rušivé vplyvy v meracom obvode. Nevýhoda je, že potrebujeme k vyhodnoteniu viac hodnôt nameraných za rovnakých podmienok.

Postup je nasledujúci:

1. **Najpravdepodobnejšia hodnota (zdanlivá)** meranej veličiny X_a

$$X_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (5.3)$$

kde n je počet nameraných hodnôt, X_i sú jednotlivé namerané hodnoty.

2. **Zdanlivá absolútna chyba** jednotlivého merania d_i

$$d_i = X_i - X_a$$

3. **Smerodajná odchýlka** $\bar{\sigma}_x$ (ak $2 \leq n \leq 100$)

$$\bar{\sigma}_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n-1}} \quad (5.4)$$

4. **Krajná chyba** χ

$$\chi = 3 \cdot \bar{\sigma}_x$$

5. **Presnosť merania** je s relatívnou chybou δ_x

$$\delta_x = \frac{\chi}{X_a} \quad (5.5)$$

6. Výsledok merania udávame v tvare

$$X_v = X_a \pm \chi \quad (5.6)$$

Istota, že všetky namerané (vyskytujúce sa) hodnoty teda, aj skutočná, bude v uvedených hraniciach je 99,7 %, čo sa vo všeobecnosti považuje za vyhovujúce.

Príklady:

1.) Voltmeter ukazuje 50 dielkov. Jeho stupnica je 120 dielková a jeho použitý rozsah je 240V. Na stupnici má uvedenú triedu presnosti 0,5. Aká je relatívna chyba tohto merania? (jej max. dovolená hranica)

$$U = \alpha_v \cdot k_v = \alpha_v \frac{U_r}{d_r} = 50 \cdot \frac{240}{120} = 100 \text{ V} \quad \text{a podľa rovnice (5.1)}$$

$$\delta_{U_{mx}} = \frac{\Delta U_{mx}}{U} = \frac{tp \cdot U_r}{100} \cdot \frac{1}{U} = \frac{0,5 \cdot 240}{100} \cdot \frac{1}{100} = 120 \cdot 10^{-4} = 1,2 \cdot 10^{-2}$$

$$\text{v \% } \delta_{U_{mx}\%} = \delta_{U_{mx}} \cdot 100 = 1,2 \%$$

2.) Wattmeter merajúci činný výkon striedavého harmonického prúdu ukazuje 75 dielkov na 150 dielkovej stupnici. Používame 300 V a 10 A rozsah. Na stupnici má uvedenú triedu presnosti 0,2 a $\cos \varphi = 0,1$. Aká je relatívna chyba tohto merania (max. dovolená relatívna chyba merania) vyjadrená v % ?

Podľa rov. (5.1) máme

$$\delta_{P_{mx}} = \frac{\Delta P_{mx}}{P} \cdot 100 = \frac{tp \cdot P_r}{100} \cdot \frac{1}{P} \cdot 100 = \frac{tp \cdot U_r \cdot I_r \cdot \cos \varphi}{\alpha_w \cdot k_w} = \frac{tp \cdot U_r \cdot I_r \cdot \cos \varphi}{\alpha_w \frac{U_r \cdot I_r \cdot \cos \varphi}{\alpha_r}} = t_p \cdot \frac{\alpha_r}{\alpha_w} =$$

$$0,2 \cdot \frac{150}{75} = 0,4 \%$$

Koľko krát je výchylka pri meraní menšia ako rozsah, toľko krát je relatívna chyba merania väčšia ako trieda presnosti meraného prístroja.

3.) Číslcový ampérmeter ukazuje hodnotu 250 mA na rozsahu 2 A. V certifikáte má uvedenú relatívnu chybu údajá 0,01 % a rozsahu 0,002 %. Aká je relatívna chyba jeho merania v %? (Max. dovolená hodnota)

Podľa (5.2)

$$\delta_{I_{mx}} = \delta_{I_{mx}} + \delta_{2mx} \frac{I_r}{I} = 0,01 + 0,002 \cdot \frac{2000}{250} = 0,01 + 0,016 = 0,026 \%$$

4.) Pri opakovanom meraní boli namerané nasledujúce hodnoty frekvencie striedavého elektrického napätia: 50,2 ; 50,0 ; 49,8 Hz . Aká je najpravdepodobnejšia hodnota frekvencie? Aký je výsledok merania s ohľadom na náhodné chyby pri tomto meraní ?

Postupne podľa rovníc (5.3) až (5.6) je :

1. Najpravdepodobnejšia hodnota (aritmeticky priemerná) :

$$f_a = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n f_i = \frac{1}{3} (50,2 + 50,0 + 49,8) = 50 \text{ Hz}$$

2. Smerodajná odchýlka :

$$\delta_f = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_i - f_a)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,2^2 + 0^2 + (-0,2)^2}{3-1}} = \sqrt{\frac{0,04 + 0,04}{2}} = 0,2$$

3. Krajná chyba :

$$\chi_f = 3 \cdot \delta_f = 3 \cdot 0,2 = 0,6 \text{ Hz}$$

4. Výsledok merania :

$$f_v = f_a \pm \chi = (50 \pm 0,6) \text{ Hz}$$

5.3. SÚSTAVA VELIČÍN A JEDNOTIEK SI

5.3.1. Úvod

Aby bolo možné kvalitatívne aj kvantitatívne určiť a popísať fyzikálne javy, telesá v priestore a vlastnosti hmoty meraním, zaviedli sa pojmy „fyzikálna veličina“ a „jednotka veličiny“. Fyzikálna veličina je pojem, ktorým kvalitatívne popisujeme fyzikálny jav alebo stav telesa či hmoty. Jednotka fyzikálnej veličiny je vhodne veľká (zvolená) veličina rovnakého druhu a slúži ku kvantitatívnemu popisu javu alebo stavu telesa - hmoty. Merať potom znamená porovnávať hodnotu (veľkosť) nejakej fyzikálnej veličiny s jej niektorou jednotkou.

Súbor veličín a ich jednotiek, ktoré sú navzájom viazané matematickými vzťahmi vyjadrujúcimi ich vzájomné pôsobenie vo fyzikálnych javoch nazývame „sústava fyzikálnych veličín a jednotiek“ alebo skrátene „sústava jednotiek“.

Historicky vývoj začal v 3.storočí p.n.l., kde Sumeri žijúci medzi Tigrisom a Eufratom zaviedli hexadecimálnu sústavu (60-tkovú), ktorej zostatky sa zachovali dodnes (hodina 60min, minúta 60s, vnútorný uhol rovnostranného trojuholníka 60°).

V súčasnosti sa používa v medzinárodnom meradle“ Sústava veličín a jednotiek SI“ (System internacional) uzákonená v r.1960.

5.3.2. Fyzikálne veličiny

V predmetnej sústave sú tri druhy fyzikálnych veličín :

a. Základné veličiny

b. Doplnkové veličiny

c. Odvodené veličiny

A. Základné veličiny sú tie, ktoré boli uzákonené ako pôvodné, pokrývajúce všetky oblasti fyziky. Sú to:

Oblasť použitia	Názov veličiny	Označ. veličiny	Názov jednotky	Označ. jednotky	Platná definícia	Chyba reprodukovateľnosti
mechanika	dĺžka	l	meter	m	1983	10^{-9}
	hmotnosť	m	kilogram	kg	1889	10^{-9}
	čas	t	sekunda	s	1967	10^{-11}
elektrotechnika	elektrický prúd	I	ampér	A	1948	10^{-6}
termodynamika.	termodynamická teplota	T	kelvin	K	1967	10^{-3}
optika	intenzita osvetlenia	J_s	candela	cd	1979	10^{-3}
chémia	látkové množstvo		mol	mol	1971	-

Skratky veličín sa píše kurzívou, skratky jednotiek stojatým písmom.

B. Doplnkové veličiny:

Sú dve:

- rovinný uhol α, β, γ , radián rd
- priestorový uhol Ω steradián sr

C. Odvođené veličiny

Sú všetky ostatné veličiny.

5.3.3. Jednotky veličín

Z pohľadu absolútnej veľkosti sú jednotky veličín:

1. Hlavné

Hlavne sú tie ktoré súvisia zo základnými jednotkami s prepočítavacím koeficientom 1, čiže priamo.

2. Násobné alebo dielčie.

Násobné a dielčie sú tie jednotky, pre ktorých rozmer (dimension) d' platí:

$$\{d'\} = \{d_n\} 10^{3i} \quad (5.7)$$

Kde d_h je rozmer hlavnej jednotky a i je celé číslo. Pre násobné jednotky $i > 0$ pre dielčie $i < 0$. Názov týchto jednotiek sa tvorí z názvu hlavnej jednotky a príslušnej predpony. (výnimka - kg)

$i =$	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	y	z	a	f	p	n	μ	m	-	k	M	G	T	P	E	Z	Y
		zepto	femto	piko	nano	mili	micro	kilo	giga	peta	zetta						
	yokto	atto		piko	miko			mega	tera	exa	yotta						

Tie násobné a dielčie jednotky, ktoré nespĺňajú uvedený vzťah (5.7) o ich rozmere, nepatria síce do sústavy SI, ale môžu patriť k uzákoneným jednotkám, ktoré môžu byť:

- a, **vedľajšie** jednotky (násobne jednotky času: min., hod., deň, týždeň, mesiac, rok)
- b, **špeciálne** jednotky (oblasť medzinárodných stykov: astronómia, námorníctvo)
- c, **dočasné** jednotky (g, ha, cm – miestne zaužívanie)

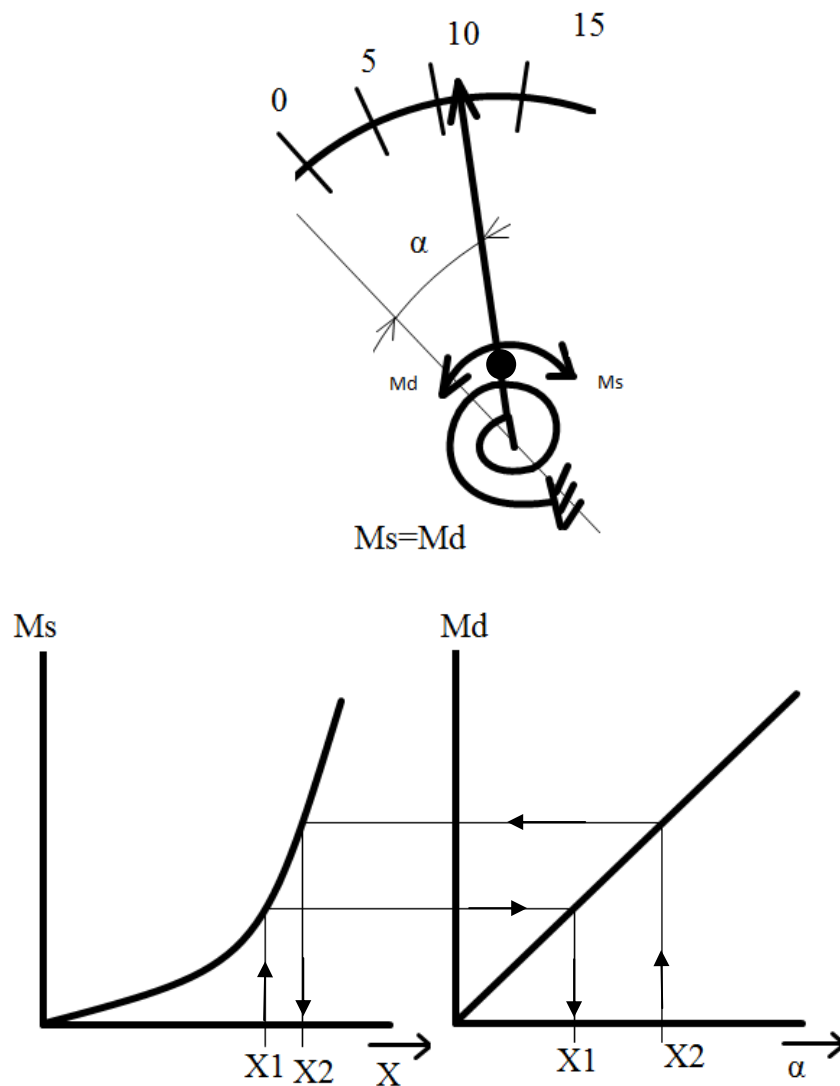
O jednotnosť jednotiek v celosvetovom meradle sa stará „Medzinárodná organizácia pre váhy a miery“ so sídlom v Paríži.

B. ANALÓGOVÉ MERACIE PRÍSTROJE (AMP)

6. DEFINÍCIA, PRINCÍP ČINNOSTI AMP.

Analógový elektrický merací prístroj je zariadenie, v ktorom sa meraná veličina transformuje využitím vhodného fyzikálneho javu na výchylku jeho ukazovateľa. Táto transformácia sa deje spojitým (analógovým) spôsobom, pritom platí obojsmerná jednoznačnosť tejto transformácie. (Jednej hodnote veličiny prislúcha jedna hodnota výchylky a opačne.)

Princíp funkcie analógového prístroja spočíva v rovnováhe síl pôsobiacich na otočnú časť meracieho prístroja. Jedna sila vybudená meranou veličinou vytvára tzv. **moment systému** M_S a druhá sila, tzv. direktívna, vytvára **direktívny moment** M_d , ktorý pôsobí proti M_S . M_S stúpa so zväčšujúcou sa hodnotou meranej veličiny. M_d sa zväčšuje so zväčšujúcou sa výchylkou ukazovateľa. Grafické znázornenie situácie je na obr.6.1.



Obr.6.1

6.1. DRUHY AMP

Analógové meracie prístroje rozdeľujeme na nasledujúce druhy:

A. Podľa konštrukcie:

1. Elektromechanické – základný merací prístroj
2. Elektronické – prídavné elektronické zariadenie (napr. Elektrónkové, Tranzistorové)

B. Podľa ukazovateľa

1. Ručičkové
2. So svetelnou stopou

C. Podľa indikácie meranej hodnoty

1. Priamoukazujúce
2. Záznamové

D. S grafickým znázornením výsledku merania

1. Osciloskopy na obrazovke
2. Oscilografy na papier

E. Podľa funkčného princípu



-magnetoelektrické



-elektromagnetické



-elektrodynamické



-ferodynamické



-elektrostatické



-tepelné vlákňové



-tepelné bimetalové



-Indukčné

F. Podľa prídavného usmerňovacieho zariadenia



- s diódovým usmerňovačom

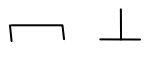




- s termočlánkom

G. Podľa meranej veličiny

1. Voltmetre – elektrické napätie
2. Ampérmetre – elektrický prúd
3. Wattmetre – elektrický výkon
4. Ohmmetre – elektrický odpor
5. Frekventometry – frekvencia
6. Elektrometry – práca elektrického prúdu
7. Galvanometre – indikácia nulového prúdu, resp. napätia

6.2. ZNAČKY NA STUPNICI AMP

1. druh meracieho systému – princíp (značky)
2. trieda presnosti 0,1 .. 0,2 .. 0,5 .. 1 .. 1,5 .. 2,5 .. 3 .. 5
3. prevádzková poloha 
4. skúšobné napätie pohybového systému oproti kostre
5. výrobné číslo (aspoň 6 miestne)
6. skratka jednotky, v ktorej prístroj meria: mV , mA
7. vnútorný odpor : 5000 Ω/V
8. prípustný číslicový. priebeh meranej veličiny
9. frekvenčný rozsah (pre uvedenú triedu presnosti 50 – 200 – 1000 Hz)
10. tienenie  -magnetické,  - elektrické

6.3. HLADISKA HODNOTENIA AMP (FUNKČ. PRINCÍPOV ČINNOSTI)

1. zložitosť konštrukcie – cena
2. univerzálnosť (rozsahy, veličiny)
3. lineárnosť stupnice
4. rýchlosť ukázania meranej hodnoty
5. dosiahnuteľná presnosť
6. elektrická preťažiteľnosť
7. vlastná spotreba
8. účinok rušivých vplyvov
9. časový priebeh meranej veličiny
10. stálosť charakteristík

6.4. POMOCNÉ ZARIADENIA K AMP

A. na samotnom prístroji

1. prepínač rozsahov
2. zrkadlo na stupnici
3. nastavovacia skrutka na nastavenie nulovej výchylky
4. tieniaci kryt pre zlepšenie viditeľnosti svetelnej stopy
5. nastaviteľné nožičky a vodováha – presná poloha
6. zväčšovacie sklo na pohyblivom ramene – lepšia viditeľnosť

B. mimo prístroja

1. napájací transformátor pre žiarovku k svetelnej stope
2. súprava k svetelnej stope (zdroje svetla, stupnica – ak prístroj má len otočné zrkadlo)
3. samostatný bočník – na rozšírenie rozsahu jednosmerného ampérmetra
4. samostatný transformátor – rozšírenie rozsahu striedavého ampérmetra
5. predradník – rozšírenie rozsahu voltmetra
6. delič napätia – rozšírenie rozsahu, kde vnútorný odpor voltmetra R_{iv} je neurčitý lebo je veľmi veľký rozsah

6.5. OSCILOSKOPY

6.5.1. Úvod, rozdelenie

Osciloskop je analógový elektronický merací prístroj, ktorý na obrazovke zobrazuje funkčnú závislosť dvoch elektrických napätí.

Periodicky sa meniace elektrické napätie je schopný zobrazit' ako stabilnú krivku prostredníctvom pomocného elektrického napätia pílovitého tvaru, t.j. takého ktoré narastá lineárne s časom a pri určitej hodnote rýchle klesá na nulovú hodnotu (časová základňa).

Ak máme k dispozícii prevodníky iných elektrických veličín na elektrické napätie, môžeme použiť osciloskop na znázornenie (odmeranie) ich vzájomnej alebo časovej závislosti. Najnovšia generácia osciloskopov používa vo svojej funkcii mikropočítač a číslicovú pamäť, čo podstatne rozširuje jeho možnosti merania a aj jeho presnosť. Osciloskop preto môžeme považovať v tejto podobe za najuniverzálnejší merací prístroj.

Osciloskopy v zásade môžeme rozdeliť

A, podľa funkčnej koncepcie :

1. Obyčajný, 2. Pamäťový, 3. S mikropočítačom

B, podľa počtu súčasne meraných napätí

1. Jednokanálový, 2. Dvojkanálový, 3. Viackanálový

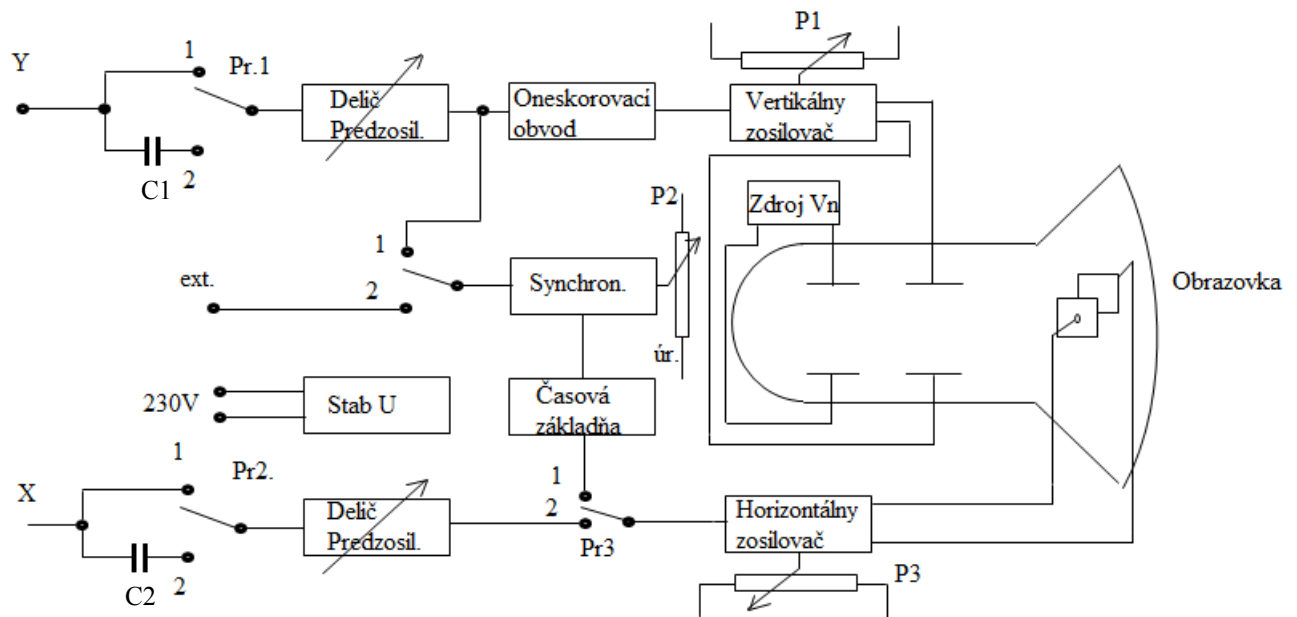
C, podľa frekvenčného rozsahu

- 1 Jednosmerný, 2. Nízkofrekvenčný (do 10 MHz), 3. Vysokofrekvenčný (do 40GHz)

6.5.2. Obyčajný osciloskop

Ako obyčajný osciloskop si preberieme jeho najjednoduchšiu variantu t.j. jednokanálový a nízkofrekvenčný.

Jeho principiálne zapojenie je na blokovej schéme obr. 6.2.



Obr. 6.2

Vstupné prepínače (Pr1) a (Pr2) v súčinnosti s kondenzátormi (C1) a (C2) umožňujú oddeliť striedavú zložku meraného signálu od celkového. (prepínače v polohe 2)

Vstupné deliče a predzosilňovače upravujú vstupný signál na jednotnú úroveň v celom frekvenčnom pásme.

Oneskoroavaci obvod kompenzuje oneskorenie signálu, ktoré vzniká jeho prechodom cez synchronizačný obvod a časovú základňu.

Vertikálny zosilňovač upravuje sledované napätie na hodnotu potrebnú pre obrazovku. Jeho výstup je pripojený na Y-ové vychyľovacie elektródy. Potenciometrom (P1) je možné posúvať zobrazovaný priebeh v smere osi Y.

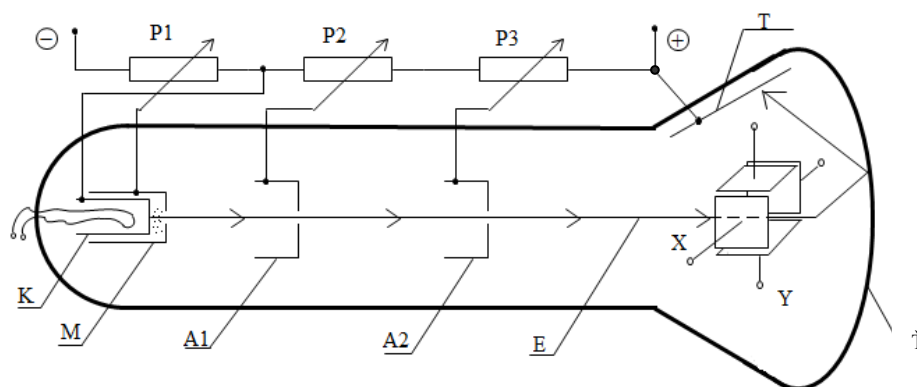
Horizontálny zosilňovač má pre os X rovnakú funkciu ako vertikálny pre os Y, má však menší frekvenčný rozsah a zosilňovací účinok. (P3) posúva obraz v smere osi X, len ak nie je pripojená časová základňa.

Časová základňa (ČZ) je vlastne generátor pílovitého napätia riadený obvodom synchronizácie.

Synchronizácia vytvára synchronizačné impulzy, podľa ktorých sa vykonáva štart pílovitého napätia z (ČZ). Impulzy sa riadia zobrazovaným napätím vždy v jeho rovnakom bode, ktorý sa nastaví pomocou (P2).

Stabilizované zdroje (U) dodávajú príslušným funkčným blokom napájacie napätie.

Obrazovka je najtypickejšou súčiastkou osciloskopu.(obr.6.3)



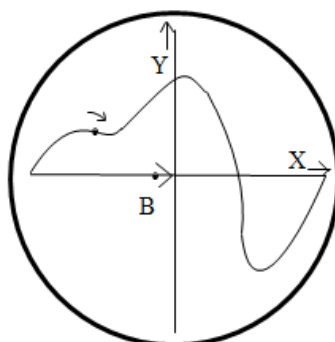
Obr.6.3

Je to sklenená banka s vyčerpaným vzduchom t.j. **elektrónka**.

Princíp funkcie :

Nepriamo žeravená katóda (K) s bifilárne vinutým vláknom (Ž) emituje elektróny, ktoré otvorom v mriežke (M) prechádzajú vo forme elektrónového paprštiku (E). Sú urýchľované kladným napätím anód (A1, A2), a potom vstupujú do elektrického poľa vychýľovacích elektród X a Y. Elektrónový lúč po dopade na tienidlo obrazovky (Ĥ), natrené zvnútra fluorescenčnou látkou, vytvára svietiaci bod. Tento lúč sa vychýľuje v smere osi X a Y podľa veľkosti napätia privedené na príslušné elektródy. Elektróny hromadiace sa v priestore tienidla priťahuje tieniaca elektróda (T), čím sa elektrický obvod elektrónov uzavrie.

Potenciometrom P1 sa reguluje jas obrazu potenciometrami (P2) a (P3) sa obraz zaostruje.



Obr.6.4

Pri pozorovaní periodického napätia sa svietiaci bod pohybuje zľava doprava po krivke časového priebehu pozorovaného napätia. Jeho rýchlosť pohybu je daná pílovitým napätím (ČZ). Ak frekvencia tohto napätia dosiahne cca 15Hz, tak pohybujúci sa bod začíname vnímať ako blikajúcu krivku. Pri cca 50 Hz vidíme už rovnomerne svietiacu krivku, ktorú predstavuje časový priebeh meraného napätia.

C. ČÍSLICOVÉ MERACIE PRÍSTROJE (ČMP)

7.1 ÚVOD

Definícia:

Číslicové meracie prístroje sú elektronické zariadenia, ktoré spracúvajú meranú veličinu diskretným spôsobom, t.j. v procese merania vykonávajú samočinne operáciu kvantovania podľa času a podľa hodnoty elektrického napätia a znázorňujú výsledky v číslicovej forme.

Druhy ČMP:

Podľa **charakteru meranej veličiny** rozoznávame dva druhy ČMP. Prvú skupinu tvoria tie meracie prístroje, ktoré merajú veľkosť elektrického napätia. Podľa meranej veličiny sú to voltmetre, voltampérmetre, voltohmmetre a wattmetre.

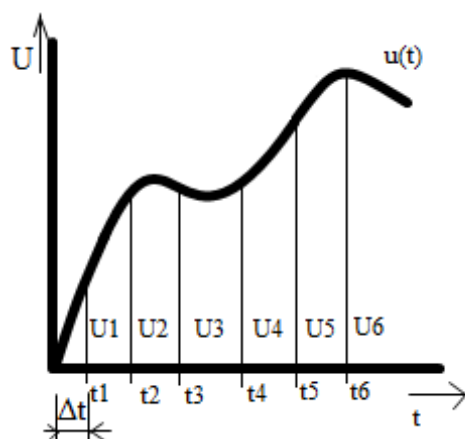
Druhu skupinu tvoria tie meracie prístroje, ktoré merajú počet elektrických impulzov a z toho odvodené veličiny: frekvenciu, fázu, časový interval medzi dvoma elektrickými impulzmi. Prístroj sa nazýva **čítač**.

Podľa indikácie nameraného výsledku rozoznávame **priamoukazujúce** ČMP, tie ukazujú výsledok v tvare dekadického čísla a sú to samostatné meracie prístroje. Druhú skupinu tvoria tzv. **prevodníky**, transformujú analógové veličiny na číslcový tvar a opačne (AČP, ČAP). Tvoria súčasť zložitejšieho meracieho zariadenia. Ak výstupná veličina je v diskretnéj forme (AČP), má tvar kódu, spravidla v dvojkovej číselnej sústave.

Podľa počtu meraných veličín môžu byť ČMP obyčajné (merajú 1 veličinu) alebo tzv. univerzálne (merajú 2 a viac veličín).

7.2. PRINCÍP FUNKCIE ČMP

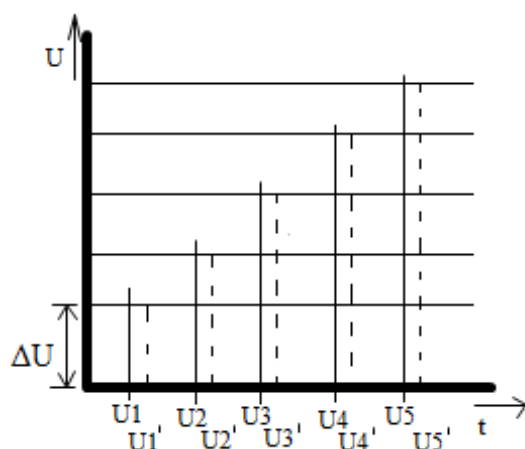
Princíp funkcie ČMP merajúcich úroveň elektrického signálu (elektrické napätie) je založený na kvantovaní meraného napätia podľa času a podľa hladiny.



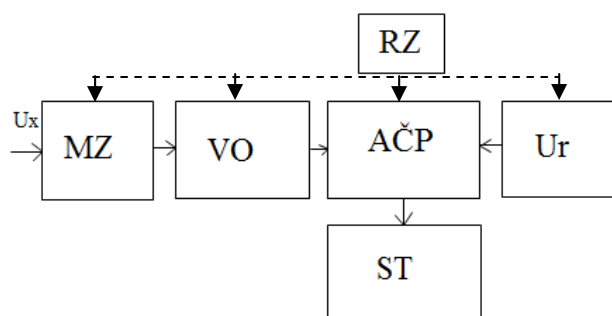
Obr.4.1

Kvantovaním podľa času (obr.4.1) sa funkcia $u(t)$ predstavujúca vstupné analógové napätie nahradí konečným počtom jej okamžitých hodnôt U_i . Časový interval Δt , po ktorom získame ďalšiu okamžitú hodnotu U_i , sa nazýva **krok kvantovania**.

Kvantovanie podľa hladiny (obr.7.2) spočíva v náhrade okamžitých hodnôt napätia U_i , získaných kvantovaním podľa času, hodnotami napätia U_i , ktoré sú vyjadrené ako celistvý a konečný násobok napätia ΔU . Toto napätie sa volá **hladinový interval**. Z matematického hľadiska sa jedná vlastne o zaokrúhľovanie, pri ktorom sa dopúšťame **chyby kvantovania** $\Delta_K = 1/2 \Delta U$. Principiálne zapojenie ČMP merajúceho úroveň elektrického signálu predstavuje zapojenie jeho základných funkčných blokov obr.7.3. (MZ) - merací zosilňovač, prispôbi merané napätie U_x na unifikovanú úroveň. (VO) - vzorkovací obvod, vykoná kvantovanie podľa času. (AČP) – analógovo - číslicový prevodník, vykonáva kvantovanie podľa hladiny. U_r - zdroj referenčného napätia, z neho sa vytvoria jednotlivé hladiny ΔU . (RZ) - riadiace zariadenie, riadi činnosť príslušných funkčných blokov. (ST) - číslicová stupnica, indikuje výsledok merania.

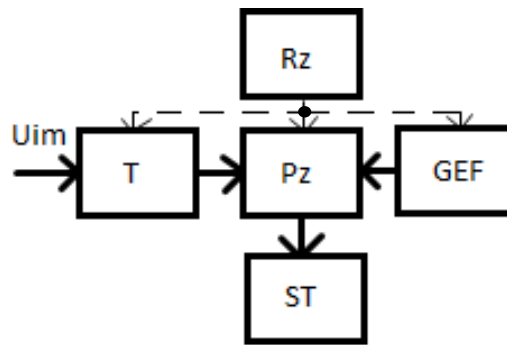


Obr.7.2



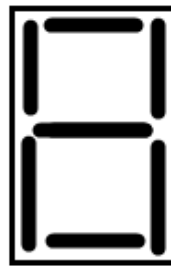
Obr.7.3

Princíp funkcie ČMP merajúcej počet napät'ových impulzov U_{im} (čítača) spočíva v jeho porovnávaní s etalónovou frekvenciou. Na jednotnej principiálnej schéme obr. 7.4, tvarovač (T), tvaruje merané obecné elektrické impulzy na definovaný tvar. (GEF) - generátor etalónovej frekvencie, vyrába napätie o presnej frekvencii. (PZ) - porovnávacie zariadenie porovná frekvenciu meraných impulzov s etalónovou (f_E). (Môže pracovať v režime „meranie frekvencie“ potom sčítava počet impulzov za 1s, ktorá je odvodená od (f_E). V režime „meranie dĺžky periódy“, merítkom časovej dĺžky je dĺžka periódy (f_E)).



Obr.7.4

V oboch prípadoch sa nachádza v ČMP číslicová stupnica, ktorá je zároveň navonok súčiastkou ČMP. V súčasnej dobe používaná číslicová stupnica sa skladá z číslic podľa obr. 7.5, t.j. každú číslicu tvorí 7 segmentov. Medzi priesvitnými elektródami segmentov je elektroluminiscenčný fosfor, ktorý v striedavom elektrickom poli svieti zelene alebo tekutý kryštál, ktorého štruktúra a index lomu svetla sa v jednosmernom elektrickom poli mení tak, že sa nám javia čierne. Elektrické polia sa vytvoria patričným ovládacím napätím, ktoré je na nich privedené.



Obr. 7.5

7.3. METROLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY ČMP

Metrologické charakteristiky predstavujú vlastnosti ČMP, ktoré by mal užívateľ poznať kvôli ich vhodnému výberu a používaniu. Sú to :

1. **Rozsah merania** – pásmo hodnôt medzi najväčšou a najmenšou merateľnou hodnotou.
2. **Rozlišovacia schopnosť** – je najmenšia hodnota meranej veličiny, ktorú je možno pozorovať na stupnici meracieho prístroja ako jednotku na poslednom desatinom mieste najmenšieho rozsahu.
3. **Presnosť merania** – je daná vzťahom $\Delta U_{mx} = a_1 U_x + a_2 U_r = \Delta_1 + \Delta_2$

kde Δ_1 sa volá **chyba údajá** a Δ_2 **chyba rozsahu**, pričom a_1 , a_2 , sú konštanty, U_x meraná hodnota a U_r rozsah.

Relatívna chyba bude (max. dovolená hranica)

$$\delta_{U_{\max}} = a_1 + a_2 \frac{U_r}{U_x} = \Delta_1 + \Delta_2$$

4. **Rýchlosť merania** – počet meraní za sekundu ($100 \div 100\,000$).
5. **Spôsob znázornenia výsledkov** – je buď dekadické číslo alebo kód v dvojkovej číselnej sústave.
6. **Spôľahlivosť pri meraní** – je schopnosť udržiavať si svoje charakteristiky. Vyjadruje

sa pravdepodobnosťou bezporuchovej činnosti $P(t)$.

$$P(t) = e^{-t \sum_{i=1}^m N_i a_i}$$

kde t je čas, v ktorom určujeme $P(t)$ N_i je počet elektrických súčiastok i – tého typu, z ktorých sa prístroj skladá, a_i je hustota porúch súčiastok i – tého typu a m je počet druhov súčiastok.

7. **Konštrukcia a cena** – býva zložitá a cena relatívne veľká (500 až 10 000 €).
8. **Vlastná spotreba** – je dvojaká. Tú, ktorou ČMP zaťažuje meraný objekt (ampérmetre 10^{-1} – 3W, ostatné meracie prístroje mW). Spotreba druhá, ktorú si vyžaduje funkcia ČMP je pomerne veľká (25 ÷ 50 W), a preto je potrebný cudzí napájací zdroj.
9. **Typ meranej veličiny** – jednosmerná, u striedavých to môže byť efektívna, stredná alebo maximálna hodnota.
10. **Pretážiteľnosť** – spravidla na najväčšom rozsahu 1,5 násobná, na menších rozsahoch až 10 násobná.

7.4. POROVNANIE VLASTNOSTI ČMP S AMP

A. výhody :

1. veľká presnosť merania - až 1000 x väčšia
2. automatizácia merania - voľba rozsahov, polarity
3. veľká rýchlosť merania - až 100 000 x väčšia
4. presnejšie spracovanie výsledkov – v číselnom tvare.
5. širšie pásmo rozsahov – hlavne frekvencií (do 400 kHz)
6. absolútna presnosť odčítavania výsledku
7. dobre odčítanie meranej hodnoty – z rôznych smerov a vzdialenosti
8. malé rozmery a hmotnosť
9. schopnosť zapamätať si namerané hodnoty
10. možnosť využívať mikroprocesor a vytvárať automatizované meracie zostavy
11. odolnosť proti mechanickým otrasom.

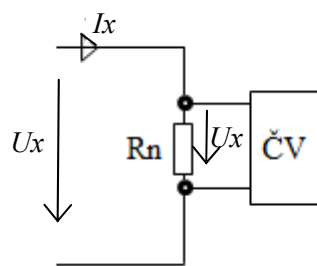
B. nevýhody:

1. zložitá konštrukcia – vyššia cena
2. veľká vlastná spotreba
3. zlá orientácia medzi viacerými meracími prístrojmi
4. nevhodne odstupňovanie rozsahov
5. obmedzenie meraní v uzemnenej sieti

Princíp funkcie :

Riadiace zariadenie (RZ) na povel „Spúšťanie“ vynuluje sčítavanie zariadenie (SČ) a uvedie do činnosti generátor frekvencie (GEF) a generátor etalónových časových intervalov (GEČI), ktorý začiatkom (Z) svojho impulzu (T) otvorí kľúč (K1). Merané napätie U_x sa dostáva na vstup integračného zosilňovača (IZ). Na jeho výstupe získavame lineárne stúpajúce napätie U_v , ktorého uhol alfa je úmerný U_x . Koniec (K) impulzu (T_0) uzavrie kľúč (K1) a otvorí kľúče (K2) a (K3). Na vstup (IZ) sa dostáva záporné etalónové napätie U_n a U_v klesá až dosiahne referenčnú nulu. Tento stav indikuje porovnávajúce zariadenie (PZ), ktoré vyšle uzatvárajúci impulz (K) pre kľúče (K2) a (K3). Počas otvorenia kľúča (K3) postupujú impulzy z (GEF) na sčítavacie zariadenie (SČ). Vzhľadom k úmernosti vzájomných vzťahov je počet načítaných impulzov úmerný meranému elektrickému napätiu U_x .

Veľkosťou napätia U_n , zosilnenia (IZ), frekvencie (GEF) ako aj dĺžkou impulzu (T) je možné dosiahnuť, že (SČ) sa rovná meranému elektrickému napätiu v niektorých jeho jednotkách.

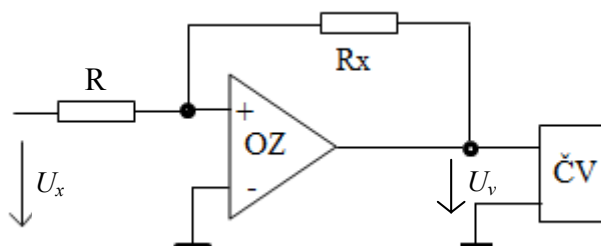
2. Číslicový volt-ampérmeter (obr.7.8)

Obr.7.8

Meria úbytok napätia U na presnom R_n .

$$I_x = U_x / R_n$$

Dosahovaná presnosť 0,01%

3. Číslicový voltohmmeter

Obr.7.9

$$\text{Platí } U_v = \left(-R_x / R \right) U_x$$

Presnosť tohto merania obmedzuje hlavne nestabilita vstupného U_x a býva $0,1 \div 0,01\%$.

ČMP merajúce U , I a R , prípadne ďalšie elektrické veličiny, môžu byť integrované do jedného ČMP, ktorý sa volá multimeter.

Literatúra

- [1] Matyáš V.: Automatizace měření, SNTL Praha 1987
- [2] Čáповá K.: Elektrické meranie, Alfa Bratislava, 1987
- [3] Klos Z.: Elektrické měření, ES VUT Brno, 1988
- [4] Fajt V. a kol.: Elektrické měření, ČVUT FEL Praha, 1986
- [5] Fajt V. a kol.: Elektrické měření, SNTL Praha, 1987
- [6] Obrazová H.: Elektrické měření neelektrických veličín, ČVUT FEL Praha, 1989
- [7] Michaeli L. – Hríbik J.: Rádioelektronické meranie, Alfa Bratislava, 1986
- [8] Jakl M.: Měřicí systémy, ČVUT FEL Praha, 1988
- [9] Kodeš J. a kol.: Elektronika, ČVUT FEL Praha, 1991
- [10] Fajt V. a kol.: Elektrické měření, ČVUT FEL Praha, 1992
- [11] Bajcsy J.: Základy meracej techniky, STU Bratislava, 1992
- [12] Zákon č.142 / 2000 – Zákon o metrologii, 2000
- [13] Vyhláška ÚNMS SR č.206 / 2002 – Zákonné meracie jednotky, 2002
- [14] STN 01 0115 – Terminológia v metrologii, 2001
- [15] Zákon č.294 / 2005 – Zákon o meradlách, 2005

Použité symboly a značky

Zoznam opakovane použitých označení fyzikálnych veličín.

a_1, a_2 , konštanty

C elektrická kapacita

f frekvencia

I elektrický prúd

k konštanta meracieho prístroja

L vlastná indukčnosť

M vzájomná indukčnosť, krútiaci moment

n počet

R elektrický odpor

r rozsah

T teplota

t čas

tp trieda presnosti

U elektrické napätie

X meraná fyzikálna veličina, reaktancia

Z impedancia

α výchylka meracieho prístroja, uhol

δ relatívna chyba

χ krajná chyba

Φ magnetický tok

Ψ celkový magnetický tok

σ smerodajná odchýlka

ω kruhová frekvencia

Δ rozdiel hodnôt za týmto znamienkom vyznačenej veličiny

Zoznam opakovane použitých skratiek na mieste indexov :

a	aritmeticky priemerný
dov	dovolený
i	obecné poradie
k	kompenzačný
mx	maximálny
N	normálový
r	rozsahu
s	systemu
v	výsledný
x	meranej veličiny

Miroslav Mojžiš, Ján Molnár
ELEKTROTECHNICKÉ PRAKTIKUM (Všeobecná časť)
Technická univerzita v Košiciach
Košice september 2009
1. vydanie, náklad 1000 kusov
47 strán

ISBN 978-80-553-0259-1