



SPŠE K. ADLERA 5 BRATISLAVA

# **ELEKTROTECHNICKÉ MERANIA**

**Teoretická časť 3.ročník**

**POS, PIT, OBZ**

**Vypracovala: Ing. Soňa Labajová**

**Školský rok: 2016/2017**

**Meno a priezvisko :**

# **OBSAH:**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. ÚVOD .....</b>   | <b>4</b>  |
| 1.1 Význam a účel merania .....                                      | 4         |
| 1.2 Zákonné meracie jednotky .....                                   | 4         |
| <b>2. ELEKTRICKÉ MERACIE PRÍSTROJE .....</b>                         | <b>5</b>  |
| 2.1 Základné pojmy .....   | 5         |
| 2.2 Chyby a presnosť merania .....                                   | 9         |
| 2.3 Regulácia napätia a prúdu .....                                  | 10        |
| 2.3.1 Regulačný rezistor .....                                       | 11        |
| 2.3.2 Regulácia prúdu .....  | 11        |
| 2.3.3 Regulácia napätia .....  | 12        |
| 2.4 Klasifikácia meracích prístrojov .....                           | 12        |
| 2.4.1 Požiadavky na meracie prístroje .....                          | 13        |
| 2.4.2 Hľadiská pre voľbu vhodného meracieho prístroja .....          | 13        |
| 2.4.3 Elektromechanické meracie prístroje .....                      | 13        |
| 2.4.4 Zisťovanie hodnoty meranej veličiny analógovým prístrojom..... | 15        |
| 2.5 Normály elektrických veličín .....                               | 15        |
| 2.5.1 Značky a symboly .....   | 16        |
| <b>3. MERANIE ELEKTRICKÉHO ODPORU .....</b>                          | <b>17</b> |
| 3.1 Meracie metódy .....   | 17        |
| 3.1.1 Meranie odporu priamymi metódami .....                         | 17        |
| 3.1.2 Meranie odporu nepriamou absolútnou metódou .....              | 18        |
| 3.1.3 Meranie odporu porovnávacou metódou .....                      | 19        |
| 3.1.4 Meranie odporu jednosmerným mostíkom .....                     | 20        |
| 3.1.5 Meranie izolačných odporov .....                               | 21        |
| 3.1.6 Meranie odporu uzemnenia .....                                 | 22        |
| <b>4. MERANIE INDUKČNOSTI CIEVKY .....</b>                           | <b>24</b> |
| 4.1 Meranie indukčnosti VA metódou .....                             | 25        |
| 4.2 Meranie indukčnosti s feromagnetickým jadrom .....               | 26        |
| 4.3 Meranie indukčnosti striedavým mostíkom .....                    | 27        |
| <b>5. MERANIE KAPACITY KONDENZÁTORA .....</b>                        | <b>28</b> |
| 5.1 Meranie kapacity kondenzátora voltampérovou metódou .....        | 29        |
| <b>6. MERANIE NA POLOVODIČOVÝCH SÚČIASTKACH .....</b>                | <b>30</b> |
| 6.1 Meranie na polovodičovej dióde .....                             | 31        |
| 6.2 Meranie VA charakteristík bipolárneho tranzistora .....          | 32        |
| 6.3 Meranie na unipolárnom tranzistore .....                         | 35        |
| 6.4 Meranie na tyristore .....                                       | 39        |
| 6.5 Meranie na optoelektronických súčiastkach .....                  | 41        |
| 6.5.1 Meranie na fotorezistore .....                                 | 41        |
| 6.5.2 Meranie na fotodióde .....                                     | 42        |
| 6.5.3 Meranie na fototranzistore.....                                | 43        |
| 6.5.3 Meranie na optoelektronickom člene .....                       | 43        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>7. MERANIE ELEKTRICKÉHO VÝKONU .....</b>                  | <b>46</b> |
| 7.1 Meranie výkonu jednosmerného napätia a prúdu .....       | 46        |
| 7.1.1 Nepriama VA metóda .....                               | 47        |
| 7.1.2 Nepriama metóda meraním napätia .....                  | 48        |
| 7.1.3 Nepriama metóda meraním prúdu .....                    | 48        |
| 7.1.4 Priama metóda .....                                    | 48        |
| 7.2 Meranie výkonu striedavého prúdu a napätia .....         | 49        |
| 7.2.1 Meranie výkonu jednofázového prúdu a napätia .....     | 50        |
| <b>8. MERANIA NA TRANSFORMÁTORE .....</b>                    | <b>51</b> |
| 8.1 Rozdelenie transformátorov .....                         | 51        |
| 8.2 Základné časti transformátora .....                      | 52        |
| 8.3 Meranie na transformátore .....                          | 52        |
| 8.3.1 Meranie izolačného odporu transformátora .....         | 52        |
| 8.3.2 Meranie odporu vinutí cievok transformátora .....      | 52        |
| 8.3.3 Meranie súhlasností vinutí cievok transformátora ..... | 53        |
| 8.3.4 Meranie transformačného pomeru .....                   | 53        |
| 8.3.5 Meranie transformátora naprázdno .....                 | 54        |
| 8.3.6 Meranie transformátora nakrátko .....                  | 55        |
| 8.3.7 Meranie účinnosti transformátora .....                 | 56        |
| 8.3.8 Stanovenie náhradnej schémy transformátora .....       | 57        |

## 1. ÚVOD

Predmet Elektrotechnické meranie má v 3. ročníku významné miesto medzi odbornými predmetmi na SPŠE. Je to pokračovaním predmetu Základy elektrotechnického merania 1 a 2. Vyučovanie v 3. ročníku prebieha podľa rovnakého tematického plánu pre študijné zamerania POS, PIN, OBZ a to len formou cvičení, 2 hodiny za týždeň. Úlohou predmetu je poskytnúť študentom dostatočné informácie z oblasti teórie merania. Študenti sa oboznámia s metodikou merania a princípom činnosti analógových aj digitálnych meracích prístrojov.

Predmet EMR kladie na študentov zvýšené nároky po teoretickej aj praktickej časti. Predpokladom zvládnutia učiva sú dobré základy z iných predmetov, najmä ZEQ I a II, VYT, MAT a schopnosť spájať vedomosti a logické myslenie.

Vývoj technických prostriedkov pre meranie rýchlo napreduje, avšak staršie metódy merania nemožno z merania úplne vylúčiť, pretože v sebe skrývajú dôležité princípy.

### 1. 1 Význam a účel merania

S činnosťou človeka v ktorejkoľvek oblasti života je spojené meranie. Potrebujeme poznať množstvo, porovnávať veci, veličiny, zisťovať hodnoty, potrebujeme jednoducho merať. Na základe nameraných veličín robíme dôležité závery, zisťujeme a hodnotíme stav, výkon, korigujeme správanie, regulujeme, riadime...

**Meranie** je proces poznávania spočívajúci v porovnávaní meranej veličiny s niektorou jej hodnotou, ktorá bola prijatá za jednotku.

**Elektrické meranie** je proces, pri ktorom sa určujú veľkosti rôznych elektrických veličín (napätie, prúd, elektrický výkon, frekvencia, kapacita, indukčnosť...)

**Magnetické meranie** tiež považujeme za elektrické meranie, pretože je vždy spojené s elektrickými javmi.

**Merací prístroj** je zariadenie, ktoré slúži na porovnanie meranej veličiny s jednotkou merania.

**Elektrický merací prístroj** je zariadenie, ktoré využíva fyzikálne zákony a závislosti, na určenie elektrickej veličiny.

Význam a dôležitosť elektrických meraní zvyšuje aj tá skutočnosť, že elektricky možno merať a kontrolovať aj iné fyzikálne (neelektrické) veličiny, napr. čas, dĺžku, teplotu, tlak, silu...

### 1.2 Záonné meracie jednotky

Používame záonné meracie jednotky, ktorými sú jednotky Medzinárodnej sústavy jednotiek SI. Záonné meracie jednotky sú ustanovené **Vyhláškou č. 206** zo 16. júna 2000 **Úradu pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky o zákonných meracích jednotkách.**

Patria k nim:

**a) základné jednotky SI** – tab. 1.1

**b) odvodené jednotky SI** – získavajú sa zo základných jednotiek SI použitím rovnice, ktorou sa definuje príslušná odvodená veličina. Príklad odvodenia odvodenej jednotky:

$$[Q] = [I] \cdot [t] = A \cdot s = C \text{ (Coulomb)}$$

Väčšina odvodených jednotiek má osobitný názov (Volt, Ohm, Farad...), ale sú aj také ktoré ho nemajú (V.m-1). Každú odvodenú jednotku je možné vyjadriť pomocou súčinu mocnín základných jednotiek.

**c) násobky jednotiek SI** – vytvárajú sa násobením základných jednotiek SI mocninou s dekadickým základom. Názov násobku jednotky vznikne pridaním príslušnej predpony k názvu jednotky. Symbol násobku jednotky sa vytvorí spojením symbolu predpony a symbolu jednotky. (tab.1.2)

| Fyzikálna veličina     | Základná Jednotka | Symbol jednotky |
|------------------------|-------------------|-----------------|
| Dĺžka                  | meter             | m               |
| Hmotnosť               | kilogram          | kg              |
| Čas                    | sekunda           | s               |
| Termodynamická teplota | Kelvin            | K               |
| Elektrický prúd        | Ampér             | A               |
| Svietivosť             | kandela           | cd              |
| Látkové množstvo       | mol               | Mol             |

Taľka 1.1

Okrem termodynamickej teploty  $T$  sa používa aj teplota podľa Celzia  $t$ . Jednotkou teploty podľa Celzia je stupeň Celzia, symbol  $^{\circ}\text{C}$ . Teplota podľa Celzia  $t$  je rozdiel  $t = T - T_0$  medzi dvoma termodynamickými teplotami  $T$  a  $T_0$ , kde  $T_0 = 273,15 \text{ K}$ .

| Násobky diely  | $10^3$ | $10^6$ | $10^9$ | $10^{12}$ | $10^{-3}$ | $10^{-6}$ | $10^{-9}$ | $10^{-12}$ |
|----------------|--------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Názov predpony | kilo   | mega   | giga   | tera      | mili      | mikro     | nano      | piko       |
| Symbol prepony | k      | M      | G      | T         | m         | $\mu$     | n         | p          |

Tabuľka 1.2

## 2. ELEKTRICKÉ MERACIE PRÍSTROJE

### 2.1 Základné pojmy

**Merací rozsah** je to súhrn najvyššej a najnižšej hodnoty meranej veličiny, ktorú môžeme meracím prístrojom odmerať.

**Možnosti zmeny rozsahu :**

- Zmena polohy otočného prepínača
- Zasunutie kľíčky do príslušnej zdierky
- Zasunutie vodiča do príslušnej svorky
- Opakovaným stláčaním tlačidla na prístroji
- Automatická zmena rozsahu podľa veľkosti meranej veličiny

**Konštanta** meracieho prístroja je počet jednotiek meranej veličiny, ktoré pripadnú na jeden dielik stupnice meracieho prístroja.

$$K = \frac{\text{merací rozsah}}{\text{počet dielikov celej stupnice}} \quad (\text{fyzikálna jednotka/dielik})$$

Nameranú hodnotu potom vypočítame:

$$NH = a \cdot K \quad (\text{fyzikálna jednotka})$$

**Citlivosť** meracieho prístroja znamená reagovanie MP na čo najmenšiu zmenu elektrickej veličiny. Môžeme ju vyjadriť:

$$C = \frac{1}{K} \quad (\text{dielik/fyzikálna jednotka})$$

**Presnosť** elektromechanických meracích prístrojov je určená **triedou presnosti TP**, ktorá je súčasťou značiek na číselníku meracieho prístroja. **TP** udáva maximálnu absolútnu chybu  $\Delta X_{max}$  meracieho prístroja vyjadrenú v % meracieho rozsahu. Vypočíta sa podľa vzťahu:

$$TP = \frac{X_{max}}{MR} \cdot 100 (\%)$$

Je to číslo z predpísaného radu a môže mať hodnoty :

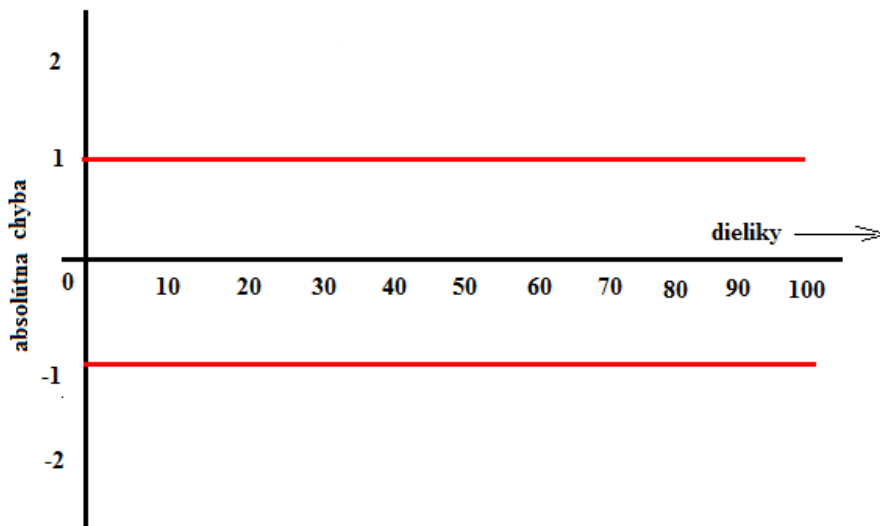
- 0,1% – mimoriadne presné
- 0,2% – veľmi presné
- 0,5% – presné
- 1% – montážne a laboratórne
- 1,5% – presné prenosné
- 2,5 % – rozvádzačové
- 5% – pomocné a iné menej presné

Ak má merací prístroj merať vo svojej **TP**, musí byť splnená podmienka:  $\Delta X \leq \Delta X_{max}$ .

Prístroj meria s chybou  $\pm \Delta X_{max}$ , potom skutočná hodnota meranej veličiny je

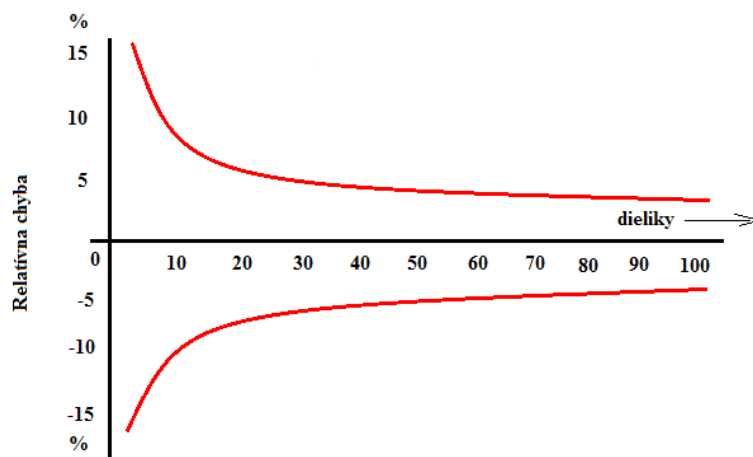
$X_S = X_N \pm \Delta X_{max}$ , kde  $X_N$  je nameraná hodnota.

Maximálnu absolútnu chybu  $\Delta X_{max}$ , s ktorou meria prístroj s **TP** považujeme za konštantnú v celom meracom rozsahu, nezávisí teda od nameranej hodnoty, resp. od výchylky.



Obr.2.1

**Relatívna chyba** – v každom bode stupnice je merací prístroj tým presnejší, čím je väčšia výchylka ručičky. Z tohto dôvodu je výhodné voliť taký rozsah, aby výchylka bola na konci stupnice.



$$\delta = \frac{\Delta X_{max}}{X_N} \cdot 100 (\%)$$

Obr. 2.2

**Preťažiteľnosť** odolnosť voči preťaženiu prúdu alebo napätia, ktorý merací prístroj vydrží za určitý krátky čas a pritom sa nepoškodí (nezmení triedu presnosti). Obyčajne výrobca zabezpečuje 20% z rozsahu krátkodobo.

Časti meracieho prístroja, ktoré môžu byť poškodené preťažením:

- mechanické – ohnutie ručičky, poškodenie direktívnej pružiny
- elektrické – poškodenie vodičov, diód

**Základné odporúčenia proti preťaženiu meracieho prístroja:**

- ak dopredu nepoznáme veľkosť meranej veličiny, dáme rozsah na maximálnu hodnotu,
- správne zapojíme polaritu jednosmerného zdroja,
- znížime napätie zdroja na minimum,
- správne zvolíme meraciu metódu a meracie prístroje,
- krátkodobo priložíme prípojný vodič k zdierke meracieho prístroja.

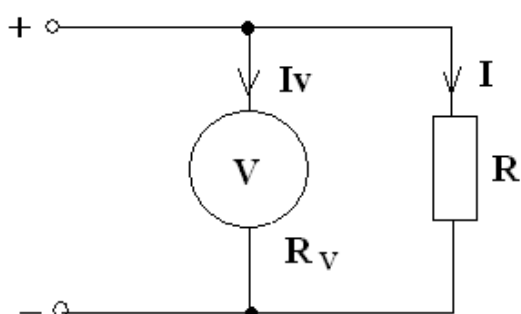
**Elektrická pevnosť** sa skúša skúšobným napätím. Týmto napätím sa skúša elektrická pevnosť izolácie elektrických prístrojov.

**Vlastná spotreba** meracieho prístroja je príkon, ktorý prístroj spotrebuje pri dosiahnutí plnej výchylky. Príkon prístroja môže mať za následok spôsobenie chyby pri meraní, pretože merací prístroj zaťažuje meraný objekt ako záťaž s určitým odporom. Z tohto dôvodu je potrebné v niektorých meraniach, kde sa prepočítava korekcia na spotrebu meracieho prístroja, poznať vnútorné odpory základných meracích prístrojov.

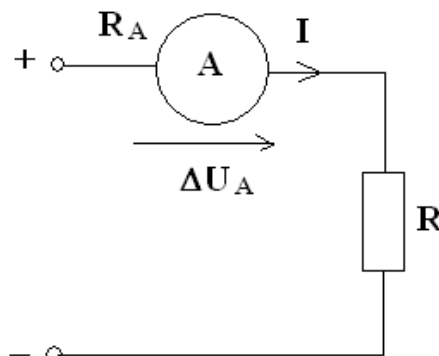
a) vlastná spotreba **voltmetra** (Obr.2.3) – obyčajne sa udáva  $R_{iV}$  na  $1V$  ( $R_{iV}/V$ ), takže vnútorný odpor sa zvyšuje so zväčšovaním rozsahu. Konkrétnu hodnotu vnútorného odporu musíme prepočítať na meraný rozsah, takže  $R_V = R_{iV} \cdot MR$ . Potom pre príkon platí:

$$P_V = \frac{U^2}{R_V} (W)$$

b) vlastná spotreba **ampérmetra** (Obr.2.4)  $\Delta U_A = R_A \cdot MR$  (V)  $P_A = I^2 \cdot R_A$  (W) Zo vzťahu vyplýva, že spotreba ampérmetra bude tým menšia, čím menší bude jeho **vnútorný odpor**. V ideálnom prípade by mal mať ampérmeter  $R_A = 0$  ( $\Omega$ ). Aby sme mohli vypočítať spotrebu ampérmetra pri ľubovoľnom prúde, potrebujeme poznať vnútorný odpor ampérmetra. Tento odpor môže byť daný výrobcom priamo alebo môže byť daný nepriamo, ako úbytok napätia na ampérmetri pri menovitom prúde.



Obr.2.3



Obr.2.4

U bežných ampérmetrov však výrobcovia udávajú vnútorný odpor zriedkavo, častejšie je daný pri presných laboratórnych ampérmetroch.

**Zapojenie meracích prístrojov** – voltmeter paralelne k obvodu s čo najväčším vnútorným odporom a ampérmeter do série s čo najmenším vnútorným odporom.

## 2.2 Chyby a presnosť merania

Žiadnym meracím prístrojom a meracou metódou nie je možné určiť úplne presne skutočnú hodnotu meranej veličiny. Môžeme sa k tejto hodnote iba priblížiť, hovoríme o **neistote pri meraní** - interval okolo nameranej hodnoty, v ktorom sa nachádza skutočná hodnota s istou pravdepodobnosťou ( 60 - 70 %).

Rozdelenie chýb:

### 1. Podľa spôsobu výskytu:

- a) **Systematické (sústavné) chyby** – sú to také chyby, ktoré pri opakovaní toho istého majú stále rovnakú veľkosť, často ich veľkosť a príčinu vzniku poznáme, vieme ich korigovať, napr. chyby spôsobené vlastnou spotrebou prístrojov.
- b) **Náhodné chyby** – vyskytujú sa s neznámou zákonitosťou, pri opakovanom meraní majú rôznu veľkosť, nepoznáme príčinu ich vzniku.

### 2. Podľa príčiny vzniku

- a) **Chyby meracej metódy** – Presnosť merania závisí aj od zvoleného spôsobu merania, je potrebné zvoliť metódu podľa toho, s akou presnosťou chceme merať, napr. ak postačuje menšia presnosť môžeme použiť jednoduchšiu a rýchlejšiu metódu. Chyba metódy vzniká tým, že sa neuvažuje so všetkými vplyvmi, tieto sa kvôli zjednodušeniu zanedbávajú. Okrem toho voľba meracej metódy závisí aj od veľkosti meranej veličiny.
- b) **Chyby meracích prístrojov** – pozri Triedu presnosti
- c) **Osobné chyby** – napr. presnosť odčítania výchylky z analógového prístroja, zaokrúhľovanie hodnôt, nesprávna interpretácia výsledkov napr. pri znázornení grafických závislostí a pod.
- d) **Chyby spôsobené rušivými vplyvmi** – pri meraní môžu na meracie prístroje pôsobiť rôzne vplyvy a ovplyvňovať ich údaje. K týmto vplyvom patria:
  - **mechanické vplyvy** – trenie v ložiskách, pracovná poloha, vibrácie
  - **teplota** - každý prístroj má pracovať v dovolenom rozsahu teplôt, pretože zmenou teploty sa mení napr. rezistencia, rozmery a pod.
  - **vonkajšie elektromagnetické pole** – vyvoláva sily a momenty, ktoré spôsobujú zmenou údajov, pôsobí na prístroje, ktoré majú slabé vlastné pole, magnetické tienenie
  - **frekvencia** – každý prístroj je určený pre meranie v určitom intervale frekvencií, v ktorom je zaručená jeho TP, frekvencia ovplyvňuje napr. reaktanciu, u niektorých prístrojoch od frekvencie priamo závisí moment systému.
  - **časový priebeh meranej veličiny**

### Vzťahy pre výpočet chýb merania

a) **absolútna chyba** – všeobecne symbol  $\Delta X$ , pri konkrétnom meraní použijeme **symbol meranej veličiny** ( $\Delta U$ ,  $\Delta I$ ,  $\Delta P$  a pod.) a **jednotku meranej veličiny** (V, A, W, a pod.). Udáva rozdiel medzi nameranou hodnotou  $X_N$  a skutočnou hodnotou  $X_S$  veličiny. Vypočíta sa podľa vzťahu:

$$\Delta X = X_N - X_S \text{ (jednotka; jednotka, jednotka)}$$

Absolútna chyba (aj relatívna) teda môže byť kladná, záporná alebo nulová.

b) **relatívna chyba** – symbol  $\delta$ , udáva sa v **percentách (%)**. Vypočíta sa podľa vzťahu:

$\Delta$

$$\delta = \frac{\Delta X}{X_S} \cdot 100 \%$$

### Poznámka

Pri praktických meraniach sa výsledok merania (údaj odčítaný z prístroja alebo hodnota vypočítaná na základe údajov niekoľkých prístrojov) nemôže rovnať skutočnej hodnote, pretože je zaťažený rôznymi chybami. V praxi sa za skutočnú hodnotu meranej veličiny považuje **hodnota získaná veľmi presným meracím prístrojom – etalónom**. Niekedy za skutočnú hodnotu meranej



veličiny považujeme menovitú hodnotu veličiny, ktorá je uvedená na meranom zariadení. Za účelom zvýšenia presnosti merania a vylúčenia vplyvu náhodných chýb veľmi **často opakujeme meranie niekoľkokrát za rovnakých podmienok** (alebo meriame veličinu pri viacerých hodnotách nezávisle premennej veličiny). Za nameranú hodnotu potom považujeme **aritmetickú strednú hodnotu  $X_s$**  (aritmetický priemer) nameraných hodnôt, ktorý sa vypočíta podľa vzťahu:

$$X_s = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

Vychádza sa pritom Gaussovho zákona rozloženia náhodných chýb. Keďže tieto chyby sú kladné aj záporné, čím väčší je počet meraní, tým menšia je chyba a teda aritmetická stredná hodnota sa viac približuje k skutočnej hodnote.

## 2.3 Regulácia napätia a prúdu

### 2.3.1 Regulačný rezistor

Pri meraniach elektrických veličín potrebujeme často meniť veľkosti napätí a prúdov. Napätie a prúd v obvode je možné regulovať **regulačným rezistorom**. Základné časti:

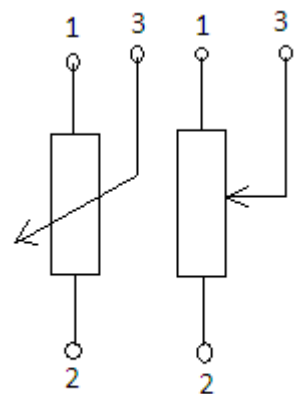
- keramický valec
- pevné (nepohyblivé) svorky **1, 2**
- bežec – pohyblivá svorka **3**

Regulovať je možné jednosmerné aj striedavé veličiny. Regulačné rezistory môžu byť vyhotovené ako:

- a) posuvné
- b) otočné

**Hlavné parametre regulačného rezistora, ktoré sú dané na štítku**

- 1. menovitý prúd  $I_N$**  – maximálny prúd
- 2. menovitý odpor  $R_N$**  – je rovný odporu  $R_{12}$  medzi svorkami **1** a **2** (približne, pretože rezistor je vyrobený s určitou toleranciou)
- 3. menovité napätie  $U_N$**  – maximálne napätie



Schematická značka

### 2.3.2 Regulácia prúdu

Regulačný rezistor je zapojený ako **reostat**. Pre zapojenie reostatu do obvodu sa môže použiť jedna z pevných svoriek (**1** alebo **2**) a musí sa použiť bežec, teda svorka **3**. Okrem reostatu býva často s ním v obvode zapojený do série ešte iný rezistor napr. spotrebič (nemusí).

#### Poznámka

Pri meraniach so zapojeným reostatom je dôležité pred pripojením obvodu na napájanie skontrolovať polohu bežca, aby nedošlo ku skratu a následnému poškodeniu prístrojov, spotrebičov a iných zariadení v obvode.

### 2.3.3 Regulácia napätia

Na reguláciu napätia v obvode sa používa regulačný odpor zapojený ako **potenciometer**. Medzi svorky **1** a **2** pripojíme vstupné napätie  $U_1$  a regulované napätie  $U_2$  odoberáme najčastejšie zo svoriek **2** a **3**.

#### Výber vhodného potenciometra

Po pripojení potenciometra s menovitým odporom  $R_N$  na zdroj s napätím  $U$ , tečie potenciometrom prúd  $I$ . Aby tento prúd nebol väčší ako menovitý prúd  $I_N$  potenciometra, musí byť splnená podmienka:  $U_1 \leq R_N \cdot I_N$ .

## 2.4 Klasifikácia meracích prístrojov

Meracie prístroje sa dajú deliť do skupín podľa množstva kritérií. Medzi základné patria triedenia podľa:

- a) určenia (pracovné meradlá a etalóny)
- b) formy indikácie údaju (ukazovacie a zapisovacie)
- c) charakteru indikovaného údaju (analogové a číslicové)
- d) styku s meraným prostredím (dotykové a bezdotykové)
- e) druhu meranej veličiny

**Meracie prístroje sa delia podľa charakteru indikovaného údaju na**

- a) **analogové** – meracie prístroje, ktorých údaje sú spojitou funkciou meranej veličiny,
- b) **číslícové** (digitálne) – meracie prístroje, ktoré poskytujú údaje v číslicovej forme.

### 2.4.1 Požiadavky na meracie prístroje

Na meracie prístroje kladieme rôzne požiadavky, niektoré z nich môžu byť protichodné.

- vysoká presnosť
- veľká citlivosť
- malá spotreba
- jednoduchá manipulácia
- veľká preťažiteľnosť
- mechanická pevnosť
- odolnosť proti rušivým vplyvom
- nízka cena

### 2.4.2 Hľadiská pre voľbu vhodného meracieho prístroja

To, aký prístroj pri meraní použijeme alebo ak je univerzálny, ako ho nastavíme, závisí od týchto hľadísk:

1. **druh meranej veličiny** – na meranie určitej veličiny musíme použiť prístroj, ktorý je na to určený napr. napätie – voltmeter, prúd – ampérmeter, odpor – ohmmeter, výkon – wattmeter, frekvencia – frekventomer, ...
2. **druh prúdu** – jednosmerný (**DC – direct current**), striedavý (**AC – alternating current**), pri striedavom je dôležitá aj frekvencia (nf, vf)
3. **veľkosť meranej veličiny** – merací rozsah prístroja
4. **presnosť merania** – trieda presnosti prístroja

### 2.4.3 Elektromechanické meracie prístroje

Elektromechanické meracie prístroje sú **analogové**, ktoré prevádzajú meranú veličinu na údaj ukazovateľa. Výchylka je úmerná meranej veličine a jej zmena je časovo **spojitá**.

Časti prístroja:

#### 1. Merací systém

Má pevnú a pohyblivú časť, ktorá najčastejšie vykonáva otočný pohyb. Využíva sa silové pôsobenie elektrických veličín, meraná veličina vytvorí **moment systému**, ktorý otáča pohyblivou časťou, na ktorej je upevnená ručička. Moment systému  $M_s$  závisí vždy od meranej veličiny. ale pre rôzne meracie systémy sa vypočíta inak. Proti momentu systému pôsobí **direktívny** (riadiaci) **moment**  $M_D$ , ktorý vytvárajú **direktívne pružiny**. Často slúžia aj na privod prúdu do otočnej časti. Ak sa obidva momenty rovnajú  $M_s = M_D$ , ručička ukazuje výchylku, ktorá je úmerná veľkosti meranej veličiny. Ak je meraná veličina nulová, direktívne pružiny zabezpečujú nulovú polohu ručičky. Direktívny moment závisí priamoúmerne od výchylky podľa vzťahu:

$$M_D = K_D \cdot \alpha$$

Podľa princípu, na ktorom je založený merací systém rozlišujeme meracie prístroje s rôznymi meracími systémami:

- magnetoelektrický

- elektrodynamický
- ferodynamický
- feromagnetický
- indukčný
- elektrostatický
- vibračný

## 2. Zobrazovacie (indikačné) zariadenie

Je to zariadenie na odčítanie hodnoty meranej veličiny. Umožňuje určiť veľkosť meranej veličiny. Má dve časti:

**a) ukazovateľ** – indikuje polohu pohyblivej časti meracieho systému, najčastejšie to je ručička, môže byť aj svetelná stopa

**b) číselník** – usporiadaný súbor značiek spolu s priradeným číslovaním, ktorý tvorí časť zobrazovacieho zariadenia prístroja, je na ňom zobrazená **stupnica**

**Stupnica** na číselníku meracieho prístroja: na nej odčítame hodnotu meranej veličiny na základe výchylky, ktorú nám ukáže ručička. Stupnica môže byť:

**a) lineárna** (obr. 2. 10) – má rovnako vzdialené dieliky a každý dielik zodpovedá rovnakej veľkosti meranej veličiny. Napr. jeden dielik zodpovedá piatim jednotkám meranej veličiny.

**b) nelineárna** (obr. 2. 11) – napríklad môže byť kvadratická. Každý dielik predstavuje inú hodnotu veličiny.

Rozsah stupnice – je to celá dĺžka stupnice daná okrajovými hodnotami stupnice (niekedy je totožná s rozsahom prístroja).

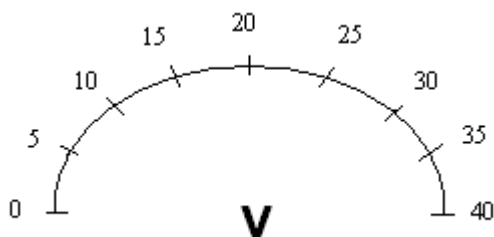
Podľa toho, ako je na stupnici vyznačená nula, rozlišujeme:

**a) s nulou na začiatku stupnice** (obr. 2.10 alebo obr. 2. 11) – potom rozsah stupnice sa rovná rozsahu prístroja.

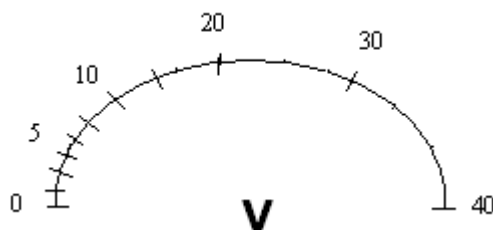
**b) s potlačenou nulou** (obr. 2.12) – začína hodnotou väčšou ako nula.

**c) predĺženou stupnicou** (obr. 2. 13) – koniec stupnice je doplnený ďalšími dielikmi. Chráni prístroj pred nebezpečným preťažením, pričom merací rozsah je vyznačený bodkami.

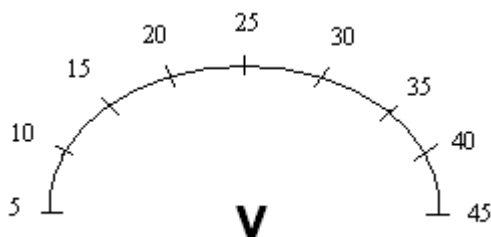
**d) s nulou v strede stupnice** (obr. 2. 14) – používa sa napr. pri galvanometroch, ak potrebujeme vyvážiť základnú elektrickú veličinu.



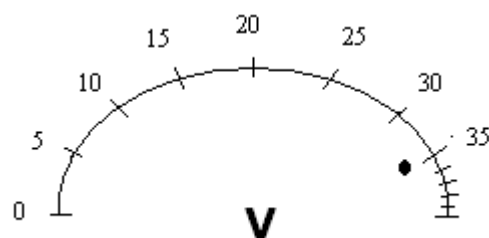
Obr.2.10



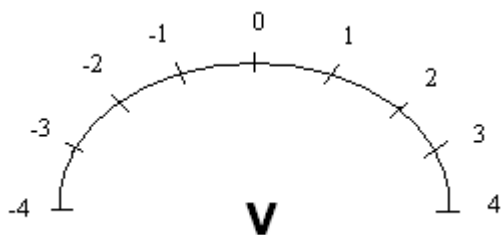
Obr.2.11



Obr.2.12



Obr.2.13



Obr.2.14

Značky na číselníku, ktoré udávajú:

- druh prístroja napr. **A, V, W,  $\Omega$ , Hz ...**
- vnútorný odpor prístroja napr. **5000  $\Omega$ /V, 60V - 2000 $\Omega$**
- merací systém (značky sú uvedené nižšie pri názve systému)
- pracovná poloha napr. zvislá, vodorovná, šikmá
- trieda presnosti a druh prúdu napr. **1, 0,5, 0,2,**
- skúšobné napätie napr. **2kV**

Presnosť merania elektromechanickými meracími prístrojmi ovplyvňujú vonkajšie rušivé vplyvy medzi ktoré patria: mechanické vplyvy, teplota, cudzie magnetické polia, frekvencia, časový priebeh meranej veličiny a pod.

#### 2.4.4 Zisťovanie hodnoty meranej veličiny analógovým prístrojom

- počkáme, kým sa ručička ustáli
- odčítame výchylku (pozeráme sa kolmo) v dielikoch vrátane ich zlomkov
- vynásobíme výchylku konštantou

Výchylku ukazovateľa analógového meracieho prístroja je možné odčítať s presnosťou maximálne asi 0,1 %.

### 2.5 Normály elektrických veličín

**Normály (inak etalóny)** sú to **presné meradlá určené na realizáciu**, uchovanie alebo reprodukciu určitej **jednotky fyzikálnej veličiny**. Sú to modely zariadení, ktoré nahrádzajú jednotku príslušnej veličiny s najvyššou dosiahnuteľnou presnosťou.

V elektrotechnickom laboratóriu majú význam najmä **normály elektrického napätia, odporu, indukčnosti a kapacity**.

**Použitie normálov:**

- pri rôznych metódach merania (napr. meranie porovnávaním napätí, porovnávaním prúdov, troma voltmetrami a troma ampérmetrami, ...). Pri týchto metódach sa využíva presne známa hodnota jednej veličiny na nepriame zistenie hodnoty inej veličiny (napr. ak presne poznáme odpor normálu a odmeriame na ňom napätie, vieme presne nepriamo zistiť veľkosť prúdu).
- pri kontrole triedy presnosti meracích prístrojov (ak prístrojom odmeriame hodnotu, akú má normál, vieme že prístroj meria presne alebo vieme s akou chybou meria)
- ako objekty merania (pri meraní je výhodné poznať vopred hodnotu veličiny, ktorá má byť nameraná, na základe jej poznania vieme napr. stanoviť meracie rozsahy prístrojov)

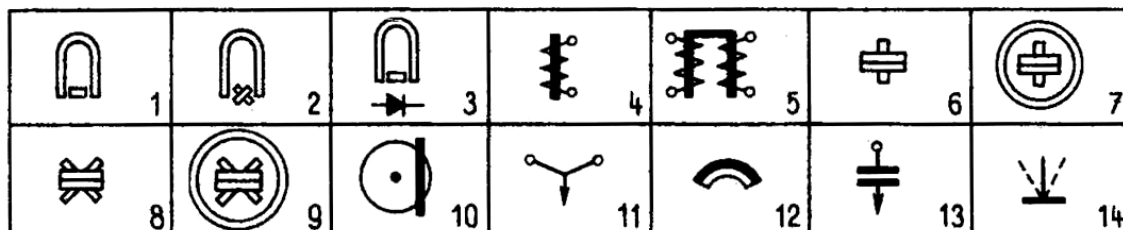
Aj normály sa vyznačujú určitou triedou presnosti.

**Rozdelenie normálov podľa vyhotovenia:**

- pevné**
- premenlivé**

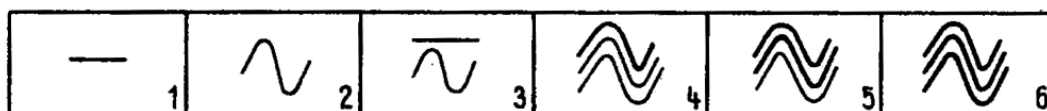
**2.5.1 Značky a symboly** – Nachádzajú sa na číselníku prístroja, ktorý je biela rovinná plocha pod sklom.

### Značky meracieho mechanizmu



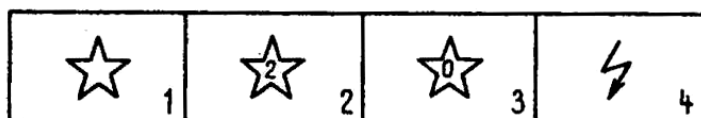
1 — magnetoelektrický prístroj, 2 — pomerový magnetoelektrický prístroj, 3 — magnetoelektrický prístroj s vstavným usmerňovačom, 4 — feromagnetický prístroj, 5 — pomerový prístroj feromagnetický, 6 — elektrodynamický prístroj, 7 — ferodynamický prístroj, 8 — pomerový elektrodynamický prístroj, 9 — pomerový ferodynamický prístroj, 10 — indukčný prístroj, 11 — tepelný prístroj s drôtom, 12 — tepelný prístroj s dvojkovom, 13 — elektrostatický prístroj, 14 — vibračný (rezonančný) prístroj

### Značky druhov prúdov a počtov meracích mechanizmov



1 — jednosmerný prúd, 2 — striedavý prúd, 3 — jednosmerný a striedavý prúd, 4 — trojfázový prístroj s jedným meracím mechanizmom, 5 — trojfázový prístroj s dvomi meracími mechanizmami, 6 — trojfázový prístroj s tromi meracími mechanizmami

### Značky skúšky elektrickej pevnosti



1 — skúšobné napätie 500 V, 2 — skúšobné napätie 2 kV, 3 — pri prístroji sa nerobila skúška elektrickej pevnosti, 4 — elektrická pevnosť prístroja nezodpovedá predpisom

### Značky polohy číselníka

|  |  |
|--|--|
|  | Číselník má byť vo zvislej polohe            |
|  | Číselník má byť vo vodorovnej polohe         |
|  | Sklon číselníka 60° oproti vodorovnej rovine |

### Značky tried presnosti

|     |  |
|-----|--|
| 1,5 | Trieda presnosti vyjadrená z najväčšej hodnoty meracieho rozsahu |
|     | Trieda presnosti vyjadrená z dĺžky stupnice                      |
|     | Trieda presnosti vyjadrená zo skutočnej hodnoty                  |

### Kontrolné otázky k elektromechanickým meracím prístrojom:

1. Čo znamená, že elektromechanické meracie prístroje sú analógové prístroje?
2. Vymenujte hlavné časti elektromechanických meracích prístrojov.
3. Vymenujte časti meracieho systému.
4. Vysvetlite pojmy „moment systému“ a „direktívny moment“.
5. Na čo slúžia direktívne pružiny?
6. Vymenujte názvy aspoň troch rôznych meracích systémov.
7. Vymenujte aspoň tri vonkajšie vplyvy, ktoré ovplyvňujú presnosť elektromechanických meracích prístrojov.
8. Čo udávajú značky na číselníku meracieho prístroja?

## 3. MERANIE ELEKTRICKÉHO ODPORU

Elektrický odpor je jedna zo základných vlastností elektrických obvodov. Z hľadiska veľkosti odporu môžeme elektrické odpory rozdeliť na:

- malé do  $1\ \Omega$ ,
- stredné od  $1$  do  $1\text{M}\Omega$ ,
- veľké nad  $1\text{M}\Omega$ .

Pokiaľ chceme meraním určiť len elektrický odpor obvodu, musíme pre napájanie použiť jednosmerný zdroj. Pri použití striedavého zdroja sa prejavajú aj ďalšie vlastnosti obvodu, ako indukčnosť, kapacita, zvod a pod.

Pre odpory všetkých veľkostí je charakteristická ich závislosť na teplote. Odpory meriame najčastejšie pri tzv. laboratórnych podmienkach, t. j. pri teplote  $20^\circ\text{C}$ . Ak chceme vedieť hodnotu odporu pri inej teplote, musíme ju prepočítať podľa vzťahu:

$$R_x = R_{20}[1 - \alpha(v_x - v_{20})]$$

kde:

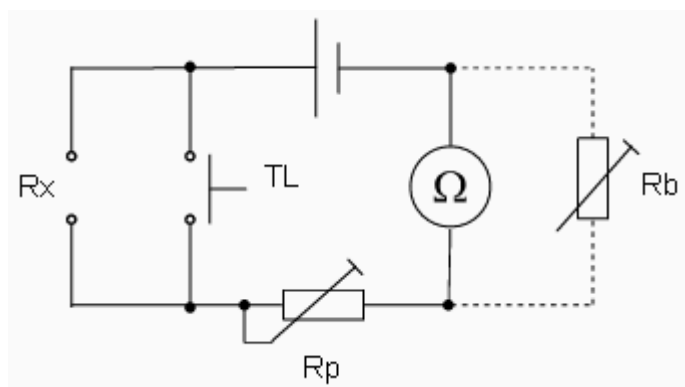
- $\alpha$  je teplotný súčiniteľ odporu [ $1/^\circ\text{C}$ ], udaný pre jednotlivé materiály v tabuľkách;
- $v$  je teplota v  $^\circ\text{C}$ .

### 3.1 Meracie metódy

Pre meranie elektrického odporu sa používa veľké množstvo meracích metód.

#### 3.1.1 Meranie odporu priamymi metódami

##### *Ohmmeter s magnetoelektrickým voltmetrom*



Výchylka závisí na veľkosti  $R_x$ . Hodnote  $R_x = \infty$  (meracie svorky rozpojené) zodpovedá mechanická nula. Hodnote  $R_x = 0$  (meracie svorky skratované) zodpovedá elektrická nula. Výchylka prístroja závisí tiež na napätí zdroja, preto má merací prístroj tiež elektrický bočník  $R_b$ , ktorým sa pred každým meraním nastavuje elektrická nula. Merací prístroj je voltmeter ciachovaný v Ohmoch.

#### Číslicový ohmmeter (multimeter)

Väčšina číslicových ohmmetrov pracuje na princípe merania odporu Ohmovou metódou s tým, že :

- pri meraní veľkých odporov je zdroj a voltmeter nahradený zdrojom definovaného napätia,
- pri meraní stredných a malých odporov je zdroj a ampérmeter nahradený zdrojom definovaného prúdu.

Samotné meranie je potom založené na princípoch činnosti číslicových meracích prístrojov.

### 3.2.2 Meranie odporu nepriamou absolútnou metódou

#### Ohmová metóda – VA metóda

Ohmová metóda má široký rozsah použitia. Je ňou možné merať odpory všetkých veľkostí v rozsahu  $10^{-3} - 10^9 \Omega$ . Ohmová metóda sa používa pri meraní impedancií v testeroch, v moderných RLC meračoch a pri meraní odporov počítačom (PC).

Ohmová metóda merania elektrického odporu je klasický spôsob merania, pri ktorom meriame prúd a napätie na neznámom odpore a jeho veľkosť sa vypočíta z Ohmovho zákona podľa vzťahu:

$$R = \frac{U}{I}$$

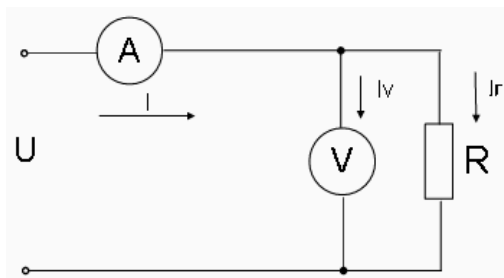
K meranému prvku je nutné súčasne pripojiť voltmeter aj ampérmeter, čo môže spôsobiť určité problémy, pretože tieto prístroje sa môžu nepriaznivo ovplyvňovať. Pre rôzne hodnoty odporov sa používajú rôzne zapojenia. V zásade sú možné dva spôsoby pripojenia. Pre každú konkrétnu situáciu je nutné zvoliť najvhodnejšiu metódu, aby chyba merania bola čo najmenšia (rozhoduje tzv. kritická hodnota meraného odporu).

#### Pomôcka :

Tzv. kritická hodnota odporu je taká hodnota, kedy obe ďalej popísané metódy vnášajú rovnakú metodickú chybu:  $\delta_{AV} = \delta_{VA}$ , tj.  $\frac{R_x}{R_v} = \frac{R_A}{R_x} \rightarrow R_{KRIT} = \sqrt{R_A \cdot R_v}$ . „Väčší“ resp. „menší“ odpor je potom odpor o hodnote väčšej resp. menšej než je kritická hodnota.

#### Zapojenie pre meranie malých a stredných odporov.

Je to metóda označovaná AV (ampérmeter „pred“ voltmetrom) - bezchybné meranie napätia, chybu vnáša voltmeter (jeho vnútorný odpor). Meriame vlastne paralelnú kombináciu  $R_x \parallel R_v$ .



Pre veľkosť meraného odporu  $R$  platí rovnica  $R = \frac{U}{I}$ .

Voltmeter v tomto zapojení meria priamo napätie na záťaži  $U$ . Ampérmeter však nemeria len prúd záťaže  $I_R$ , ale prúd  $I$ , ktorý je súčtom prúdu záťaže a prúdu voltmetra:  $I = I_R + I_v$ .

Po dosadení za prúd  $I$  dostávame:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U}{I - I_v} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_v}}$$

Metóda je vhodná pre malé a stredné odpory, oveľa menšie ako je odpor voltmetra. Meriame s istou chybou (ampérmeter meria aj prúd prechádzajúci voltmetrom). Aby chyba nebola väčšia než 1%, musí byť  $R_v$  100x väčší než  $R_x$ . Keď je potrebné, prevedieme opravu

$$R_x = \frac{U}{I - I_v}, \text{ kde } I_v = \frac{U}{R_v}$$

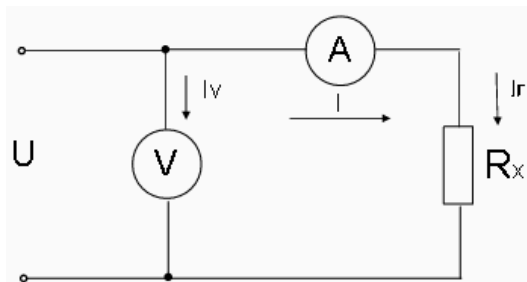
( $R_v$  je vnútorný odpor voltmetra, ktorý je udaný na stupnici prístroja. Tento údaj je potrebné prepočítať podľa nastaveného napäťového rozsahu.)

Keď neuvažujeme prúd prechádzajúci voltmetrom, je výsledok merania zaťažený chybou metódy, ktorá je tým menšia, čím je menší meraný odpor vzhľadom k odporu voltmetra. Preto je toto zapojenie vhodné pre meranie „menších“ odporov (tj.  $R_x \ll R_v$ ).

#### Zapojenie pre meranie stredných a veľkých odporov.



Je to metóda označovaná VA (voltmeter „pred“ ampérmetrom) - bezchybné meranie prúdu, chybu vnáša ampérmetr (jeho vnútorný odpor). Meriame vlastne sériovou kombináciu  $R_X + R_A$ .



Pre veľkosť meraného odporu opäť platí rovnica  $R = \frac{U}{I}$ . Ampérmetr v tomto zapojení meria priamo prúd meraného odporu I. Voltmeter však meria súčet úbytkov napätí na ampérmetri  $U_A$  a na meranom odpore  $U_X$ ,  $U = U_X + U_A$ . Úbytok napätia na ampérmetri sa určí  $U_A = R_A \cdot I_X$ , kde  $R_A$  je vnútorný odpor ampérmetra pre zvolený rozsah.

Meriame s chybou, voltmeter meria aj úbytok napätia na ampérmetri. Keď bude  $R_X$  100-krát väčší než  $R_A$ , bude chyba do 1%. Keď je potrebné, prevedieme opravu

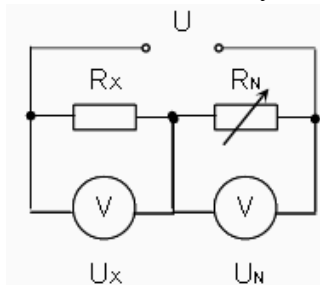
$$R_X = \frac{U - U_A}{I}.$$

Keď neuvažujeme vnútorný odpor ampérmetra, je výsledok zaťažený chybou metódy, ktorej absolútna hodnota je  $\Delta_m = +R_A$ . Z hľadiska malej chyby metódy je zapojenie vhodné pre meranie „väčších“ odporov (tj.  $R_X \gg R_A$ ).

### 3.1.3 Meranie odporu porovnávacou metódou

#### Nepriama porovnávací metóda

##### Meranie veľmi malých a malých odporov



Na meranie veľmi malých a malých odporov sa používa **porovnávací metóda porovnaním napätí**. Pri tejto metóde sa porovnáva neznámy odpor  $R_X$  s odporom známej veľkosti  $R_N$  (spravidla odporovým normálom).

Obidva odpory sú zapojené do série. Podmienkou je, aby počas merania odpormi pretekal konštantný prúd (pre jeho kontrolu môžeme zaradiť do obvodu ampérmetr). Odporový normál volíme tak, aby jeho hodnota

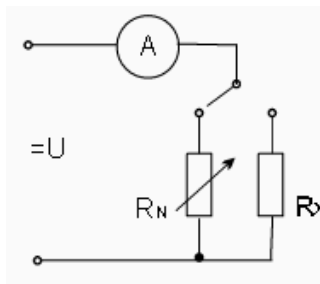
bola porovnateľná s hodnotou neznámeho odporu. V tom prípade meriame úbytky napätí na rovnakom napäťovom rozsahu.

Pretože obidvoma odpormi preteká rovnaký prúd, môžeme písať rovnicu:

$$\frac{R_X}{R_N} = \frac{U_X}{U_N} \Rightarrow R_X = R_N \frac{U_X}{U_N}$$

Porovnávací metóda je veľmi presná metóda. Presnosť merania závisí od presnosti odporového normálu a presnosti meracieho prístroja.

##### Meranie veľkých odporov



Na meranie veľkých odporov sa používa **porovnávací metóda porovnaním prúdov**. Podmienkou je, aby počas merania sa napätie zdroja nemenilo.

$$\frac{R_X}{R_N} = \frac{I_N}{I_X} \Rightarrow R_X = R_N \frac{I_N}{I_X}$$

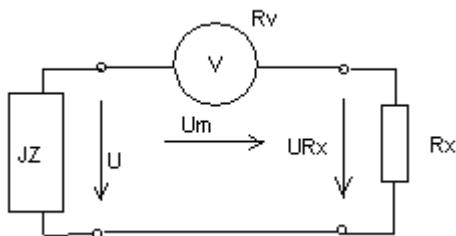
Pri použití odporovej dekády môžeme merať ako veľké tak aj malé odpory. Táto varianta porovnávací metódy sa nazýva substitučná.



V súčasnej dobe sa používa hlavne porovnávacia metóda v sériovom zapojení rezistorov a to pre presné meranie malých odporov. Pre malé hodnoty odporu nie je možné použiť bežné číslicové multimetre (ich rozsah je rádovo stovky  $\Omega$ ).

### Priama porovnávacia metóda

#### Voltmetrová metóda



Pri tejto metóde zapojíme voltmetr so známym vnútorným odporom do série so zdrojom a neznámym odporom. Napätie  $U$  zdroja sa rozdelí na jednotlivých odporoch úmerne ich veľkosti. Z hodnôt nameraných voltmetrom na svorkách zdroja a v sériovom zapojení sa veľkosť neznámeho odporu vypočíta zo vzťahu :

$$R_x = R_v \left( \frac{U}{U_m} - 1 \right).$$

Vhodné je voliť  $U = \text{MRP}$ , potom pre pomer neznámeho odporu a odporu voltmetra bude výchylka ručičky :

$R_x = \infty$  - nulová výchylka

$R_x > R_v$  - v dolnej polovici stupnice

$R_x = R_v$  - v polovici stupnice

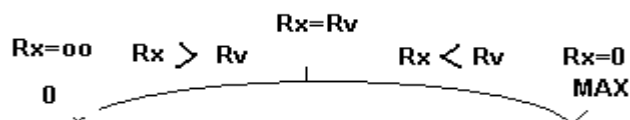
$R_x < R_v$  - v hornej polovici stupnice

$R_x = 0$  - maximálna výchylka.

Rozsah použitia metódy je ovplyvnený

vnútorným odporom voltmetra (ideálne

$R_x$  ). Využitie metódy nachádzame v meračoch (dohliadačoch) izolačného stavu elektrických zariadení.



ak  $R_v =$

### 3.1.4 Meranie odporu jednosmerným mostíkom

Využívajú **nulové metódy**, čo znamená, že merací prístroj (MP) potrebujú iba ako indikátor rovnovážneho stavu. **Rovnovážny stav** je podmienený splnením určitých prúdových a napäťových pomerov v danom zapojení.

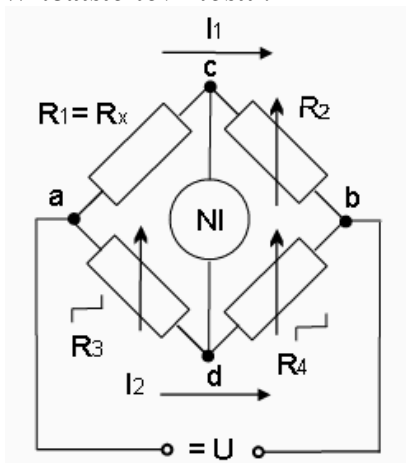
Vplyv presnosti MP na presnosť výsledku je vylúčený. Presnosť merania je ovplyvnená najmä citlivosťou MP použitého ako indikátora, časovou stálosťou jeho nulovej polohy, presnosťou použitých súčiastok v zapojení a veľkosťou prúdu v obvode.

Rozdelenie mostíkov:

1. J jednosmerné
2. Striedavé

**Jednosmerné mostíky** – môžu merať iba odpor

#### Wheatstonov mostík



Zmenou  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ , dosiahneme vyvážený mostík – nulový indikátor (NI) ukazuje nulu, používa sa galvanometer.

Pre tento stav platí:

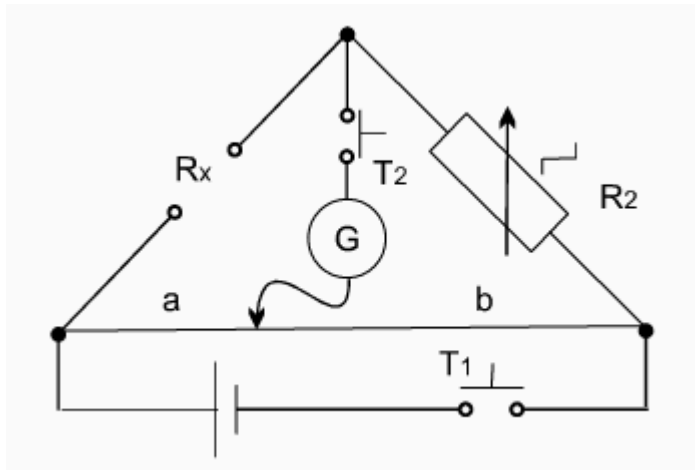
1. Medzi bodmi c – d nemá byť napätie.
2. Potenciál bodu c musí byť rovnaký ako potenciál bodu d.
3. Úbytok napätia na  $R_1$  sa musí rovnať úbytku napätia na  $R_3$  a súčasne úbytok na  $R_2$  sa musí rovnať úbytku napätia na  $R_4$

$R_1 I_1 = R_3 I_2$ ;  $R_2 I_1 = R_4 I_2$

**Podmienka vyváženého jednosmerného mostíka**

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \Rightarrow R_1 = R_x = R_2 \times \frac{R_3}{R_4}$$

### Prevádzkový (drôtový) mostík



Miesto  $R_3$  a  $R_4$  je kalibrovaný odporový drôt (drôtový potenciometer). Pri meraní zapíname najskôr tlačidlo  $T_1$  – zdroj, až potom tlačidlo  $T_2$  – galvanometer (G)

$$R_x = R_2 \times \frac{a}{b}$$

galvanometer.

Na napájanie mostíka sa používa **zdroj** jednosmerného napätia (napr. batéria).

**Indikátor** vyváženého mostíka sa používa

### 3.1.5 Meranie izolačných odporov

Elektrické zariadenie musí byť navrhnuté tak, aby správne spoľahlivo a hospodárne pracovalo a aby neohrozovalo osoby, zvieratá a majetok. Jednou z podmienok, aby tieto požiadavky boli splnené, je **dobrý izolačný stav**.

**Izolácia** (insulation) elektrického zariadenia má dve funkcie:

- pracovnú** – zabezpečuje správnu činnosť zariadenia
- ochrannú** – zabezpečuje ochranu pred zásahom elektrickým prúdom

**Izolačný odpor sa meria**

- **pri východiskovej revízii** – pred uvedením zariadenia do prevádzky.
- **pri periodických revíziách** – vykonávajú sa pravidelne v stanovených lehotách

Meraním izolačného odporu sa overuje schopnosť izolácie elektrického zariadenia zabrániť prieniku nebezpečného napätia na časti prístupné dotyku alebo zabrániť prechodu prúdu (skratu) medzi časťami elektrického zariadenia s rôznym napätím.

#### Prístroje na meranie izolačného odporu

Meracie prístroje sa musia zvoliť v súlade s EN 61557. Merače izolačného odporu sú v podstate **megaohmmetre** s veľkým vnútorným odporom. Musia mať dostatočný merací rozsah (až 2000 MΩ) a jednosmerný zdroj s požadovaným skúšobným napätím (100, 250, 500, 1000 V). V súčasnosti sa už nepoužívajú **megmetry** (ručičkové megaohmmetre s pomerovým magnetoelektrickým systémom a vlastným dynamom) ani tranzistorové megaohmmetre (napr. PU 310) ale moderné digitálne megaohmmetre (napr. MEGMET 501D, typ PU 182.1). Prístroj sa pripája dvoma meracími hrotmi medzi dva body inštalácie alebo zariadenia a izolačný odpor sa meria počas stlačeného meracieho tlačidla. Tieto prístroje dokážu okrem merania izolačného odporu merať aj AC a DC napätie a sú schopné zistiť prítomnosť napätia na meranom objekte a zablokovat' meranie izolačného odporu, ak nie odpojené napájanie.

### 3.1.6 Meranie odporu uzemnenia

**Uzemňovač** (earth elektrode) je vodivá časť, ktorá je v elektrickom kontakte so zemou.

#### **Druhy uzemnení**

**a) Ochranné uzemnenie** je uzemnenie bodu v elektrickej sieti, inštalácii alebo na zariadení na účely elektrickej bezpečnosti, slúži na zaistenie ochrany pred zásahom elektrickým prúdom.

**b) Funkčné uzemnenie** je uzemnenie bodu v elektrickej sieti, inštalácii alebo na zariadení na iné účely, ako je elektrická bezpečnosť, slúži na zaistenie správnej činnosti zariadenia (napr. uzemnenie neutrálneho bodu transformátora slúžiace pre ustálenie napätia siete voči zemi)

**c) Kombinované uzemnenie** – môže slúžiť na ochranné aj funkčné účely

V elektrotechnike sa uzemnenie používa veľmi často napr. v systémoch TN a TT uzemnenie neutrálneho bodu, ochranné pospájanie, v systéme TN uzemnenie ochranného vodiča vo vnútorných a vonkajších rozvodoch, v systéme TT a IT uzemnenie neživých častí, uzemnenie bleskozvodov a prepäťových ochrán, ...

#### **Druhy uzemňovačov**

- **náhodné** – kovové predmety uložené trvale v zemi, slúžiace na iný účel (vodovodné potrubie, kovové plášte káblov, kovové konštrukcie, ...)

- **zhotovené** – úmyselne zhotovený uzemňovač (**tyčový, pásový, drôtový, doskový**)

Základným parametrom, ktorý vyjadruje kvalitu uzemňovačov alebo uzemňovacích sústav je **odpor uzemnenia**. Odpor uzemnenia sa skladá z odporu uzemňovacieho vodiča, odporu uzemňovača, prechodového odporu uzemňovač – zem a odporu zeme.

Odpor uzemnenia závisí od rozmerov a tvaru uzemňovača, rezistivity pôdy, v ktorej je uzemňovač uložený, od ročného obdobia.

**Odpor uzemňovača má byť čo najmenší**, jeho veľkosť predpisujú jednotlivé STN.

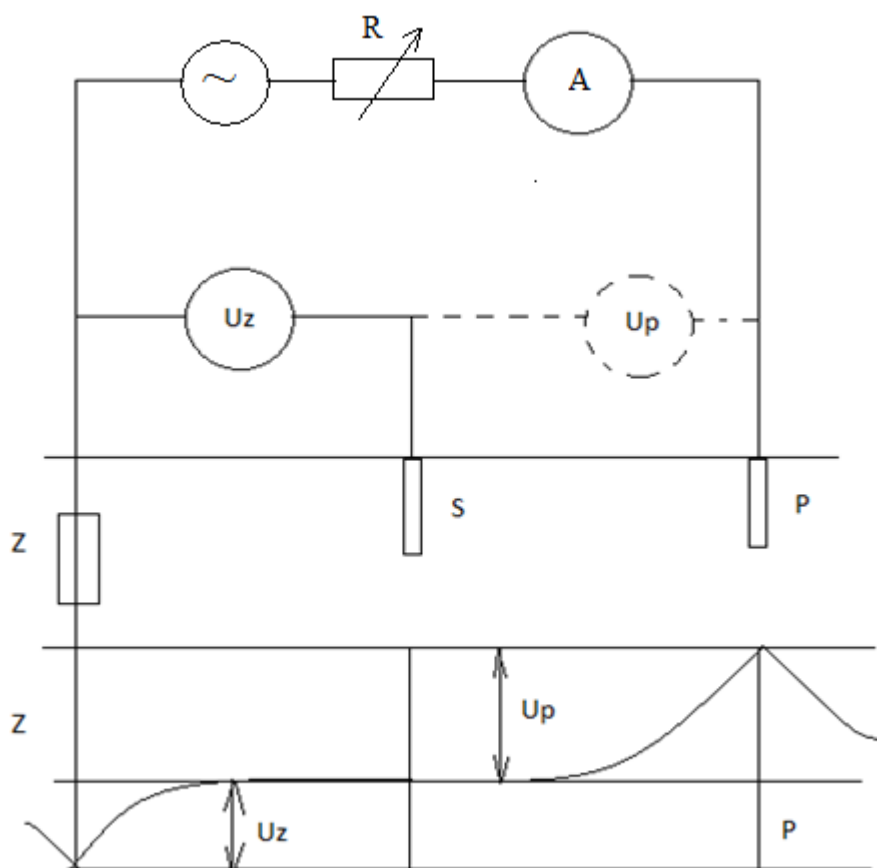
veľkosť sa pohybuje rádovo v jednotkách ohmov (napr. 10  $\Omega$ ). Odpor uzemňovačov sa meria vo všetkých typoch sietí – TN, TT, IT.

#### **Metódy merania odporu uzemnenia**

1. **Voltampérová metóda** (podmienky merania uvádza norma STN 33 2000–6:2007)
2. **Meranie pomocou sond meračom zemného odporu** (napríklad Metra PU 183)
3. **Meranie bez rozpojenia zemníča pomocou kliešťového prístroja** (Megger, C.A., Mastech, Metrel, Metra PU 193... – pozri [www.micronix.sk](http://www.micronix.sk) – katalóg meracích prístrojov pre revízných technikov.

Odpor uzemnenia nemôžeme odmerať priamo, lebo elektróda sa nedá osamostatniť, meriame ho nepriamo. Používame dve elektródy – **P prúdová, S napäťová**.

Prúdovou elektródou privádzame do obvodu odporu uzemnenia meraný prúd, napäťová elektróda udáva napätie na zemníči. Priebeh odporu a napätia rozdeleného v okolí zemnej elektródy, je znázornený **napäťovým spádom** v blízkosti zemnej elektródy - obr. 3.1.



Obr.3.1

Pred meraním musíme poznať tvar a polohu meraného odporu uzemnenia a v jeho okolí nesmú byť uložené žiadne kovové predmety väčších rozmerov.

**Skúšobná svorka** – je prvok slúžiaci na odpojenie uzemňovača od zvodu za účelom merania, musí ju mať každý zvod, pri vonkajších zvodoch sa umiestňuje vo výške **1,8 až 2 m** nad zemou. Spoj má byť elektricky vodivý, mechanicky pevný a rozoberateľný iba pomocou nástroja. Zemnič Z, pomocná elektróda P a pomocný zemnič S môžu byť uložené:

- a) v rade – S musí ležať medzi Z a P, vo vzdialenosti 20m od Z a 20m od P
- b) v tvare rovnostranného trojuholníka so stranou 20m

Pri meraní používame striedavý prúd s frekvenciou odlišnou od sieťovej frekvencie a jej násobkov (aby sme vylúčili vplyv blúdivých zemných prúdov).

### Meracie prístroje na meranie odporu uzemnenia

1. **Terromet** – priamoukazujúci pomerový magnetoelektrický systém. Zdroj prúdu je pomocou ručného pohonu – dynama, ktoré je prispôsobené na výrobu striedavého prúdu.
2. **PU 430** – dynamo je nahradené elektronickým generátorom s frekvenciou 135 Hz. Meranie prebieha pomocou porovnávacej metódy.
3. **PU 183** – digitálny merací prístroj, používajúci porovnávaciu meraciu metódu. Na meranie sa používa prúd obdĺžnikového priebehu s frekvenciou 128 Hz. Meracie prúdy 10mA, 1mA, 100μA zodpovedajú meracím rozsahom 20Ω, 200Ω a 2000Ω.

#### 4. MERANIE INDUKČNOSTI CIEVKY

**Vlastná indukčnosť** – základná vlastnosť cievok  $L$ , jednotka v SI **Henry**, symbol jednotky **H**. V cievke, v ktorej sa mení prúd, sa indukuje napätie, ktoré závisí okrem zmeny prúdu o  $\Delta I$  za čas  $\Delta t$  aj od koeficientu  $L$ , ktorý nazývame vlastná indukčnosť.

Vlastná indukčnosť spôsobuje to, že v striedavom obvode má cievka väčší odpor (impedanciu) ako v jednosmernom obvode (pri rovnakom napätí tečie cievkou menší prúd). Prúd tečúci obvodom s cievkou závisí tiež od frekvencie, čím väčšia je frekvencia, tým menší je prúd.

Základné vzťahy pre výpočet vlastnej indukčnosti:

$$L = \mu \frac{S}{l} \cdot N^2 \text{ (H)}$$

Indukčná reaktancia (induktancia)

$X_L = \omega \cdot L \text{ (}\Omega \text{ ; rad/s, H)}$ , kde

$L$  – vlastná indukčnosť

$\mu$  – permeabilita

$l$  – dĺžka siločiar

$S$  – prierez cievky (magnetického obvodu)

$N$  – počet závitov

$\omega$  – uhlová frekvencia

**Vzájomná indukčnosť** – symbol  $M$ , jednotka v SI **Henry**, symbol jednotky **H**. Ak sa cievka nachádza v premenlivom magnetickom poli, indukuje sa v nej napätie, ktoré nazývame transformačné indukované napätie. Ak sa v primárnej cievke mení prúd, indukuje sa v sekundárnej cievke napätie, ktoré závisí okrem zmeny prúdu v primárnej cievke o  $\Delta I$  za čas  $\Delta t$  aj od koeficientu  $M$ , ktorý nazývame vzájomná indukčnosť.

$M = k \cdot \sqrt{L_1 L_2} \text{ (H ; -, H, H)}$ , kde

$M$  – vzájomná indukčnosť

$k$  – faktor väzby (bezrozmerné číslo)

$L_1, L_2$  – vlastné indukčnosti primárnej a sekundárnej cievky

**Cievka** – elektrická súčiastka, prechodom prúdu vytvára magnetické pole.

**Druhy cievok:**

a) ideálna cievka – činný odpor má nulový ( $R_L = 0$ ), napätie predbieha prúd o  $90^\circ$ , impedancia sa rovná reaktancii  $Z = X_L$

b) technická cievka – činný odpor má rôzny od nuly ( $R_L \neq 0$ ), fázový posun medzi napätím a prúdom je v intervale  $\varphi \in < 0^\circ; 90^\circ >$ . Cievka má odpor, pretože je navinutá z vodiča z vodiča s určitého materiálu, s určitým prierezom a dĺžkou. **Pri meraní je dôležité, aby cievkou netiekol väčší ako menovitý dovolený prúd, aby nedošlo k poškodeniu cievky.**

Keďže v technickej praxi sa ideálne cievky nevyskytujú, musíme aj pri meraniach uvažovať s technickými cievkami. Technickú cievku zvyčajne nahrádzame sériovým zapojením ideálneho rezistora  $R_L$  a ideálnej cievky s vlastnou indukčnosťou  $L$ . Impedancia cievky v komplexnom tvare je  $Z = R_L + j \cdot X_L$ . Absolútna hodnota tejto impedancie je

$$Z = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} (\Omega)$$

Podľa konštrukcie je možné cievky rozdeliť do dvoch veľkých skupín:

1. **Valcové (solenoid)**

2. **Prstencové (toroid)**

A tie môžu byť :

A. **Cievky bez jadra** (vzduchové cievky )

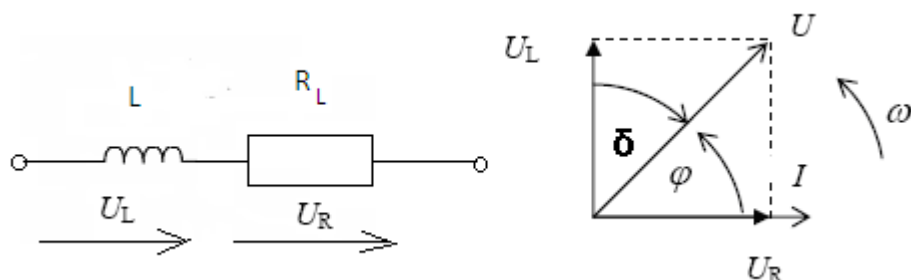
B. **Cievky s feromagnetickým jadrom** : - s otvoreným jadrom  
- s uzavretým jadrom

## Cievky bez jadra

Obr.4.1

Náhradná schéma technickej cievky

Fázorový diagram



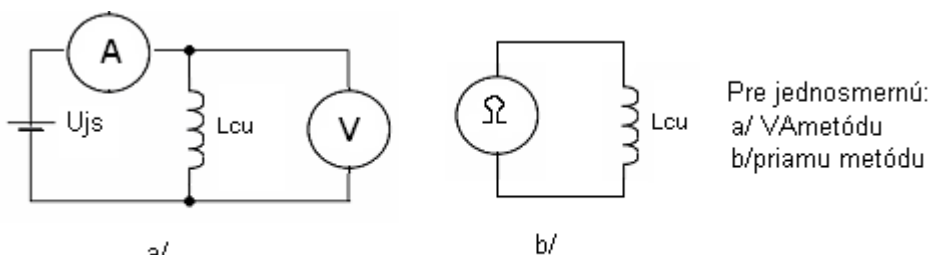
### Metódy merania indukčnosti:

1. Meranie indukčnosti voltampérovou metódou
2. Meranie indukčnosti troma voltmetrami
3. Meranie indukčnosti troma ampérmetrami
4. Meranie indukčnosti cievky s feromagnetickým jadrom
5. Meranie indukčnosti striedavým mostíkom
6. Meranie vzájomnej indukčnosti

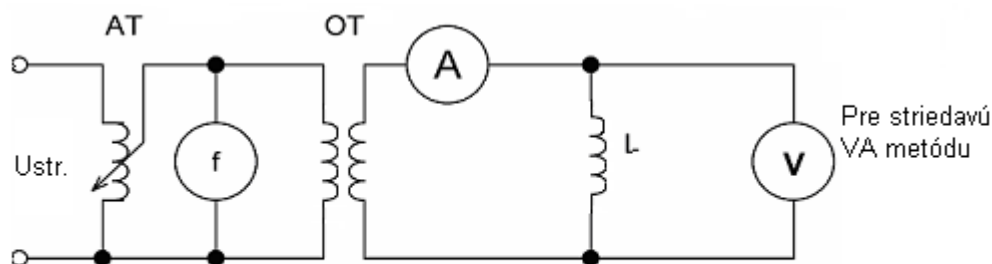
### 4.1 Meranie indukčnosti voltampérovou metódou

Princíp merania indukčnosti je založený na odmeraní činného odporu cievky a jej impedancie voltampérovou metódou a následnom výpočte indukčnosti. Metóda je vhodná na meranie indukčnosti vzduchových cievok (bez feromagnetického jadra). Cievku pripojíme najprv na jednosmerný zdroj. Odmeriame jednosmerné napätie a prúd a pomocou Ohmovho zákona vypočítame činný odpor cievky (jednosmerná VA metóda – nepriama, priama) – obr.4.2. Potom cievku pripojíme na striedavý zdroj, odmeriame striedavé napätie a prúd a vypočítame impedanciu cievky (striedavá VA metóda) – obr.4.3. Indukčnosť vypočítame podľa odvodeného vzťahu.

#### Schéma zapojenia



Obr.4.2



Obr.4.3

Odvodenie vzťahu pre výpočet indukčnosti:

činný odpor cievky vypočítame:

$$R_X = \frac{U_{js}}{I_{js}} \quad (\Omega)$$

impedancia cievky:

$$Z_X = \frac{U_{str}}{I_{str}} \quad (\Omega)$$

$$\text{Zo vzťahu } X_L = \omega L_X \quad L_X = \frac{X_L}{\omega} \quad (\text{H})$$

$$L_X = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{Z_X^2 - R_X^2} \quad (\text{H})$$

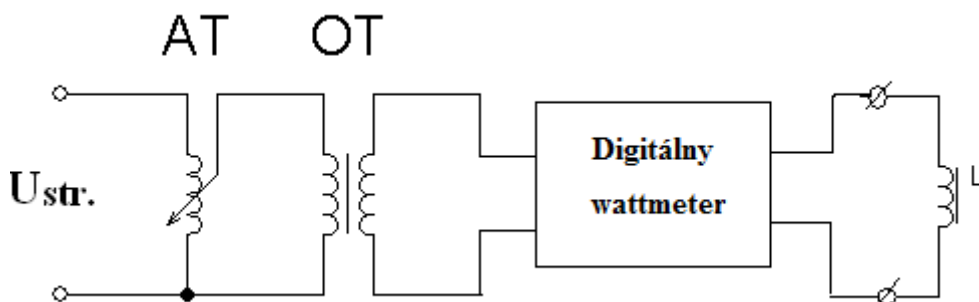
### Poznámky k praktickému meraniu

- schémy zapojenia na **obr.4.2, 4.3** sú vhodné na meranie indukčnosti cievky s malým odporom a impedanciou, v opačnom prípade je potrebné voltmeter zapojiť pred ampérmetrom
- kvôli zvýšeniu presnosti môžeme odmerať pri niekoľkých hodnotách jednosmerného napätia a prúdov a pri niekoľkých hodnotách striedavého napätia odmeriame striedavé prúdy. Pri jednotlivých meraniach vypočítame odpory a impedancie a **za výslednú hodnotu odporu a impedancie cievky považujeme aritmetickú strednú hodnotu týchto veličín.**
- ak použijeme digitálne multimetre, nie je potrebné meniť zapojenie a vymieňať prístroje. Stačí zmeniť napájanie (DC → AC) a na prístrojoch nastaviť vhodné rozsahy
- dôležitou úlohou pri praktickom meraní je určiť maximálne hodnoty napätí a prúdov a tomu zodpovedajúce meracie rozsahy prístrojov, aby nedošlo k preťaženiu cievky a prístrojov
- vhodné je použiť normály indukčnosti, ktoré majú presne dané parametre a tiež je možné porovnať namerané a skutočné hodnoty a určiť presnosť (chybu) merania.

### 4.2 Meranie indukčnosti cievky s feromagnetickým jadrom

Na meranie indukčnosti cievky s feromagnetickým jadrom sa používa voltampérová metóda doplnená wattmetrickou metódou. Voltmetrom odmeriame napätie na cievke  $U$ , ampérmetrom prúd  $I$  a wattmetrom straty na cievke (príkon cievky)  $\Delta P_L$ , ktoré vznikajú nielen vo vinutí, ale aj v železe.

**Schéma zapojenia:**



Odvodenie vzťahu pre výpočet indukčnosti:

Celková impedancia cievky s jadrom (je tu zahrnutý odpor vinutia cievky ale aj odpor jadra).  $Z = \frac{U}{I}$

Fázový posuv medzi prúdom a napätím vypočítame z odmeraných hodnôt:

$$\cos \varphi = \frac{P}{U \cdot I}$$



Straty v železnom jadre vypočítame z odmeraného činného výkonu( to sú straty, ktoré vznikajú vplyvom prechodu striedavého prúdu cez jadro, pri jednosmernom prúde sa neprejavujú) a celkového prúdu pretekajúceho cez cievku:

$$R_{Fe} = \frac{P}{I^2}$$

Indukčnosť cievky:

$$L = \frac{1}{2\pi \cdot I^2} \sqrt{U^2 I^2 - P^2}$$

Kvalita cievky :

$$Q = \frac{1}{\tan \delta} = \frac{\omega L}{R}$$

Najjednoduchší a najrýchlejší spôsob meranie je využiť digitálny wattmeter, pomocou ktorého môžeme odmerať činný, jalový výkon, účinník  $\cos\varphi$ , napätie aj prúd.

### 4.3 Meranie indukčnosti striedavým mostíkom

Využívajú **nulové metódy**, čo znamená, že merací prístroj (MP) potrebuje indikátor rovnovážneho stavu. **Rovnovážny stav** je podmienený splnením určitých prúdových a napäťových pomerov v danom zapojení.

Vplyv presnosti MP na presnosť výsledku je vylúčený. Presnosť merania je ovplyvnená najmä citlivosťou MP použitého ako indikátora, časovou stálosťou jeho nulovej polohy, presnosťou použitých súčiastok v zapojení a veľkosťou prúdu v obvode.

**Striedavé mostíky** - pomocou neho môžeme odmerať frekvenčne závislé súčiastky, ďalej umožňujú merať stratový činiteľ  $\tan\delta$ , činiteľ kvality, stratové odpory, vodivosti. Striedavý štvoramenný mostík sa líši od jednosmerného mostíka:

- striedavý zdroj napätia
- striedavý indikátor
- v jednotlivých vetvách sú zapojené rôzne impedancie.

Pri odvodení rovnovážneho stavu postupujeme rovnako ako pri jednosmernom mostíku, avšak v jednotlivých vetvách musíme počítať s impedanciami.

**Podmienky vyváženého striedavého mostíka:**

1.  $Z_1 \times Z_4 = Z_2 \times Z_3$  (impedancia)
2.  $\varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3$  (fázový posun)

Pri striedavých mostíkoch musíme vyvažovať impedanciu aj fázový posuv, súčasne musíme meniť dva prvky.

**Napájacie zdroje pre striedavé mostíky**

Požiadavky:

- nízke harmonické skreslenie
- vysoká frekvenčná stabilita
- zdroj konštantného napätia s dostatočným výkonom

Typy NZ:

- sieťové napätie
- elektromagnetický prerušovač prúdu
- elektronické generátory.

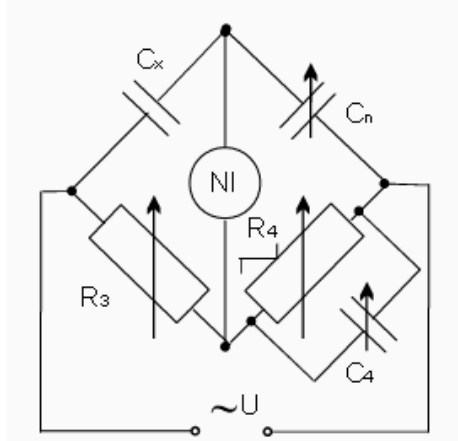
**Indikátory nuly**

- slúchadlo(najnižšia intenzita prúdu)
- obrazovka osciloskopu (vodorovná priamka)
- striedavý selektívny elektronický voltmeter

**Typy striedavých mostíkov:**



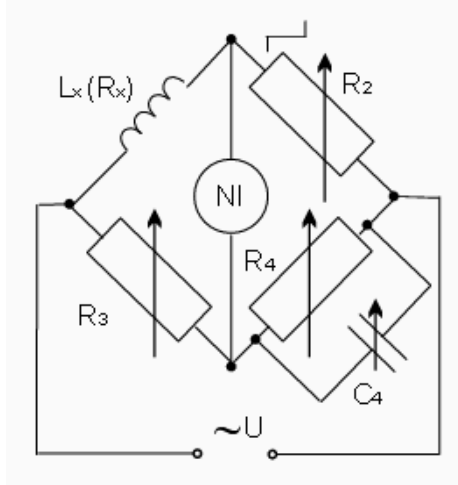
**Scheringov mostík** (kompenzovaný) je vhodný na meranie kapacity



$$\text{Stratový odpor } R_X = R_3 \times \frac{C_4}{C_N}$$

$$\text{Kapacita } C_X = C_N \times \frac{R_4}{R_3}$$

**Maxwell – Wienov mostík** je vhodný na meranie indukčnosti



$$L_X = R_2 \times R_3 \times C_4$$

$$R_X = \frac{R_2 \times R_3}{R_4}$$

Mostík sa vyvažuje tak, že zvolíme vhodnú veľkosť  $R_2$ ,  $R_3$  a zmenou  $R_4$  sa vyvažuje fázová zložka plynule, zmenou  $C_4$  skokom.

## 5.MERANIE KAPACITY KONDENZÁTORA

**Kapacita** – pasívna elektrická veličina vyjadrujúca schopnosť kondenzátora prijať a udržať pri určitom napätí náboj, symbol **C**, jednotka v SI **Farad**, symbol jednotky **F**, základná vlastnosť kondenzátorov.

Základné vzťahy pre výpočet kapacity:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{l} \quad \left( F; \frac{F}{m}, m^2, m \right) \quad C = \frac{Q}{U} \quad (F; C, V) \quad i = C \frac{\Delta U}{\Delta t} \quad (A; F, V, s)$$

Kapacitná reaktancia (kapacitancia):

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad (\Omega; \text{rad/s}, F)$$

Kapacitná susceptancia:

$$B_C = \omega \cdot C \quad (S; \text{rad} \cdot s^{-1}, F), \text{ kde}$$

$\epsilon$  – permitivita

$S$  – plocha elektród

$l$  – hrúbka dielektrika

**Kondenzátor** – základná pasívna elektrická súčiastka.

**Druhy kondenzátorov:**

**a) ideálny** – má nekonečnú rezistanciu, nulovú konduktanciu  $G = 0$ , v jednosmernom obvode prakticky nevedie prúd. V striedavom obvode prúd predbieha napätie o  $90^\circ$ , impedancia sa

rovná reaktancii  $Z = X_C$ , admitancia sa rovná susceptancii  $Y = B_C$ . Prúd tečúci obvodom s kondenzátorom závisí od kapacity a od frekvencie, čím väčšia je frekvencia, tým väčší je prúd tečúci obvodom.

**b) technický** – zvyčajne nahrádzame paralelným zapojením ideálneho rezistora a ideálneho kondenzátora, konduktancia je rôzna od nuly ( $G \neq 0$ ), fázový posun medzi napätím a prúdom je v intervale  $\varphi \in < 0^\circ; 90^\circ >$ . Admitancia kondenzátora v komplexnom tvare je  $Y = G + j \cdot B_C$ . Väčšina technických kondenzátorov má kvalitné dielektrikum, stratový uhol  $\delta$  má hodnotu iba niekoľko stupňov a pri niektorých meraniach ich môžeme považovať za ideálne.

**Pri meraní je dôležité, aby na kondenzátore nebolo väčšie ako menovité napätie, aby nedošlo k prerazu dielektrika a následnému skratu (hrozí poškodenie ampérmetra).**

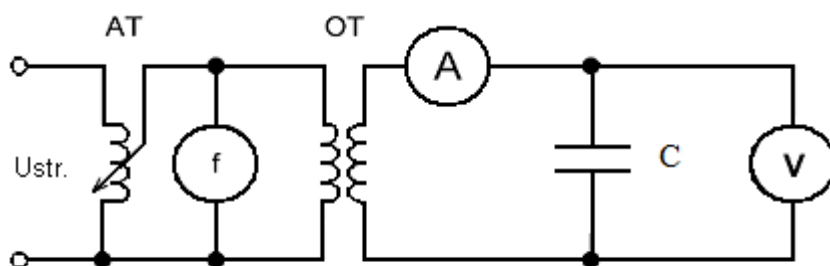
### Metódy merania kapacity:

1. Meranie kapacity voltampérovou metódou
2. Meranie kapacity troma voltmetrami
3. Meranie kapacity troma ampérmetrami
4. Meranie kapacity impedančným mostíkom

### 5.1 Meranie kapacity voltampérovou metódou

Kondenzátor pripojíme na striedavý zdroj, voltmetrom odmeriame napätie na kondenzátore  $U$ , ampérmetrom prúd, ktorý tečie obvodom  $I$  a frekvenciou  $f$ .

**Schéma zapojenia**



Obr.5.1

**Metóda je vhodná pre meranie kapacity kvalitných kondenzátorov, ktoré môžeme považovať za ideálne a za tohto predpokladu platí:**

$$G = 0S \quad Y = G + j \cdot B_C = j \cdot B_C \Rightarrow Y = B_C$$

$$Z = \frac{1}{Y} = \frac{1}{B_C} = X_C \quad (\Omega)$$

Súčasne platí Ohmov zákon:

$$Z = \frac{U}{I}$$

$$X_C = \frac{U}{I} \rightarrow \frac{1}{\omega C_x} = \frac{U}{I} \rightarrow C_x = \frac{I}{2\pi f U}$$

V striedavom obvode nie je možné urobiť korekciu tak, ako pri meraní odporu V-A metódou (prúdy a napätia nie sú vo fáze). Preto je nevyhnutné správne zapojiť meracie prístroje. Zapojenie na obr.5.1 je vhodné na meranie kapacity kondenzátorov s **veľkou kapacitou**, pretože pri

veľkej kapacity je impedancia (reaktancia) malá v porovnaní s vnútorným odporom voltmetra a prúd tečúci voltmetrom je možné zanedbať.

Pri meraní kapacity kondenzátorov s **malou kapacitou**, je potrebné **zapojiť voltmeter pred ampérmetrom**, pretože pri malej kapacite je impedancia (reaktancia) veľká v porovnaní s vnútorným odporom ampérmetra a úbytok napätia na ampérmetri je možné zanedbať.

Ostatné meracie metódy už boli podrobnejšie popísané pri cievkach.

### Kontrolné otázky k meraniu odporu, indukčnosti a kapacity:

1. Čo je to ideálny rezistor, kondenzátor a cievka? Nakreslite fázorové diagramy napätia a prúdu na jednotlivých prvkoch a uveďte, čo vyplýva z týchto fázorových diagramov.
2. Napíšte vzťahy pre výpočet odporu, kapacity a indukčnosti v závislosti od geometrických rozmerov a materiálových konštánt.
3. Napíšte vzťahy pre výpočet  $X_L$  a  $B_L$  ideálnej cievky,  $X_C$  a  $B_C$  ideálneho kondenzátora,  $Z$  a  $Y$  technickej cievky a technického kondenzátora.
4. Napíšte parametre rezistora, cievky a kondenzátora, ktoré musíte poznať pred meraním parametrov nepriamou metódou, aby ste nepoškodili súčiastky.
5. Nakreslite schému zapojenia pre meranie malých (veľkých) odporov VA metódou. Odvodte vzťah pre výpočet neznámeho odporu.
6. Zdôvodnite, aký zdroj musíme použiť pri nepriamom meraní elektrického odporu, cievky a kondenzátora.
7. Nakreslite schému zapojenia pre meranie kapacity VA metódou a odvodte vzťah pre výpočet neznámej kapacity.
8. Nakreslite schému zapojenia pre meranie indukčnosti bez jadra VA metódou a odvodte vzťah pre výpočet neznámej indukčnosti.
9. Nakreslite schému zapojenia a odvodte vzťah pre výpočet neznámej indukčnosti pri meraní wattmetrickou metódou. Zdôvodnite, kedy je je nutné túto metódu použiť.
10. Meranie izolačného odporu, uveďte: funkcie izolácie, dôvody merania, veľkosť izolačného odporu, schému zapojenia a meracie prístroje, ktorými môžeme merať.
11. Meranie odporu uzemnenia, uveďte: funkcie uzemnenia, dôvody merania, veľkosť zemného odporu, schému zapojenia a meracie prístroje, ktorými môžeme merať.

## 6. MERANIE NA POLOVODIČOVÝCH SÚČIASTKACH

K polovodičovým súčiastkam, ktoré nás budú na z hľadiska merania zaujímať patria: polovodičová dióda, bipolárny tranzistor, unipolárny tranzistor, tyristor, fotoelektrické súčiastky. Budeme merať voltampérové charakteristiky a zisťovať aj iné špecifické vlastnosti týchto polovodičových súčiastok. Meranie polovodičových súčiastok je v podstate meraním napätia a prúdu, ale je nevyhnutné poznať princípy činnosti a vlastnosti polovodičových prvkov. Preto sa odporúča, aby si žiaci pred meraním zopakovali základné pojmy a poznatky z elektroniky napr.:

- vlastné polovodiče (základné polovodičové materiály, vlastná vodivosť, vplyv teploty)
- nevlastné polovodiče (polovodič typu N, typu P, donor, akceptor, majoritné, minoritné nosiče prúdu)
- prechod PN (polarizácia v priepustnom a v závernom smere, potenciálová bariéra, difúzne napätie)

### 6.1 Meranie na polovodičovej dióde

Polovodičová dióda je dvojvrstvová polovodičová súčiastka, ktorá má jeden PN prechod.

Má vyvedené dve elektródy, z oblasti P je vyvedená anóda, z oblasti N katóda. Je to nelineárny a nesymetrický prvok, ktorý sa najčastejšie používa ako usmerňovač.

#### Základné parametre polovodičovej diódy



Schematická značka

$I_{Fmax}$  – maximálny prúd v priepustnom smere

$U_{Fmax}$  – maximálne napätie v priepustnom smere (pri  $I_{Fmax}$ )

$I_{Rmax}$  – maximálny prúd v závernom smere

$U_{Rmax}$  – maximálne (prierné) napätie v závernom smere

Polovodičová dióda môže byť polarizovaná

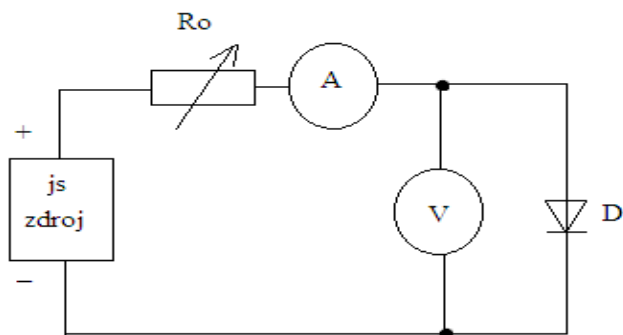
**a) v priepustnom smere** – na anódu je pripojený kladný pól zdroja a na katódu je pripojený záporný pól zdroja. Tejto polarizácii zodpovedá VA charakteristika v I. kvadrante. Pri meraní použijeme schému na obr.6.1 a). Pokiaľ je napätie menšie ako difúzne, dióda má veľký odpor a tečie malý prúd. Stabilizovaným zdrojom nastavujeme napätie na dióde a odčítavame prúd. Pri zväčšení napätia nad hodnotu  $U_{T0}$ , pri ktorom sa zruší vplyv potenciálovej bariéry, sa začne zväčšovať prúd. V tejto oblasti je pri meraní vhodné nastavovať prúd a odčítavať napätie. Prúd sa nastavuje len do maximálnej hodnoty prúdu v priepustnom smere  $I_{Fmax}$ , ktorá sa určí z katalógu pre daný typ diódy.

Rezistor  $R_0$  v obvode slúži na obmedzenie prúdu. Odpor rezistora vypočítame podľa vzťahu

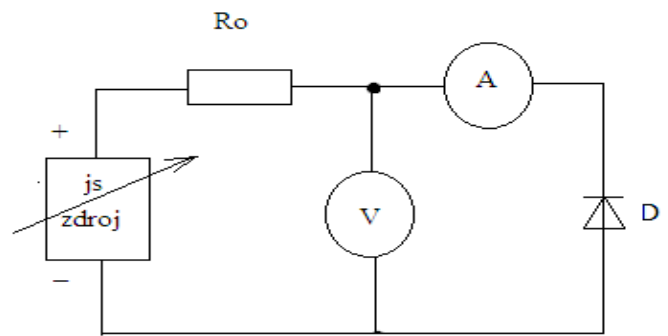
$$R_0 = \frac{U}{I_{Fmax}}$$

Z nakreslenej voltampérovej charakteristiky sa určí difúzne napätie  $U_{T0}$ , dynamický odpor diódy v lineárnej časti charakteristiky pri  $U_F > U_{T0}$ .

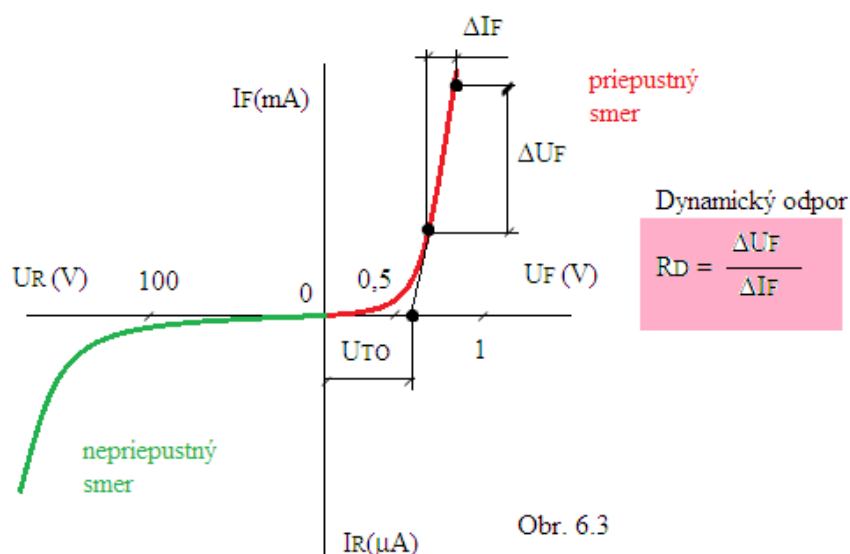
**b) v závernom smere** – na anódu je pripojený záporný pól zdroja a na katódu je pripojený kladný pól zdroja. V katalógu zistíme prierné napätie  $U_{Rmax}$ . Schéma zapojenia pre tento smer je na obr. 6.2. VA charakteristika tohto smeru je v III. kvadrante na obr. 6.3.



Obr. 6.1



Obr. 6.2



Obr. 6.3

6.2

## Meranie VA charakteristík bipolárneho tranzistora

**Bipolárny tranzistor (TRANSfer reSISTOR - zmena rezistancie, objavený v r. 1947) –**

- 3-vrstvová výkonová polovodičová súčiastka s dvomi prechodmi PN,
- vyrába sa z Si alebo Ge s rôznym typom usporiadania PN prechodov PNP a NPN,
- uplatňuje sa vo výkonovej elektronike a taktiež v monolitických integrovaných obvodoch,
- hlavný prúd sa sprostredkuje nosičmi obojakaj polaritty (elektrónmi i dierami),
- unipolárne tranzistory sa riadia elektrickým poľom,
- pracovná činnosť tranzistora vyplýva z jeho štruktúry. Využíva tranzistorový jav, t.j. veľkosť prúdu, ktorý prechádza záverne polarizovaným prechodom  $J_2$  (výstup), je výrazne ovplyvňovaný prúdom, ktorý prechádza priepustne polarizovaným prechodom  $J_1$  (vstup).

### Základné zapojenia plošného tranzistora

| Druh zapojení  | SE                                      | SC                              | SB  |
|--|---|---------------------------------|---|
| Typ tranzistoru  |   |                                 |   |
| PNP  |   |                                 |   |
| NPN  |   |                                 |   |
| Zesílení   |   |                                 |   |
| proudové   | 10 až 200                               | 10 až 200                       | 0,9 až 0,995  |
| napěťové   | 10 až 100                               | 0,9 až 0,99                     | 10 až 100   |
| výkonové   | 100 až 2000                             | 10 až 200                       | 10 až 100   |
| Impedance  |   |                                 |   |
| vstupní  | 100 $\Omega$ až 1 k $\Omega$            | 10 k $\Omega$ až 100 k $\Omega$ | 10 $\Omega$ až 100 $\Omega$                                 |
| výstupní   | 10 k $\Omega$ až 100 k $\Omega$         | 100 $\Omega$ až 1 k $\Omega$    | 100 k $\Omega$ až 1 M $\Omega$                              |
| Fázový posun<br>mezi vstupním<br>a výstupním<br>napětím<br>proudem | 180°<br>0°                              | 0°<br>180°                      | 0°<br>0°  |
| Výhody   | nejlepší přizpůsobení<br>velké zesílení | vhodný jako měnič<br>impedance  | nejvyšší mezí<br>kmitočet<br>vhodný jako měnič<br>impedance |

## Bipolárny tranzistor (BJT) pracujúci ako lineárny zosilňovač

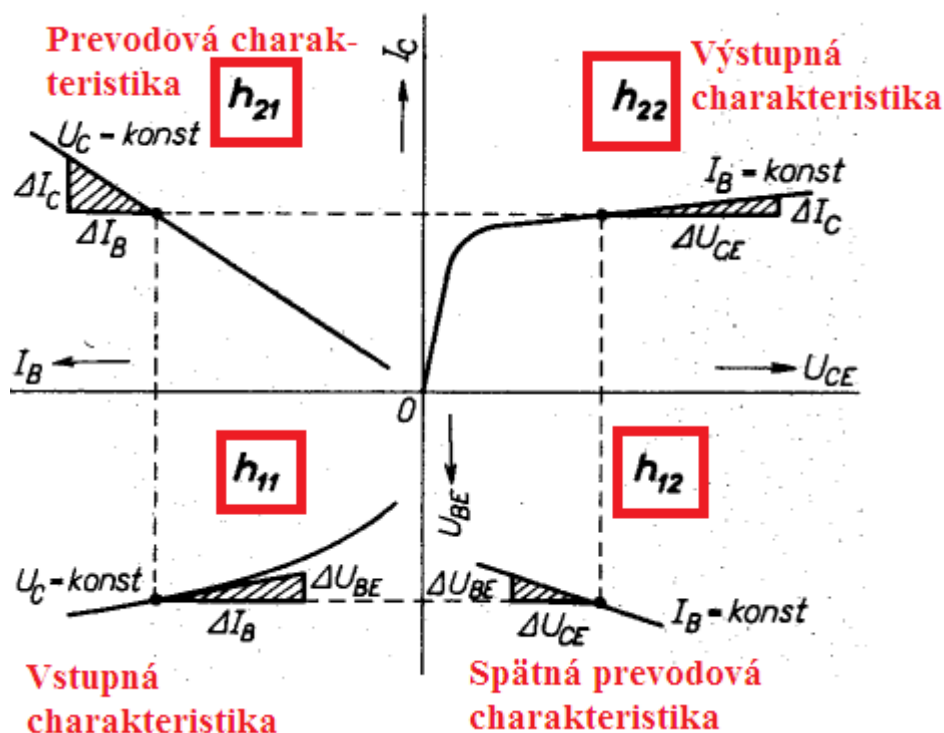
- vlastnosti BJT pre malé signály sa určujú z jeho statických jednosmerných charakteristík, ktoré udávajú vzťahy veličín charakterizujúce BJT ako štvorpól (dvojbran):



Tranzistor definovaný ako dvojbran

$$i_1 \approx I_B \quad u_1 \approx U_{BE}$$

$$i_2 \approx I_C \quad u_2 \approx U_{CE}$$



## VA charakteristiky a príslušné hybridné parametre bipolárneho tranzistora so SE

pri zapojení so SE sa najčastejšie vyjadrujú závislosti U a I pomocou 4-pólových hybridných parametrov „h“:

a) Vstupná charakteristika  $I_1 = f(U_1)$ ; pre  $U_2 = \text{konštanta}$ ,

$$h_{11} = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_1} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} = \frac{u_1}{i_1} \text{ pri } U_C = \text{konst}; u_2 = 0$$

**vstupná impedancia (statický vstupný odpor)** tranzistora pri výstupe nakrátko

b) Výstupná charakteristika  $I_2 = f(U_2)$ ; pre  $I_1 = \text{konštanta}$ ,

$$h_{22} = \frac{\Delta I_2}{\Delta U_2} = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{CE}} = \frac{i_2}{u_2} \text{ pri } I_B = \text{konst}; i_1 = 0$$

**výstupná admitancia (statická výstupná vodivosť)** tranzistora pri vstupe naprázdno

c) Napäťová prevodová charakteristika  $U_2 = f(U_1)$ ; pre  $I_1 = \text{konštanta}$ ,

$$h_{12} = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U_{CE}} = \frac{u_1}{u_2} \quad \text{pri } I_B = \text{konst}; \quad i_1 = 0$$

**jednosmerný spätný napäťový zosilňovací činiteľ** tranzistora pri vstupe naprázdno

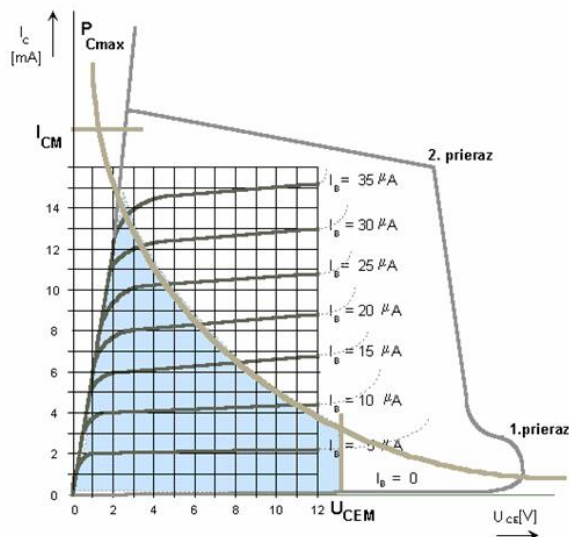
d) Prúdová prevodová charakteristika  $I_2 = f(I_1)$ ; pre  $U_2 = \text{konstanta}$

$$h_{21} = \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{i_2}{i_1} \quad \text{pri } U_C = \text{konst}; \quad u_2 = 0$$

**jednosmerný prúdový zosilňovací činiteľ** tranzistora pri výstupe nakrátko

– Vlastnosti 4-pólu (dvojbranu) s parametrami  $h$  potom je možné vyjadriť:

$$\begin{aligned} u_1 &= h_{11}i_1 + h_{12}u_2 \\ i_2 &= h_{21}i_1 + h_{22}u_2 \end{aligned}$$



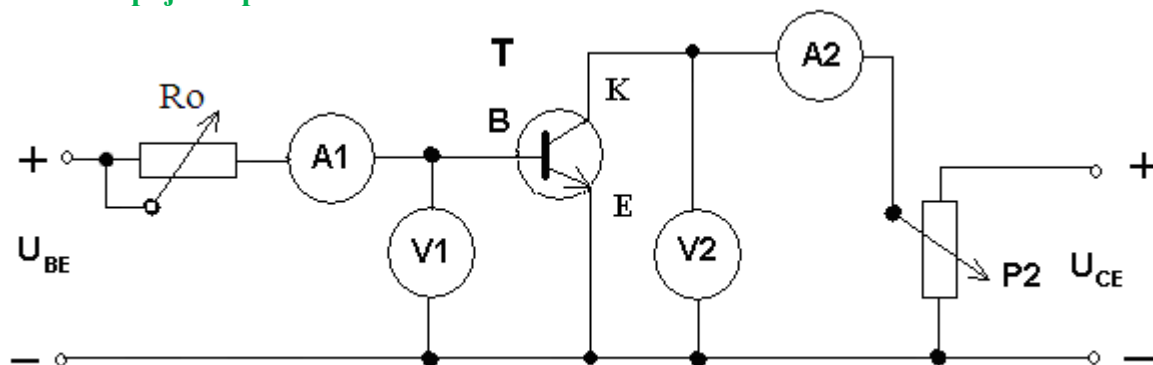
Medzné hodnoty prúdov a napätí tranzistora, aktívna oblasť

### Oblasť bezpečnej činnosti tranzistora

- celkový max. prúd kolektora  $I_{CM}$
- max. prípustné napätie  $U_{CE0}$  (pri  $I_B = 0$ )
- max. dovolený stratový výkon  $P_{\max} = P_{C\max} = U_{CE} \cdot I_{C\max}$  (z hľadiska oteplenia prechodu C-B pri trvalej prevádzke)
- dovolený stratový výkon  $P_{\max \text{ dov}} = (0,8 \div 0,9) \cdot P_{\max}$  (z hľadiska oteplenia prechodu C-B pri impulzovej prevádzke a taktiež pri ľubovoľných pracovných podmienkach)



### Schéma zapojenia pre meranie VA charakteristík tranzistora



### Praktické rady k meraniu charakteristík bipolárneho tranzistora:

1. Pred meraním si pre daný typ tranzistora zistíme z katalógu  $I_{Cmax}$ ,  $U_{CEmax}$  a  $P_{Cmax}$ ,
2. Maximálnu veľkosť prúdu  $I_B$  zvolíme tak, aby nedošlo k prekročeniu  $I_{Cmax}$  a  $P_{Cmax}$  a tým k preťaženiu tranzistora. Výhodné je použiť konštrukčný katalóg tranzistorov a hodnoty veličín zvoliť podľa charakteristík uvedených výrobcom,
3. Pri meraní ktorejkoľvek charakteristiky postupujeme tak, že najprv nastavíme jedným zdrojom konštantnú hodnotu veličiny, ktorá má byť konštantná (napr.  $I_B$ ) a potom postupne nastavujeme druhým zdrojom nezávisle premennú veličinu (napr.  $U_{CE}$ ) a odčítame závisle premennú veličinu (napr.  $I_C$ ).
4. Ak je potrebné urýchliť meranie, je možné merať súčasne 2 charakteristiky (napr. v **I. a IV. kvadrante** alebo v **II. a III. kvadrante**).
5. Rezistor v obvode bázy  $R_o$  je potrebný na stabilizáciu prúdu bázy a na jeho obmedzenie. Veľkosť jeho rezistancie zvolíme pomocou Ohmovho zákona

$$R_o = \frac{U_{1max}}{I_{Bmax}}$$

6. Krivka zobrazujúca **maximálny kolektorový stratový výkon** má súradnicovom systéme  $I_C = f(U_{CE})$  tvar hyperboly ( $P_{Cmax} = U_{CE} \cdot I_C = \text{konšt.}$ )
7. **Pre tranzistor PNP je potrebné zmeniť polaritu oboch zdrojov.**

### 6.3 Meranie na unipolárnom tranzistore

#### FET - Tranzistor ovládaný elektrickým poľom

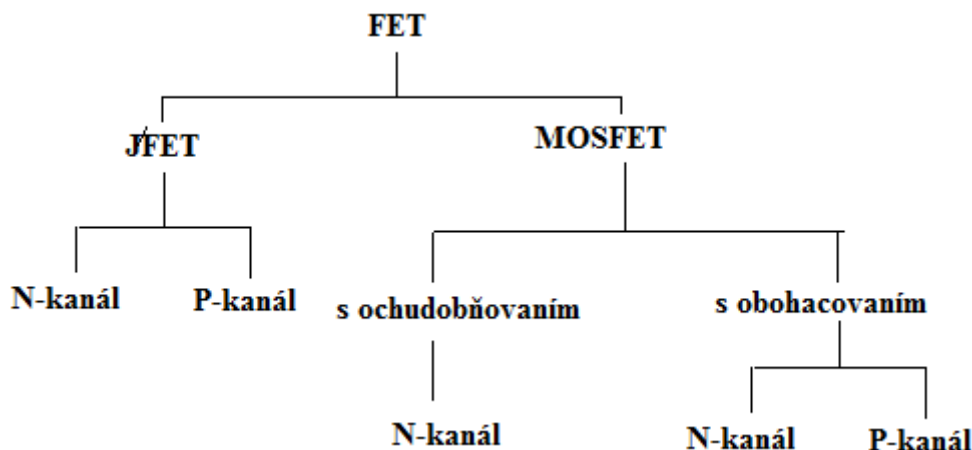
Na rozdiel od bipolárnych tranzistorov (u ktorých je kolektorový prúd vyvolaný pomocou malého prúdu bázy) v tranzistoroch ovládaných elektrickým poľom (FET) sa ovláda kolektorový prúd pomocou napätia medzi riadiacou elektródou a emitorom. Pretože cez riadiacu elektródu neprechádza prakticky žiaden prúd majú FET-y vysoký vstupný odpor (vyšší ako  $10^{14} \Omega$ ).

Existujú dva základné typy FET-ov, každý z nich sa vyskytuje v dvoch prevedeniach s rôznou polaritou (**n-kanálový**, podoba ako NPN u bipolárnych tranzistorov a **p-kanálový**, čo je obdoba PNP u bipolárnych tranzistorov):

- **JFET** (označenie z anglického junction => odpojka) - tranzistory s ovládacou elektródou oddelenou PN prechodom;
- **MOSFET** - tranzistory s ovládacou elektródou oddelenou izolačnou vrstvou  $SiO_2$  (metal-oxid-semiconductor)

Všeobecné rozdelenie FET-ov :

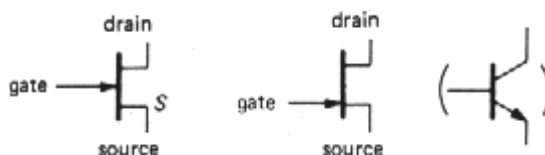




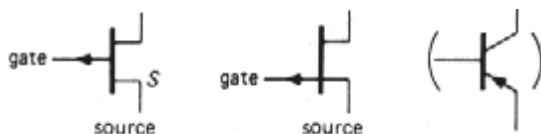
### JFET

Samotný tranzistor JFET ovládaný poľom pomocou ovládacej elektródy oddelenej PN prechodom pozostáva z vodivého hranolka z polovodiča, konce ktorého majú elektródy označené ako kolektor D (označenie z anglického D -drain => odtok - kolektor) a emitor S (označenie z anglického S -source => zdroj - emitor), medzi ktorými pozdĺž je naparená riadiaca elektróda hradlo G (označenie z anglického G -gate). Pomocou napätia na hradle možno ovládať vodivosť hranolka, alebo "kanála". Schematické značky pre JFET-y (a ich porovnanie so značkami pre bipolárny NPN a PNP tranzistor):

- JFET s kanálom n



- JFET s kanálom p



(Pre FET-y je zaužívané označovať kolektor ako D, emitor ako S a hradlo ako G, na rozdiel od zaužívaného C, E, a B pre bipolárne tranzistory.)

Kvôli lepšiemu odlíšeniu symbolu pre kolektor a emitor v značke je vhodnejšie používať variant symbolu so šípkou naproti emitoru S, hoci vlastnosti FET-ov sú prakticky symetrické voči elektródam S a D.

JFET s kanálom n obvykle pracuje v podmienkach, pri ktorých je emitor S zápornejší ako kolektor D a riadiaci PN prechod je polarizovaný v nevodivom smere (nesmie byť použité kladné predpätie na hradle).

### MOSFET

V JFET-och vždy existuje veľmi malý zvodový prúd uzavretého PN prechodu (niekoľko nA). V MOSFET-och je hradlo odizolované vrstvičkou SiO<sub>2</sub> a ovládanie sa uskutočňuje len pôsobením elektrického poľa (vstupný odpor ~10<sup>14</sup> Ω).

Schematické značky pre MOSFET-y:

- MOSFET s kanálom n



- MOSFET s kanálom p

Nový termín **podložka** alebo **substrát** (na obr. body), tvorí s kanálom diódový prechod a tento by mal byť polarizovaný v nevodivom smere alebo aspoň spojený s emitorom (najčastejšie).

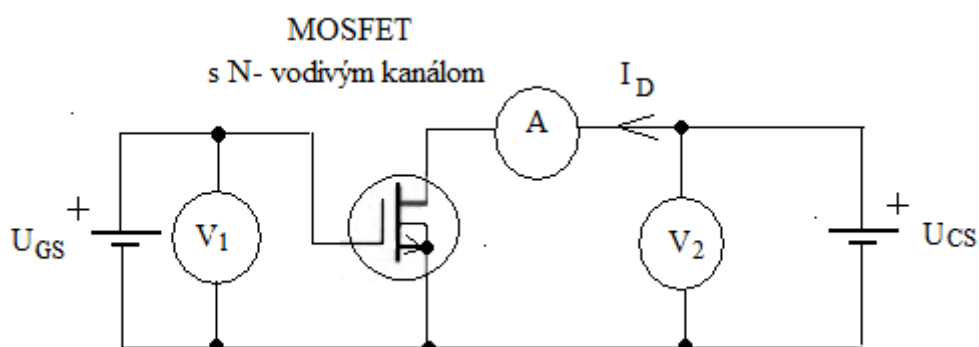
U MOSFET-ov môže mať hradlo G ľubovlnú polaritu napätia voči emitoru S, nakoľko hradlo je galvanicky oddelené od obvodu emitor - kolektor. Tento fakt umožňuje zhotoviť dve modifikácie MOSFET-ov :

- **S ochudobňovaním kanála** (depletion type) - MOSFET tohto typu môže viesť prúd pri oboch polaritách napätia na hradle (medzi emitorom a kolektorom je technologicky vytvorená vodivá cesta - vodivý kanál). Pri zatváraní sa chová obdobne ako JFET a stáva sa pri napätí niekoľko volt nevodivým;
- **S obohacovaním kanála** (enhancement type) - MOSFET tohto typu je uzatvorený pri nulovom alebo opačnom predpätí a stáva sa vodivým až pri priamom predpätí, keď sa indukciou vytvorí vodivý kanál.

FET- y v podstate rozdeľujeme na 5 rôznych typov . Nakoľko vlastnosti jednotlivých typov sú prakticky rovnaké, netreba si preto zvlášť pamätať vlastnosti každého z nich, len obecné, že:

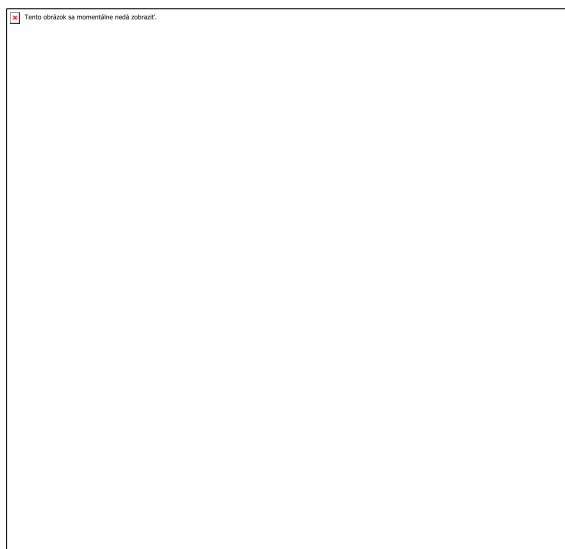
1. Pri uzemnenom emitore sa FET stáva vodivejším pri zvyšovaní predpätia hradla voči prahovému napätiu v smere napätia na kolektore. (Napri. pri FET-e s obohacovaním kanálu typu - N je treba pozitívna polarita napätia na kolektore. V ďalšom kvôli zjednodušeniu výkladu pri polarizovaní elektród FET-u budeme používať FET s kanálom - N , ktorý používa kladné napájacie napätie  $U_{cc}$ ).
2. Vlastnosti emitora a kolektora sú symetrické a každý z nich môže byť použitý vo funkcii emitora.

Pri týchto tranzistoroch sa merajú iba výstupné a prevodové charakteristiky a na nasledujúcom obrázku je schéma zapojenia pre meranie týchto charakteristík.



### Výstupné charakteristiky FET – u

Na základe priebehu výstupných charakteristík FET-u vidno, že FET má vlastnosti skoro stáleho zdroja prúdu  $I_D$  ovládaného napätím na hradle  $U_{GS}$ . Pre FET-y s ochudobňovaním kanálu (vrátane JFET-u) pri skrate hradla na emitor tečie cez tranistor prúd  $I_{DDs}$  s hodnotou blízkou maximálnej možnej hodnote prúdu. Pre MOSFET s obohacovaním kanálu má podobný význam hodnota prúdu  $I_{D(on)}$  stanovený pri určitom vhodnom otváracom predpätí (nakoľko v tomto prípade  $I_{DDs}=0$  pri predpätí  $U_{GS}=0$ ).



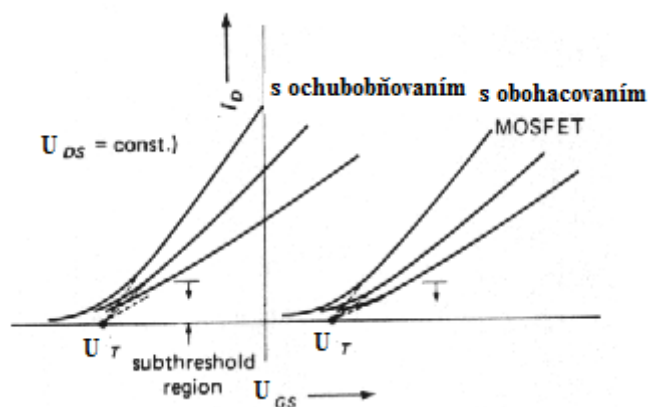
A – JFET s N-kanálom

B – MOSFET v obohacovacom móde

### Prevodové charakteristiky FET-u.

Pre FET-y s ochudobňovaním kanálu existuje v oblasti -3 až -10V (N-kanál) **záverné napätie**  $U_p$  pri ktorom je kolektorový prúd prakticky nulový.

Pri MOSFET-e s obohacovaním má podobný význam **prahové napätie**  $U_T$  (v rozmedzii od 0,5V do 5V), pri ktorom začína tiecť kolektorový prúd. (Kvôli zjednodušeniu výkladu pre režim obohacovania a ochudobňovania je v ďalšom texte použité rovnaké označenie  $U_T=U_p$  na charakterizovanie záverného  $U_p$  a prahového  $U_T$  napätia ).



Kolektorový prúd sa pri znižovaní  $U_{GS}$  nemení skokom ale postupne sa znižuje. Na osi y je  $I_D$  ; jednotlivé krivky sú pri rôznych  $U_{GS}$ .

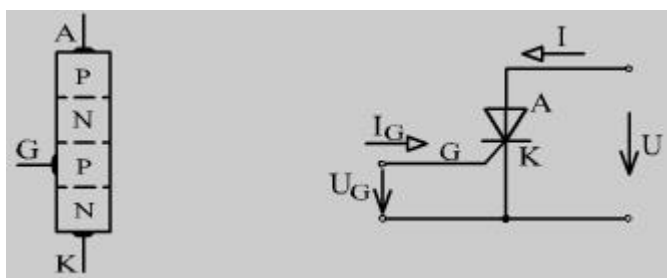
V režime ochudobňovania (napr. JFET) možno nájsť určité záverné napätie  $U_p$ , pri ktorom extrapolovaná priamka presekne os  $U_{GS}$ .

V režime obohacovania možno podobne nájsť určité prahové napätie  $U_T$ , pri ktorom extrapolovaná priamka presekne os  $U_{GS}$ .

## 6.4 Meranie na tyristore

Tyristor má štvorvrstvovú štruktúru. Všetky štyri oblasti so striedajúcim sa typom vodivosti sú vyhotovené na jednom základnom plátku polovodiča a tvoria sériovú kombináciu troch na seba nadväzujúcich priechodov PN. Na jednu z vnútorných oblastí tyristora napr. s vodivosťou P sa pripevní elektróda. Prúdom, privádzaným do tejto oblasti možno ovplyvňovať spínací proces tyristora. Oblasť s elektródou G sa nazýva ovládacia elektróda a tyristor s ovládacou elektródou P sa označuje ako PNPN.

Jeho schematická štruktúra a normalizovaná značka sú znázornené na obrázku :

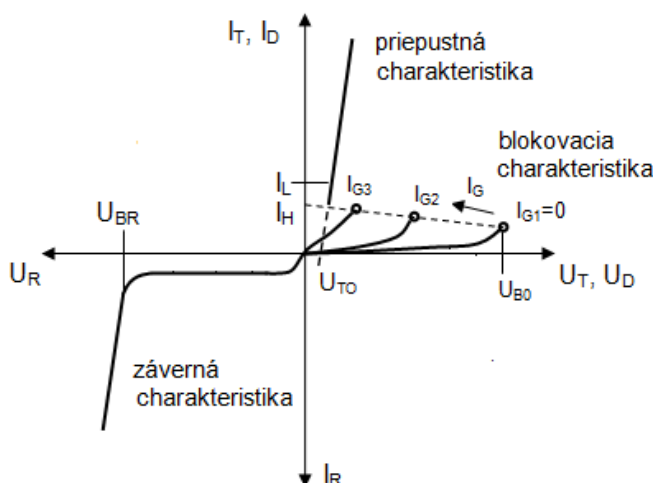


**Vnútorná štruktúra    Normalizovaná schematická značka tyristora PNPN**

Predpokladajme, že medzi hlavné vývody tyristora A (anóda) a K (katóda) pripojíme napätie v priamom smere, t. j. anóda bude kladnejšia ako katóda. Priechody  $J_1$  a  $J_3$  sú polarizované v priamom smere, priechod  $J_2$  je uzavretý a tyristorom prechádza len jeho záverný prúd. Tyristor je v blokovacom stave. Pretože do ovládacej elektródy neprivádzame prúd  $I_G$  ( $I_G = 0$ ), závisí len od vlastností priechodu  $J_2$ , kedy tyristor zopne. Stane sa tak v okamihu, keď napätie na tyristore dosiahne hodnotu spínacieho napätia  $U_{BO}$ . Nastáva nedeštruktívny prieraz priechodu  $J_2$ , sprevádzaný prudkým vzrastom prúdu a súčasným poklesom napätia  $U_{BO}$  (oblasť záporného diferenciálneho odporu

na charakteristike). Tyristor ako spínač prešiel do priepustného stavu a príslušná časť charakteristiky sa podobá voltampérovej charakteristike polovodičovej diódy v priamom smere. Ak privedieme do ovládacej elektródy prúd  $I_G$ , zväčší sa koncentrácia nosičov v oblasti uzavretého priechodu  $J_2$ , a prieraz priechodu nastane pri nižšom napätí, než je napätie  $U_{BO}$ . Čím väčší je ovládací prúd  $I_G$ , tým menšie je spínacie napätie tyristora. Pri dosiahnutí určitej hodnoty ovládacieho prúdu, ktorý nazývame zapínacím prúdom ovládacej elektródy  $I_G = I_{GT}$ , sa pri činnosti tyristora na jeho charakteristike neobjaví oblasť záporného dif. odporu

**Sústava VA charakteristík :**



Časť voltampérových charakteristík v blokovacom stave, nameraných pri rôznych hodnotách ovládacieho prúdu  $I_G$ , tvorí sústavu, ktorej parametrom je prúd  $I_G = \text{konšt.}$ , a tyristor sa správa ako ovládaný spínač.

Časť charakteristiky, ktorá zodpovedá priepustnému stavu tyristora, je spoločná pre celú sústavu a priepustný prúd tyristora nezávisí od prúdu ovládacej elektródy  $I_G$ . To znamená, že ihneď po zopnutí prestáva ovládacia elektróda vplyvať na ďalší proces v tyristore. Pri bežných tyristoroch nemožno tyristor zablokovat' ani zmenšením alebo prerušením ovládacieho prúdu. Tyristor sa vypne len privedením záporného prúdu do ovládacej elektródy alebo zmenšením priepustného prúdu pod hodnotu prídružného prúdu  $I_H$  (napr. prerušením obvodu, alebo uvedením tyristora do záverného stavu komutáciou pripojeného napätia).

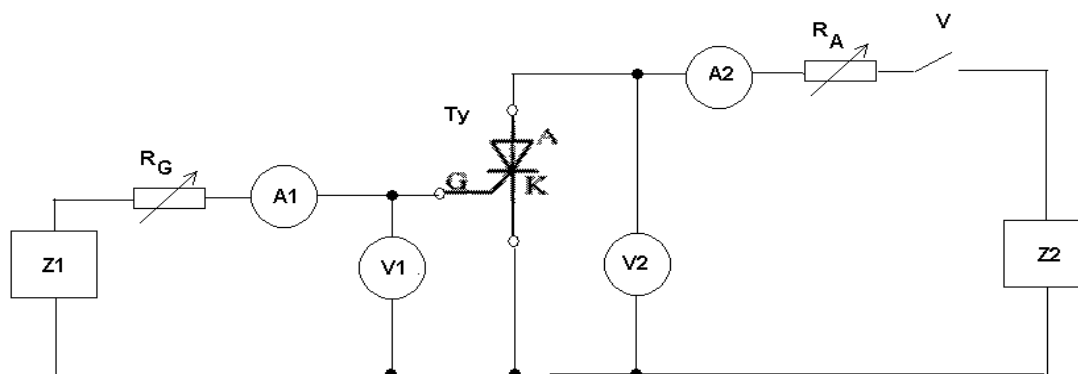
Dôležitými veličinami tyristora ako spínača sú spínací a vypínací čas. Spínací čas  $t_{on}$  je čas, ktorý uplynie od okamihu pripojenia napätia na tyristor do okamihu, kedy tyristorom začne tiecť ustálený prúd. Vypínací čas  $t_{off}$  je časový interval medzi okamihom, keď sa preruší prúd tyristora a okamihom, keď sa obnoví (menovitý) blokovací stav tyristora. V prípade, že priepustné napätie na tyristore začne opäť vzrastať pred uplynutím vypínacieho času, tyristor predčasne zopne pri nižšom napätí, než aké zodpovedá charakteristickej hodnote blokovacieho napätia pre určitý prúd  $I_G$ .

Veľkosť napätia, pri ktorom tyristor skutočne zopne, závisí aj od rýchlosti, s akou napätie, pripojené na svorky tyristora, vzrastá na hodnotu napätia  $U_{BO}$ . Od určitej kritickej rýchlosti  $S_U = dU_D/dt$ , ktorú nazývame kritickou strmosťou rastu blokovacieho napätia, je spínacie napätie menšie ako napätie  $U_B$  (pri určitom prúde  $I_b$ ). Hodnota spínacieho napätia je tým menšia, čím väčšia je kritická rýchlosť  $S_U$ . Príčinou tohto javu je kapacitný prúd, ktorý pri týchto rýchlych zmenách vzniká v štruktúre tyristora a má podobný vplyv na spínacie napätie ako ovládací prúd. Kritickou strmosťou pri niektorých tyristoroch je už hodnota  $10^{-1} \text{ V/ms}$ , moderné tyristory dosahujú hodnotu strmosti až  $10^2 \text{ V/ms}$ .

Tyristor, ktorý má na vnútornú oblasť s vodivosťou N pripojenú ovládaciu elektródu, označuje sa ako tyristor NPNP. Ovláda sa záporným prúdom, privádzaným do ovládacej elektródy. Vnútorné procesy prebiehajú rovnako ako pri tyristore PNP. Tyristory NPNP u nás nevyrábame.

**Použitie tyristorov:** ovládané spínače v jednosmerných obvodoch, ovládané usmerňovače v obvodoch striedavého prúdu.

### Schéma zapojenia pre meranie V-A charakteristík tyristora



Vzhľadom na to, že napätia a prúdy dosahujú pri činnosti a pri meraní tyristora veľmi odlišné hodnoty, musíme meranie V-A charakteristiky rozčleniť na samostatné časti:

#### a) blokovacia časť V-A charakteristiky

Ak na anódu pripojíme kladný a na katódu záporný pól a prúd  $I_G = 0$ , prúd  $I_F$  má veľmi malú hodnotu, pretože PN prechod č. 2 je polarizovaný v závernom smere. **Tyristor** má veľký odpor a hovoríme, že je v **blokovacom stave**. Ak zvyšujeme napätie, tyristor sa otvorí, ak sa prekročí

spínacie napätie  $U_{BO}$  (hodnota v katalógu udáva napätie, do ktorého prieraz nenastane). Pri meraní blokovacej časti charakteristiky nastavíme na voltmetri väčší rozsah (napr. 200V), na ampérmetri minimálny rozsah (20 $\mu$ A), prúd  $I_G$  nastavíme na nulovú hodnotu. Z katalógu zistíme hodnotu spínacieho napätia  $U_{BO}$  a budeme zvyšovať napätie medzi A a K len po túto hodnotu, aby nedošlo k zopnutiu tyristora.

#### b) priepustná časť charakteristiky

Medzi A a K pripojíme určité napätie (nemusí byť veľké, stačí niekoľko voltov) a privedením dostatočne veľkého prúdového impulzu do hradla privedieme tyristor do priepustného stavu.

Po zopnutí tyristora rozsah voltmetra zmenšíme, pretože vzhľadom na malý odpor otvoreného tyristora, napätie na ňom nemôže byť väčšie.

Ampérmeter, ktorý meria prúd  $I_F$  nastavíme na potrebný rozsah.

Po zopnutí tyristora už riadiaci prúd nemá žiadny vplyv na jeho činnosť a môžeme prerušiť obvod riadiaceho prúdu. Keď  $I_G$  prerušíme, tyristor zostane v priepustnom stave. Ochranný odpor je možné zapojiť ako reostat.

Pri meraní priepustnej časti charakteristiky **nastavujeme prúd a odčítavame napätie** (pretože vieme určiť maximálnu hodnotu prúdu  $I_{Fmax}$  podľa katalógu a napätie je prakticky konštantné). Pri tomto meraní ešte zistíme prídržný prúd tyristora  $I_H$  – je to najmenší prúd, pri ktorom je ešte tyristor v priepustnom stave. Zistíme ho tak, že budeme znižovať prúd  $I_F$  a odčítame hodnotu prúdu v momente, keď tyristor prejde do blokovacieho stavu.

#### c) spínanie tyristora

Tyristor zopne (prejde z blokovacieho do priepustného stavu) privedením impulzu do riadiacej elektródy. Všeobecne platí, že čím väčší je  $I_G$ , tým pri menšom napätí  $U_F$  tyristor zopne (neplatí však žiadna úmera). Postupovať budeme tak, že na tyristore nastavíme rôzne napätia  $U_F$  a zistíme, pri akom prúde tyristor zopne. Treba dať pozor na rozsah ampérmetra.

Zopnutie tyristora sa prejaví zmenšením (poklesom) napätia a zväčšením prúdu. Spínanie sa vyznačuje oblasťou **záporného diferenciálneho odporu**.

#### d) záverná charakteristika

Na anódu je pripojený záporný a na katódu kladný pól zdroja. Riadiaci prúd nemá žiadny vplyv na činnosť tyristora. Meranie je úplne analogické ako meranie blokovacej časti charakteristiky resp. charakteristiky polovodičovej diódy v závernom smere.

### 6.5 Meranie na optoelektronických súčiastkách

K optoelektrickým súčiastkam patrí **fotorezistor, fotodióda, fototranzistor a optrón**.

Optoelektrické prvky pracujú na princípe vnútorného fotoefektu. Vplyvom osvetlenia sa menia elektrické vlastnosti súčiastky. **Osvetlenie** – fotometrická veličina, symbol  $E$ , jednotka v SI lux, symbol lx, definovaná vzťahom:

$$E = \frac{\Phi}{S} \left( lx; lm, m^2 \right)$$

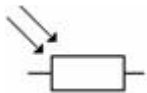
kde  $\Phi$  je svetelný tok dopadajúci na plochu s obsahom  $S$ .

Pri kolmom dopade svetla je osvetlenie plochy určené vzťahom

$$E = \frac{I}{r^2} \left( lx; cd, m \right)$$

kde  $I$  je svietivosť bodového zdroja svetla osvetľujúceho plochu a  $r$  vzdialenosť plochy odsvetelného zdroja.

#### 6.5.1 Meranie na fotorezistore



schematická značka

Je to lineárny symetrický jednobran, ktorý mení odpor v závislosti od osvetlenia. Svetlo dopadajúce na polovodivú vrstvu spôsobuje vznik voľných elektrónov a dier. Čím väčšie je osvetlenie, tým je menší odpor. Vlastnosti fotorezistora overíme

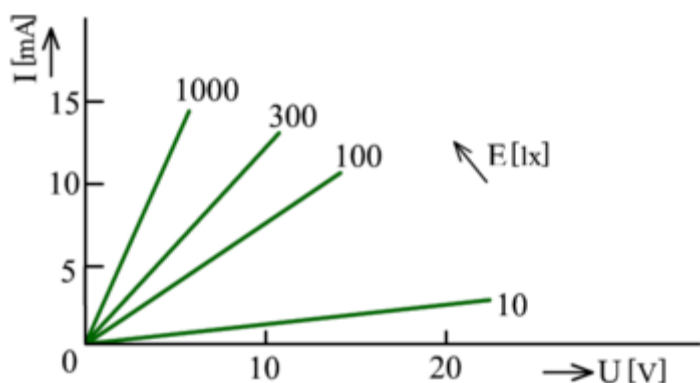
a) meraním voltampérových charakteristík pri konštantnom osvetlení. **Odpor fotorezistora sa pri konštantnom osvetlení nemení**, prúd sa v závislosti od napätia zväčšuje lineárne,

V-A charakteristiky majú tvar priamky s rôznym sklonom – pozri **obr. 6.1** Zvolíme osvetlenie pomocou žiarovky a pri  $E = \text{konšt.}$  budeme meniť napätie a merať prúd.

Meranie zopakujeme pri niekoľkých hodnotách osvetlenia a zostrojíme grafické závislosti.

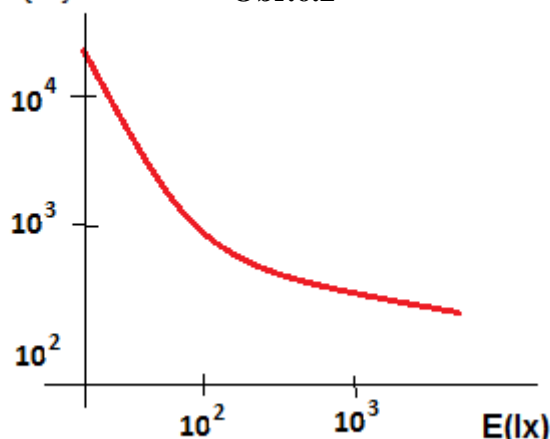
b) meraním závislosti odporu fotorezistora od osvetlenia pri konštantnom napätí  $R = f(E)$ . Pri tomto meraní pripojíme fotorezistor na konštantné napätie a budeme merať prúd pri rôznych osvetleniach, **obr. 6.2**. Odpor fotorezistora vypočítame podľa Ohmovho zákona.

Obr.6.1



R ( $\Omega$ )

Obr.6.2



### 6.5.2 Meranie na fotodióde

**Fotodióda** je polovodičová dióda s priehľadným puzdrom, aby na jej PN prechod mohlo dopadať svetlo. Jej vlastnosti závisia od osvetlenia.

V-A charakteristiky fotodiódy závisia od osvetlenia. V I. kvadrante (v priepustnom smere) má osvetlenie len malý vplyv na jej vlastnosti, preto sú krivky takmer totožné (nepoužíva sa). Fotoelektrický jav má veľký vplyv na vlastnosti fotodiódy v III. a IV. kvadrante.

Pri rôznych osvetleniach ( $E = \text{konšt.}$ ) dostaneme sústavu kriviek. Pri  $E = 0$  je V-A charakteristika zhodná s charakteristikou usmerňovanej polovodičovej diódy.

#### III. kvadrant – polarizácia v závernom smere

Čím väčšie je osvetlenie, tým väčší je prúd tečúci PN prechodom (zväčšuje sa koncentrácia nosičov prúdu). Na veľkosť záverného prúdu pri  $E = \text{konšt.}$  nemá napätie takmer žiaden vplyv, preto charakteristiky sú takmer rovnobežné a lineárne. Fotodióda sa správa ako odpor ovládaný osvetlením. Na osvetlenie diódy použijeme žiarovku, ktorú napájame konštantným napätím. Regulačným rezistorom R nastavíme požadovanú intenzitu osvetlenia

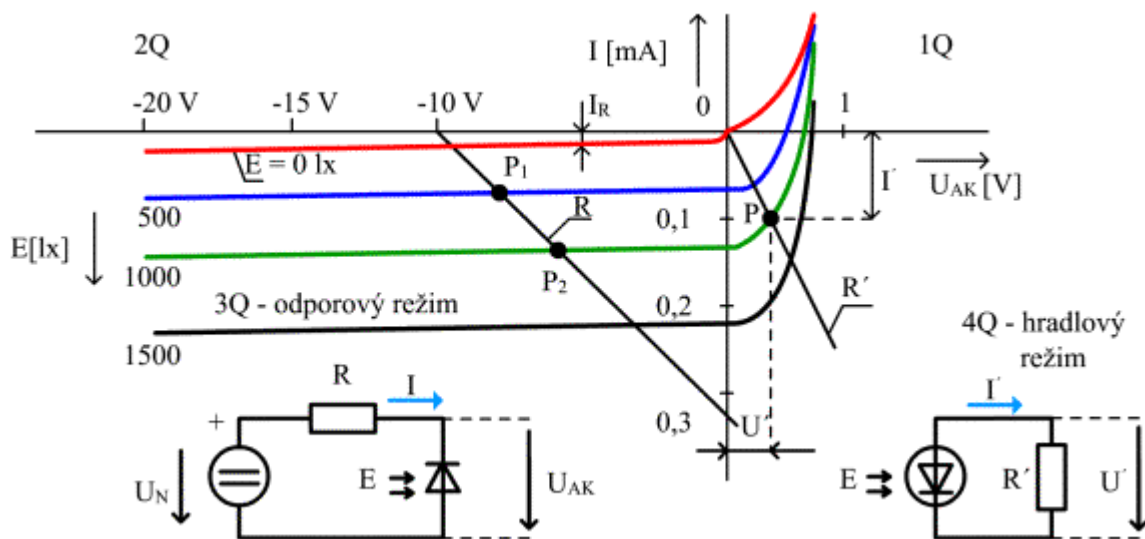
fotoelektrickej diódy v intervale 0 až 1 500 lx. Stabilizovaným zdrojom  $U_N$  nastavujeme na dióde záverné napätia a pri každom napätí odmeriame záverný prúd. Ďalšie charakteristiky odmeriame analogicky pri inom osvetlení diódy.

#### IV. kvadrant – hradlový režim

Fotodióda, na ktorú dopadá svetlo sa správa ako zdroj elektrickej energie (fotočlánok). Napätie naprázdno závisí od osvetlenia (logaritmicky) a dosahuje hodnotu desiatín voltu. Prúd nakrátko závisí priamo úmerne od osvetlenia.

VA charakteristiky v III. a IV. kvadrante a základné zapojenia sú na obr. 6.3.





Obr.  
6.3

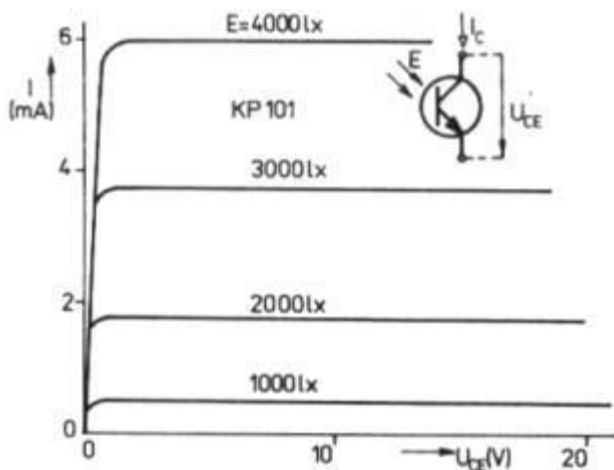
### 6.5.3 Meranie na fototranzistore

Je to kremíkový tranzistor s okienkom, ktoré umožňuje osvetlenie emitorového PNprechodu.

Za tmy sa FT správa ako normálny bipolárny tranzistor. Osvetlením sa zväčšuje prúd bázy a teda aj kolektorový prúd. Používa sa v zapojení so SE. Nemusí mať vôbec vyvedenú bázu, potom je to jednobran, ktorý navonok vyzerá ako fotodióda, ale je omnoho citlivejší na svetlo.

Schéma pre meranie je analogická ako pre fotodiódu. Nastavíme konštantné osvetlenie (žiarovka) a pri rôznych napätiach  $U_{CE}$  odmeriame kolektorový prúd. Rovnako postupujeme aj pri inej hodnote osvetlenia.

Na obr. 6.4 sú zakreslené výstupné charakteristiky a schematická značka fototranzistora.



Obr. 6.4

### 6.5.4 Meranie na optoelektronickom člene (optrón)

#### Vlastnosti meraného objektu a špecifikácia úloh merania.

Pri meraní zistíme najprv nominálne hodnoty predloženého optoelektronického väzobného člena z katalógu.

Optoelektronický väzobný člen obsahuje v sebe zdroj svetla (LED dióda) a na svetlo citlivý polovodičový prvok (fototranzistor) – v našom prípade ide o optoelektronický väzobný člen v zapojení s otvorenou bázou.

Elektrická energia zo vstupu, na ktorý je zapojený zdroj svetla sa prenáša na výstup prostredníctvom svetelnej energie, čím sa dosiahne galvanické oddelenie vstupného obvodu od výstupného. Funkcia



optoelektronického väzobného člena spočíva teda v tom, že svetelným tokom zo zdroja svetla ovláda sa zosilňovací činiteľ tranzistora. Keďže na napájanie optoelektronického člena potrebujeme určitý výkon (pre jeho svetelný zdroj) bude nás pri jeho aplikácii zaujímať, ako sa tento prenesie na výstup. Sledujeme preto výkonový transformačný činiteľ CTR, daný vzťahom

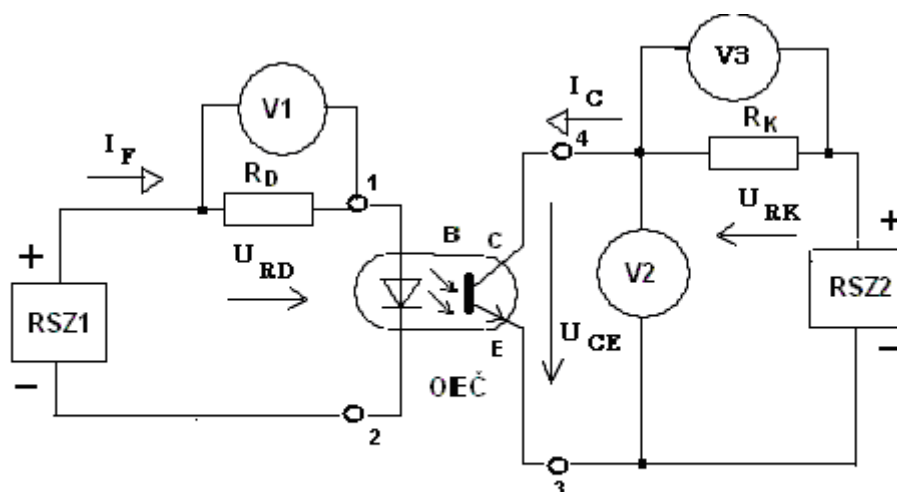
$$CTR = \frac{I_C}{I_F}$$

alebo v percentách

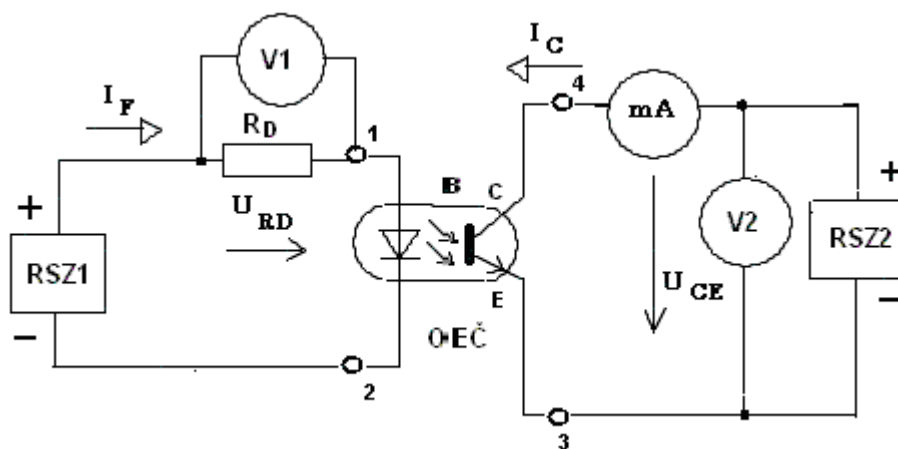
$$CTR = \frac{I_C}{I_F} \cdot 100\%$$

kde  $I_F$  je vstupný prúd a  $I_C$  je výstupný prúd optoelektronického väzobného člena. Najlepšie zosilnenie sa dosahuje v zapojení so spoločným emitorom, preto sa meria pri tomto zapojení. Nakoľko sa jedná o veľmi malé prúdy, nastavujeme a meriame ich nepriamo cez úbytky napätí na odporoch  $R_D$  a  $R_K$ , ktoré predstavujú presné odporové dekády, napätie  $U_{CE}$  medzi kolektorom a emitorom držíme konštantné. Na obr. 6.5 je nakreslená schéma zapojenia pre meranie CTR.

Obr.6.5

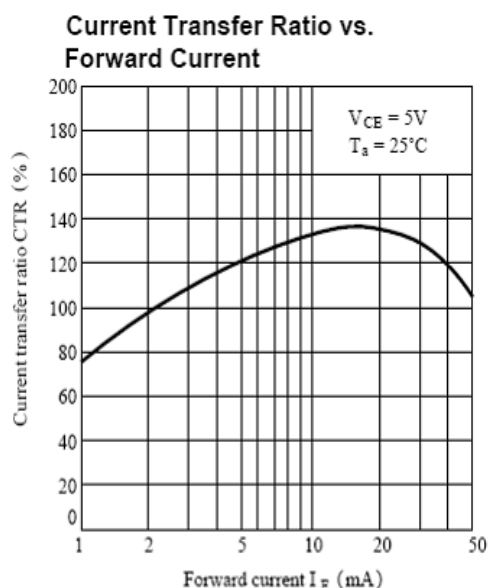


Keďže svetelný a tým aj transformovaný výkon závisí lineárnejšie od vstupného prúdu ako od napätia, graficky znázorníme závislosť zosilňovacieho činiteľa od vstupného prúdu  $I_F$ , obr.6.7.

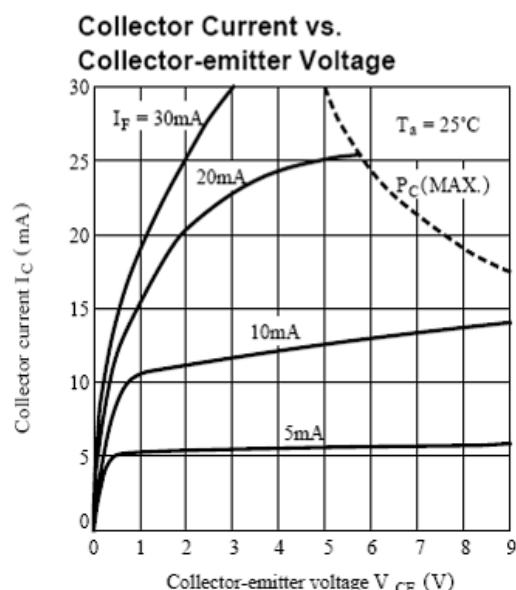


Obr.6.6

Na obr.6.6 je schéma zapojenia pre meranie výstupných charakteristík optočlena a na obr. 6.8 sú výstupné charakteristiky optočlena pri rôznych vstupných prúdoch  $I_F$ .



Obr.6.7



Obr. 6.8

### Kontrolné otázky pre polovodičové súčiastky:

1. Uved'te základné požiadavky pre jednotlivé polovodičové súčiastky, ktoré musíte dodržať, aby sa nepoškodili.
2. Nakreslite a pomenujte VA charakteristiky bipolárneho tranzistora.
3. Určte a matematicky zapíšte parametre, ktoré prislúchajú týmto charakteristikám.
4. Nakreslite schému zapojenia pre meranie VA charakteristik bipolárneho tranzistora a uved'te dôvody použitia odporu  $R_0$ .
5. Napíšte základné rozdiely medzi bipolárnym a unipolárnym tranzistorom a nakreslite schematické značky jednotlivých tranzistorov.
6. Nakreslite schému zapojenia pre meranie VA charakteristik tyristora.
7. Popíšte základné meracie prístroje a zdroje, ktoré potrebujete pri meraní VA charakteristik tyristora.
8. Vymenujte charakteristiky, ktoré sa na tyristore merajú.
9. Uved'te, na akom základnom princípe pracujú fotoelektrické súčiastky a nakreslite schematické značky niektorých fotoelektrických súčiastok.
10. Charakterizujte oprón, uved'te: schematickú značku, použitie.
11. Vysvetlite, aké merania sa uskutočňujú na opróne.
12. Popíšte a vysvetlite dôvod použitia meracích metód používaných pre meranie na opróne.

## 7. MERANIE ELEKTRICKÉHO VÝKONU

Výkon elektrického prúdu je dôležitý parameter elektrických zariadení a je počiatočným údajom pre výpočet elektrickej práce, účinníka a účinnosti.

Problematika merania výkonu je rozsiahla. Existuje mnoho meracích metód, ktoré môžeme rozdeliť podľa rôznych hľadísk. Najčastejšie metódy na meranie výkonu elektrického prúdu delíme :

**podľa časovej zmeny veľkosti elektrického prúdu na :**

**a. meranie výkonu jednosmerného prúdu a napätia:**

- metódu nepriamu (VA – metóda),
- metódu priamu (W – metrická);

**b. meranie striedavého prúdu a napätia:**

- metódy merania výkonu 1 – fázového prúdu a napätia,
- metódy merania výkonu 3 – fázového prúdu a napätia.

podľa spôsobu určovania meranej veličiny na :

- **priamo** meraciu metódu, pri ktorej sa hodnota meranej veličiny získa priamo bez nutnosti merania ďalších veličín funkčne viazaných s veličinou meranou a vyhodnocuje skutočný činný výkon bez ohľadu na charakter záťaže;
- **nepriamo** meraciu metódu, pri ktorej sa hodnota meranej veličiny získa meraním iných veličín funkčne viazaných s meranou veličinou a je založená na meraní napätia alebo prúdu činných záťaží.

Stále treba mať na pamäti, že pri meraní jednotlivých výkonov vždy volíme také zapojenie prístrojov, pri ktorom sa čo najmenej uplatňuje chyba merania spôsobená chybou metódy, presnosťou prístrojov, resp. ich vlastnou spotrebou. V prípadoch, kedy sa vlastná spotreba prístrojov nedá zanedbať, volíme také zapojenie, pri ktorom sa vlastná spotreba prístrojov dá ľahko vypočítať.

### 7.1 Meranie výkonu jednosmerného napätia a prúdu

Pri jednosmernom prúde výkon jednoznačne znamená elektrickú prácu vykonanú prúdom za jednotku času.

Pre výpočet výkonu jednosmerného prúdu platia vzťahy :

$$P = U \cdot I \quad [W; V, A]$$

$$P = R_z \cdot I^2 \quad [W; \Omega, A]$$

$$P = \frac{U^2}{R_z} \quad [W; V, \Omega]$$

v ktorých :

U – napätie na meranom zariadení,

I – prúd prechádzajúci meraným zariadením,

R<sub>z</sub> – odpor meraného zariadenia.

Využitím týchto troch vzťahov pre výpočet výkonu jednosmerného prúdu sú dané aj tri možné spôsoby **nepriameho merania výkonu** v obvode jednosmerného prúdu, a to :

- meraním U a I (VA – metóda),
- meraním I a R<sub>z</sub> ,
- meraním U a R<sub>z</sub> .

#### 7.1.1 Nepriama VA metóda

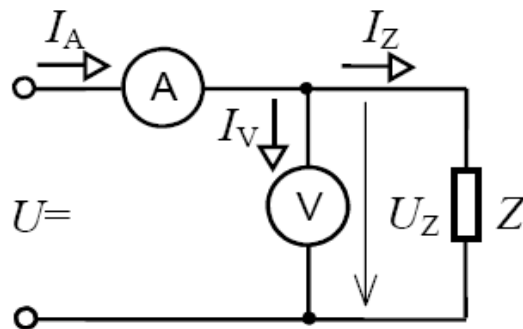
Pri tejto metóde vychádzame zo vzťahu  $P = U \cdot I$  [W; V, A] pre vyčíslenie veľkosti výkonu jednosmerného prúdu, a preto využijeme spôsob meraním U a I.

Pri zapojení ampérmetra pre meranie prúdu prechádzajúceho meraným zariadením a voltmetra pre meranie napätia na meranom zariadení, vychádzame z veľkosti odporu meraného zariadenia.

Pre rôzne hodnoty odporov sa používajú rôzne zapojenia. V zásade sú možné dva spôsoby pripojenia. Pre každú konkrétnu situáciu je nutné zvoliť najvhodnejšiu metódu, aby chyba merania bola čo najmenšia (rozhoduje tzv. kritická hodnota odporu meraného zariadenia) .

**Zapojenie AV**

Zapojenie sa používa v prípadoch ak  $R_Z \ll R_V$ , t.j. pre väčšie prúdy.



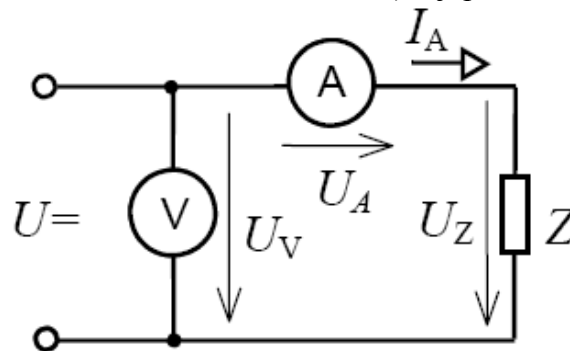
$$P_{R_Z} = U_V I_Z$$

$$I_Z = I_A - I_V$$

$$P_{R_Z} = U_Z (I_A - I_V) = U_Z \left( I_A - \frac{U_Z^2}{R_V} \right)$$

#### **Zapojenie VA**

Zapojenie sa používa v prípadoch ak  $R_Z \gg R_V$  ( $R_Z \gg R_A$ ), t.j. pre väčšie napätie.



$$P_{R_Z} = U_Z I_A$$

$$U_Z = U_V - U_A$$

$$P_{R_Z} = (U_V - U_A) I_A = U_V I_A - I_A^2 R_A$$

V oboch prípadoch bude :

- maximálna relatívna chyba merania

$$\delta_P \leq |\delta_V| + |\delta_A|$$

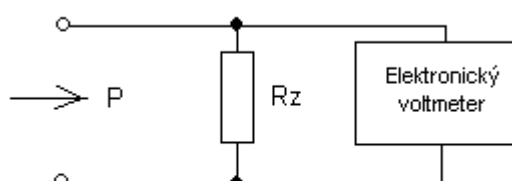
#### **7.1.2 Nepriama metóda meraním napätia**

Pri tejto metóde vychádzame zo vzťahu

$$P = \frac{U^2}{R_Z} \quad [W; V, \Omega]$$

pre vyčíslenie veľkosti výkonu jednosmerného prúdu, a preto využijeme spôsob meraním U a  $R_Z$ .

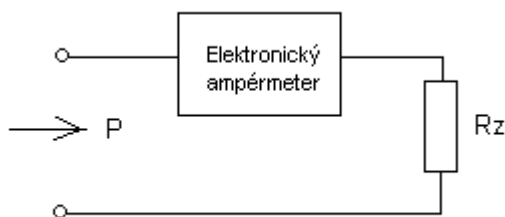
#### **7.1.3 Nepriama metóda meraním prúdu**



Pri tejto metóde vychádzame zo vzťahu

$$P = R_z I^2 \quad [W; \Omega, A]$$

pre vyčíslenie veľkosti výkonu jednosmerného prúdu, a preto využijeme spôsob meraní  $I$  a  $R_z$ .



#### 7.1.4 Priama metóda

Jednosmerný výkon je možné merať priamou metódou pomocou wattmetra. Sú možné dva rôzne spôsoby zapojenia cievok prístroja. V každom z nich je meranie zaťažené chybou meracej metódy. Bližšie o zapojeniach a korekcii chyby metódy je uvedené pri meraní činného výkonu striedavého prúdu.

#### Elektronické wattmetre

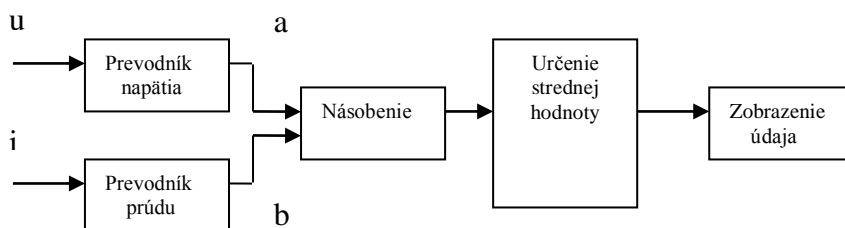
Elektronické wattmetre sa používajú na meranie menších výkonov, ktoré sa nedajú merať elektromechanickým prístrojom, alebo striedavého výkonu elektrického prúdu vyššej frekvencie, ktorá je mimo rozsah analógových prístrojov (elektrodynamická alebo ferodynamická sústava je spravidla určená len pre meranie striedavého výkonu elektrického prúdu sieťovej frekvencie 50 Hz). Pre činný výkon dodávaný zdrojom do ľubovoľnej záťaže behom časového intervalu  $T$  platí vzťah

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt$$

kde  $u(t)$  je časový priebeh napätia na záťaži a  $i(t)$  je časový priebeh prúdu tečúceho záťažou.

Pri meraní výkonu sa určuje stredná hodnota okamžitého výkonu a z toho vyplýva aj samotná štruktúra prístroja pre meranie výkonu.

Princíp usporiadania prístroja na meranie výkonu :



Napätie na záťaži  $u(t)$  sa prevedie na signál

$$a(t) = k_u u(t)$$

a prúd tečúci záťažou na signál

$$b(t) = k_i i(t).$$

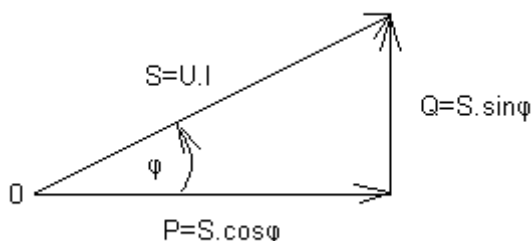
Koeficientom  $k_u$  je možné upraviť napäťovú, koeficientom  $k_i$  prúdovú citlivosť prístroja. Druh signálu  $a(t)$  a  $b(t)$  je závislý od spôsobu ich násobenia, spravidla je to napätie. Po vynásobení nasleduje určenie strednej hodnoty a jej zobrazenie.

Násobenie a určenie strednej hodnoty sa realizuje analógovo alebo číslicovo. Podľa tohto sa elektronické wattmetre delia na :

- analógové prístroje na meranie výkonu,
- číslicové prístroje na meranie výkonu.

## 7.2 Meranie výkonu striedavého prúdu a napätia

Pri meraní výkonu striedavého prúdu a napätia je situácia zložitejšia, preto, že je tu viac rôzne definovaných výkonov – **zdanlivý, činný a jalový**.



Ďalej uvedené skutočnosti platia len pre meranie výkonu harmonického striedavého prúdu a napätia.

Vzájomnú súvislosť medzi jednotlivými výkonmi môžeme sledovať z tzv. **trojuholníka výkonov**.

Fázorový diagram zdanlivého, činného a jalového výkonu :

Preponu pravouhlého trojuholníka výkonov tvorí zdanlivý výkon  $S = U.I$ . Vo všeobecnom prípade nemá žiaden fyzikálny význam. Dôležitý je však pre dimenzovanie elektrických strojov, rozvodov a zariadení bez ohľadu na to, aký je činný výkon. Jednotkou zdanlivého výkonu je voltampér - **VA**.

Prvú odvesnu tvorí činný (užitočný) výkon  $P = S.\cos\varphi = U.I.\cos\varphi$ . Tento výkon sa spotrebuje v obvode na teplo alebo užitočnú mechanickú prácu. Jednotkou je watt – **W** a jeho podiely alebo násobky.

Druhú odvesnu tvorí jalový (neužitočný) výkon  $Q = S.\sin\varphi = U.I.\sin\varphi$ . Tento výkon sa využije na vytváranie magnetického poľa v cievkach alebo elektrického poľa v kondenzátoroch. Jednotkou je reaktančný voltampér – **Var** a jeho násobky.

Na posúdenie kvality elektrického zariadenia z hľadiska ekonomického je dôležité, aby bolo optimálne využité, čo je vtedy, keď sa činný výkon čo najviac rovná zdanlivému. V opačnom prípade, teda keď zdanlivý výkon je oveľa väčší, je zariadenie zaťažované zbytočne veľkým prúdom a má tiež zbytočne veľké straty.

Pri meraní výkonov trojfázového striedavého prúdu musíme navyše prihliadať na druh trojfázovej sústavy, v ktorej chceme určovať výkon a na symetriu zaťaženie takejto sústavy.

### 7.2.1 Meranie výkonu jednofázového prúdu a napätia

#### Meranie činného výkonu – priama wattmetrická metóda

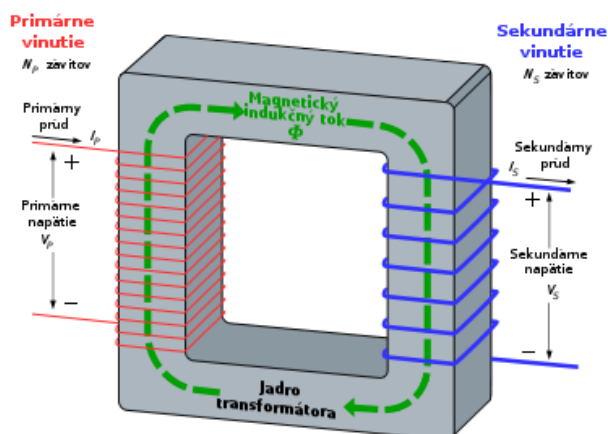
Činný výkon striedavého prúdu spravidla meriame wattmetrami elektrodynamického alebo ferodynamického systému, v poslednej dobe hlavne elektronickými. Elektronické wattmetre majú okrem možnosti merania činného výkonu aj meranie jalového výkonu, účinníka  $\cos\varphi$ , napätia a prúdu. Zdanlivý výkon vieme vypočítať podľa vzťahu

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (\text{VA})$$

### Kontrolné otázky pre meranie elektrického výkonu:

1. Definujte a matematicky napíšte vzťah pre elektrický výkon (aj s jednotkami).
2. Napíšte rozdiel medzi meraním jednosmerného a striedavého elektrického výkonu, uveďte aj typy meracích prístrojov a zdrojov.
3. Vymenujte druhy výkonov v striedavom obvode aj s matematickým zápisom a jednotkami.
4. Uveďte, ako odmeriate činný, zdanlivý a jalový výkon striedavého prúdu.

## 8. MERANIE NA TRANSFORMÁTORE



Elektrická energia sa rozvádza výlučne striedavým prúdom. Pre hospodárny prenos elektrickej energie na väčšie vzdialenosti je potrebné zvýšiť napätie, aby sa pri danom výkone znížil prúd a takto sa obmedzili straty vo vedení. V mieste spotreby je zase potrebné znížiť toto napätie na hodnotu potrebnú pre napájanie elektrických spotrebičov.

**Transformátor** je elektrické zariadenie, ktoré mení úroveň vstupného striedavého napätia na inú úroveň výstupného striedavého napätia, pri zachovaní jeho frekvencie.

Účelom meraní na transformátore je získať prehľad, ako sa transformátor správa v prevádzke, aký je priebeh závislosti účinnosti úbytku napätia v závislosti od zaťaženia a účinníka.

Všetky tieto priebehy je možné stanoviť výpočtom z nameraných hodnôt náhradnej schémy.

### 8.1 Rozdelenie transformátorov:

#### Podľa počtu fáz:

- jednofázové
- trojfázové

#### Podľa spracovanej frekvencie:

- nízko frekvenčné
- vysokofrekvenčné
- sieťové (pracujú s frekvenciou 50Hz)

#### Podľa veľkosti spracovaného napätia:

- nn
- vn
- vvn

#### Podľa tvaru jadra:

- jadrový – majú primárne a sekundárne vinutie na rôznych stĺpoch jadra
- plášťový – majú obe vinutia na jedinom strednom stĺpe jadra
- kruhový – jadro má tvar toroidu a vinutie je nasadené na jeho celom obvode

#### Podľa typu jadra:

- transformátorový plech
- feritové jadro (vysokofrekvenčné)
- železoprachové

### Špeciálne transformátory:

- autotransformátory
- zväracie transformátory
- meracie transformátory
- signálové transformátory

## 8.2 Základné časti transformátora

1. **Elektrický obvod** – tvorí ho vinutie primárnej a sekundárnej cievky. Vznikajú tam straty vo vinutí (tepelné).
2. **Magnetický obvod** – tvorí ho feromagnetické jadro. Vznikajú straty v jadre a to hysterézne straty a straty vírivými prúdmi, čo sú tiež tepelné straty. Z tohto dôvodu je potrebné transformátory chladiť, hlavne vysokonapäťové.

## 8.3 Merania na transformátore

Pred samotným meraním treba poznať **základné parametre**, ktoré sú uvedené na štítku. A to sú: 1. menovité primárne napätie –  $U_{1N}$  (V)

2. menovité sekundárne napätie –  $U_{2N}$  (V)

3. menovitý zdanlivý výkon –  $S_N$  (VA)

4. menovitá frekvencia –  $f_N$  (Hz)

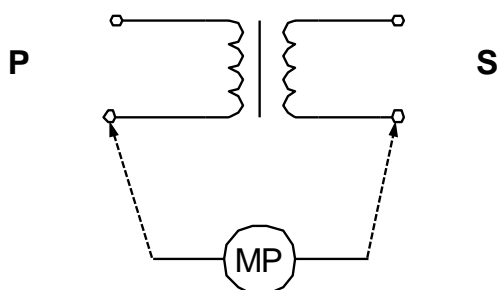
Z nich vypočítame hodnoty menovitých prúdov primárnej a sekundárnej strany.

$$I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}} \quad I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}}$$

### 8.3.1 Meranie izolačného odporu transformátora

Týmto meraním musíme zistiť stav izolácie medzi vinutiami. Meranie sa vykonáva špeciálnymi meracími prístrojmi na meranie vysokých odporov (Megmet alebo PU 310) a to medzi primárom a sekundárom, medzi primárom a jadrom a medzi sekundárom a jadrom. Pre najmenší izolačný odpor platí vzťah pri teplote 75°C, pretože pri prechode prúdu transformátorom, sa transformátor zohreje na túto teplotu.

$$R_{iz} \geq \frac{U_n}{1000 + 0,1 * P_{sn}} \text{ (M}\Omega\text{)}$$



Obr.8.1

Na obr. 8.1 je zapojenie meracieho prístroja.

### 8.3.2 Meranie odporu vinutí cievok transformátora



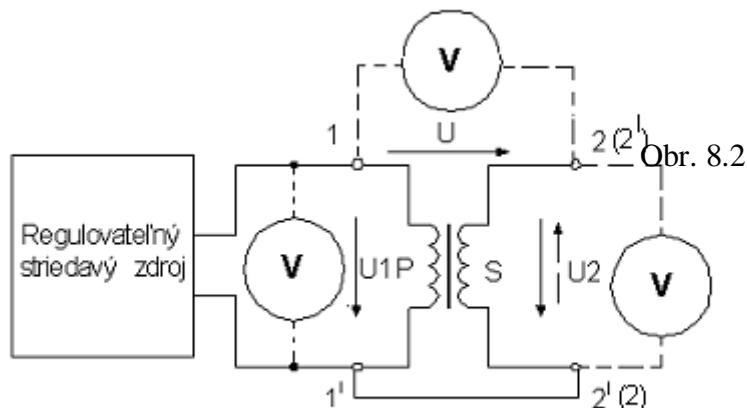
Pri tomto meraní môžeme využiť všetky vedomosti o meraní odporu - 3. Kapitola. Na meranie odporu vinutí cievok transformátora využijeme tú najjednoduchšiu - priamu metódu merania. Prepočítame jednosmerný odpor vinutia na teplotu 75°C podľa uvedeného vzťahu.

$$R_{75} = \frac{k + 75}{k + t} * R_{20} = \frac{235 + 75}{235 + 20} * R_{20}, \text{ pričom } R_{20} \text{ je odmeraný odpor ohmmetrom pri teplote } 20^{\circ}\text{C}.$$

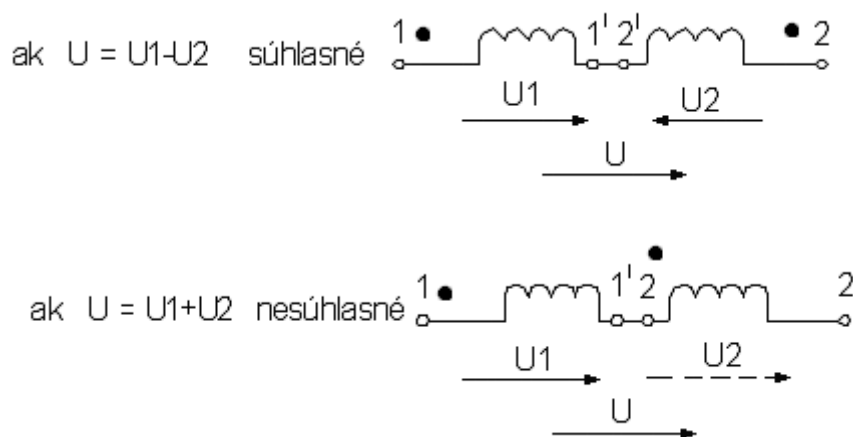
Meranie uskutočňujeme pre primárne aj pre sekundárne vinutie.

### 8.3.3 Meranie súhlasností vinutí cievok transformátora

Na obr. 8.2 je schéma zapojenia pre toto meranie. Úlohou tohto merania je určiť začiatok a koniec vinutia sekundára.



Podľa štruktúr nakreslených na obr. 8.3 určíme na sekundárnom vinutí kde je začiatok a koniec.



Obr.8.3

Označenie **1, 2** – začiatok vinutia (vyznačený bodkou)  
**1', 2'** – koniec vinutia

### 8.3.4 Meranie transformačného pomeru

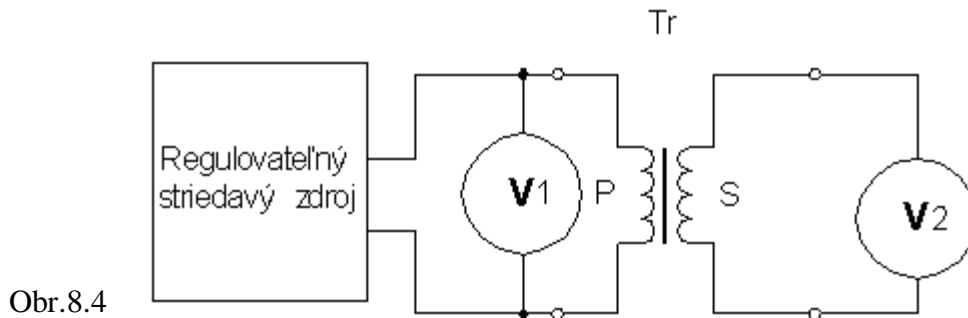
Prevod transformátora uvažovaný pri jeho návrhu je daný pomerom závitov.

$$p = \frac{N_1}{N_2}$$

Pre prevod ideálneho transformátora platí:

$$p = \frac{U_1}{U_2}$$

V reálnom transformátore tento vzťah platí len za predpokladu, že transformátorom netečie prúd. Túto podmienku nemožno v žiadnom prípade dosiahnuť, lebo aj nezatažený transformátor odoberá prúd. Aby bol vplyv magnetizačného prúdu minimalizovaný, treba



Obr.8.4

prevod merať v najstrmšej oblasti magnetizačnej charakteristiky. Pri bežných transformátoroch je to v rozsahu 10 – 70% $U_N$ .

Pri meraní je transformátor napájaný z regulačného autotransformátora. Schéma zapojenia je uvedená na obr.8.4. Pre určenie prevodu uskutočníme viacej meraní pri rôznych napätiach, ktoré sú v rozsahu 10 – 70% $U_N$ . Za skutočný prevod považujeme strednú hodnotu z prevodov získaných jednotlivými meraniami.

### 8.3.5 Meranie transformátora naprázdno

**Transformátor** je v stave **naprázdno**, ak jeho primárne vinutie je pripojené na striedavý zdroj a **sekundárne vinutie nie je zatťažené**. Takýto stav vznikne, ak na sekundárne vinutie nie je pripojený spotrebič (záťaž) alebo jeho impedancia je nekonečná alebo sekundárny obvod je prerušený. Sekundárnym vinutím transformátora netečie prúd  $I_2 = 0$ !

#### Vlastnosti transformátora v stave naprázdno

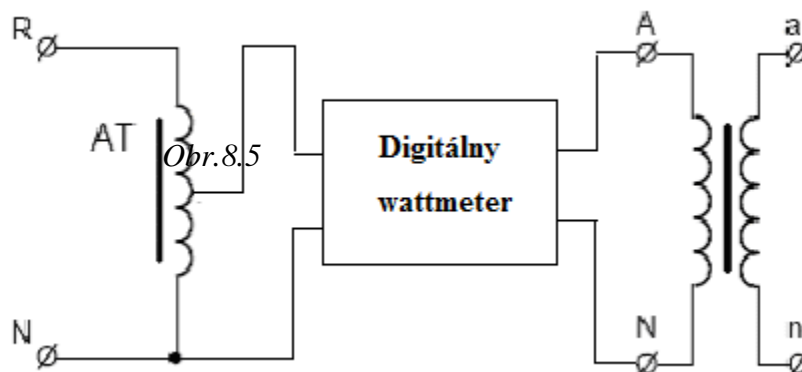
Výkon transformátora v stave naprázdno je nulový ( $P_2 = 0$ , lebo  $I_2 = 0$ ). Napriek tomu transformátor odoberá zo zdroja príkon  $P_{10}$ , ktorý sa spotrebuje na krytie strát. Straty vznikajú vo vinutí (Joulove) a v železe, platí teda vzťah:  $P_{10} = \Delta P_j + \Delta P_{Fe}$ . Primárnym vinutím transformátora v stave naprázdno pri menovitom primárnom napätí tečie prúd, ktorý má hodnotu asi 5 – 10% z  $I_{IN}$ . Straty vo vinutí sa vypočítajú podľa vzťahu:  $\Delta P_j = R_1 I_{10}^2$ .

Straty vo vinutí sú podstatne menšie ako straty v železe, preto ich môžeme zanedbať. Účinník transformátora v stave naprázdno je malý, jeho hodnota je približne 0,1 - 0,2.

#### Meranie

Úlohou merania na transformátore v stave naprázdno je odmerať závislosti primárneho prúdu, príkonu (strát v železe) a účinníka transformátora od primárneho napätia.

Pri meraní použijeme schému zapojenia podľa obr.8.5.



Stačí vykonať len jedno meranie pri nominálnej hodnote primárneho napätia  $U_{IN}$ .

Účinník transformátora v chode naprázdno vypočítame:

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{I_0 U_{10}}$$

Z nameraných hodnôt vypočítame impedanciu transformátora naprázdno:

$$Z_0 = \frac{U_{10}}{I_0}$$

Odpor strát v železe vypočítame:

$$R_{Fe} = \frac{Z_0}{\cos\varphi_0}$$

Magnetizacná reaktancia je daná vzťahom:

$$X_{1m} = \frac{Z_0}{\sin\varphi_0}$$

### 8.3.6 Meranie transformátora nakrátko

**Transformátor** je stave **nakrátko**, ak jeho primárne vinutie je pripojené na striedavý zdroj a **sekundárne vinutie je skratované**. Takýto stav vznikne, ak sa zníži impedancia spotrebiča (zátáže) na nulovú hodnotu alebo sa svorky sekundárneho vinutia premestia. Stav nakrátko nie je normálny ale poruchový stav. Môže vzniknúť napr. chybnou manipuláciou alebo porušením izolácie. Transformátor má byť pred účinkami skratových prúdov chránený istiacimi prvkami.

#### Vlastnosti transformátora v stave nakrátko

Primárnym aj sekundárnym vinutím transformátora v stave nakrátko tečú skratové prúdy **I<sub>1K</sub>** a **I<sub>2K</sub>**. Pri menovitom primárnom napätí majú tieto prúdy hodnotu podstatne väčšiu (až **25x**) ako menovité prúdy transformátora. **Napätie na sekundárnej strane je nulové**, preto aj výkon transformátora je rovný nule. Pri kon transformátora sa vzhľadom na veľkosť skratového prúdu spotrebuje na na krytie strát vo vinutí, straty v železe sú zanedbateľné. Platí teda vzťah: **P<sub>1K</sub> = ΔP<sub>j</sub>**. Účinník transformátora v stave nakrátko je veľký, jeho hodnota je približne **1**.

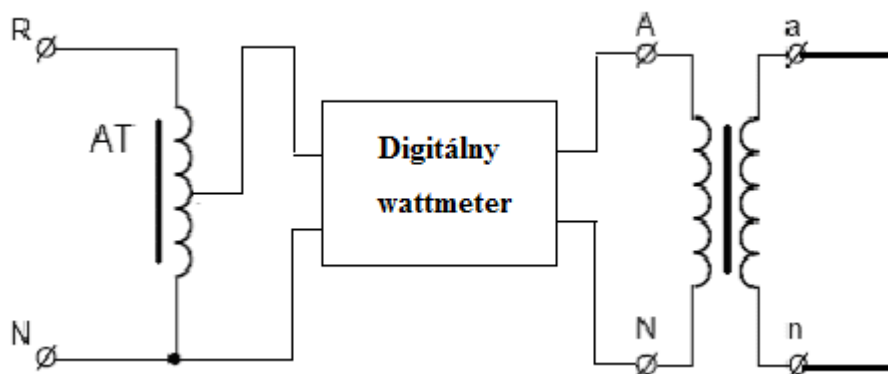
Aby sme pochopili podstatu merania, je potrebné poznať definíciu dôležitej veličiny – napätia nakrátko.

**Napätie nakrátko transformátora – U<sub>1KN</sub>** – je také napätie pripojené na primárne vinutie transformátora v stave nakrátko, pri ktorom tečú obidvoma vinutiami transformátora menovité prúdy. Napätie nakrátko je podstatne menšie ako menovité primárne napätie, jeho hodnota je približne **5 – 10% z U<sub>1N</sub>**. Veľkosť napätia nakrátko vyjadrená v percentách z menovitého primárneho napätia udáva charakteristická veličina transformátorov, ktorú udáva výrobca – **percentuálne napätie nakrátko**. Platí vzťah:

$$u_{k\%} = \frac{U_{1kN}}{U_{1N}} \cdot 100\%$$

#### Meranie

Primárne vinutie transformátora pri meraní v stave nakrátko, nie je možné pripojiť na menovité napätie **U<sub>1N</sub>**, pretože by došlo ku poškodeniu transformátora veľkými skratovými prúdmi. Budeme merať pri zníženom napätí, nastavovať budeme primárny prúd. Pri kon, ktorý odoberá transformátor v stave naprázdno **P<sub>k</sub>** sa spotrebuje na krytie jouleových strát v primárnom a sekundárnom vinutí. Straty v železe sú zanedbateľné, pretože transformátor je napájaný zníženým napätím. Pri meraní je transformátor zapojený podľa schémy uvedenej na obr.8.6. Vykonáme len jedno meranie pri nominálnej hodnote primárneho prúdu.



Obr. 8.6

Trvalé skratové prúdy sú prúdy, ktoré tečú vinutiami transformátora v stave nakrátko pri menovitom napätí  $U_{1N}$ . Označíme ich  $I_{1kN}$  a  $I_{2kN}$ . Tieto prúdy nie je možné namerať, preto ich môžeme iba vypočítať. Pri odvodení vzťahu vychádzame z predpokladu, že impedancia transformátora je konštantná, teda prúd závisí od napätia priamoúmerne.

$$\frac{U_{1N}}{I_{1kN}} = \frac{U_{1kN}}{I_{1N}} \rightarrow I_{1kN} = I_{1N} \cdot \frac{U_{1N}}{U_{1kN}} = I_{1N} \cdot \frac{U_{1N}}{\frac{u_{k\%} \cdot U_{1N}}{100}} = I_{1N} \cdot \frac{100}{u_{k\%}} \rightarrow \mathbf{I_{1kN} = \frac{100 \cdot I_{1N}}{u_{k\%}} \text{ (A)}}$$

Analogicky platí aj pre sekundárne vinutie:

$$\mathbf{I_{2kN} = \frac{100 \cdot I_{2N}}{u_{k\%}} \text{ (A)}}$$

Z odvodeného vzťahu vyplýva, že čím má transformátor menšie percentuálne napätie nakrátko  $u_{k\%}$ , tým má väčšie trvalé skratové prúdy v porovnaní s menovitým prúdom. Účinník transformátora v chode naprázdno určíme:

$$\cos \varphi_k = \frac{P_k}{I_k U_{2k}}$$

Z napätia a prúdu určíme impedanciu transformátora:

$$Z_k = \frac{U_{2k}}{I_k}$$

Odpor jouleových strát je daný vzťahom:

$$R_k = Z_k \cos \varphi_k$$

Rozptylová reaktancia:

$$X_k = Z_k \sin \varphi_k$$

### 8.3.7 Meranie účinnosti transformátora

Účinnosť je definovaná vzťahom:

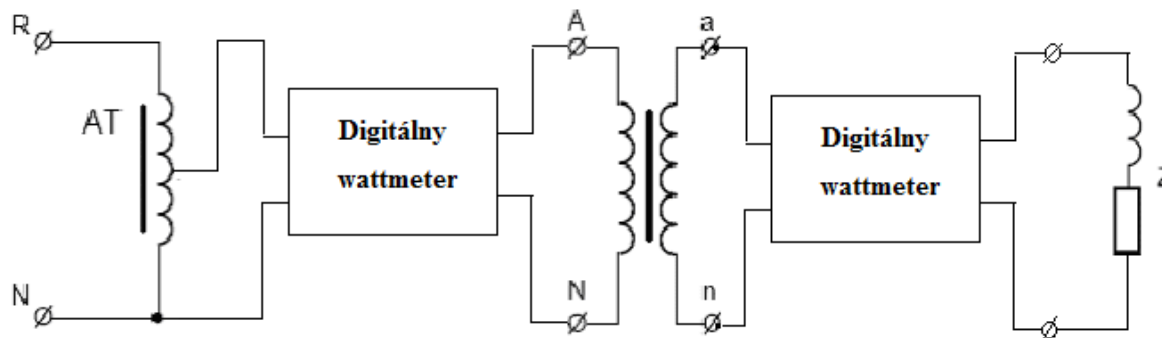
$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

Straty v transformátore sú dané rozdielom výkonov:

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

Pri tomto meraní pripojíme primárne vinutie transformátora na menovité napätie  $U_{1N}$  a budeme ho počas celého merania udržiavať na konštantnej hodnote. Na sekundárne vinutie pripojíme záťaž (reostat) a budeme ním nastavovať prúd  $I_2$ , tečúci sekundárnym vinutím transformátora v intervale  $< 0,75; 1; 1,25 \cdot I_{2N} >$ . Merať budeme primárny prúd  $I_1$ , sekundárne napätie  $U_2$ , činný výkon aj príkon. Potom sa účinnosť dá vypočítať.

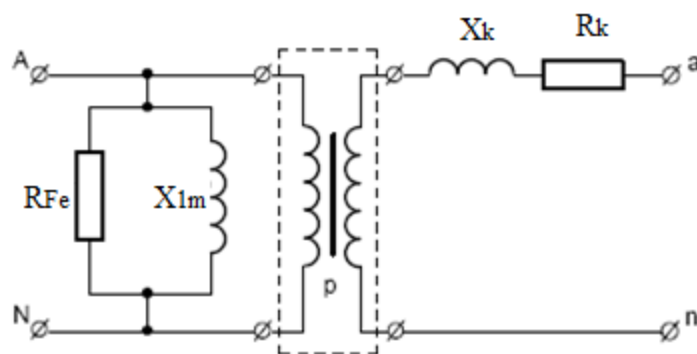
Na obr.8.7 je schéma zapojenia pre meranie účinnosti transformátora.



Obr.8.7

### 8.3.8 Stanovenie náhradnej schémy transformátora

Predpokladáme zjednodušenú náhradnú schému transformátora podľa obr.8.8.



Obr.8.8

$R_{Fe}$  - odpor strát v železe

$X_{1m}$  - magnetizačná reaktancia

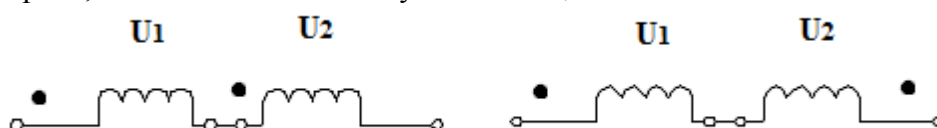
$R_k$  - odpor jouleových strát

$X_k$  - rozptylová reaktancia

$R_{Fe}$  a  $X_{1m}$  sú prvky vypočítané pomocou merania naprázdno a  $R_k$  a  $X_k$  zase prvky vypočítané pomocou merania nakrátko.

### Kontrolné otázky pre meranie na transformátore:

1. Vysvetlite princíp transformátora a jeho základných častí
2. Vysvetlite straty, ktoré vznikajú v transformátore
3. Vymenujte základné merania, ktoré sa na transformátore vykonávajú
4. Vysvetlite, prečo musíme merať izolačné odpory transformátora. Aké meracie metódy a prístroje sa používajú
5. Aké meracie metódy môžeme použiť na meranie jednosmerných odporov vinutí transformátora. Prečo prepočítavame tieto odpory na teplotu 75°C
6. Ako meraním zistíte začiatok vinutí transformátora a kedy to potrebujete vedieť
7. Vyznačte na obrázkoch orientáciu napätí na jednotlivých vinutiach a vypočítajte celkové napätia, ak sú odmerané hodnoty  $U_1 = 80V$ ,  $U_2 = 20V$ .



8. Definujte transformačný pomer ideálneho transformátora a matematicky zapíšte vzťah pre jeho výpočet cez počet závitov, veľkostí primárneho a sekundárneho napätia a prúdu
9. Definujte stav transformátora naprázdno, aké straty na transformátore vznikajú, ako ich môžeme minimalizovať
10. Definujte stav transformátora nakrátko, aké straty na transformátore vznikajú, ako ich môžeme minimalizovať
11. Definujte účinnosť transformátora a akým spôsobom ju môžeme odmerať
12. Nahreslite zjednodušenú náhradnú schému transformátora, pomenujte jednotlivé prvky obvodu. Nakreslite fázorové diagramy pre transformátor naprázdno a nakrátko, odvodte vzťahy pre prvky náhradnej schémy.