

**STŘEDNÍ ŠKOLA ELEKTROTECHNICKÁ, OSTRAVA,  
NA JÍZDÁRNĚ 30, p. o.**

# **ELEKTRICKÁ MĚŘENÍ**

**Ing. Pavel VYLEGALA**

**2006**

# ELEKTRICKÁ MĚŘENÍ 1. ROČNÍK

## OBSAH

### I.pololetí :

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 1. Bezpečnost práce .....                                   | 4  |
| 2. Úvod do měření .....                                     | 6  |
| - Měřicí rozsah .....                                       | 8  |
| 3. Měřicí přístroje .....                                   | 8  |
| 4. Měřicí metody .....                                      | 9  |
| 5. Chyby měření .....                                       | 10 |
| 6. Elektrické měřicí soustavy .....                         | 11 |
| - Magnetoelektrická měřicí soustava s otočnou cívkou .....  | 12 |
| - Elektromagnetická měřicí soustava s otočným železem ..... | 14 |
| - Měřicí přístroje elektrodynamické .....                   | 15 |
| - Měřicí přístroje indukční soustavy .....                  | 16 |
| - Měřicí přístroje rezonanční soustavy .....                | 17 |
| 7. Značky na měřicích přístrojích .....                     | 18 |
| 8. Úprava měřicího rozsahu přístroje .....                  | 19 |
| - Měření elektrického proudu .....                          | 19 |
| - Měřicí transformátor proudu .....                         | 23 |
| - Měření elektrického napětí .....                          | 24 |
| - Měřicí transformátory napětí .....                        | 26 |

### I I.pololetí :

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| 9. Měření odporu .....                             | 27 |
| - Měření odporu ohmmetrem přímé měření .....       | 27 |
| - Měření odporu ampérmetrem nepřímé měření .....   | 28 |
| - Měření odporu voltmetrem .....                   | 29 |
| - Měření odporu můstkovou metodou .....            | 31 |
| 10. Měření zemních a izolačních odporů .....       | 33 |
| 11. Měření indukčnosti .....                       | 35 |
| - Měření indukčnosti můstkem .....                 | 38 |
| - Jiné můstky pro měření vlastní indukčnosti ..... | 39 |
| 12. Měření kapacity .....                          | 40 |

# ELEKTRICKÁ MĚŘENÍ 2. ROČNÍK

## OBSAH

### I.pololetí :

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 1. Měření výkonu a práce ..... | 43 |
| - výkon činný .....            | 43 |
| - výkon jalový .....           | 44 |
| - výkon zdánlivý .....         | 46 |

### I I.pololetí :

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| 2. Jednofázový a stejnosměrný výkon ..... | 47 |
| 3. Trojfázový výkon .....                 | 48 |
| 4. Elektroměr, wattmetr .....             | 49 |
| - Elektroměr .....                        | 49 |
| - Indukční elektroměr .....               | 50 |
| 5. Wattmetr .....                         | 51 |
| 6. Elektronické Voltmetry .....           | 52 |

# ELEKTRICKÁ MĚŘENÍ 3. ROČNÍK

## OBSAH

### I.pololetí :

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 1. Osciloskop .....                   | 56 |
| - Vakuová obrazovka .....             | 56 |
| 2. Dvoukanálový osciloskop .....      | 59 |
| 3. Vícekanálové osciloscipy .....     | 61 |
| 4. Měřicí napětí osciloskopem .....   | 61 |
| - Měření stejnosměrných napětí .....  | 62 |
| - Měření střídavých napětí .....      | 62 |
| 5. Měření kmitočtu osciloskopem ..... | 63 |

### I I.pololetí :

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 6. Měření neelektrických veličin .....                                 | 64 |
| 7. Měření hmotnosti .....                                              | 64 |
| - Tenzometry .....                                                     | 64 |
| 8. Měření průtoku .....                                                | 66 |
| 9. Měření teploty .....                                                | 73 |
| - Druhy teploměrů .....                                                | 74 |
| 10 Změna odporu s oteplením .....                                      | 77 |
| 11. Termočlánek .....                                                  | 77 |
| 12. Termistor .....                                                    | 78 |
| - Termistory s negativním teplotním činitelem (horké termistory) ..... | 78 |
| - Termistory s pozitivním teplotním součinitelem .....                 | 78 |
| 13. Tlakoměry .....                                                    | 79 |

# ELEKTRICKÁ MĚŘENÍ 1. ROČNÍK

I.pololetí :

## Úvod do měření, bezpečnost práce

### - Bezpečnost práce v elektrotechnických laboratořích

#### A.1 Odborná způsobilost

Odborná způsobilost je základním požadavkem pro bezpečnost práce osob určených k obsluze nebo práci na elektrických zařízeních. Odborná způsobilost je právně stanovena vyhláškou č. 50/1978 Sb. v těchto stupních:

Bez odborného elektrotechnického vzdělání:

**§3 - Pracovníci seznámení.** Tito pracovníci jsou seznámeni se zacházením s el. zařízením a upozorněni na možné ohrožení. O seznámení sepíše provozovatel zápis. Mohou obsluhovat jen zařízení, kde nemohou přijít do styku se živými částmi.

**§4 - Pracovníci poučení.** Tito pracovníci jsou seznámeni s předpisy pro činnost na el. zařízeních, školeni v této činnosti, upozorněni na možné ohrožení a seznámeni s poskytováním první pomoci při úrazech el. proudem. Poučení musí být prokazatelné, tzn. že pracovníci musí být ze znalostí přezkoušeni a o vyhovujícím výsledku musí být pořízen zápis podepsaný poučeným pracovníkem i tím, kdo znalosti ověřil.

**Posluchači při výuce v laboratořích** se po patřičném poučení, ověření vědomostí a zápisu stávají **pracovníky poučenými podle § 4.** Poučení musí obsahovat konkrétní informaci o způsobu ovládání a bezpečné práci na daném zařízení, o mezních hodnotách, o umístění vývodů svorek, ovládacích a signalizačních prvků, zejména o umístění havarijního vypínače. Poučení musí také zahrnovat základní přehled norem týkajících se elektroinstalace, ochrany před nebezpečným dotykem. Nedílnou součástí je poučení o způsobu poskytování první pomoci při úrazech elektrickým proudem a o umístění potřebných pomůcek první pomoci laboratoře. Dále musí poučení obsahovat seznámení s laboratorním řádem.

**Osoby poučené podle § 4 musí obzvláště dodržovat tyto pokyny:**

- na zařízení nízkého napětí (do 600 V oproti zemi) mohou pracovat v nejmenší vzdálenosti do 20 cm od živých částí pod napětím,
- dotýkat se smějí jen těch částí, které jsou pro obsluhu určeny,
- za žádných okolností se nesmějí dotýkat živých částí pod napětím ( s výjimkou zařízení schváleným Elektrotechnickým Zkušebním Ústavem ) a musí dbát na to, aby k dotyku s nimi nedošlo ani náhodně oděvem nebo vodivým drženým předmětem,
- musí mít pro obsluhu el. zařízení suché ruce, stát na nevodivé podložce a vyvarovat se dotyku jiných vodivých předmětů,
- při práci na rotačních strojích musí mít na paměti nebezpečí ze zachycení části těla nebo oděvu rotující
- obsluhující musí být stále pozorný a opatrný,
- musí přesně dbát pokynů osoby řídící činnost (ve šk. laboratořích asistenta),
- musí přesně dbát místních předpisů, pokynů a návodů (laboratorní řád)

**Osoby s odborným elektrotechnickým vzděláním:**

§5 - Pracovníci znalí mají ukončené odborné vzdělání (tj. vyučení nebo se středním nebo vysokoškolským ukončeným vzděláním směru elektrotechnika) a úspěšně složenou zkoušku z předpisů bezpečnosti práce, místních provozních pokynů a z poskytování první pomoci v rozsahu § 14.

§6 - Pracovníci pro samostatnou činnost jsou pracovníci dle § 5 s požadovanou praxí a zvláště přezkoušení komisí organizace v rozsahu § 14.

§7 - Pracovníci pro řízení činnosti jsou pracovníci dle § 5 a 6 s další požadovanou praxí a přezkoušení v rozsahu § 14 i ze znalostí pro řídicí činnost komisí organizace schválenou orgánem státního dozoru.

§8 - Pracovníci pro dodavatelskou činnost - oprávnění k zhotovované a opravám zařízení pro jiné osoby a subjekty, tato kvalifikace je podmínkou pro vydání živnostenského listu

§9 - Pracovníci pro provádění revizí - revizní technici. Zkoušku skládají před orgánem státního dozoru.

§10 – Pracovníci oprávnění k projektové činnosti v elektrooborech.

§11- Určuje zvláštní kvalifikaci ve školství a výzkumu. Po složení zkoušky v rozsahu dle § 14 dává kvalifikaci :

§11 / 6 Pro samostatnou činnost absolventům škol, kde je skládána zkouška z elektrotechniky. Kvalifikace nevyžaduje praxi, kterou předepisuje § 6, ale platí jen pro experimentální práce na vymezených vědeckých, výzkumných a vývojových pracovištích (nikoliv v provozu).

§11 / 7 Pro řízení činnosti absolventům elektrotechnické, jaderné a přírodovědecké fakulty směru fyzika. Kvalifikace nevyžaduje praxi, kterou předepisuje § 7, ale platí jen pro činnost asistenta ve školních laboratořích (nikoliv pro provoz, montáže atd.).

Ve všech uvedených případech zkoušení a potom přezkoušení ve 3 letých intervalech provádí 3 členná komise, ustanovená vedoucím organizace. Alespoň 1 člen komise musí mít kvalifikaci § 7 až § 9.

§14 - Stanovuje předmět a podmínky zkoušek, které musí obsahovat pro § 5, 6, 11:

- a) předpisy k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví, které souvisí s činností el. zařízení daného druhu a napětí,
- b) místní pracovní pokyny, příkazy a směrnice,
- c) teoretické i praktické znalosti o poskytování první pomoci.

Při přechodu na jiné pracoviště může nový zaměstnavatel potvrdit platnost stávajícího osvědčení.

**Poznámka :** Živé části zařízení jsou ty, které mají mezi sebou nebo mezi sebou a zemí elektrické napětí.

Neživé části jsou konstrukční části, které v běžném pracovním stavu nemají na sobě el. napětí.

## Úvod do měření

Základní pojmy :

**Měření** je určována číselná hodnota měřené veličiny.. Měření sleduje nějakou fyzikální veličinu, např. délku, sílu, teplotu, intenzitu elektrického proudu nebo elektrický odpor. Měření je srovnávána měřená veličina s odpovídající jednotkou. Měřená hodnota je tedy násobek nějaké jednotky, např. metru, newtonu, stupně Celsia, ampéru nebo ohmu.

**Počítáním** je zjištěn počet událostí nebo věcí stejného druhu, např. počet elektrických impulzů, počet závitů nebo počet částic při radioaktivním rozpadu. K počítání slouží různé přístroje.

**Zkoušením** se určuje, má-li vzorek (zkoušený předmět) předepsané vlastnosti, zvláště jsou-li tyto vlastnosti v předepsaných tolerancích. Zkouší se buď objektivně pomocí přístrojů, nebo subjektivně pomocí smyslového vnímání. Výsledek zkoušky může např. znít takto :

kondenzátor snesl zkušební napětí 20 kV; hodnota odporu leží v předepsaných mezích  $2 \Omega \pm 0,1 \Omega$ ; elektromotor běží příliš hlasitě (sluchové zkoušení) vlivem např. hluku ložisek.

**Kalibrováním** se zjišťuje odchylka ukazatele od správného údaje v závislosti na velikosti měřené veličiny. Lze např. zjistit, že voltmetr ukazuje při 5 V na rozsahu 5 V o 1 dílek více.

**Justováním** (vyrovnáním) se vyrovnává měřicí přístroj nebo normál (např. normálový odpor) tak, aby se jeho údaj, nebo vlastnost co nejméně lišila od správné hodnoty. Tak může být drátový odpor změnou délky drátu (např. posunem měnitelné odbočky) nastaven na správnou hodnotu.

**Cejchování** přístroje nebo normálu je úřední postup ověření správnosti. Cejchovní úřad přezkouší předepsaným postupem cejchovaný přístroj či předmět a potvrdí, zda cejchovaný předmět splňuje předepsané požadavky a zda jsou jeho parametry v požadovaných mezích.

### - **základní pravidla techniky měření**

Základní požadavky pro správné provádění elektrotechnických měření jsou :

- Dobré teoretické a praktické znalosti
- Důkladná příprava na měření
- Přesnost a spolehlivost měření
- Kázeň a dobrá organizace při měření

Velkou péči je třeba věnovat předběžné přípravě měření. Musí se správně zvolit měřicí metoda a vybrat měřicí přístroje, vodiče, vypínače a ochrany. Před měřením je třeba připravit tabulku. Tabulka mívá dvouřádkové, často i víceřádkové záhlaví, které má umožnit přehledný záznam značek měřených veličin, jejich jednotek a popřípadě i dalších důležitých informací. Konstanta se zapisuje zlomkem  $M/\alpha_M$ , což umožňuje kontrolu správnosti volby rozsahů. Pojmy konstanta a rozsah mají pro techniku zásadní význam. Prozatím je definujeme pouze zjednodušeně.

### **1. Konstanta měřicího přístroje K je :**

- a) číslo, kterým je třeba násobit údaj přístroje v dílcích, abychom dostali hodnotu měřené veličiny.
- b) Počet fyzikálních jednotek na jeden dílek stupnice
- c) Matematicky

$$K = \frac{M}{\alpha_{Max}} \left[ \frac{V}{\text{dílek}} \right]$$

**M** – největší hodnota měřicího rozsahu (např. proud odpovídající poslednímu dílku stupnice)

**$\alpha_M$**  - počet dílků stupnice (výchylka) odpovídající rozsahu M



Př.

$$K_v = M_u / \alpha_{\text{Max}} = M_u / \alpha_{\text{Max}} = 10\text{V} / 100 \text{ d} = 0,1 \text{ V/d}$$

## 2. Měřicí rozsah

Obecně je třeba rozlišovat konstantu samotného přístroje  $K$  a konstantu přístroje s příslušenstvím, které zvětšujeme rozsah (bočník, předřadný rezistor, měřicí transformátory atd.) Zvětší-li toto příslušenství rozsah  $n$ -krát, tedy na hodnotu  $nM$  pak plyne vztah :

$$K_p = nK$$

Při použití měřících transformátorů je číslo  $n$  rovno převodu  $K_I$ , resp.  $K_u$  měřícího transformátoru. Konstanty  $K$  a  $K_p$  jsou většinou okrouhlá čísla z řady 1, 2, 5 a jejich dekadické násobky.

Citlivost je převrácená hodnota konstanty

$$C = \frac{1}{K} = \frac{\alpha}{N} = \frac{\alpha_{\text{Max}}}{M}$$

Je to tedy počet dílků připadající na jednotku měřené veličiny. Tohoto pojmu se používá většinou pouze u galvanometrů.

## Měřicí přístroje

**Měřicí přístroj** – např. ampérmetr, ukazuje měřenou hodnotu. S tím může být spjato více fyzikálních veličin, které jsou vzájemně nezávislé, např. součin napětí a proudu ve wattmetru. Měřené hodnoty jsou měřicím přístrojem ukazovány nebo registrovány (zaznamenávány).

Elektrotechnické veličiny měříme nejčastěji měřicím přístrojem, který nese název podle jednotky měřené veličiny. Např. **NAPĚTÍ** (volt – voltmetr)

**VÝKON** (watt – wattmetr)

Jsou ale přístroje, které nesou název podle bližší charakteristiky měřené veličiny.

Např.

**FREKVENCE** neboli **KMITOČET** - kmitoměr

**ÚČINÍK** neboli kosinus fázového posunu-fázoměr

## Podstata měřících přístrojů :

Měřicí přístroj je mechanický celek uložený v pouzdře. Hlavní částí je měřící ústrojí v němž se převádí měřená veličina na mechanický moment, který vychyluje otočnou část měřícího ústrojí s ručkou a ta na číselníku ukáže velikost měřené veličiny. Měřicí přístroje dále obsahují zařízení ke čtení naměřených hodnot veličin tj. ručky a číselníky se stupnicemi.

Ručky pro přesnější měření jsou nožové a nitkové. Pro panelové a rozvaděčové měřicí přístroje jsou ručky kopinaté nebo jazýčkové. Dělení stupnic na číselníku bývá rovnoměrné nebo nerovnoměrné.

Kromě stupnice dále číselník obsahuje v levém dolním rohu výrobní číslo a značku výrobce a v pravém dolním rohu značku polohy měřícího přístroje, značku měřicí soustavy, značku charakteru měřené veličiny s třídou přesnosti značku zkoušky el. pevnosti.

## Měřicí metody

Základní rozdělení měřících metod :

- 1) **ABSOLUTNÍ** – vycházejí z definice měřené veličiny a určují ji výpočtem z její definiční rovnice na základě měření veličin vyskytujících se v definiční rovnici.
- 2) **POROVNÁVACÍ** – porovnává se hodnota měřené veličiny se známou hodnotou veličiny téhož druhu nebo veličiny jiného druhu, která je známou funkcí měřené veličiny.

Rozdělení měřících metod podle funkce použitých měřících přístrojů :

- 1) **VÝCHYLKOVÉ** – měřené veličiny se určí z výchylky měřících přístrojů
- 2) **NULOVÉ** - hlavní měřicí přístroj slouží jako indikátor nulové výchylky (NI), kterou se snažíme seřídít.

Rozdělení podle způsobů určení měřené veličiny :

- 1) **PŘÍMÉ** – měřenou veličinu ukáže přímo měřicí přístroj ( odpor měření ohmmetrem )
- 2) **NEPŘÍMÉ** - měřenou veličinu vypočítáme z údajů několika měřících přístrojů ( odpor měření pomocí voltmetru a ampérmetru )

Kritéria rozhodující pro volbu měřicí metody :

- požadovaná přesnost výsledku měření
- vybavení laboratoře
- počet prováděných měření
- počet měřičů ( osoby)
- požadavek norem, předpisů nebo zákazníka
- časové možnosti

### Kritéria pro volbu měřícího přístroje :

- požadovaná přesnost výsledků měření
- druh měřené veličiny
- druh proudů (stejnosměrný nebo střídavý )
- hodnot a měřené veličiny
- rušivé pole v měřícím prostoru
- rušivé vlivy prostředí
- způsob měření
- specifické zvláštnosti měření
- zvolená měřící metoda
- vybavení laboratoře

### Chyby měření

Měřením máme stanovit číselnou hodnotu měřené veličiny co nejpřesněji. Přesnost daného měření se udává nepřímou a to tzv. chybou měření.

#### Základní rozdělení chyb :

- a) **CHYBY SOUSTAVNÉ** – např. nepřesnost měřících přístrojů, např. měř. metody
- b) **CHYBY NAHODILÉ** – nemusí se při měření vyskytovat a jsou způsobeny např. působením cizích mag. nebo el. polí a účinek těchto chyb můžeme omezit opakováním měření a vypočtením průměrné velikosti měřené veličiny.
- c) **OMYL** – Podle matematického vyjádření rozdělujeme chyby na :

- 1) **absolutní chyba** – je dána rozdílem naměřené hodnoty a skutečné hodnoty.

$$\Delta_a = N - S \quad [\text{měř. veličina}]$$

**N** – naměřená hodnota

**S** – skutečná hodnota

( jednotky jsou v jednotkách dané veličiny nebo v dílcích)

- 2) **poměrná chyba měření** – je dána podílem absolutní chyby s skutečné hodnoty.

V současné době se poměrná chyba vyjadřuje v %.

$$\Delta_r = \frac{\Delta_a}{S} \quad [-]$$

### 3) procentní chyba

$$\delta_s = \Delta r \cdot 100 (100 \%) [ \% ]$$

#### Rozdělení chyb z hlediska vyrovnávacího počtu :

- a) krajní chyba měření (absolutní ch., poměrná ch. procentuální ch.)
- b) pravděpodobná chyba měření
- c) směrodatná odchylka ( střední kvadratická chyba)

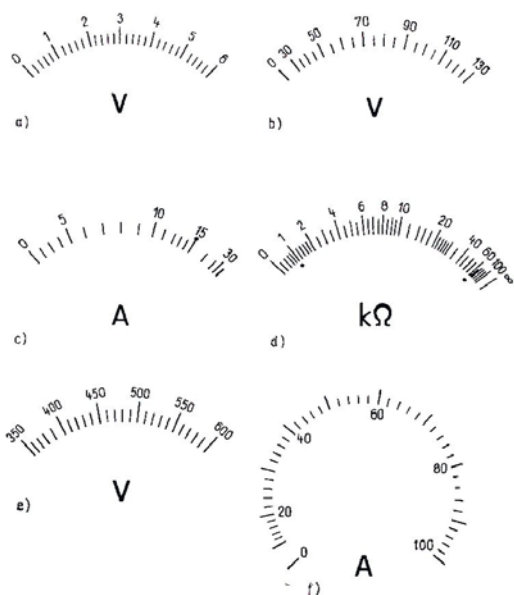
#### Rozdělení chyb podle zdrojů chyb :

- a) chyby subjektivní (zaviněné obsluhou )
- b) chyby objektivní

### Elektrické měřicí soustavy

Měřicí soustavou se nazývá aktivní část ručkového měřicího přístroje, která otáčí ručkou přístroje účinkem měřené elektrické veličiny. Součástí měřicího přístroje je ještě ručka a stupnice.

#### Stupnice měřících přístrojů :



- a) stupnice rovnoměrná, měřicí rozsah odpovídá rozsahu stupnice.
- b) stupnice nerovnoměrná, měřicí rozsah 30 až 130 V.
- c) měřicí rozsah 15 A (tečka na dílku), stupnice prodloužená do 30 A.
- d) měřicí rozsah 1 až 60 kΩ vyznačen tečkami pod dílky.
- e) stupnice s potlačenou nulou, měřicí rozsah 350 až 600 V.
- f) měřicí rozsah 10 až 100 A vyznačen dělením stupnice.

## 1. Magnetoelektrická měřící soustava s otočnou cívkou

V magnetickém poli permanentního magnetu je otočně uložena cívka. U měřící soustavy s vnějším magnetem má otočná cívka jádro z měkkého železa. Napájecí přívody cívky jsou tvořeny dvěma protisměrně navinutými spirálovými péry, nebo vláknovým oboustranným závěsem, který nemá tření. Protéká-li proud cívkou umístěnou v magnetickém poli, vzniká točivý moment. Cívka se natočí do polohy, ve které jsou v rovnováze točivý moment způsobený proudem v cívce a moment spirálových per. Otočí-li se směr proudu, má přístroj opačnou výchylku.

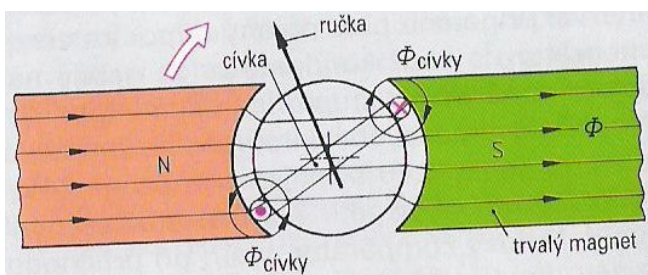
V měřící soustavě s otočnou cívkou se otáčí cívka protékaná proudem. Výchylka přístroje je závislá na směru a velikosti měřeného proudu. Samotná měřící soustava je vhodná jen pro měření stejnosměrných proudů.

Otočná cívka má podle citlivosti přístroje 20 až 300 závitů navinutých na hliníkovém rámečku. Při otáčení vznikají v hliníkovém rámečku vířivé proudy, které způsobují potřebné tlumení pohybu otočné části systému. Velmi citlivé magnetoelektrické měřící přístroje nemají mechanickou ručku, ale jen zrcátko odrážející světelný paprsek, který tvoří světelnou ručku přístroje. Čím delší je světelný paprsek, tím je citlivější přístroj.

### **Výhody měřících přístrojů s otočnou cívkou :**

- velká citlivost
- velká přesnost
- nepatrná spotřeba (  $1\mu\text{W}$  až  $100\mu\text{W}$  )
- lineární stupnice (průběh výchylky)
- možnost měření střídavých veličin s předřazeným usměrňovačem (diodou)
- nepatrný vliv cizích polí (díky vlastnímu mag. poli )
- nula může ležet ve středu stupnice, neboť otočný moment mění směr ve směrem protékajícího proudu.

### **Princip soustavy s otočnou cívkou :**



$$\alpha' = \frac{k_p}{k_d} I = \frac{2BlrN}{k_d} I = C'_I I$$

takže

$$C'_I = \frac{2BlrN}{k_d}$$

$k_p$ .....pohybová konstanta ústrojí (udává pohybový moment při jednotkové měřené veličině)  $k_p = 2BlrN$  [Nm/A]

$k_d$ .....řídící soustava pružin [Nm/rad]

$C'_I$ .....proudová citlivost pro úhlové výchylky [rad/A]

$l$ .....aktivní délka otočné cívky

$r$ .... poloměr cívky

$N$ ....počet závitů cívky

$I$ .... proud procházející cívkou

$B$ ....magnetická indukce

Úhlová ustálená výchylka  $\alpha'$  otočného ústrojí tedy vychází v radiánech.

Ve skutečnosti se ovšem čtou výchylky ručky v dílcích stupnice a pak platí :

$$\alpha = \frac{r_s}{d} \alpha' = \frac{r_s}{d} \frac{k_p}{k_d} I = C_I I$$

$\alpha$ ..... ustálená výchylka čtená na stupnici [dílký],

$r_s$ ..... poloměr dělení stupnice [m],

$d$ .....délka jednoho dílku na stupnici [m,]

$C_I$ .... proudová citlivost pro dané dělení stupnice [dílký/A].

Proudová konstanta  $K_I$  magnetoelektrického přístroje :

$$K_I = \frac{1}{C_I} = \frac{I}{\alpha} \quad [A/dílek; A, dílek].$$

Prochází-li proud cívkou magnetoelektrického přístroje, musí být na jeho svorkách napětí  $U$ .

$$U = RI \quad [V]$$

## 2. Elektromagnetická měřicí soustava s otočným železem

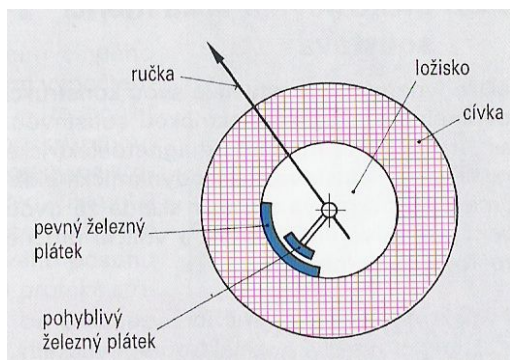
Soustava s otočným železem je založena na vzájemném silovém působení dvou feromagnetických látek v magnetickém poli. Směr síly a tím i točivého momentu je závislý na směru proudu.

Ve vnitřku cívky je umístěn jeden pevný a jeden pohyblivý železný plátek. Oby plátky jsou z magneticky měkkého železa. Při průchodu proudu cívkou vzniká magnetické pole, které oba železné plátky zmagnetizuje stejným způsobem, proto se plátky odpuzují. Otočná část s ručkou je vychylována odpuzovací silou mezi železnými plátky proti síle (momentu) spirálové pružiny. Při určitém proudu procházející cívkou je ručka vychýlená v poloze, při které je vychylující moment otočného železa v rovnováze s vratným momentem pružiny.

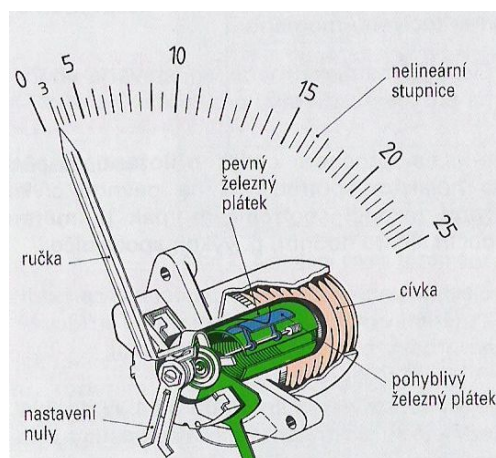
V soustavě s otočným železem se odpuzují zmagnetizované železné plátky a je použitelná pro stejnosměrný i střídavý proud.

### **Přednosti soustavy s otočným železem :**

- jednoduchá a provozně bezpečná konstrukce
- necitlivost proti krátkodobému přetížení
- vhodná pro stejnosměrný i střídavý proud
- necitlivá na cizí magnetická pole
- jednoduché rozšíření měřicího rozsahu při přímém připojení na měnič (dělič) proudu nebo napětí
- chybu vlivem teploty lze kompenzovat



**Obr.1 Konstrukce měřicího systému s otočným železem**



**Soustava s otočným železem**

### **Základní vztahy :**

Výpočet pohybového momentu :

$$M_p = \frac{1}{2} \frac{dL}{d\alpha} I^2 \quad [N_m; H, \text{rad}, A].$$

$dL$  .... Změna indukční cívky při natočení pohyb. ústrojí o úhel  $d\alpha$

### **3.Měřicí přístroje elektrodynamické**

Elektrodynamické měřicí přístroje využívají vzájemných elektrodynamických účinků elektrického proudu, jež prochází nepohyblivými i pohyblivými cívkami. Magnetické pole pohyblivé cívky, kterou prochází proud, se snaží cívku natočit do takové polohy, v níž se směr jejího magnetického toku shodoval se směrem mag. toku nepohyblivé cívky. V takové poloze je energie magnetického pole největší. Vzájemným působením obou magnetických polí vzniká točivý moment ústrojí, jehož okamžitá hodnota je úměrná součinu okamžitých hodnot obou proudů, které prochází cívkami. Pevná cívka 1 bývá rozdělena na 2 části, aby magnetické pole bylo větší délce poměrně homogenní. Do pohybové cívky 2 se přivádí proud spirálovými pružinami, které také vytvářejí řídicí moment. Používá se rovněž otočné ústrojí zavěšené na vláknech, která současně vytvářejí řídicí moment.

Pohybový moment ústrojí má takový směr, že při pohybu ústrojí v tomto směru se zvětšuje energie magnetického pole cívek. Směr pohybu závisí na směru proudu  $I_1$  a  $I_2$  v cívkách. Změníme-li smysl jednoho proudu, změní se i směr momentu, ale změníme-li smysl obou proudů, moment má původní směr, takže elektrodynamický přístroj připojený na střídavý proud může též vytvářet pohybový moment

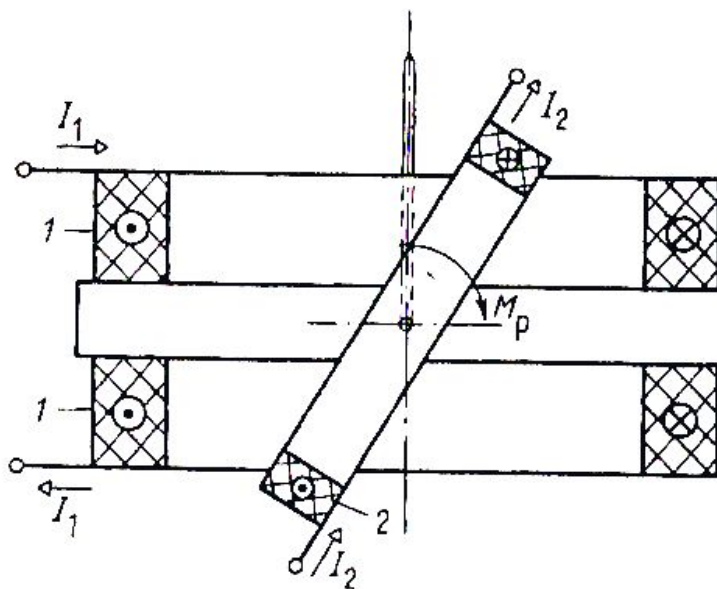
$$M_p = k_1 I_1 I_2 \quad [N_m, N_m/A^2, A].$$

Pohybový moment ústrojí natáčí pohyblivou cívku tak dlouho, dokud nenastane rovnováha s řídicím momentem. Potom pro výchylku  $\alpha$  platí :

$$\alpha = \frac{k_1}{k_d} I_1 I_2 = C I_1 I_2 \quad [\text{rad}; N_m/A^2, N_m/\text{rad}, A; \text{rad}/A^2, A]$$

kde  $C = \frac{k_1}{k_d}$  je citlivost elektrodynamického měřicího přístroje.

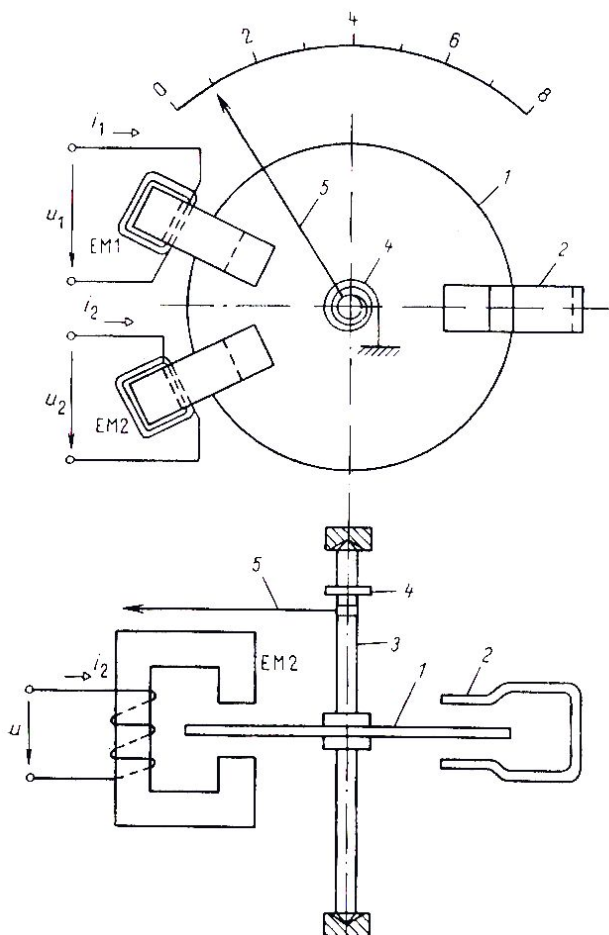




Obr.2 Princip působení elektrodynamického ústrojí  
1 – pevná cívka  
2 – pohyblivá cívka

#### 4. Měřicí přístroje indukční soustavy

Princip spočívá v tom, že indukční měřicí ústrojí má vodivou otočnou část (hliníkový kotouč nebo bubínek), v níž se indukují proudy střídavým magnetickým tokem elektromagnetů. Působením těchto proudů, probíhajících v poli elektromagnetů, vzniká pohybový moment.



Obr.3 Princip indukčního přístroje s

- 1 – hliníkový kotouč
- 2 – trvalý tlumící magnet
- 3 – osa otočné části
- 4 – direktivní pružina
- 5 – ručka, EM1, EM2 - elektromagnety

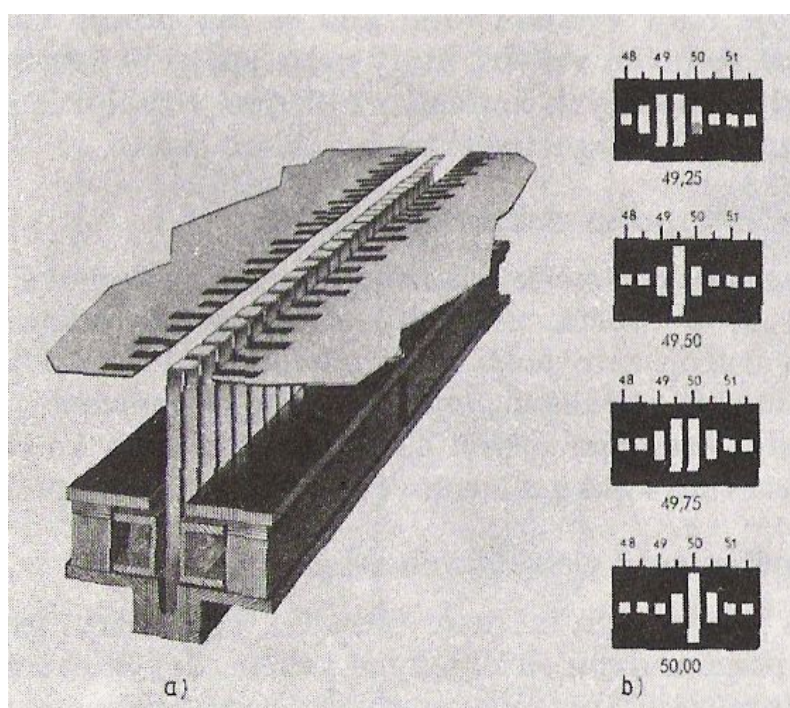
Otočné ústrojí nemá tedy žádné přívody proudu a proudy se do něho indukují střídavým magnetickým polem pevných cívek. Podmínkou funkce indukčního ústrojí je napájení střídavým proudem, takže jej nelze použít k měření stejnosměrných proudů.

## **5. Měřicí přístroje rezonanční soustavy**

Rezonanční (vibrační) měřicí přístroje mají pohyblivé ocelové jazýčky mechanicky vyladěné na určitý kmitočet. Jazýčky se uvádějí do elektromechanické rezonance střídavým magnetickým polem, které je buzeno nepohyblivými cívkami, popřípadě v kombinaci s paralelními magnety. Měří kmitočet střídavého proudu a napětí.

U jazýčkových přístrojů je každý z řady ocelových jazýčků naladěný na jiný kmitočet, lišící se od sebe o  $\frac{1}{2}$  nebo  $\frac{1}{4}$  Hz. Mechanický kmitočet jazýčku se mění délkou, vyvrtáním otvorů do jazýčku a změnou hmotnosti cínu na konci jazýčku.

Silou, kterou působí magnetické pole na jazýčky, se nejvíce rozkmitá ten jazýček, jehož vlastní mechanický kmitočet je v rezonanci s kmitočtem síly, která jazýček rozkmitává, tj. dvojnásobkem kmitočtu proudu cívky. Rezonanční přístroje měří kmitočet od 16 do 1500 Hz, s přesností až 0,2 % (něžně 0,5 %) z měřené hodnoty. Do obvodu se zapojují paralelně a kromě rozsahu kmitočtu je třeba dbát na přibližné dodržení jmenovitého napětí.



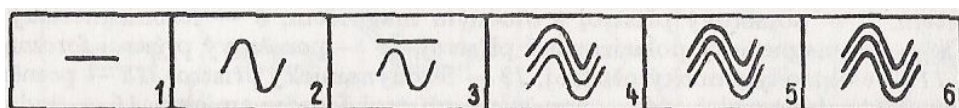
**Obr. 4 a) jazýčkový vibrační přístroj s jednoduchou stupnicí  
c) čtení hodnot na vibračním kmitoměru**

Ovlivňující veličinou je zejména větší změna teploty, která mění modul pružnosti jazýčků, a dále chvění podložky, na které je kmitoměr uložen. Kmitoměry se vyrábějí hlavně pro technické kmitočty a kromě toho se tohoto principu využívá pro otáčkoměry s úzkým rozsahem otáček.

## Značky na MP

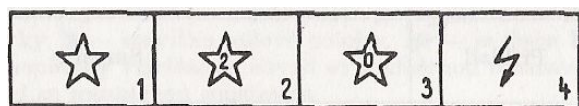
Na číselnících měřicích přístrojů jsou především stupnice a dále různé značky, které informují o vlastnostech, provedení a použití přístroje. Dále je na číselníku znak výrobce, výrobní číslo, typová značka, u napěťových přístrojů vnitřní odpor a někdy i další údaje.

**Tab. 1 Značky druhu proudu a počtu měřicích ústrojí**



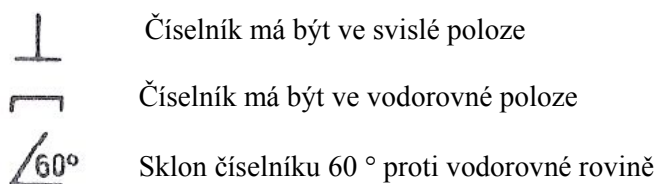
1 – stejnosměrný proud, 2 – střídavý proud, 3 – stejnosměrný a střídavý proud, 4 – trojfázový přístroj s jedním měřicím ústrojím, 5 – trojfázový přístroj se dvěma měřicími ústrojími, 6 – trojfázový přístroj se třemi měřicími ústrojími

**Tab.2 Značky zkoušky elektrické pevnosti**

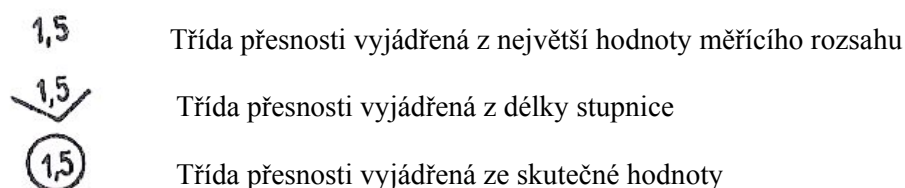


1 – zkušební napětí 500 V, 2 – zkušební napětí 2 kV, 3 – u přístroje se nedělá zkouška el. pevnosti, 4 – elektrická pevnost přístroje neodpovídá předpisům

**Tab.3 Značky polohy číselníku**



**Tab.4 Značky tříd přesnosti**



**Tab.5 Značky měřícího ústrojí**

|                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |                                                                                     |

1 – magnetoelektrický přístroj, 2 – poměrový přístroj magnetoelektrický, 3 – magnetoelektrický přístroj s vestavěným izolovaným termoelektrickým článkem, 4 – magnetoelektrický přístroj se samostatným neizolovaným termoelektrickým článkem, 5 – magnetoelektrický přístroj s vestavěným usměrňovačem, 6 – přístroj s otočným magnetem, 7 – poměrový přístroj s otočným magnetem, 8 – feromagnetický přístroj, 9 – feromagnetický polarizovaný přístroj, 10 – poměrový přístroj feromagnetický, 11 – elektrodynamický přístroj, 12 – ferodynamický přístroj, 13 – poměrový přístroj elektrodynamický, 14 – poměrový přístroj ferodynamický, 15 – indukční přístroj, 16 – poměrový přístroj indukční, 17 – tepelný přístroj s drátem, 18 – tepelný přístroj s dvojkovem, 19 – elektrostatický přístroj, 20 – přístroj vibrační (rezonanční)

## Úprava měřícího rozsahu přístroje

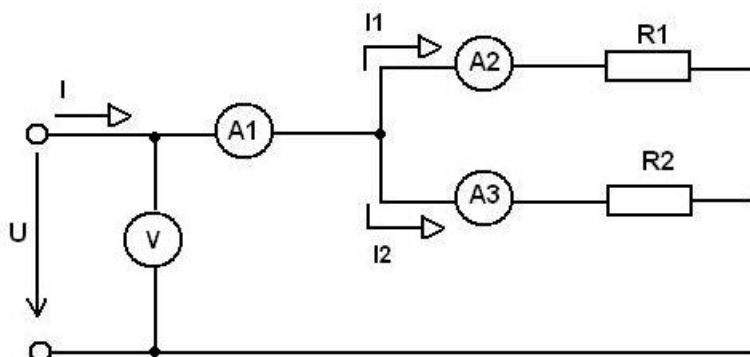
### 1.Měření elektrického proudu

Ampérmetrem lze měřit proudy s přesností nejvýš 0,2%. Potřebujeme-li přesnost lepší, použijeme kompenzační metodu nebo komparátor. Nebezpečí přetížení a poškození ampérmetru je větší než při měření napětí voltmetrem, a proto je třeba zachovat větší opatrnost. Zvláštní problematiku má měření proudů velmi velkých, velmi malých, vysokofrekvenčních a nesinusových. Pro stejnosměrné proudy do 3 kA vystačíme s bočníkem. Nad 3 kA má ampérmetr s bočníkem již příliš velkou spotřebu (při 3 kA už asi 200W). Pro měření stejnosměrných proudů nad 3 kA používáme stejnosměrné měniče a transduktory a dále zařízení s Hallovy generátory. Velmi malé proudy se měří galvanometry, popřípadě pomocí zvláštních měřících zesilovačů. Při měření vysokofrekvenčních proudů musíme mít na paměti, že zpravidla není lhostejné, do kterého místa měřeného obvodu ampérmetr nebo měřící člen připojíme. Uplatňují se i malé parazitní kapacity a indukčnosti a někdy je nutné ampérmetr stínit.

Při měření nesinusových proudů musíme volit vhodný přístroj, resp. metodu podle toho, kterou hodnotu chceme znát (efektivní, střední, vrcholovou, hodnotu špička-špička).

Při přesných měřeních stejnosměrných i střídavých proudů se převádí měření proudu na měření napětí. Do obvodu měřeného proudu se zapojí přesný bočník vhodné velikosti a

kompenzátořem nebo číslicovým voltmetřem se změří úbytek napětí. Měřený proud se vypočítá z ohmova zákona.



Obr. 5 Schéma zapojení

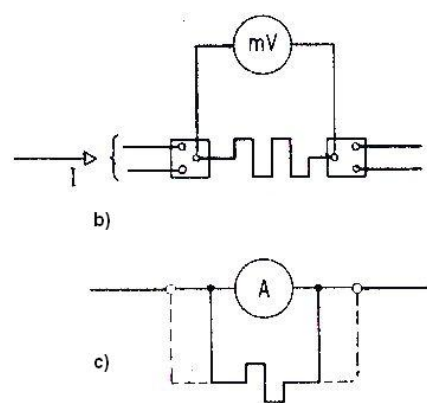
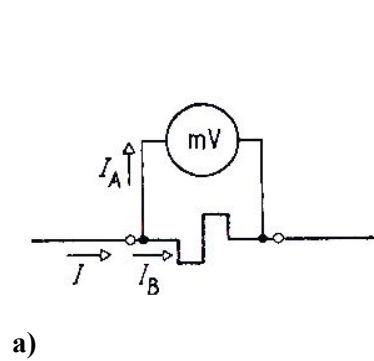
### Úprava měřicího rozsahu ampérmetru

V sériovém obvodu musí být Ampérmetř zapojen tak, aby všechen proud procházel přístřojem. Zapojení Ampérmetř do obvodu se nesmí změnit poměry v obvodu tž. že na ampérmetř nemá vznikat úbytek napětí, takže požadujeme, aby ampérmetř měly co nejmenší vnitřní odpor blížící se nule.

Je-li do obvodu zapojeno pouze měřicí ústřojí ampérmetř, pak má ampérmetř nejmenší rozsah. Pro měření větších proudů se paralelně s měřicímu ústřojí ampérmetř připojují rezistory tzv. bočníky.

### Změna rozsahu bočníkem

Na obr. je zapojení ampérmetř s bočníkem. Celkový měřený proud  $I$  se rozdělí do dvou větví na proudy  $I_B$  a  $I_A$  podle známého Kirchhoffova zákona o proudech v paralelních větvích. Odpor bočníků můžeme tedy navrhnout z tohoto zákona.

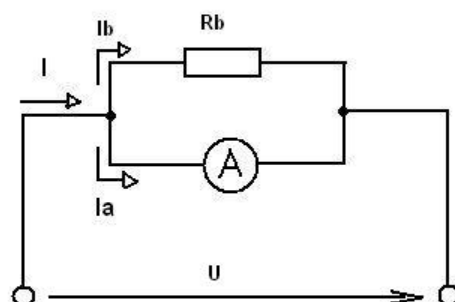


Obr. 6. a) Ampérmetr s bočníkem

Ampérmetr s bočníkem :  
b) zapojení se 2 páry proudových  
přívodů pro velké proudy.  
c) Nesprávný způsob kreslení

### Zvětšení proudového rozsahu ampérmetru

Obr. 7 a) s jedním rozsahem



### Odvození vztahů :

$$U = R_a \cdot I_a$$

$$R_a \cdot I_a = R_b \cdot (I - I_a)$$

$$U = R_b \cdot (I - I_a)$$

$$R_b = R_a \cdot \frac{I_a}{I - I_a} \quad / : I_a$$

$$R_b = R_a \cdot \frac{1}{\frac{I}{I_a} - 1}$$

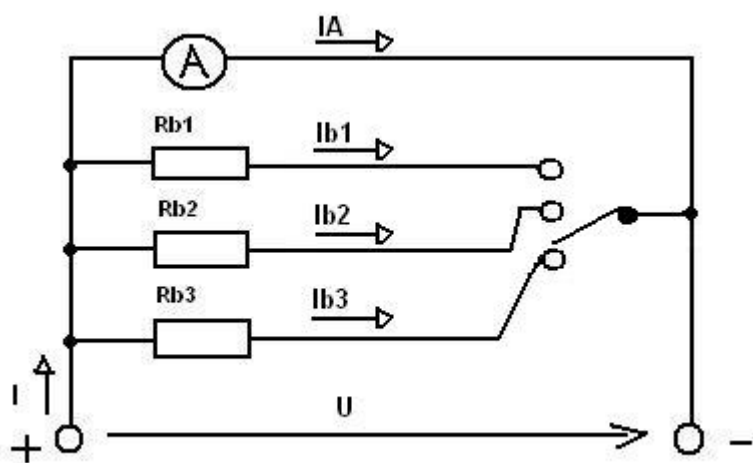
$$R_b = R_a \cdot \frac{1}{n - 1} = \frac{R_a}{(n - 1)}$$

kde  $n$  je poměrné zvětšení rozsahu, tj. číslo, které udává, kolikrát se rozsah zvětší :

$$n = \frac{I}{I_a}$$

Odpor bočníků musí tedy být vždy  $(n-1)$  menší než odpor ampérmetru.

### **b) s několika rozsahy řazenými přepínačem**



**Př.) Proved'te zvětšení rozsahu ampérmetru při rozsahu  $M_{I1} = 30 \text{ mA}$ , k tomu odpovídá odpor  $R_{a1} = 22 \Omega$ . Zvětšete rozsah na  $M_{I2} = 60 \text{ mA}$ ,  $M_{I3} = 300 \text{ mA}$ ,  $M_{I4} = 3 \text{ A}$ .**

### **Měřicí transformátor proudu**

Použití měřících transformátorů proudu ke zvětšení (výjimečně i zmenšení) rozsahu střídavých ampérmetrů má některé výhody. Měřený proud (většinou velký) se transformuje na menší hodnotu, vhodnou pro měření ampérmetrem. Měřicí transformátor proudu lze snadno vyrobit jako přepínatelný s velkým množstvím rozsahů. Lze jej s výhodou použít pro měření v obvodech vysokého napětí, protože měřicí obvod s ampérmetrem je galvanicky oddělen od primárního obvodu vn, sekundární vinutí je jednopólově uzemněno, takže měření je bezpečné. Vlastní spotřeba ampérmetru s měřícím transformátorem proudu je malá a nemění se s přepínáním rozsahu. Měřicí transformátor proudu lze vyrobit s velkou přesností. Měřicí přístroj může být daleko od měřícího transformátoru proudu, např. na rozvaděči. Ušetříme tak dlouhé přívody velkého průřezu.

*Pro tyto vlastnosti používáme měřicí transformátory zejména pro měření velkých proudů, v obvodech vn, tam, kde potřebujeme větší množství rozsahů a tam, kde přístroj má být daleko od místa měřeného proudu.*

Základní zapojení měřícího transformátoru proudu je znázorněno na obr. Svorky jsou označeny tak, aby měřícím přístrojem připojeným k výstupním svorkám procházel proud stejným směrem, jako kdyby byl připojen ke stejnojmenným svorkám primárním.

- a) Jmenovitý primární proud  $I_{1N}$  je z vyvolené řady
- b) Jmenovitý sekundární proud  $I_{2N}$  je 5 A, 1 A, výjimečně 10 A nebo jiný proud 1 A volíme tam, kde jsou dlouhé přívody od měřícího transformátoru k měřicímu přístroji.

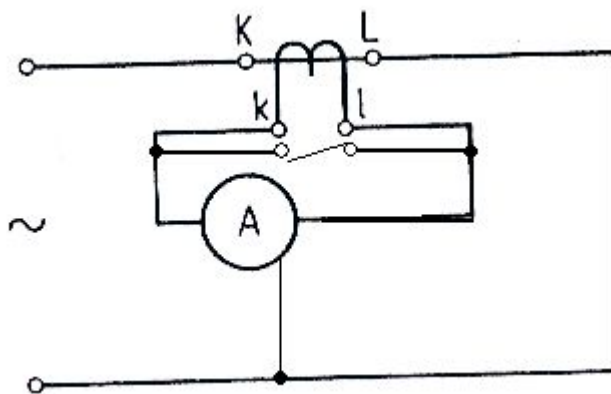
- c) Jmenovitý převod  $KI = \frac{I_{1N}}{I_{2N}}$  - udává se zlomkem

Je to nejdůležitější konstanta měřícího transformátoru proudu; pro měřený proud  $I_1$  totiž platí :

$$I_1 = k_1 I_2 = k_1 K_{A\alpha} = K_{PA\alpha}$$

$$K_{PA} = K_A k_I = \frac{M_A}{\alpha_{Max}} k_1$$





Obr.8 Příklad zapojení s měřícím transf. proudů

### Měření elektrického napětí

Toto měření je snadné a výhodné, a proto na ně často převádíme měření mnoha jiných veličin. Pro měření do přesnosti 0,2% používáme výchylkové metody (voltmetry), pro přesnější měření komparátory. Pro měření velmi malých napětí slouží galvanometry (asi do  $10^{-7}$  V), popřípadě lze použít speciální zesilovače (asi do  $10^{-9}$  V).

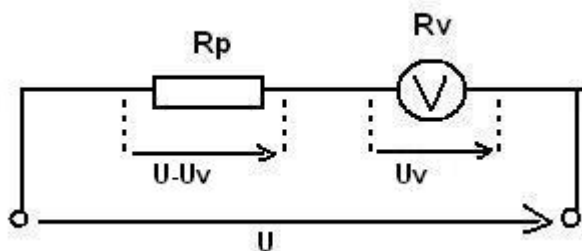
Vysokofrekvenční napětí měříme elektronickými voltmetry, které mají i velký vnitřní odpor (malou spotřebu). Nevýhodou je malá přesnost (2 až 5 %), složitější obsluha a údržba a vyšší cena. Do kmitočtu asi 100 kHz lze použít také magnetoelektrické voltmetry s termoelektrickými články, do 10 MHz zvláštní elektrostatické voltmetry. Voltmetr a stínění je třeba ve vhodném místě uzemnit, a to tak, aby ochranný vodič a obvod uzemnění i jiné části obvodu netvořily smyčky, do kterých by se mohlo indukovat rušivé napětí. Při měření s elektronickými je třeba vždy postupovat podle návodu. Pro měření měkkých napětí je třeba použít voltmetry s malou spotřebou nebo komparátory. Pro měření střídavých napětí se stejnosměrnou složkou je třeba zapojit do série s voltmetrem kondenzátor se zanedbatelnou impedancí, který oddělí nežádoucí stejnosměrné napětí od měřeného střídavého.

### Úprava měřícího rozsahu voltmetru

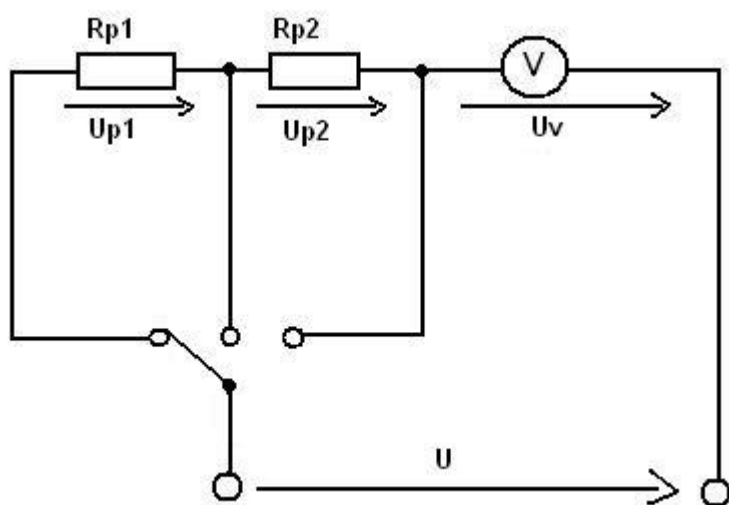
Zapojíme-li voltmetr do proudového obvodu, tak se nesmí změnit poměry v obvodu tzn. že vnitřní odpor voltmetru musí být velký, blížíci se nekonečnu aby jím neprotékal téměř žádný proud. Nejmenší napětí má voltmetr jestliže zapojíme do obvodu pouze jeho měřící ústrojí. Pro měření větších napětí zapojujeme do série s měřícím ústrojím odpory tzv. předřadníky.

Obr. 9 Zvětšení napětového rozsahu voltmetru :

a) s jedním rozsahem



b) s několika rozsahy zapojenými pomocí přepínače



Výpočet předřadníku :

$$I = \frac{U_v}{R_v} \quad I = \frac{U - U_v}{R_p}$$

$$\frac{U_v}{R_v} = \frac{U - U_v}{R_p}$$

$$\frac{R_v}{U_v} = \frac{R_p}{U - U_v}$$

$$R_p = R_v \cdot \frac{U - U_v}{U_v}$$

$$R_p = R_v \cdot \left( \frac{U}{U_v} - 1 \right)$$

$$R_p = R_v \cdot (n - 1)$$

**Př.)** Zvětšete rozsah voltmetru při  $M_{u1} = 100\text{mV}$  je  $R_{v1} = 5\text{ k}\Omega$ . Zvětšete na  $M_{u2} = 1\text{ V}$ ,  $M_{u3} = 5\text{ V}$  a  $M_{u4} = 10\text{ V}$ .

### Měřicí transformátory napětí

Zvětšení rozsahu střídavého voltmetru pomocí měřicího transformátoru napětí je nejčastější způsob měření střídavých napětí vyšších než asi 1000 V. Jedna ze sekundárních svorek se musí jednopólově uzemnit, protože měřené vysoké napětí, které zhoršenou izolací (popřípadě kapacitní nebo indukční parazitní vazbou) mohlo proniknout na sekundární vinutí, by ohrozilo obsluhu.

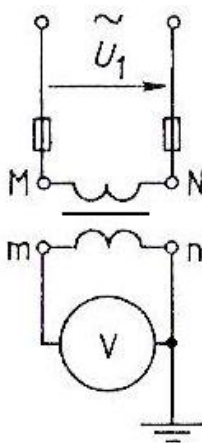
Některé důležité parametry měřicích transformátorů napětí :

- a) Jmenovité primární napětí  $U_{1N}$  je z vyvolené řady
- b) Jmenovité sekundární napětí  $U_{2N}$  je 100 V, výjimečně 110 V
- c) Jmenovitý převod  $k_U = \frac{U_{1N}}{U_{2N}}$  se udává zlomkem, např.  $k_U = \frac{6000}{100}$

Je to nejdůležitější konstanta měřicího transformátoru napětí, protože platí :

$$U_1 = k_U U_2 = k_U K_{v\alpha} = K_{p\alpha}$$

$$K_p = K_v \cdot k_U$$



**Obr. 10 Měřicí transformátor**

## II. POLOLETÍ

### Měření odporu

Elektrický odpor je jedna ze základních vlastností všech pasivních a aktivních prvků, el. spotřebičů, obvodů, izolace či jiných el. zařízení.

Základní jednotkou elektrického odporu je  $1 \Omega$  (ohm), který je definován jako odpor vodiče, kterým protéká proud  $1 \text{ A}$  a na koncích vodiče je napětí  $1 \text{ V}$ . V praxi se pohybuje rozsah měřených odporů asi od  $10^{-6} \Omega$  až do  $10^{14} \Omega$ . Obsáhnout takový rozsah měření 1 měřicím přístrojem či 1 měřicí metodou a zároveň vyhovět požadavkům přesnosti je velmi těžce realizovatelné. Blíže se budeme zabývat metodami měření středních odporů. Přímé měření pomocí ohmmetru nebývá příliš přesné a proto se častěji používají nepřímé měřicí metody a to výhylkové nebo můstkové.

**Uvedený rozsah se proto dělí :**

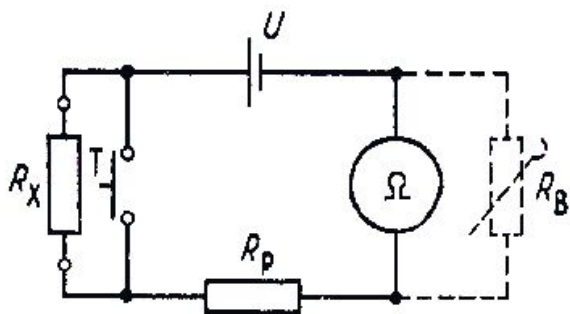
- 1) malé odpory s rozsahem od  $10^{-6} \Omega$  do  $1 \Omega$
- 2) střední odpory s rozsahem od  $1 \Omega$  do  $10^6 \Omega$
- 3) velké odpory s rozsahem od  $10^6 \Omega$  do  $10^{14} \Omega$

### Měření odporu ohmmetrem - přímé měření

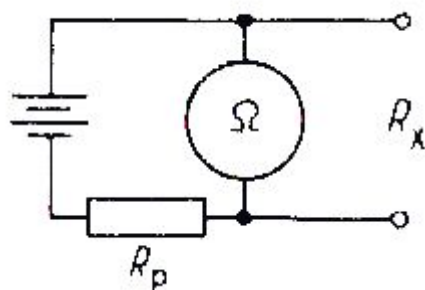
V praxi se často pro měření odporů používají ohmmetry. Měření s nimi je jednoduché a rychlé, mají však poměrně malou přesnost.

Základní zapojení ohmmetru s magnetoelektrickým měřicím přístrojem je na obr. Je zřejmé, že výchylka přístroje závisí na velikosti neznámého odporu  $R_x$ , a proto můžeme stupnici očíslovat v jednotkách odporu. Hodnotě  $R_x \rightarrow \infty$  (stav, kdy na svorkách  $R_x$  není připojen rezistor) odpovídá *mechanická nula*, která u novějších přístrojů je na pravém konci stupnice. Hodnotě  $R_x = 0$  (svorky  $R_x$  spojeny nakrátko tlačítkem) odpovídá nulový dílek stupnice (*elektrická nula*, levý konec stupnice). Výchyly ručky závisí i na napětí zdroje  $U$ , a proto přístroj musí mít zařízení, kterým je možné vyrovnat změny napětí zdroje, např. snížení napětí při stárnutí baterie. Tímto zařízením se mění citlivost měřicího přístroje (proměnný bočník  $R_B$ , proměnný předřadník  $R_p$  nebo magnetický bočník). Základní zapojení má několik obměn :

- Ohmmetry s několika rozsahy mají kombinovaný bočník.
- Změny rozsahu lze dosáhnout také změnou napájecího napětí. Ohmmetry tohoto druhu jsou napájeny ze sítě. Rozsah se mění přepínáním odboček sekundárního vinutí síťového transformátoru.
- Ohmmetry pro měření velkých odporů mají jako zdroj dynamko, poháněné ručně kličkou, nebo tranzistorový měnič stejnosměrného napětí, protože při měření velkých odporů potřebujeme velké napětí. Lze měřit odpory do  $1000\text{ M}\Omega$ .
- Pro měření malých odporů se zapojuje neznámý odpor paralelně k měřicímu přístroji a působí tedy jako bočník.



Obr. 11 a) Základní zapojení ohmetru s magnetoelektrickým měřicím přístrojem

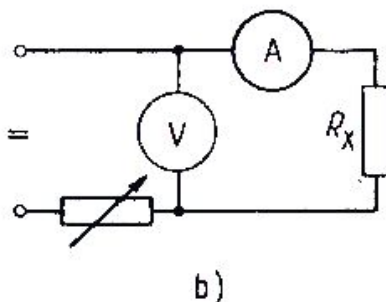
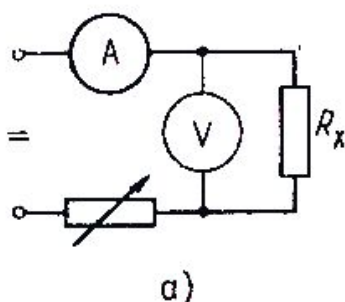


b) Ohmmetr pro měření malých odporů

### Měření odporu ampérmetrem –nepřímá metoda

Nepřímé měřicí metody jsou založeny na myšlence : vyhledat rovnici, ve které se vyskytuje měřená neznámá veličina, změřit, resp. zjistit všechny ostatní neznámé a hledanou veličinu vypočítat z dané rovnice. Jednoduchým příkladem nepřímé metody je měření odporů voltmetrem a ampérmetrem, tzv. Ohmova metoda.

Podle Ohmova zákona lze odpor zjistit změřením proudu a úbytku napětí na rezistoru ze vzorce  $R_x = \frac{U}{I}$ .



Na obr. **a)** je zapojení pro měření **malých odporů**. Je zřejmé, že v tomto případě měříme relativně přesně úbytek napětí na rezistoru, ale s jistou chybou proud. Ampérmetr totiž ukazuje součet proudů neznámého rezistoru a voltmetru. Tuto chybu lze snadno vymežit početně:

$$I_A = I_V + I_R \Rightarrow I_R = I_A - I_V$$

$$I_V = \frac{U}{R_V}$$

$$R_X = \frac{U}{I_R} = \frac{U}{I_A - \frac{U}{R_V}}$$

Na obr. **b)** je zapojení pro měření velkých odporů. Měříme relativně přesně proud neznámého rezistoru, s jistou chybou napětí – voltmetr měří součet úbytků napětí na  $R_x$  a na ampérmetru. Tuto chybu můžeme opět snadno vymežit početně :

$$R_x = \frac{U_V}{I} - R_A$$

### Měření odporu voltmetrem

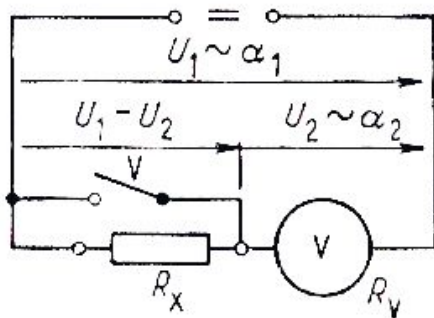
Tato metoda využívá opět rozdělení napětí na odporech v sérii. Pro měření se používá magnetoelektrický voltmetr se známým vnitřním odporem  $R_V$ . Ze schématu na obr. 6 je patrné, že změříme nejprve napětí zdroje  $U_1$  ( $R_x$  spojen nakrátko vypínačem  $V$ )., pak napětí  $U_2$  (vypínač  $V$  rozpojen, do série s voltmetrem je zapojen rezistor  $R_x$ ). Pro tento druhý případ lze psát vztah pro rozdělení napětí ve tvaru :

$$\frac{R_x}{R_V} = \frac{U_1 - U_2}{U_2}$$

z toho

$$R_x = R_V \left( \frac{U_1}{U_2} - 1 \right)$$

**Vztah pro rozdělení napětí**



Obr 12. Měření odporů voltmetrem

Metoda je vhodná pro odpory přibližně stejně velké, jako je odpor voltmetru  $R_v$ . Napájíme-li obvod konstantním napětím  $U_1$ , nemusíme je měřit a výchylka voltmetru je dána jen hodnotou  $R_x$ .

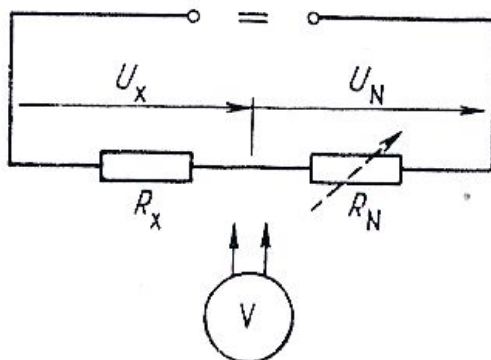
### Porovnávací metoda pro malé R

Napětí na rezistorech v sérii se rozdělí v poměru jejich odporů

$$\frac{R_x}{R_N} = \frac{U_x}{U_N} \quad \text{z toho} \quad R_x = R_N \frac{U_x}{U_N}$$

kde  $R_N$  je odpor normálu (odpor známé velikosti), napětí  $U_x$  a  $U_N$  si změříme voltmetrem s měřicími hodnotami. Měříme-li obě napětí na tomtéž rozsahu, tj. se stejnou konstantou, pak platí :

$$R_x = R_N \frac{\alpha_x}{\alpha_N}$$

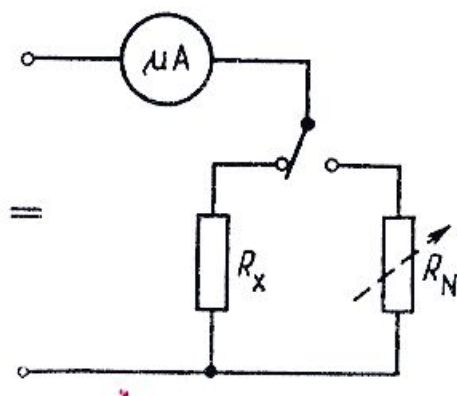


Obr. 13 Porovnávací metoda pro malé R

### Porovnávací metoda pro velké R

Proudy se rozdělí podle poměru odporů

$$\frac{R_X}{R_N} = \frac{I_N}{I_X} \quad \text{z toho} \quad R_X = R_N \frac{I_N}{I_X}$$



Obr. 14 Porovnávací metoda pro velké R

Měříme-li oba proudy na stejném rozsahu ampérmetru, pak :

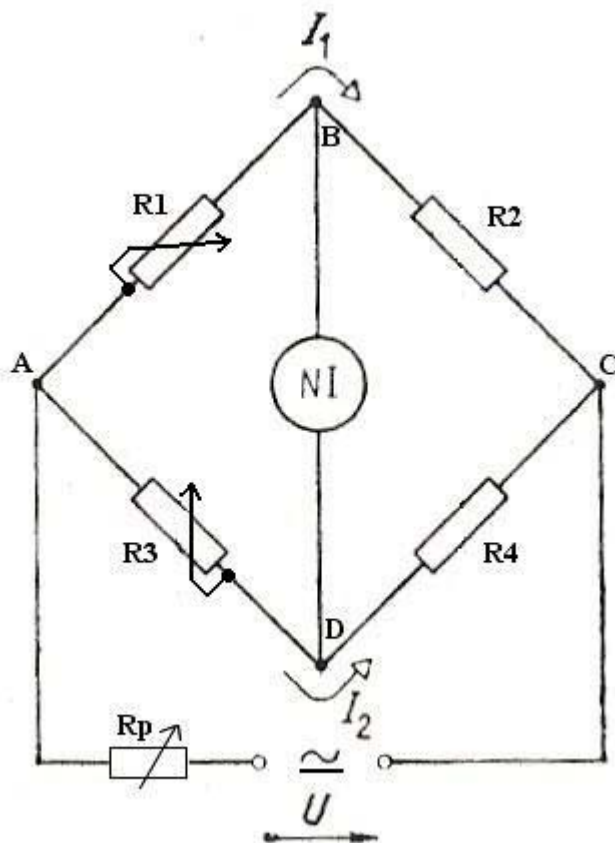
$$R_X = R_N \frac{I_N}{I_X}$$

### Měření odporu můstkovou metodou

Měření odporu pomocí můstkové metody je přesnější než pomocí metody výchylkové. Měřicí přístroj zapojený v můstcích neslouží k odečítání hodnot el. veličiny potřebné k výpočtu neznámého odporu, ale pouze k indikaci určitého stavu (nejčastěji nulového) v takzvané měřicí diagonále můstku. Neznámý odpor se pak vypočítá z jednotlivých větví můstku v tzv. vyváženém stavu.



a) Wheatstonův můstek



Obr. 15 Wheatstonův můstek

Měříme jím odpory střední velikosti. Je sestaven ze 4 rezistorů dle schématu. Mezi uzly A, C; které tvoří tzv. napájecí diagonálu je zapojen stejnosměrný zdroj napětí. Mezi uzly B, D do tzv. měřicí diagonály je zapojen nulový indikátor NI, kterým bývá nejčastěji magnetoelektrický galvanometr.

Ve vyváženém stavu mají uzly B, D stejný potenciál tz., že měřicí diagonálou neprotéká žádný proud. Pak platí :

$$I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_3 \quad \text{a současně}$$

$$I_1 \cdot R_2 = I_2 \cdot R_4$$

...což je tzv. rovnovážná podmínka. V praktickém zapojení bývá většinou  $R_1$  neznámým odporem  $R_x$  a pomocí rezistoru  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  což jsou odporové dekády je v obvodu nastavena rovnovážná podmínka :

$$R_x = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4}$$

Rozsah tohoto můstku je asi od  $0,1 \Omega$  do  $10^6 \Omega$ . Přesnost odporových dekád můstku bývá  $\pm 0,02 \%$  takže dosažitelná přesnost měření je pak  $\pm 0,06 \%$ .

### **Měření zemních a izolačních odporů**

Norma rozlišuje tyto druhy izolačních odporů izolantů : vnitřní odpor, povrchový odpor, izolační odpor, měrný vnitřní odpor, měrný povrchový odpor.

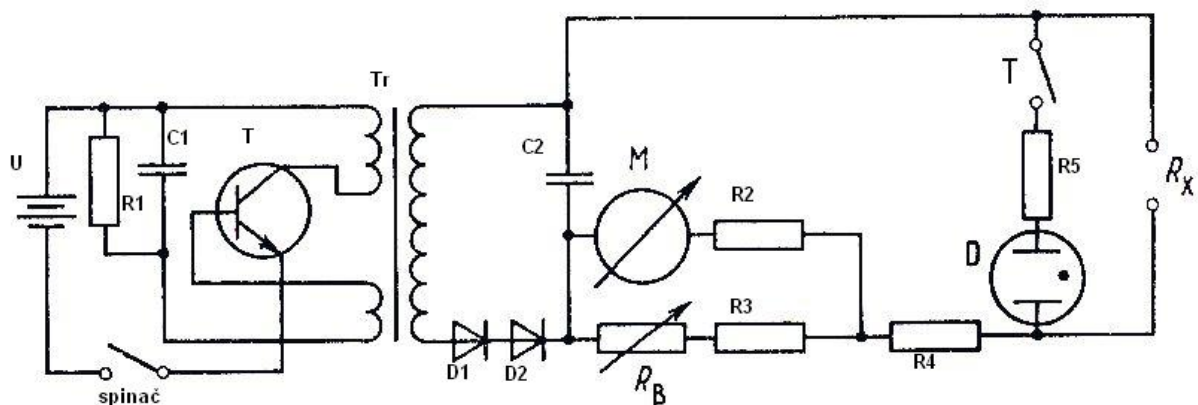
#### **Měření izolačního odporu elektrického zařízení**

Při tomto měření je třeba se řídit předpisy a norem souvisejících, z nichž uvádíme jen některé případy a poučky.

Izolační odpor zásadně měříme :

- izolační odpor zařízení proti zemi
- izolační odpor vodičů proti sobě

Měříme většinou na elektrickém zařízení bez napětí, je však možné kontrolovat nebo dokonce měřit izolační odpor místní sítě pod napětím. Pro měření bez napětí lze použít různé měřiče izolace s napětím :  $100V$  pro slaboproudá zařízení,  $500V$  pro silnoproudá zařízení mn a nn,  $1000V$  a  $2500V$  pro vn,  $5000V$  pro vvn. Kromě Megmetů lze použít moderní tranzistorové měřiče n. p. Metra , např. PU 370 (napětí  $100V$ ), PU 371 (napětí  $500V$ ), PU 310 (napětí  $100$ ,  $500$ , a  $1000V$ ). Jsou to přímoukazující ohmmetry, u kterých je měření odporu převedeno na měření proudu při známém napětí.



Obr. 16 Tranzistorový měřič izolačních odporů PU 371 n. p. Metra

Na obr. je zapojení přístroje PU 371. Je napájen dvěma monočládky, jejichž napětí transformuje tranzistorový měnič na stejnosměrné napětí asi 500 V. Obvod s doutnavkou D slouží jako fázová zkoušečka síťového napětí. Bočником RB seřizujeme elektrickou nulu při zkratovaných zdírkách Rx (kompenzujeme tak změny napětí baterie měniče).

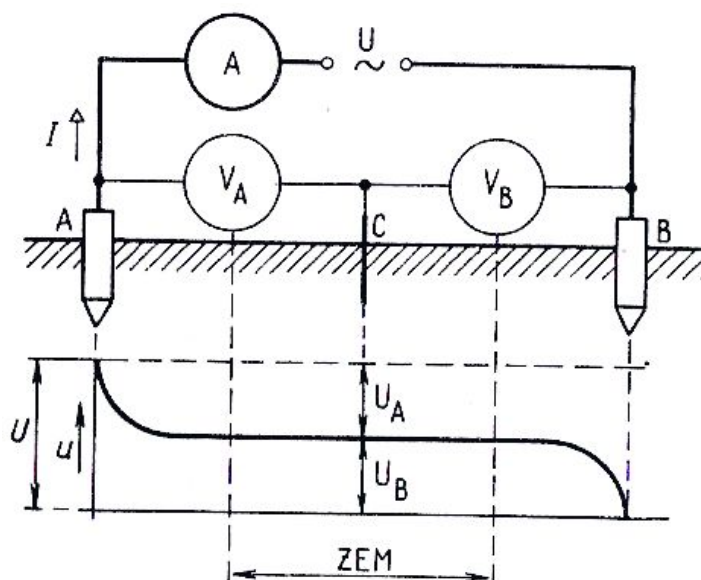
*Izolační odpor se má číst až za 1 min. po zapnutí napětí. Kladný pól má být připojen na zem. (např. vodovod, hromosvod, pomocný měnič aj.)*

### Měření zemních odporů

Kontrola zemních a izolačních odporů má velký význam pro bezpečnost práce, protože na jejich velikosti závisí vznik možného dotykového napětí na kostrách spotřebičů i na jiných kovových konstrukcích. Izolační odpor mají být co největší, kdežto zemní odpory mají být co nejmenší.

Zemní odpor je přechodový odpor mezi zemničem a zemí. Určuje se jako poměr napětí zemniče proti zemi a proudu procházejícího zemničem. Od zemního odporu je třeba rozlišovat odpor uzemnění, což je zemní odpor zemniče včetně odporu zemních svodů, popřípadě celého zemničího rozvodu. Z obrázku je patrné, že k úbytku napětí dochází prakticky jen v blízkosti obou zemničů, kterými prochází proud. Jsou-li oba zemniče dostatečně daleko, pak v jistém prostoru mezi nimi nevytváří procházející proud téměř žádné úbytky napětí, protože má k dispozici velký průřez. V blízkosti zemničů jsou však siločáry proudového pole zhuštěny. Odpory obou zemničů je tedy možné vypočítat ze vzorců :

$$R_A = \frac{U_A}{I} \qquad R_B = \frac{U_B}{I}$$



Obr. 17 Měření zemních odporů a průběh úbytku napětí

### Měření indukčnosti

Statická definice indukčnosti definuje indukčnost jako poměr spřaženého magnetického toku k proudu, který protéká cívkou :

$$L = \frac{\psi}{I_1} [H]$$

$$\psi = N \cdot \phi$$

L .... indukčnost cívky  
 $\psi$ .... magnetický spřažený tok cívky  
 $I$ ..... proud protékající cívkou  
 $N$ ... počet závitů cívky

Podobně statická definice vzájemné indukčnosti určuje vzájemnou indukčnost dvou cívek jako poměr toku druhou cívkou, který je vyvolán proudem první cívky :

$$M = \frac{\psi}{I_1} [H]$$

$M$ .... vzájemná indukčnost dvou cívek

1) výchylkové metody

a) měření indukčnosti ampérmetrem a voltmetrem

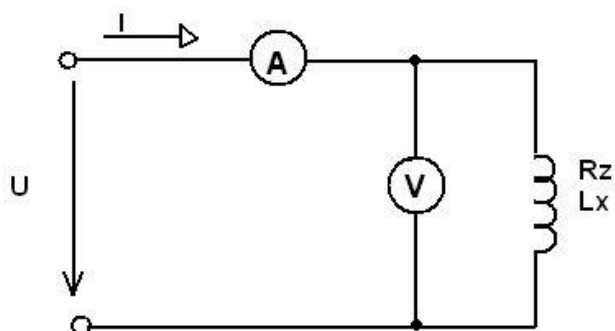


Schéma zapojení pro menší impedance

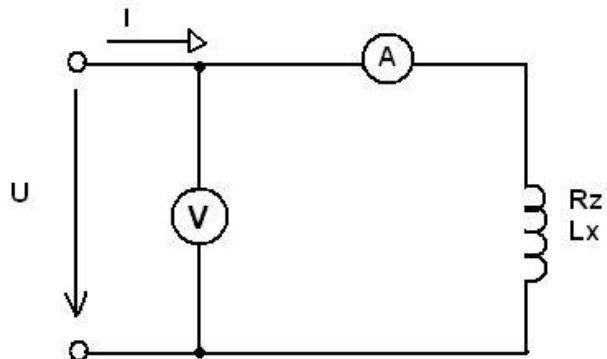


Schéma zapojení pro větší impedance

Vlastní indukčnost určujeme z definice impedance :

$$L_x = \frac{1}{\omega} \cdot \sqrt{Z^2 - R_z^2} [H]$$

Zdánlivý výkon cívky :

$$P = U \cdot I [VA]$$

Impedance cívky :

$$Z = \frac{U}{I} [\Omega]$$

Odpor cívky :

$$R_z = \frac{P}{I^2} [\Omega]$$

### Postup měření

Pokud měříme indukčnost nepřímou metodou, tak musíme znát napětí a proud, z kterých si přes odpor cívky  $R_z$  a impedanci cívky  $Z_{LX}$  vypočteme výslednou indukčnost. Při měření musíme dávat pozor na správné zapojení přístrojů, protože při jiném zapojení by měření nebylo přesné. Při měření indukčnosti je taky důležité aby obvodem tekla střídavý proud.

$$U_{ss} \rightarrow I_{ss}$$

$$U_{stř} \rightarrow I_{stř}$$

$$R = \frac{U_{ss}}{I_{ss}} [\Omega]$$

$$\Rightarrow \text{z těchto vztahů vypočteme reaktanci} \quad X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} [\Omega]$$

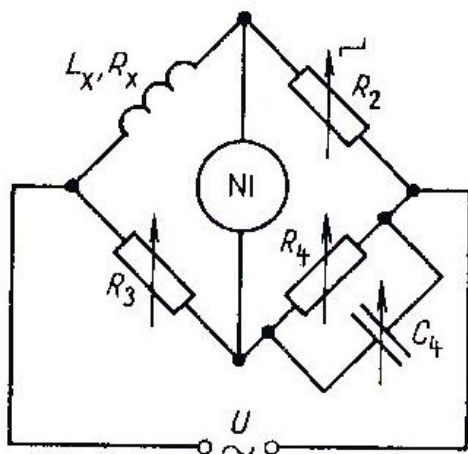
$$Z = \frac{U_{stř}}{I_{stř}} [\Omega]$$

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L [\Omega] \Rightarrow \text{z tohoto vztahu si vyjádříme indukčnost} \quad L = \frac{X_L}{2\pi f} [H]$$

Nevýhodou této metody je, že činný odpor  $R_z$  cívky musíme určit samostatným měřením. Přesnost tohoto měření (této metody) je +- 5 % a metoda je zvlášť vhodná pro měření vzduchových cívek v provozu.

## Měření indukčnosti můstkem

### Maxwellův-wienův můstek



Obr.18 Maxwellův-Wienův můstek

Podmínky rovnováhy tohoto můstku lze odvodit známým postupem. Po dosazení za  $Z_1$  až  $Z_4$  do rovnováhy dostaneme :

$$R_x + j\omega L_x = R_2 R_3 \left( \frac{1}{R_4} + j\omega C_4 \right)$$

Po úpravě a oddělení reálných a imaginárních členů vychází

$$L_x = R_2 R_3 C_4$$

$$R_x = R_2 \frac{R_3}{R_4}$$

$$Q = \frac{\omega L_x}{R_x} = \omega C_4 R_4$$

Protože  $\varphi_2 = \varphi_3 = 0$ , zjistíme z rovnováhy, že  $\varphi_1 = -\varphi_4$ . Můstek se vyvažuje tak, že volíme vhodnou velikost odporů  $R_2$  a  $R_3$  a pak můstek vyrovnáme změnou odporu  $R_4$  a kapacity  $C_4$ .

## Jiné můstky pro měření vlastní indukčnosti

### Můstek Owenův

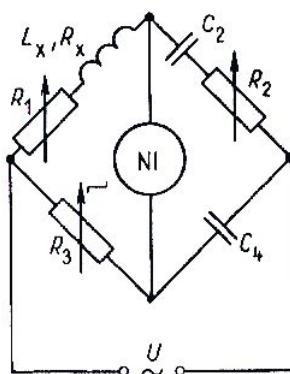
Je kmitočtově nezávislý a hodí se především pro měření velkých indukčností. Obvyklým postupem lze odvolit tyto podmínky rovnováhy :

$$L_x = R_2 R_3 C_4$$

$$R_x = R_3 \frac{C_4}{C_2} - R_1$$

Výhodou Owenova můstku je vyvažování pouze proměnnými rezistory, není potřeba kapacitní sádka.

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_4}$$



Obr. 19 Můstek Owenův



## Měření kapacity

### **-měření kapacity pomocí voltampérové metody**

V podstatě je to ohmova metoda aplikovaná na měření velkých impedancí. Kvůli menší chybě se zapojuje voltmetr před ampérmetr. Napájecí střídavé napětí musí mít známou a konstantní frekvenci.

Hodnotu neznámé kapacity můžeme při malém ztrátovém činiteli (menší než  $10^{-2}$ ) vypočítat na základě údajů ampérmetru a voltmetru ze vztahu :

$$C_x = \frac{I}{\omega \cdot U} [F]$$

$$C_x = \frac{1}{2\pi f \cdot X_c} [F]$$

$$X_c = \frac{U}{I} [\Omega]$$

### **Postup měření :**

K měření kapacity pomocí voltampérové metody musíme znát proud a napětí, ze kterých si opět vypočteme impedanci kapacity  $X_c$  a z ní vypočteme výslednou kapacitu  $C$ . Při měření musíme dbát na to, abychom měli správně zapojeny všechny přístroje protože při nesprávném zapojení by měření nebylo přesné. Při měření kapacity je rovněž důležité aby obvodem tekla střídavý proud.

$$U_{ss} \rightarrow I_{ss}$$

$$U_{stř} \rightarrow I_{stř}$$

$$\boxed{U_{ss} = U_{stř}}$$

→ pokud ne, nutno provést přepočít

$$I_{ss} = I_{RP}$$

$$\Rightarrow I_{CP} = \sqrt{I^2 - I_{RP}^2} [A]$$

$$I_{STŘ} = I$$

Vypočteme kapacitní jalový odpor  $X_c = \frac{U}{I_{CP}}$

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi f C} \Rightarrow \boxed{C = \frac{1}{2\pi f \cdot X_c} [F]}$$

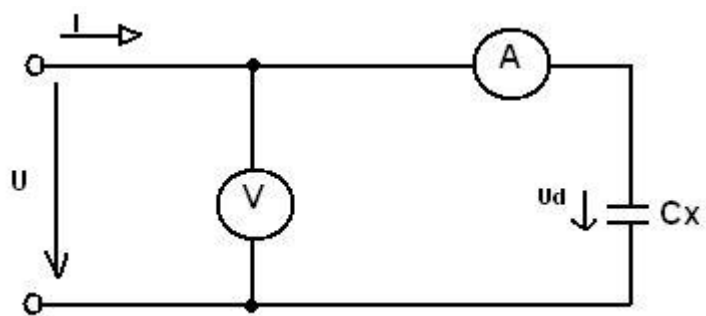


Schéma zapojení pro malé  $C$

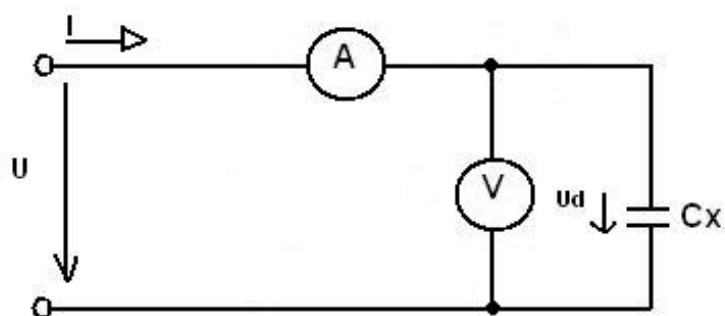
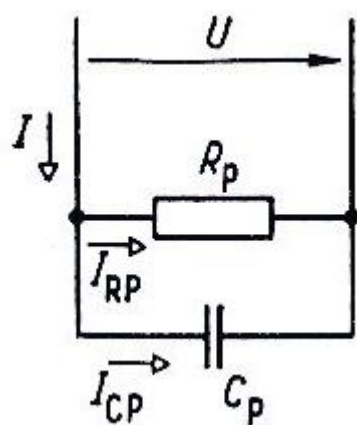
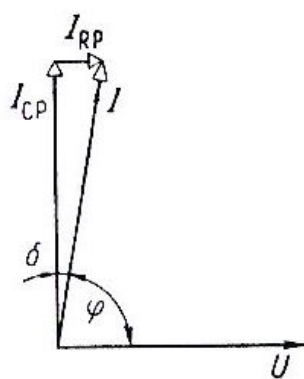


Schéma zapojení pro velké  $C$



Obr. 20 Náhradní schéma paralelní



$$I_{RP} = \frac{U}{R_p}$$

$$I_{CP} = Uj\omega C_p$$

Obr. 21 Fázorový diagram pro paralelní schéma

# ELEKTRICKÁ MĚŘENÍ 2. ROČNÍK

I.pololetí :

## Měření výkonu a práce

### Výkon střídavého jednofázového proudu

#### - výkon činný

Při zapojení činného odporu, např. elektrického topného tělesa, do obvodu střídavého proudu, jsou napětí s proudem ve fázi. Vynásobením okamžitých hodnot napětí a proudu v každém časovém okamžiku, dostaneme okamžité hodnoty výkonu střídavého proudu. Hodnoty výkonu jsou kladné. Průběh výkonu je však funkce s dvojnásobným kmitočtem než je kmitočet napětí. Proto nemůže být výkon zobrazován ve společném vektorovém diagramu s napětím a proudem. Kladná hodnota výkonu představuje tok energie od výrobce ke spotřebiteli.

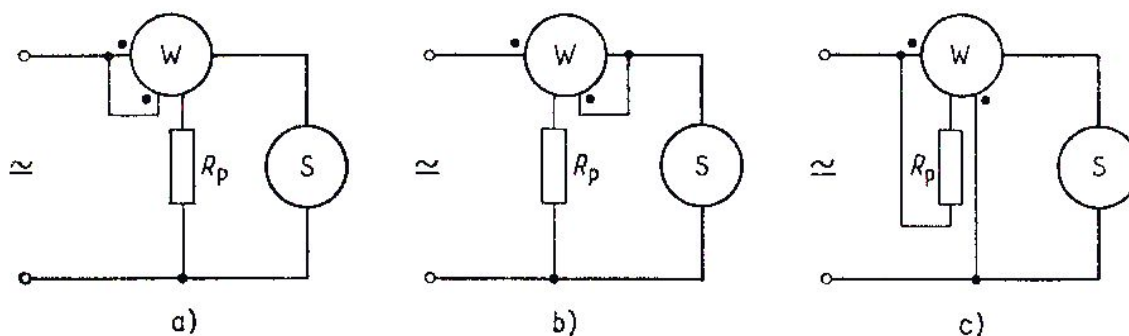
#### **Měření činného výkonu :**

Pro výpočet výkonu střídavého proudu se uvažují vždy efektivní hodnoty napětí a proudu.

Normálními wattmetry můžeme měřit nepříliš malé a nepříliš velké stejnosměrné a střídavé nízkofrekvenční **činné** výkony.

Pro jejich údaj tedy platí :

$$P = U \cdot I [W]$$



**Obr. 22** Zapojení wattmetru s předřadníkem k napěťové cívice : a), b) správná zapojení, c) nesprávné zapojení

Použijeme-li při měření wattmetrem předřadník k napěťové cívice, musí být zapojen podle obr.22 b, tj. tak, aby napěťová cívka byla jednopólově spojena s proudovou. V nesprávném zapojení (obr...c) je mezi napěťovou a proudovou cívkou dosti vysoké napětí, takže vzniká chyba v údaji měřícího přístroje působením elektrostatických sil. Kromě toho může dojít k průrazu izolace a zničení wattmetru při náhodném dotyku obou cívek.

( Proudová svorka označená na přístroji šipkou má být zapojena na přívodu od zdroje, napěťová svorka se šipkou na jedné proudové svorce. Na obrázcích jsou tyto tečky označeny tečkami )

Zvláštní problematiku má měření vysokofrekvenčního výkonu, měření nesinusového výkonu, měření malých výkonů a měření velkých výkonů. Také máme několik jiných způsobů měření výkonu např. pomocí Hallových generátorů, kvadrátorů a modulátorů u kterých se měřený výkon převádí na napětí (nebo proud) úměrné tomuto výkonu, což umožňuje využít toto napětí k regulačním účelům.

## -výkon jalový

Je-li ve střídavém obvodu zapojena cívka, kterou je třeba považovat za sériové spojení indukčnosti a činného odporu, je nutno rozlišovat 3 druhy výkonů :

Kromě zdánlivého výkonu  $S$  se projevuje činný výkon  $P$  na činném odporu  $R$  a na indukčním jalovém odporu  $X_L = \omega * L$  se projevuje indukční jalový výkon  $Q_L$ , který je jen výměnným výkonem mezi zdrojem a cívkou a jeho průměrná hodnota je nula.

Pokud je fázový posun mezi proudem a napětím  $90^\circ$ , například při čisté indukčnosti nebo čisté kapacitě, jsou kladné a záporné části ploch výkonové křivky stejně velké, činný výkon je nulový a projevuje se jen jalový výměnný výkon. Veškerá energie se vyměňuje mezi zdrojem a spotřebičem, přesouvá se sem a tam.

Při čisté indukčnosti nebo čisté kapacitě se vyskytuje jenom jalový výkon.

### Měření jalového výkonu :

Pro měření jalového výkonu můžeme použít :

- a) zvláštní přístroje (varmetry) v klasickém zapojení
- b) normální wattmetry v umělém zapojení

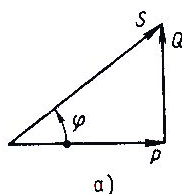
V obou případech vycházíme z tohoto důležitého pravidla :

Při měření jalového výkonu je třeba na napěťovou cívku wattmetrové soustavy přivést napětí  $U'$ , posunuté o  $90^\circ$  proti napětí  $U$ , které je na této cívce při měření činného výkonu.

Toto pravidlo lze odvodit ze známých vztahů :

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \qquad Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi = U \cdot I \cdot \cos(90^\circ - \varphi)$$

Při měření činného výkonu se uplatní činná složka napětí  $U \cos \varphi$ . Posuneme –li napětí o  $90^\circ$ , reaguje wattmetr na složku  $U \cos(90^\circ - \varphi)$  a měří jalový výkon. Ke stejnému pravidlu dojdeme i rozбором fázorového trojúhelníku výkonů (obr. 23), kde fázor  $Q$  je kolmý na fázor  $P$ . Při indukční zátěži je  $U'$  zpožděno za  $U$  o  $90^\circ$ , při kapacitní zátěži předbíhá o  $90^\circ$ .

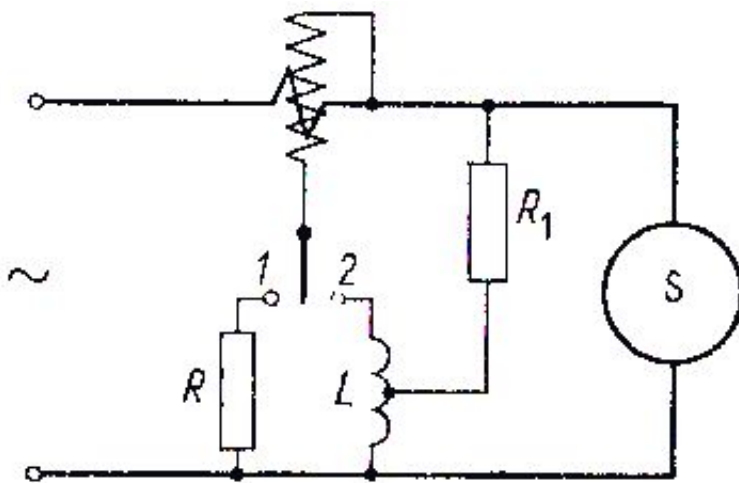


Obr. 23 trojúhelník fázorů výkonů

Jalový výkon se přímo měří hlavně v rozvodnách a elektrárnách. Při provozních i laboratorních měřeních většinou stačí vypočítat jej ze zjištěného výkonu  $P$  a účinníku  $\cos \varphi$  :

$$Q = P \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

A teď k samotnému měření. Fázového posunu  $90^\circ$  pro napěťovou cívku lze dosáhnout např. zapojením podle obr. ... . V poloze přepínače 1 měří wattmetr činný výkon v poloze 2 jalový. Nevýhodná je značná kmitočtová závislost.



Obr. 24 wattmetr pro měření činného a jalového výkonu

### -výkon zdánlivý

Součin naměřených hodnot napětí a proudu dává ve střídavém obvodu zdánlivou hodnotu výkonu. Tento výkon se proto nazývá zdánlivý výkon  $S$ .

Wattmetr ukazuje činný výkon  $P$ , který je střední hodnotou všech okamžitých hodnot. Činný výkon  $P$  je proto při fázovém posunu  $\varphi$  mezi proudem a napětím vždy menší než zdánlivý výkon  $S$ . Části periody se záporným výkonem znamenají, že je energie vracena zpět do sítě. V částech periody je s kladným výkonem je ze sítě energie odebírána. Rozdíl mezi kladnou a zápornou energií je činná energie (např. teplo).

### Měření zdánlivého výkonu :

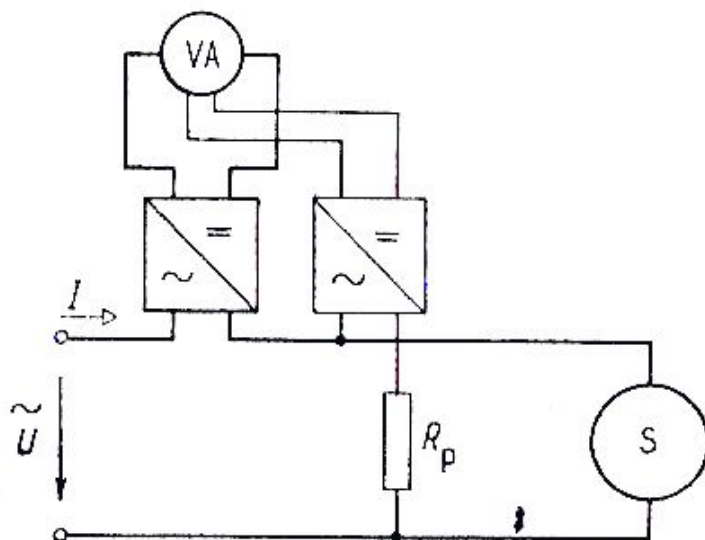
Zdánlivý výkon se většinou určuje nepřímým výpočtem z naměřeného proudu a napětí :

Pro jednofázový obvod :  $S = U \cdot I$

Pro trojfázový obvod :  $S = \sqrt{3 \cdot U \cdot I} = 3 \cdot U_f \cdot I_f$

Měřiče zdánlivého výkonu se používají hlavně v rozvodných zařízeních, kde jsou nároky na přesnost poměrně malé. Kromě málo přesných, drahých a kmitočtově závislých wattmetrů na zdánlivý výkon lze použít i zařízení s elektrodynamickým nebo ferodynamickým wattmetrem,

jestliže proud i napětí usměrníme a zrušíme tak fázové vztahy obou veličin. Přístroj ukazuje správně jen při sinusových průbězích proudu a napětí, pro které je stupnice kalibrována.



Obr. 25 Měření zdánlivého výkonu pomocí usměrňovačů

II.pololetí :

### Stejnoseměrný výkon

**Výpočet stejnosměrného výkonu**

Obecný vztah pro výkon :  $P = U \cdot I [W] \Rightarrow U = R \cdot I \Rightarrow P = R \cdot I^2 [W]$

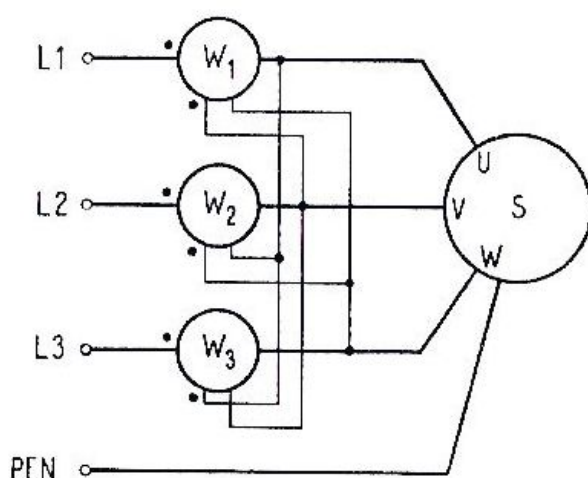
$$I = \frac{U}{R} [A] \Rightarrow P = \frac{U^2}{R} [W]$$



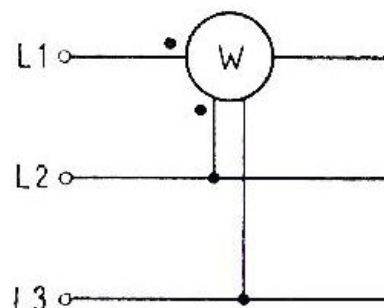
## Střídavý trojfázový výkon

### Trojfázové měření jalového výkonu

Trojfázová soustava napětí bývá většinou dobře souměrná, takže pro měření jalového výkonu vystačíme s běžnými wattmetry v umělém zapojení. Výhodou je jednoduchost a malá kmitočtová závislost. Varmetry se pro trojfázové měření používají poměrně zřídka pro jejich vyšší cenu a kmitočtovou závislost.



obr.26 Zapojení pro měření trojfázového jalového výkonu třemi wattmetry



obr.27 Zapojení proměření trojfázového jalového výkonu jedním wattmetrem

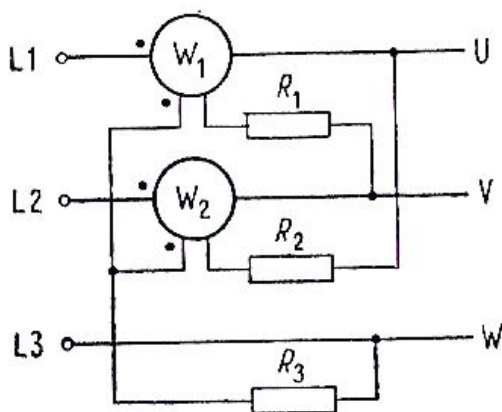
Zapojení na obr.26 je odvozeno z odpovídajícího zapojení pro měření činného výkonu. Tak např. napěťová cívka wattmetru  $W_1$  by byla při měření činného výkonu připojena k fázovému napětí fáze U. K fázoru tohoto napětí je kolmý fázor napětí  $U_{vw}$ , a proto při měření jalového výkonu je napěťová cívka wattmetru  $W_1$  zapojena na napětí  $U_{vw}$ . Jalový výkon

$$Q = \frac{K_w}{\sqrt{3}} (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)$$

Konstanta  $\sqrt{3}$  přepočítává napětí na fázové. V případě, že soustava napětí je souměrná a vyvážená, neexistuje chyba metody.

Zapojení na obr. .. se hodí jen pro souměrnou soustavu. Vznikne z předchozího zapojení, když  $\alpha_1 \approx \alpha_2 \approx \alpha_3 \approx \alpha$ ; v tom případě stačí jeden wattmetr. Jalový výkon

$$Q = \frac{K_W}{\sqrt{3}} (\alpha + \alpha + \alpha) = \frac{3K_W\alpha}{\sqrt{3}} = \sqrt{3}K_W\alpha$$



Obr. 28

Zapojení na obr.28 je odvozeno z Aronova zapojení pro měření činného výkonu. Jalový výkon

$$Q = \sqrt{3}K_W(\alpha_1 + \alpha_2)$$

## 5. Elektroměr, wattmetr

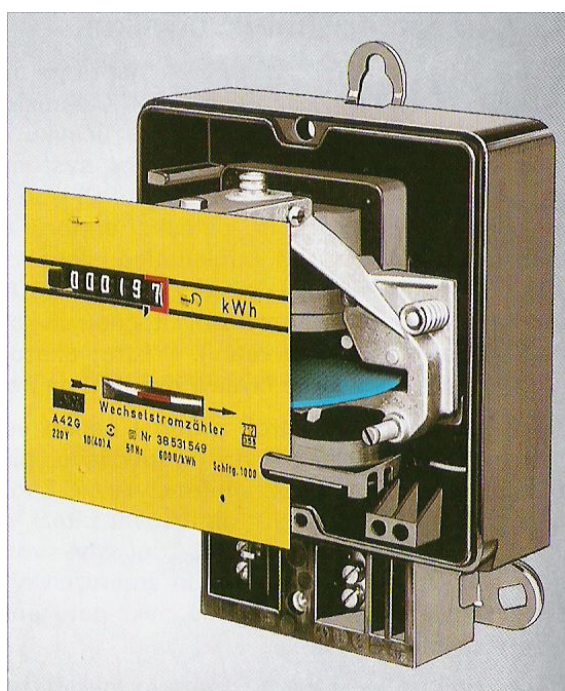
- elektroměr (měřič spotřeby elektrické energie)

Elektroměr měří spotřebu elektrické energie, tedy elektrickou práci. Podle určení rozlišujeme elektroměry spotřeby činné energie, elektroměry jalové energie, vıcetarifové elektroměry a podle principu měření rozlišujeme indukční měřidla a elektronická měřidla.

### Indukční elektroměr

Pro měření spotřeby energie střídavého a trojfázového proudu se používají většinou indukční elektroměry. Indukční elektroměr pracuje na podobném principu jako asynchronní motor s kotvou nakrátko. Ve vzduchové mezeře systému dvou elektromagnetů je otočně uložený hliníkový kotouč. Dolním dvouramenným systémem (proudová cívka) protéká měřený proud. Horní trojramenný systém je jádrem pro napěťovou cívku. Napěťová cívka má oproti proudové cívce velkou indukčnost. Při zátěži bez indukční složky jsou proto proudy i magnetické toky v obou cívkách otočeny oproti sobě fázově o  $90^\circ$ . Oba tyto magnetické toky vytvářejí tak jako v jednofázovém indukčním motoru magnetické točivé pole a vyvolávají tak točivý moment v hliníkovém kotouči počítadla. Točivý moment je tím větší, čím větší je odběr výkonu za elektroměrem.

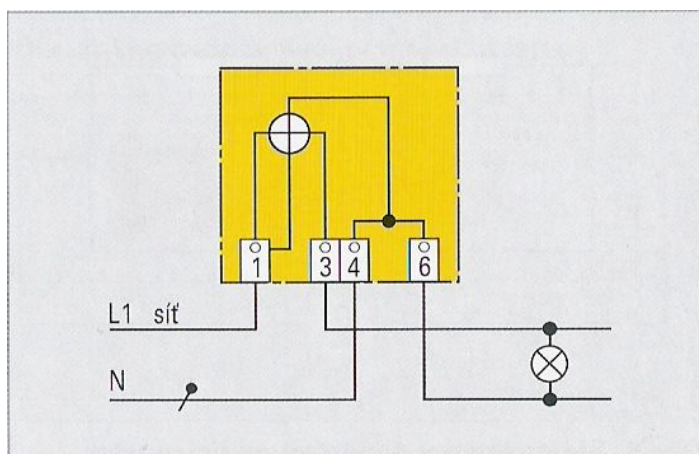
Má-li zátěž induktivní složku, je fázový posun mezi proudy v obou cívkách a jejich magnetickými toky menší než  $90^\circ$ . Točivý moment kotouče počítadla se pak zmenší. Elektroměr tedy měří činnou práci.



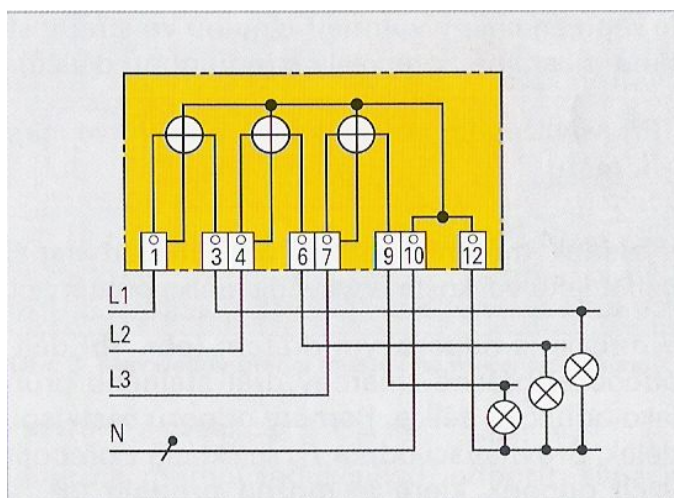
Obr.29 Indukční elektroměr na stř. proud

**Brzdící magnet** vytváří v kotouči vířivé proudy, které zabraňují tomu, aby se kotouč netočil rychleji než odpovídá zátěži. Brzdící síla (moment) narůstá s otáčkami kotouče. Počet otáček kotouče na 1 kWh (konstanta elektroměru) se dá nastavit s pomocí přestavitelného **magnetického bočníku** na brzdících magnetech. Běhu elektroměru naprázdno je zabráněno úhelníkem běhu naprázdno, který přitlakem brzdí osu kotouče a je připevněn na jednom z pólů napěťové cívky. Přestavitelná spona na odporové smyčce z konstantanového drátu

slouží k nastavení fáze (souladu fáze v proudové a napěťové cívce). Počet otáček kotouče zaznamenává **počítadlo**, které přímo udává spotřebu v kWh. Vlastní spotřeba (příkon) elektroměru bývá 1 W až 3 W. Na štítku elektroměru je uvedena konstanta, která udává počet otáček kotouče na 1 kWh.



**Obr.30** Zapojení jednofázového střídavého elektroměru



**Obr.31** Zapojení trojfázového elektroměru

## - Wattmetr

## Elektronické V- metry

Měření napětí bývá v praxi nejčastějším druhem provozních měření. Výhoda měření napětí spočívá zejména v tom, že není třeba rozpojovat elektrické obvody. Činnost zařízení tedy není přerušována, většinou odpadá i ovlivňování funkce elektrických obvodů po připojení voltmetru. Z těchto důvodů se někdy snažíme měřit pomocí napětí nepřímo i jiné elektrické veličiny.

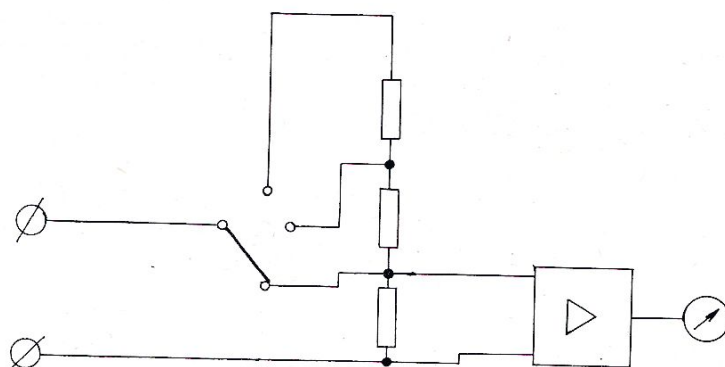
Vznikem a rozvojem elektroniky začaly u voltmetrů vzrůstat požadavky na snížení odběru energie z měřeného obvodu. Klasické ručkové voltmetry mají vstupní odpor zhruba do 50 k $\Omega$  na 1 V rozsahu přístroje, což umožňuje měřit malá napětí (jednotky voltů) v obvodech s vnitřním odporem nejvýše několik kiloohmů. V elektronických obvodech měříme většinou napětí v obvodech s vnitřním odporem od několika ohmů až po desítky megaohmů. K přesnému měření s chybou asi 1 % při vyšším vnitřním odporu pak potřebujeme voltmetry se vstupním odporem do tisíců megaohmů. Tento problém lze vyřešit použitím **elektronických voltmetrů**.

### **Požadavky na vlastnosti elektronických voltmetrů**

- druh a velikost měřeného napětí (stejnoseměrné, střídavé, různé časové průběhy střídavého napětí)
- použité jednotky při měření (např. V, mV, dB)
- měření širokopásmové nebo selektivní
- kmitočtový rozsah voltmetru
- zapojení vstupu přístroje (souměrné nebo nesouměrné vůči zemi, s vysokým vstupním odporem nebo s normalizovaným vstupním odporem např. 600  $\Omega$ )
- vyhodnocení měřeného napětí (analogové, číslicové)
- přesnost měření
- dovolená přetížitelnost

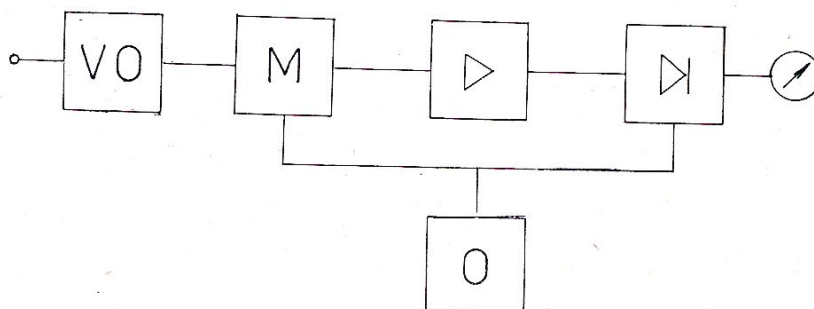
### **Elektronické voltmetry pro měření stejnosměrného napětí**

Stejnoseměrné napětí v obvodech s velkým vnitřním odporem můžeme měřit pomocí stejnosměrného zesilovače, jehož vstupní odpor mnohonásobně převyšuje vnitřní odpor v měřeném obvodu. Blokové zapojení je na obr. . Na vstupu zesilovače je zapojen odporový dělič na volbu rozsahu asi od 0,1 V do 1000 V. Vyšší napětí se měří pomocí dalšího přídavného děliče, který je konstruován především se zřetelem na bezpečnost při měření. Zesílené napětí pak přichází na ručkové měřidlo, které je ocejchováno v měřených jednotkách.



**Obr. 32 Blokové zapojení stejnosměrného elektronického voltmetru**

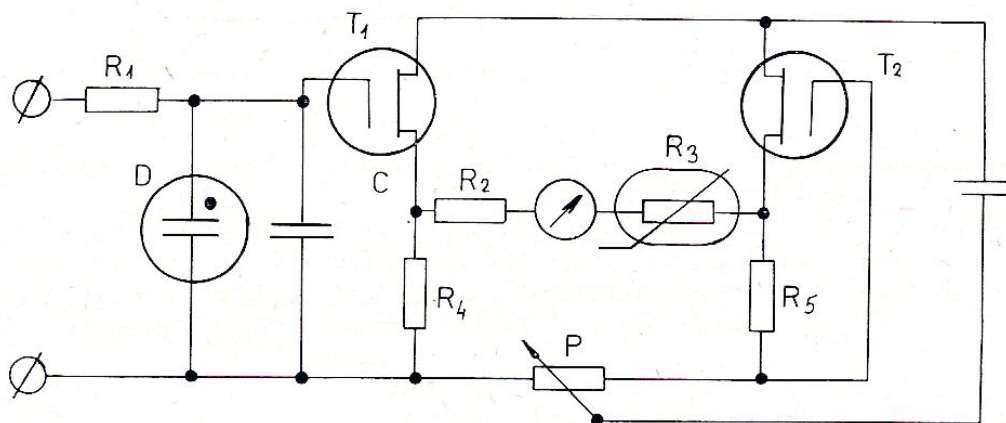
Chceme-li měřit ještě menší napětí (mV až  $\mu\text{V}$ ), musíme použít stejnosměrný zesilovač s velkým zesílením, což má za následek potíže se stabilitou zesilovače. Velmi malá stejnosměrná napětí proto nejdříve upravíme pomocí modulátoru na střídavá napětí, která se snadněji zpracovávají úzkopásmovým, mnohem stabilnějším střídavým zesilovačem. Blokové zapojení je na obr. Měřené stejnosměrné napětí přivádíme přes vstupní obvod VO na modulátor M. Střídavé napětí z modulátoru zesílíme a usměrňovačem opět převedeme na stejnosměrné napětí, které změříme vhodným stejnosměrným voltmetrem. Do modulátoru s usměrňovačem bývá přiváděn řídicí signál z jednoho oscilátoru O. Největší konstrukční potíže působí obvod modulátoru, protože měřené stejnosměrné napětí je ovlivňováno např. šumy a termoelektrickým napětím ve vstupním obvodu, rušením ze síťového napětí apod.



**Obr. 33 Blokové zapojení stejnosměrného elektronického voltmetru pro velmi malá napětí**

### **Elektronické voltmetry s FET tranzistorem**

K měření stejnosměrného napětí od desetin voltu výše se v praxi často používají tranzistorové voltmetry. Příkladem může být voltmetr s tranzistorem FET, znázorněný na obr. 34.



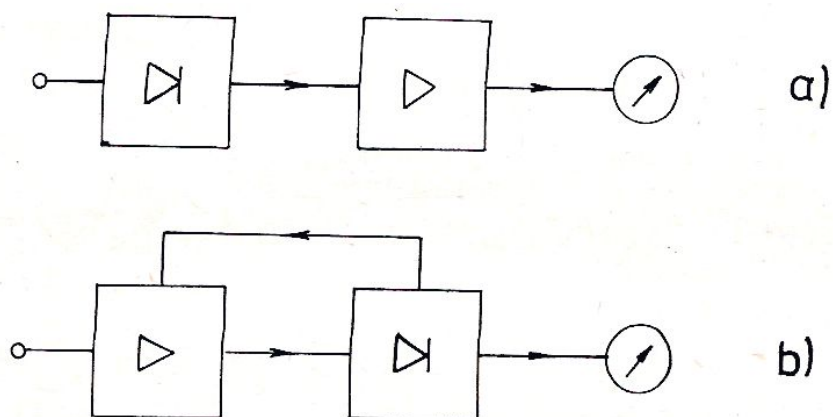
**Obr. 34 Příklad zapojení stejnosměrného voltmetru s FET tranzistorem**

Jde o výrobek firmy Metra, typu PU 160. Tranzistorový voltmetr pracuje v můstkovém zapojení. Dvě ramena můstku tvoří tranzistory  $T_1$  a  $T_2$ , třetí rameno se skládá z odporu  $R_4$  a částí potenciometru  $P$ , čtvrté rameno se skládá ze zbylé části potenciometru  $P$  a z odporu  $R_5$ . Vyvážený nebo rozvážený stav můstku indikuje mikroampérmetr, který je zapojen v úhlopříčce můstku ještě s odporem  $R_2$  a termistorem  $R_3$ . Dioda  $D$  chrání vstup tranzistoru  $T_1$  před vyšším napětím, kondenzátor zabráňuje proniknutí zbytků střídavých napětí na vstup  $T_1$ . Tranzistor  $T_2$  stabilizuje můstkové zapojení při kolísání teploty nebo napájecího napětí, u jednodušších zapojení se stabilizuje odporem. Můstek je před měřením vyvážen potenciometrem  $P$ . Po přiložení stejnosměrného napětí na vstup voltmetru se změní kolektorový proud tranzistoru  $T_1$  v závislosti na polaritě a velikosti měřeného napětí. Tím dojde k rozvážení můstku a mikroampérmetr ukáže výchylku. Stupnice je cejchována ve voltech a má téměř lineární průběh, protože pracuje v oblasti malého rozvážení můstku. Rozsahy přístroje jsou od 600 mV do 600 V, vstupní odpor na všech rozsazích je 30 M $\Omega$ . Přesnost měření je 2,5 %.

### **Elektronické voltmetry pro měření střídavého napětí**

Střídavé napětí měříme pomocí usměrnění a následného zesílení, popř. volíme opačný postup. Obě blokova zapojení jsou na obr. 35. První zapojení se vyznačuje velmi širokým kmitočtovým pásmem, ve kterém je možno měřit (asi do 1 GHz). Lze toho dosáhnout vhodnou konstrukcí detektoru do zvláštní sondy, která je připojena na měřené místo, takže odpadá nežádoucí vliv přívodů. Výstup detektoru je připojen kabelem na vstup stejnosměrného zesilovače, který tvoří s ručkovým měřidlem v podstatě stejnosměrný elektronický voltmetr. Základní rozsah bývá asi 0,5 V.

Druhé zapojení na obr.35 pracuje do desítek megahertzů se základním rozsahem asi 1 mV. Detektor bývá propojen se zesilovačem smyčkou záporné vazby, čímž se zvyšuje stabilita měřicího přístroje a rozšiřuje kmitočtové pásmo měření.



**Obr. 35** Blokové schéma střídavého elektronického voltmetru typu

- a) usměrňovač – zesilovač
- b) zesilovač - usměrňovač



# ELEKTRICKÁ MĚŘENÍ 3. ROČNÍK

I.pololetí :

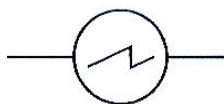
## Osciloskop

### Co to je osciloskop ?

Osciloskop slouží k zobrazování časových průběhů napětových elektrických (převážně periodických) signálů. Elektronový paprsek je v Braunově elektronce (obrazovce) vychylován dvěma soustavami desek elektrostatického vychylování. Sledovaná vstupní napětí jsou zesilována tak, že osciloskopy mají rozlišení až 0,1 mV.

**Osciloskop se skládá z 4 hlavních částí :**

- Obrazovka
- Vertikální zesilovač (vstupního signálu ), Y-zesilovač
- Časová základna (generátor pilových kmitů pro horizontální vychylování), X-zesilovač
- Síťový zdroj včetně zdroje vysokého napětí pro obrazovku



Schématická značka osciloskopu

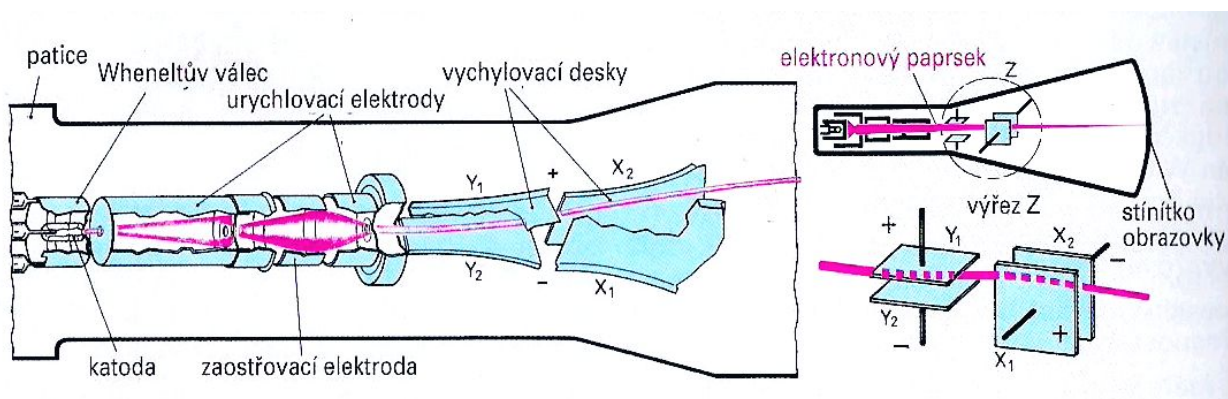
### Vakuová obrazovka

Vakuová obrazovka je nejdůležitější část osciloskopu s vakuovou obrazovkou. Je tvořena skleněnou baňkou kuželového tvaru s válcovým krkem. V krku obrazovky je žhavená katoda emitující elektrony, zaostřovací a urychlovací elektrody. Rozžhavený povrch katody vyzařuje elektrony. Katoda je tvořena niklovou trubičkou, ve které je stočen drát nepřímého žhavení.

Povrch katody je potažen vrstvou oxidu baria nebo oxidu stroncia. Tyto oxidy emitují dostatek elektronů již při rudém žáru (asi  $800^{\circ}\text{C}$ ). Svazek elektronů emitovaných **katodou** je zaostřen do úzkého svazku „elektronovou optikou“ a urychlen směrem ke stínítku obrazovky, na kterém ve fotoemisní vrstvě vyzáření světla. Zaostřený a urychlený paprsek je z osového směru vychylován dvěma **vychylovacími systémy** a může dopadnout na kterýkoliv bod stínítka obrazovky.

Žhavená emitující katoda je obklopena řídicí elektrodou ve tvaru hrnce s otvorem pro paprsek elektronů ve dně, která se nazývá Wehneltův válec a má vůči katodě záporný potenciál, který elektrony brzdí a některé vrací zpět na katodu.

Záporné přepětí na Wehneltově válci řídí jas (intenzitu paprsku) obrazu.



**Obr. 36** Systém ovládání elektronového paprsku v obrazovce osciloskopu

Elektronový paprsek se skládá ze záporně nabitých elektronů, které se záporně odpuzují. Paprsek má snahu se rozptýlit a proto musí být proto zaostřován zaostřovací elektrodou. Tato prstencová elektroda je umístěna mezi dvěma urychlovacími elektrodami, které mají oproti katodě vysoké kladné napětí (tisíce voltů). Samotná zaostřovací elektroda má napětí několik stovek voltů. Toto napětí se nastavuje odporovým trimrem.

Nastavitelné napětí na zaostřovací elektrodě zužuje (zaostřuje) elektronový paprsek.

Otočný knoflík odporového trimru pro nastavení zaostření paprsku je na čelní straně osciloskopu označen Focus (ohnisko).

Mezi paprskovým vyzařovacím systémem (katoda, urychlení a zaostření) a stínítkem obrazovky projde paprsek mezi dvěma páry vychylovacích destiček, které mohou vychylovat paprsek ve svislém a ve vodorovném směru. K tomu účelu je druhý pár vychylovacích destiček oproti prvnímu páru pootočen o  $90^{\circ}$  kolem podélné osy obrazovky. Je-li na dvojici

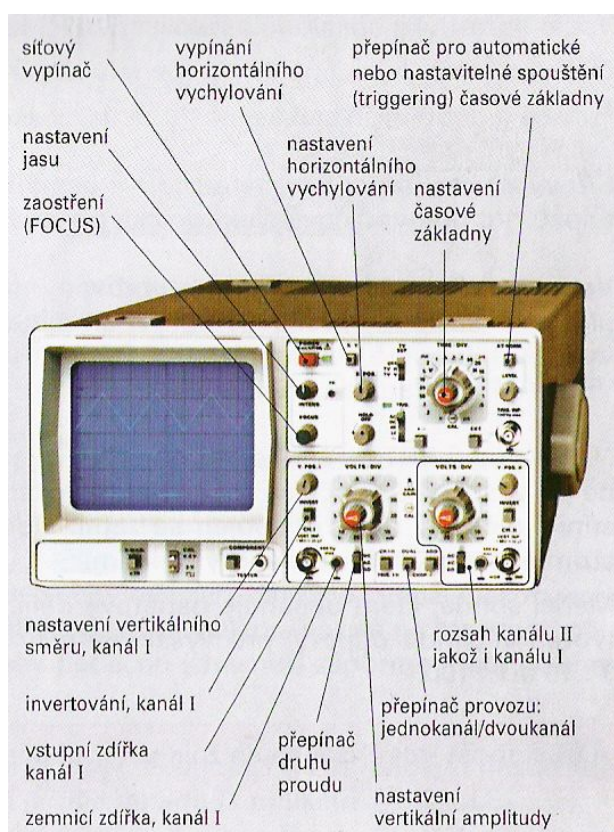
vychylovacích destiček přivedeno napětí, je paprsek vychýlen směrem ke kladné desce z přímkové dráhy na parabolickou.

Svislé vychylování elektronového paprsku se nazývá vertikální vychylování (Y-vychylování), vodorovné vychylování se nazývá horizontální vychylování (X-vychylování)

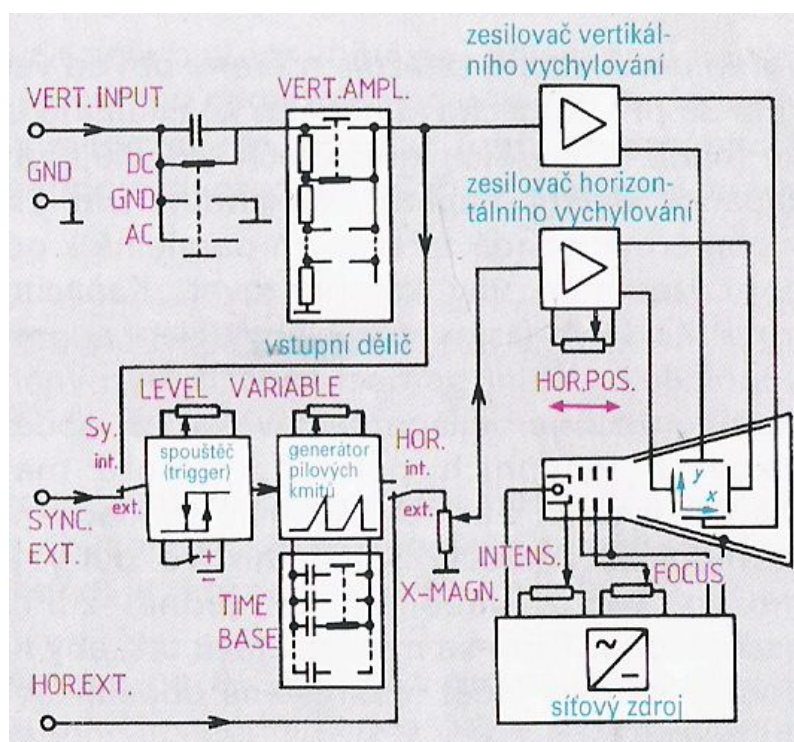
Toto elektronické vychylování nemá téměř žádnou setrvačnost, vyžaduje však ve srovnání s elektromagnetickým vychylováním obrazovek televizorů (které umožňuje vychylování v úhlu až 120°) delší stavbu obrazovky, protože by při větších vychylovacích úhlech docházelo ke zkreslení.

Elektrony paprsku dopadají velkou rychlostí na luminiscenční vrstvu stínítka obrazovky a vyrážejí z luminiscenční vrstvy další elektrony (sekundární elektrony). Tyto sekundární elektrony jsou přitaženy anodou obrazovky, která má vysoké kladné napětí a je tvořena grafitovým povlakem na vnitřní stěně obrazovky v blízkosti stínítka (obrazovky). Napětí na anodě urychluje paprsek po průchodu vychylovací soustavou.

Stínítka na přední vnitřní straně obrazovky je tvořeno vrstvou luminoforu, obsahujícího sulfid, oxid nebo silikát zinku nebo kadmia, který je příměsí malého množství stříbra, zlata, mědi nebo manganu aktivován k luminiscenčním schopnostem. Luminofory se rozlišují podle barvy, jasu a setrvačnosti. Pro osciloskopy se většinou používá luminofor zelené barvy, na kterou je oko dosti citlivé. Modrý luminofor se používá v případech, kdy se počítá s černobílým fotografováním obrazovky.

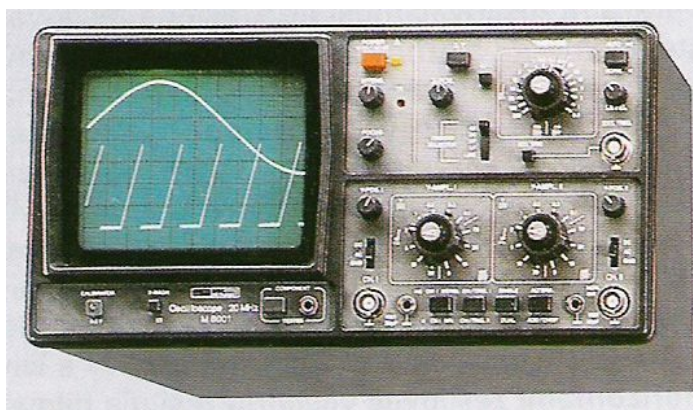


Obr. 37 Čelní a obslužný panel osciloskopu



Obr. 38 Blokové schéma  
jedenkanálového osciloskopu

## Dvoukanálový osciloskop



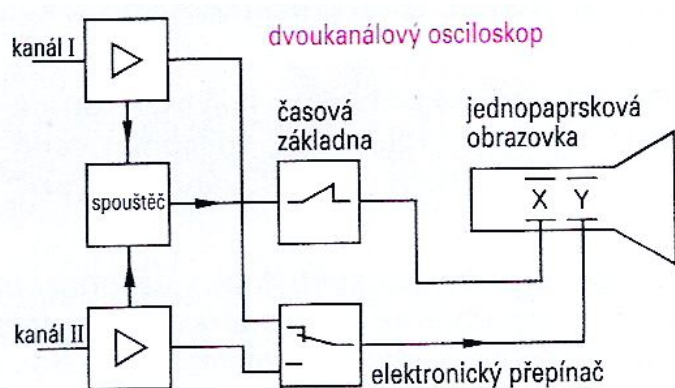
Velmi často je potřeba porovnat vzájemně průběhy dvou současných periodických signálů. K tomuto účelu slouží dvoukanálový osciloskop, který má ve srovnání s jedenkanálovým dva Y-vstupy a dva oddělené Y-zesilovače. Pro současné sledování dvou signálů stačí jednopaprsková obrazovka. Obvod vertikálního vychylování je střídavě buzen výstupy z obou Y-zesilovačů, elektricky přepínatelných vysokým kmitočtem. Oba vstupní signály tak střídavě ovlivňují vychylování paprsku.

Pokud mají oba vstupní signály nízký kmitočet, je elektronický přepínač nastaven na velkou přepínací frekvenci (50 kHz až 500 kHz), při které rozsekává průběhy signálů na malé



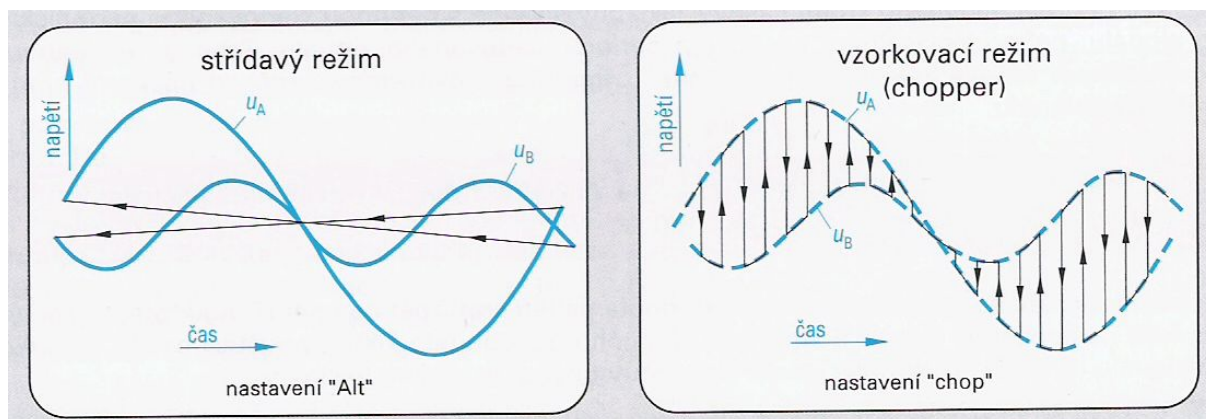
části a po částech zobrazuje. Přepínací kmitočet by měl být 10-krát vyšší než kmitočet vstupního signálu (s vyšším kmitočtem), aby bylo možno oba průběhy zřetelně odlišit.

Pokud mají oba vstupní signály vysoký kmitočet, je elektronický přepínač nastaven na malou přepínací frekvenci, při které jsou oba celé průběhy zobrazovány střídavě s frekvencí časové základny.



Obr. 39 Blok. schéma dvoukanálového osciloskopu

Dvoukanálové osciloskopy jsou levnější než dvoupaprskové osciloskopy, ale jsou hlavně jen pro poměrně **nízké kmitočty** vstupních signálů do 1 Mhz.



Obr. 40 Režimy dvoukanálového osciloskopu

## **Vícekanálové osciloskopy**

V praxi je někdy třeba sledovat současně napětíové průběhy v různých obvodech proměřovaného zařízení. Zpravidla to lze uskutečnit obrazovkou s více nezávislými systémy nebo spoluprací jednoduchého osciloskopu s elektronickým přepínačem.

Obrazovky s více nezávislými systémy mohou mít někdy katodu a odpovídající počet anod a vychylovacích destiček. Takové osciloskopy mají též více vertikálních a horizontálních zesilovačů, řízení jasů a zaostřování, většinou ale jen jednu časovou základnu. Obrazovky jednodušších osciloskopů mívají jednu katodu s rozvětvením elektronového paprsku a společné destičky pro horizontální vychylování. Vzhledem k potížím se vzájemným ovlivňováním elektronových paprsků se většinou vyrábějí pouze dvoupaprskové osciloskopy.

Elektronické přepínače se dají použít i při sledování více napětíových průběhů, jejichž periody jsou stejné nebo aspoň v poměru celých čísel. Obsahují většinou oddělené vertikální zesilovače pro každý kanál zvlášť nebo alespoň oddělené první stupně vertikálního zesilovače. Zamezí se tím vzájemné ovlivňování měřených signálů i ovlivňování měřených obvodů přepínačem. Elektronické přepínače se vyrábějí většinou pro dva kanály, vyskytují se však i pro větší počet kanálů.

Přepínací kmitočet volíme buď pevný nebo, nebo jej synchronizujeme s generátorem časové základny tak, aby při každém běhu časové základny se zobrazoval jeden z naměřených kanálů. Nevýhodou elektronických přepínačů jsou někdy potíže s nedostatečným jasnem stopy, protože elektronový paprsek kreslí jednotlivé průběhy buď přerušovaně, nebo v delších časových odstupech.

## **Měření napětí osciloskopem**

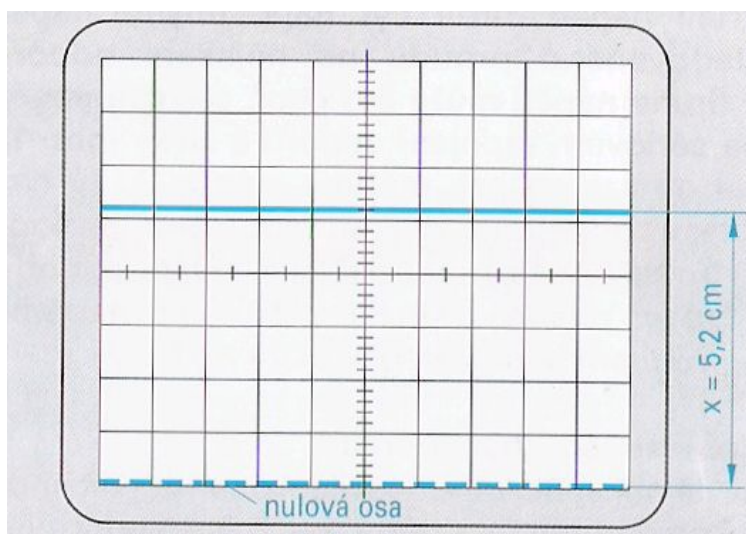
Osciloskop měří je napětí proti zemi (kostře), proto je třeba před měřením propojit zem měřeného objektu se zemí osciloskopu. Kryt osciloskopu je však často spojen s ochranným vodičem napájeného síťového přívodu. Je proto někdy nutné připojit měřený objekt k síti přes oddělovací transformátor.

|                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Osciloskop může měřit jenom napětí. Všechny měřené nebo zobrazované veličiny jsou proto pro účely měření převáděny na odpovídající napětí. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## Měření stejnosměrných napětí

Na osciloskopu nastavíme nejprve vodorovnou časovou osu. Ta může být jen ta světlá, aby byla ještě dobře vidět. Při velkém jasu může dojít k poškození luminoforu, protože bez vodorovného vychylování může paprsek vypálit bod. Stejnoseměrné napětí vychýlí paprsek dle polarity nahoru nebo dolů. Pro měření kladných napětí (výchylka nahoru) posuneme pro větší rozlišení vodorovnou nulovou osu na nejspodnější linku rastru, pro měření záporných napětí (výchylka dolů) na horní linku rastru obrazovky. Velikost výchylky, např. 5,2 cm, odečteme na rastru obrazovky, který má na svislé ose milimetrové dělení a centimetrovou mřížku (rastr). Odečtenou délku násobíme nastaveným měřítkem, např. 3 V/cm a eventuálně ještě poměrovým činitelem měřicí sondy např. 10:1.

Dostaneme pak  $U = 5,2 \text{ cm} \cdot 3 \text{ V/cm} \cdot (10:1) = 156 \text{ V}$ . Vysoký vstupní odpor osciloskopu, který bývá 1 M $\Omega$  a s měřicí sondou 10:1 kolem 10 M $\Omega$ , nezatěžuje prakticky vůbec měřený objekt.

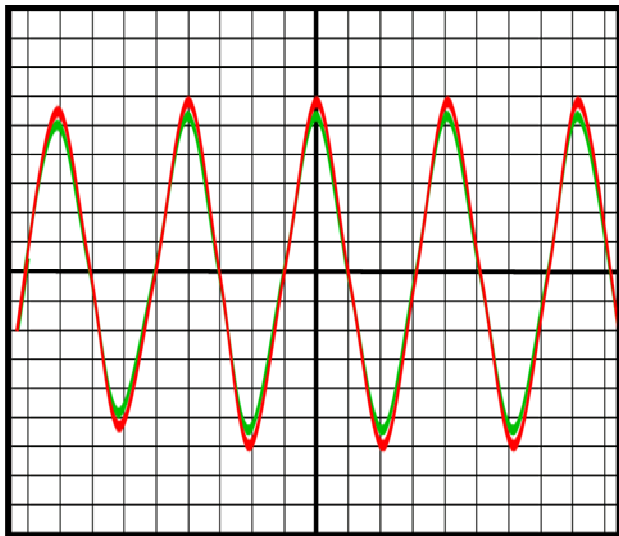


Obr. 42 Měření stejnosměrného napětí osciloskopem

## Měření střídavých napětí

Střídavé napětí na Y-vstupu (přepínač druhu proudu na AC) vychyluje paprsek střídavě nahoru a dolů. Při zapnutí časové základně se objeví na obrazovce časový průběh vstupního signálu (je-li periodický), nebo světlý pruh, je-li signál neperiodický.

Osciloskopem lze měřit okamžitou hodnotu (např. špičku ) střídavého signálu.



Obr. 43 Měření stř. napětí osciloskopem

$$U_{\text{ss}} = \text{Poč.dílků} \cdot K_{\text{vz}}$$

$$U_{\text{MAX}} = \frac{U_{\text{ss}}}{2} [V]$$

$$U_{\text{EF}} = \frac{U_{\text{MAX}}}{\sqrt{2}} [V]$$

$$T = \text{Poč.dílků} \cdot K_{\text{cz}} \Rightarrow f = \frac{1}{T} [Hz]$$

### Měření kmitočtu osciloskopem

K měření délky periody a tím i kmitočtu střídavého signálu se nastaví jemná regulace časové základny (přepínač VARIABLE do pozice cal). Časová základna se stupňovitým přepínačem se nastaví tak, aby jedna perioda měřeného signálu zabírala co největší část obrazovky. Práh spouštění časové základny (LEVEL) se nastaví tak, aby průběh začínal při průchodu nulou. Pak odměříme na rastru obrazovky délku periody. Odměřené vzdálenosti, např. 7,5 cm při rychlosti časové základny 0,3 ms/cm, pak odpovídá kmitočet  $f = 1/T = 1/(7,5 \text{ cm} \cdot 0,3 \text{ ms/cm}) \approx 444 \text{ Hz}$ .



II.pololetí :

## **Měření neelektrických veličin**

### **Měření hmotnosti**

**Měření síly a hmotnosti** je v praxi realizováno nejčastěji použitím odporových nebo polovodičových **tenzometrů**. Tyto tenzometry se upevňují na mechanické části strojů, u kterých potřebujeme měřit mechanické zatížení.

### **Tenzometry**

Tenzometry patří do skupiny odporových snímačů. Používají se ve formě pásků nebo drátů k měření deformací nosných konstrukcí při statickém nebo dynamickém namáhání. Při průhybu nosných dílů se některé jejich části prodlužují a jiné zkracují a stejným způsobem se mění i délka měřících pásků nebo drátů (tenzometrů) spojených s těmito nosnými díly. Jejich délkové změny ovlivňující napětí neboli tenzi materiálu jsou velmi malé (desetiny až desítky mikrometrů). Při natahování tenzometru narůstá jeho odpor, protože se zvětšuje jeho délka a zmenšuje se jeho průřez. Délku natahovaného tenzometru je možno zvětšit jeho klikatým meandrovým uspořádáním, při kterém se celkové prodloužení násobí počtem rovnoběžných drah vedoucích ve směru měřeného prodloužení. V příčném směru je naopak změna délky velmi malá. Tenzometry jsou k měřenému povrchu připevněny velmi tenkou vrstvou tmelu, který musí zároveň vytvářet dostatečný izolační odpor. Vlastnosti používaných tmelů mohou mít výrazný vliv na přesnost měření. Tenzometry se dělí do dvou skupin na kovové a polovodičové

## Kovové tenzometry :

Kovové tenzometry jsou většinou vyráběny z konstantanu (60% Cu a 40% Ni) nebo z chromniklové slitiny (80% Cr a 20%Ni). Základním parametrem tenzometru je koeficient **k** vyjadřující poměr mezi relativní změnou odporu a relativní změnou délky.

Funkce tenzometru je charakterizována vztahem:

$$\frac{DR}{R_0} = K \cdot e$$

kde **DR** je změna elektrického odporu

**R<sub>0</sub>** je jmenovitý odpor tenzometru

**K** je charakteristický koeficient snímače

**e** je relativní prodloužení **e = Δl/l**, kde

**Δl** je změna délky snímače

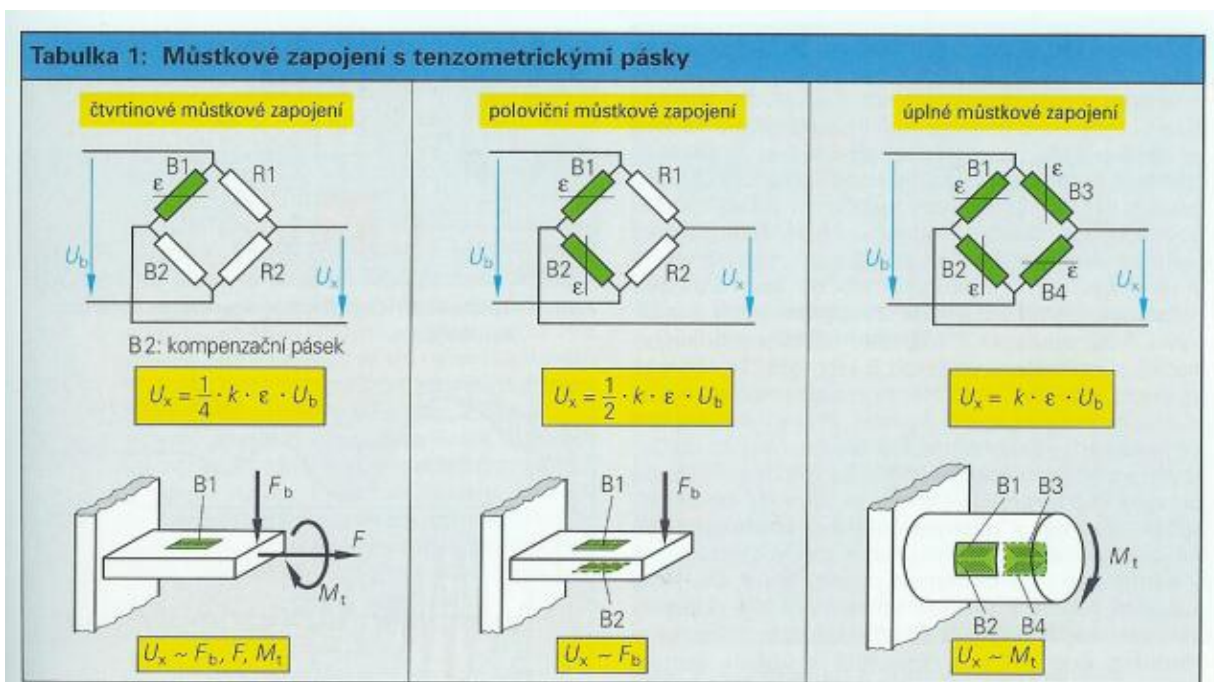
**l** délka snímače

## Polovodičové tenzometry :

Polovodičové tenzometry jsou vytvořené difúzí nečistot do tenké vrstvy (15μm) čistého křemíku. Deformací takto vytvořených rezistorů se mění výrazně pohyblivost nosičů nábojů a tím i vodivost. Tento jev se nazývá **piezo-odporový efekt**. Polovodičové tenzometry jsou malé a citlivé, ale silně **teplotně závislé**.

Polovodičové tenzometry jsou vyráběny nejprve mechanickým oddělováním (řezáním) z patřičně dotovaného monokrystalu křemíku, dále mechanickým opracováním směřujícím k žádanému tvaru a rozměrům a nakonec chemickým opracováním. Aktivní délka polovodičových pásek mezi zlatými vývody je 2 až 10 mm, šířka 0,2 až 0,4 mm a tloušťka 0,01 až 0,03 mm. Ohmický odpor je nejčastěji 120Ω nebo 350Ω. Nároky na tmel spojující polovodičové tenzometry s měřeným objektem jsou vyšší než u kovových tenzometrů.

Předností polovodičových tenzometrů je vysoká citlivost – až 60x větší než u kovových tenzometrů, která umožňuje konstruovat snímače velmi malých rozměrů s vysokou tuhostí jejich měrných členů. Tím lze dosáhnout i širokého frekvenčního rozsahu měření od statických hodnot až do několika kilohertzů. Sloučená chyba kolem 0,5% je pro praxi většinou vyhovující.



## Měření průtoku

Měření průtoku tekutin patří mezi důležité oblasti měření neelektrických veličin. Existuje velké množství principů, které jsou používány pro měření průtoku, i různé typy průtokoměrů.

### **Způsoby měření průtoku tekutin :**

Pojem průtok se často používá jak pro označení rychlosti proudění, tak i jako označení hmotnostního nebo objemového průtoku. Ovšem mezi těmito pojmy je určitý rozdíl.

## **Objemový průtok**

Objemovým průtokem  $Q_v$  označujeme objem tekutiny, který projde potrubím za jednotku času (například  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Pro zjištění objemového průtoku se využívá měření pomocí rozdílů tlaků nebo výpočet z rychlosti proudění tekutiny v potrubí o známém průřezu. Předpokládáme ovšem, že tekutina zaplňuje celé potrubí, což nemusí vždy odpovídat skutečnosti. Při měření průtoku kapalin je někdy potřeba provádět korekci objemového průtoku na změny teploty a tlaku. U měření průtoku plynů a par musíme tyto korekce provádět vždy vzhledem ke stlačitelnosti proudícího média.

## **Hmotnostní průtok**

Hmotnostní průtok  $Q_m$  udává hmotnost tekutiny, které proteče potrubím za jednotku času. Pro přímé měření existují dvě základní metody - průtokoměry založené na Coriolisově principu a tepelné hmotnostní průtokoměry. Nepřímo lze hmotnostní průtok vypočítat z objemového průtoku a ze známé hodnoty hustoty proudící tekutiny  $\rho$ :

$$Q_m = Q_v \cdot \rho$$

## **Proteklé množství**

Je to objem nebo hmotnost tekutiny prošlé určitým místem potrubí za určitou dobu. Mezi průtokoměry, které měří proteklé množství, patří plynoměry nebo vodoměry v domácnostech.

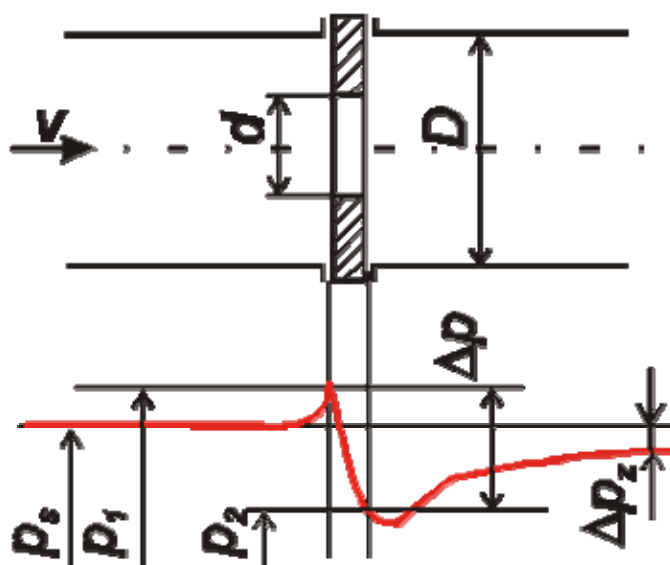
## **Základní metody**

Mezi základní metody měření průtoku tekutiny patří:

1. Měření rozdílu tlaku před a za primárním prvem průtokoměru
2. Měření rychlosti proudění tekutiny
3. Měření objemového průtoku
4. Měření hmotnostního průtoku

### Měření rozdílu tlaku před a za primárním prvkem průtokoměru

Většina průmyslových průtokoměrů je založena právě na měření rozdílu tlaku před a za primárním prvkem průtokoměru. Základní skupinou těchto průtokoměrů jsou škrticí orgány (viz obr. 1), mezi které patří [clona](#), [dýza](#), [Venturiho trubice](#), atd. Dále mezi průtokoměry založené na snímání difference tlaku patří rychlostní sondy ([Pitotova trubice](#), víceotvorová rychlostní sonda [1] a [5], [Prandtlůva trubice](#), kulová sonda, válcová sonda a jiné), kolenový průtokoměr [1], [plováčkové průtokoměry](#), atd.



Obr. 44 Tlakové poměry v okolí škrticího orgánu

#### **Legenda:**

- $v$  ... rychlost proudění
- $d$  ... průměr otvoru škrticího orgánu (na obrázku je uvedena normalizovaná clona)
- $D$  ... průměr potrubí
- $p_s$  ... vstupní statický tlak
- $p_1$  ... snímaný tlak před škrticím orgánem
- $p_2$  ... snímaný tlak za škrticím orgánem
- $\Delta p$  ... diferenční tlak ( $p_1 - p_2$ )
- $\Delta p_z$  ... trvalá tlaková ztráta

Tlakové poměry v potrubí při proudění popisuje **Bernoulliho rovnice**. Ta vyjadřuje zákon zachování mechanické energie v tekutinách, podle kterého při stejných podmínkách tlak v tekutině klesá s nárůstem rychlosti jejího proudění. K tomuto jevu dojde, pokud do potrubí, ve kterém proudí tekutina, vložíme překážku. Rychlost proudění (kinetická energie) tekutiny při průchodu překážkou roste při poklesu statického tlaku v tekutině (potenciální energie). Rozdíl tlaků před a za překážkou je přímo úměrný druhé mocnině rychlosti proudění (závisí také na tvaru překážky):

$$v = k \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta p}{\rho}}$$

kde  $v$  ... rychlost proudění tekutiny [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$k$  ... konstanta určující vlastnosti primárního prvku průtokoměru [-]

$\Delta p$  ... diferenční tlak [Pa]

$\rho$  ... hustota tekutiny [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

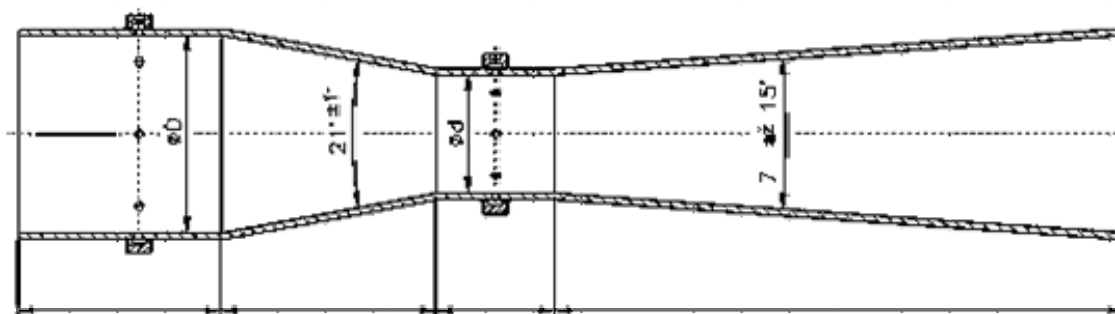
## Clona

Clona je v podstatě plochá kovová deska s otvorem, která je vložena do potrubí mezi příruby. Průměr škrticího otvoru a jeho umístění závisí na typu měřené tekutiny. Odběry statických tlaků jsou prováděny těsně před a za deskou, kdy existují dva základní typy odběrů - koutové odběry a přírubové odběry.

Mezi základní typy clon patří clona soustředná (normalizovaná), excentrická a segmentová. Průtokoměry se škrticí clonou jsou robustní a i při velkých průměrech potrubí jsou relativně levné. Clonou lze měřit průtok většiny čistých tekutin. Jsou však náchylné vůči opotřebení, které může být způsobeno znečištěným médiem nebo médiem s částicemi. To může ovlivnit tlakovou diferenci odpovídající určitému průtoku. Aby se dosáhlo požadovaných vlastností, musí být clona zabudována do přímého úseku potrubí s předem definovanými uklidňujícími úseky před a za clonou (uklidňující potrubí před a za průtokoměrem je udáváno u všech typů průtokoměrů, ovšem u normalizované clony bývají tyto úseky jedny z nejdelších).

## Venturiho trubice

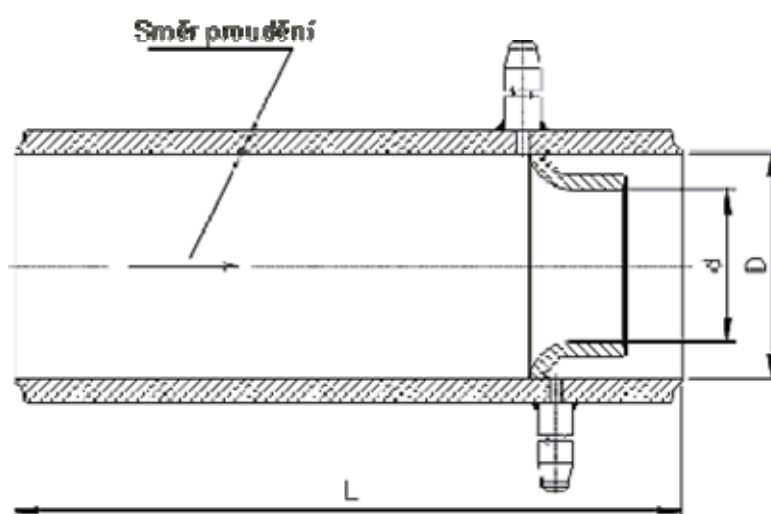
U Venturiho trubice (viz obr) je tekutina zrychlena v kuželovém konfuzoru, což opět vyvolá místní pokles statického tlaku. V následující části trubice, difuzoru, se tlak téměř vrací na úroveň tlaku před zúžením. Výhodou Venturiho trubice je menší tlaková ztráta než u clony a velká přesnost měření. Nevýhodou je poměrně vysoká cena, proto se Venturiho trubice využívá velmi málo.



Obr. 45 Venturiho trubice

### Dýza

Dýza (viz obr) je vlastně kompromis mezi clonou a Venturiho trubicí. Dýza na rozdíl od Venturiho trubice neobsahuje difuzor. Dýzy umožňují měřit větší průtok než clony a také umožňují měřit průtok u tekutin, které obsahují větší pevné částice. Navíc jsou dýzy levnější než Venturiho trubice, ale na druhou stranu jsou méně přesné a způsobují větší tlakovou ztrátu.



Obr. 46 Dýza

### Pitotova trubice

Pitotova trubice patří k nejstarším a nejjednodušším rychlostním sondám pro měření průtoku tekutiny. Primárním prvkem Pitotovy trubice je tenká trubička otočená ústím proti směru proudění tekutiny. Pitotovy trubice se používají především pro měření průtoku plynů nebo velmi čistých kapalin z důvodu možného zanesení otvorů trubice, kterými se tlak snímá. Na výstupu Pitotovy trubice je velmi malý rozdíl tlaků, který už ale v současné době není tak problematické změřit. Navíc přesnost měření závisí na rychlostním profilu proudění.

Z principu Pitotovy trubice byly odvozeny další typy sond, například víceotvorová rychlostní sonda (známá také pod obchodním Annubar).

### **Prandtlůva trubice**

Jedná se o rychlostní sondu, kde jsou tlaky měřeny v jednom bodě. Prandtl vycházel ze superpozice dvou proudění - rovnoběžného proudění a proudění ze zdroje. Dělicí rovinou obou proudění je rotační paraboloid. Bylo zjištěno, že dynamický tlak na povrchu rotačního paraboloidu je roven nule jednak velmi blízko vrcholu a dále se blíží nule ve vzdálenosti  $y$ , definované geometrickými rozměry paraboloidu. Pokud bychom měřili tlak v jednom z těchto dvou míst, byl by to tlak statický. Při realizaci této trubice byl ovšem rotační paraboloid nahrazen válcem s kulovitým zakončením proti proudění. Celkový tlak se snímá otvorem v čele sondy a statický tlak je zjišťován štěrbinami ve válcovité části sondy.

### **Plováčkové průtokoměry**

Základem plováčkového průtokoměru je svislá kónická měřicí trubice, která se rozšiřuje směrem nahoru. V ní se volně pohybuje plováček z materiálu s hustotou větší než je hustota měřené tekutiny. Pokud tekutina neproudí, je plováček v trubici dole. Jakmile začne tekutina proudit, začne se plováček zvedat. Při určitém průtoku zaujme plováček rovnovážnou polohu s takovou plochou mezikruží, při níž je síla nadnášející plováček právě rovna gravitační síle, kterou na něj působí zemská přitažlivost. Zdvih plováčku je úměrný rychlosti proudění.

Tvary plováčků se řídí účelem použití. Poloha plováčku se zjišťuje buď přímo na stupnici na stěně skleněné trubice průtokoměru, nebo se snímá elektricky (je samozřejmě možné i pneumatické snímání pomocí systému klapka - tryska). K nejvýznamnějším výhodám těchto průtokoměrů patří jejich měřicí rozsah (10:1), malá tlaková ztráta, snadná instalace, relativně nízká cena a schopnost měřit i malé průtoky.

### **Měření rychlosti proudění tekutiny**

U tohoto principu měření se stanovuje objemový průtok ze vztahu:

$$Q_v = \bar{v} \cdot S$$

kde  $\bar{v}$  ... střední rychlost proudění tekutiny

$S$  ... průřez potrubí



## Turbínkové průtokoměry

Jejich základem je volně otočný rotor s lopatkami. Rotor se vlivem proudění tekutiny otáčí, kdy otáčky jsou úměrné rychlosti proudění tekutiny. Otáčky bývají snímány bezdotykovým indukčním snímačem, kdy výstupem jsou napěťové impulsy, které se dále zpracovávají a vyhodnocují.

Výhodou turbínkových průtokoměrů je použití v širokém rozsahu měřených rychlostí, reprodukovatelnost měření i krátkodobá přesnost. Většinou se používají pro měření průtoku vody. Nevýhodou je, že je nelze použít u tekutin, které při proudění v potrubí víří, a nejsou doporučovány ani pro tekutiny s velkou viskozitou. Protože turbínkové průtokoměry obsahují pohyblivé části, jsou náchylné na opotřebování a na usazování nečistot.

## Elektromagnetické (indukční) průtokoměry

Tyto průtokoměry využívají principu **Faradayova zákona elektromagnetické indukce**. Pohybem vodiče (u měření průtoku pohybem tekutiny) v homogenním magnetickém poli se indukuje elektrické napětí. Pro potrubí kruhového průřezu, kterým protéká kapalina, úpravou základní rovnice dostaneme:

$$U_i = B l \cdot v = B D \frac{4 \cdot Q_v}{\pi \cdot D^2}$$

kde  $U_i$  ... indukované napětí [V]

$B$  ... indukce magnetického pole [T]

$l$  ... délka [m]

$v$  ... rychlost proudění [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$D$  ... průměr potrubí [m]

$Q_v$  ... objemový průtok [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]

Tímto průtokoměrem lze měřit kapaliny, které jsou elektricky vodivé i nemagnetické. Podmínkou pro správné měření průtoku je, že potrubí musí být zcela zaplněno tekutinou. Protože se tyto průtokoměry nevkládají do potrubí (jsou bezdotykové), nezpůsobují žádnou trvalou tlakovou ztrátu. Navíc nemají žádné pohyblivé části, které by podléhaly opotřebování.

## Ultrazvukové průtokoměry

Ultrazvukové průtokoměry používají pro měření rychlosti proudění tekutiny v potrubí ultrazvukového vlnění.

Přístroje, které využívají **Dopplerova principu**, vysílají do tekutiny ultrazvukové vlny s konstantní frekvencí a přijímají vlnění odražené od pevných částic nebo od bublin rozptýlených v tekutině. Vzhledem k pohybu částic nebo bublin s tekutinou, je frekvence přijatého ultrazvukového vlnění odlišná od frekvence vyslané vlny. Rozdíl frekvencí je pak úměrný rychlosti proudění tekutiny.

Druhým typem ultrazvukových průtokoměrů jsou přístroje založené na principu měření doby průchodu médiem. Tyto průtokoměry se skládají ze dvou vysílacích/přijímacích jednotek, které jsou umístěné za sebou ve směru proudění. Jeden z vysílačů vysílá ultrazvukový snímač po směru proudění a druhý proti směru proudění. Rozdíl mezi dobou průchodu obou signálů k druhé jednotce je úměrný rychlosti proudění tekutiny. Na rozdíl od průtokoměrů založených na Dopplerově principu, tyto ultrazvukové průtokoměry měří pouze rychlost proudění čistých tekutin.

Stejně jako elektromagnetické průtokoměry, tak i ultrazvukové průtokoměry jsou bezkontaktní, proto nezpůsobují tlakovou ztrátu, a také neobsahují pohyblivé části, které by se opotřebovávaly.

## Měření teploty

### Teplota

**Teplota** je základní fyzikální veličinou (označujeme **T**, jednotky K - kelvin). Vztah mezi °C a K je :  $TK = T - 273,15$ , kde TK je teplota v kelvinech a T je teplota ve °C. Za 0 K (kelvinů) se považuje absolutní nula, což je teplota, při které ustává veškerý pohyb všech částic (atomů) v látkách.

Teplotu měříme **teploměry**. Teploměry rozdělujeme na **skleněné** (zdravotní teploměr), **odporové** (Pt 100), **termoelektrické** (Fe - Cu) a **pyrometry** (bezdotykové měření teploty). Pro Měření a regulaci jsou zajímavé pouze odporové, termoelektrické teploměry a pyrometry. Skleněné nemají pro regulaci žádný význam.

## Druhy teploměrů

### Odporové snímače teploty :

Odporové snímače teploty využívají vlastnosti kovů a polovodičů, u kterých se elektrický odpor mění s teplotou. U průmyslových snímačů teploty se používají zejména měděné, niklové a platinové vodiče. Platinové vodiče vykazují nejvyšší stabilitu a přesnost, proto jsou dnes nejvíce používané.

Poměr hodnoty odporu při 100°C a při 0°C se nazývá ODPOROVÝ POMĚR. Tento poměr současně vyjadřuje jakost odporu odporového čidla (platina 1,385).

STABILITA MĚŘÍCIHO ODPORU vyjadřuje dovozené kolísání hodnoty základního odporu při změně teploty. Udává, o kolik se změní odpor, když jej vystavíme maximální teplotě, pro kterou má být použit, a pak změříme, o kolik se změnil základní odpor při 0°C. Odchylku pak označujeme jako NESTABILITA měřícího odporu. Základní odpor je hodnota odporu při 0°C.

Důležitým parametrem odporových snímačů teplot je OTŘESUVZDORNOST. Je to odolnost snímače vůči mechanickému chvění, které by mohlo mít za následek mechanické poškození měřícího odporu a tím by vneslo do měření nepřesnost. Otřesuvzdornost se zkouší přímočarým kmitavým pohybem se sinusovým průběhem. Specifikuje se buď amplitudou a rozsahem frekvencí anebo násobkem ( $g=9,81\text{m/s}^2$ ) a rozsahem frekvencí. Vztah mezi zrychlením  $a$ , frekvencí  $f$  a amplitudou  $A$  je dán vzorcem :

$$a = \frac{A \cdot f^2}{25,3} \text{ (m/s}^2\text{, mm, Hz)}$$

U měřících odporů se dále udává maximální měřící proud, aby nedocházelo k vlastnímu ohřátí měřícího odporu v závislosti na tomto měřícím proudu. Toto ohřátí by mělo za následek zanesení chyby do měření.

### **Přesnost měření teploty odporovými snímači :**

Na přesnost měření teploty snímačem má obecně vliv více činitelů a chyby jimi způsobené můžeme zařadit do tří hlavních skupin :

- a) Chyby způsobené umístěním snímače a tepelnými vlastnostmi prostředí, jímky, armatury, apod.
- b) Chyby způsobené dynamickými vlastnostmi samotného snímače.
- c) Chyby jednotlivých členů elektrického obvodu, které mají vliv na výslednou chybu měření teploty.

Hlavním předpokladem správného měření teploty je vhodné umístění snímačů teploty, aby byl zajištěn správný přestup tepla a dokonalý styk s měřeným prostředím. Přesto se mohou vyskytnout chyby způsobené:

1. změnou odporu vedení vlivem teploty
2. základní chyba vyhodnocovacího přístroje
3. nesprávným vyrovnaním vedení
4. měřicím odporem jako odchylkou od cejchovní řady
5. odchylkou kompenzačního vedení od cejchovní řady
6. termočlánkem jako odchylkou od normalizované cejchovní řady
7. odchylkou korekčního napětí
8. dalšími ovlivňovacími veličinami, např. okolní teplotou, napájecím napětím, apod. a jejich vlivem na přístroje.

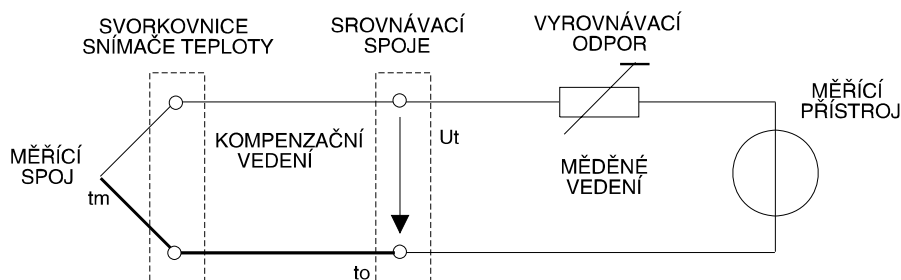
Změna odporu vedení, např. vlivem teploty se projevuje jako chyba náhodná. Vliv chyby lze odhadnout podle uvedeného vzorce, který uvádí velikost chyby v %, jak se projeví na stupnici přístroje. Jde o poměrnou chybu vztažnou k rozsahu.

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta R}{R_{ic}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\Delta R}{R_{ic}}} \cdot 100 \quad (\%, \Omega, \Omega)$$

kde :  $\Delta\alpha$  přídavná chyba (%)  
 $\Delta R$  změna (či odchylka odporu vedení)  
 $R_{ic}$  celkový vnitřní odpor (t.j. odpor vedení a vnitřní odpor měřicího přístroje)

### **Termoelektrické snímače teploty :**

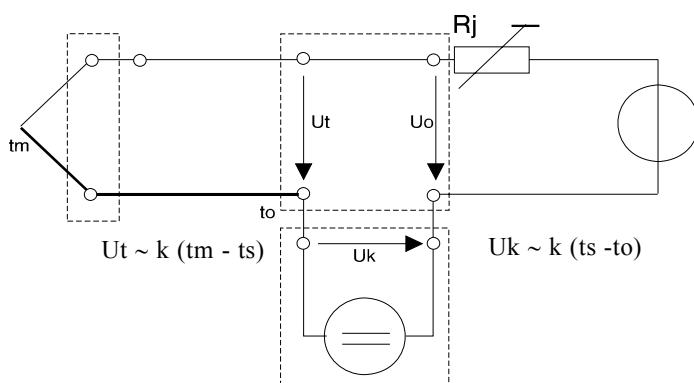
Měření teploty termočlánky je založeno na jevu, že v obvodu složeném ze dvou na konci spojených kovů z různých materiálů vzniká elektromotorická síla. Jestliže spojené konce, které se vkládají do měřené teploty, nazýváme měřící spoj, volné konce, na kterých měříme termoelektrické napětí, se nazývají srovnávací spoje. Tyto snímače teploty jsou určeny k měření vysokých teplot -600... +2 800°C.



Obr. 47 Schéma obvodu termoelektrického článku

Na obr. jsou vyznačena jednotlivá funkční místa obvodu. Termoelektrické napětí  $U_t$ , jehož hodnota je úměrná rozdílu teploty  $T_m$  v místě měřicího spoje (teplý konec) a teploty  $T_o$  v místě srovnávacích spojů (studený konec) se přivádí kompenzačním vedením a měděným vedením na měřicí přístroj. Aby bylo možno každé hodnotě termoelektrického napětí přiřadit určitou teplotu, je třeba udržovat srovnávací spoje na známé a konstantní teplotě, tzv. teplotě vztažné.

Teplota hlavice může dosahovat značně vysokých teplot, teplota svorkovnice dosahuje někdy až 200°C. Srovnávací spoje se proto posouvají kompenzačním vedením do míst s příznivou teplotou okolí, kde se srovnávací spoje udržují v konstantní teplotě, anebo se provádí kompenzace vlivu teploty okolí na srovnávacích spojích obvodem.



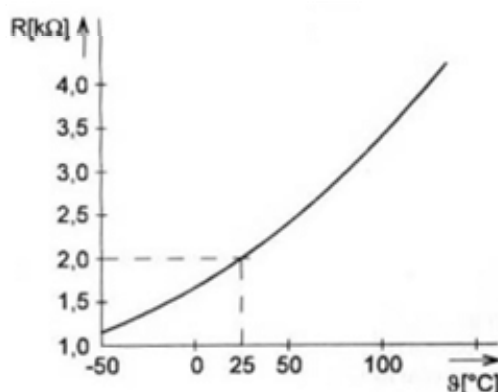
Obr. 48 Schéma obvodu termoelektrického článku s elektrickou korekcí

kde je  $t_s$  .... teplota v místě srovnávacích spojů  
 $t_o$  .... vztažná teplota  
 $t_m$  ... teplota v místě měřicího spoje

## Změna odporu s oteplením

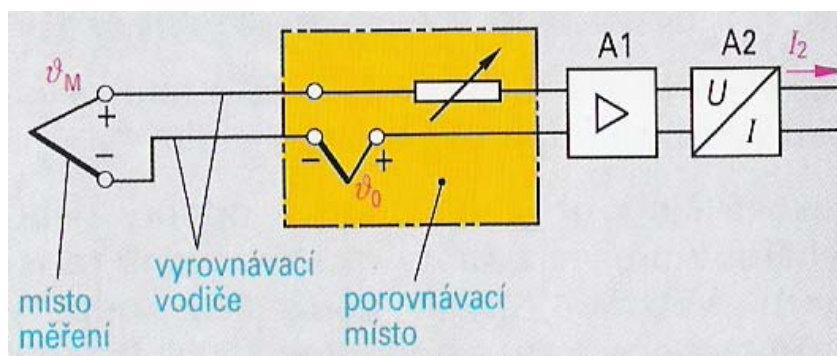
$$R = \frac{\rho}{d} \cdot l$$

$d$  — průměr dráhy  
 $\rho$  — měrný odpor



## Termočlánek

V místě spojení dvou různých kovů vzniká při zahřátí elektrické napětí (konstantní napětí). Takové spojení dvou kovů pro měření teploty se nazývá termočlánek. Napětí termočlánků stoupá s teplotou a závisí také na obou kontaktních kovech. V proudovém obvodu termočlánku jsou ještě další kontakty různých kovů. Při stejném nárůstu teploty v celém proudovém obvodu by se nárůst tepelných napětí vykompenzovaly. Snímač s termočlánkem jako měřicím čidlem reaguje jenom na teplotní difference v proudovém obvodu. Kovy dvojice čidla jsou připojeny na obvody snímače vodiči ze stejných materiálů a tím je zabráněno vzniku dalších kontaktních tepelných napětí v místech, kde se při měření změnila teplota. Tyto vyrovnávací vodiče (ze stejných materiálů jako kovy termočlánku) mohou být přímo připojeny na měřicí přístroj s ukazatelem. Přístroj pak měří rozdíl teploty mezi čidlem a přístrojem.



Obr. 49 Snímač teploty s termočlánkem a porovnávacím místem

## Termistor

### Termistory s negativním teplotním činitelem (horké termistory)

Termistory NTC (horké termistory) jsou termistory (z anglického názvu Thermic Resistor = tepelný odpor) se záporným teplotním součinitelem  $\alpha$  (vedou proud lépe horké). Charakteristika  $R = f(\vartheta)$  je zakřivená, tzv. , že navíc ještě  $\alpha$  závisí na teplotě.

NTC – termistor mění svůj odpor vlivem dvou veličin :

- vlivem okolní teploty (zvenku zahříváný termistor), používaný jako měřicí, nebo
- vlivem vnitřní teploty zvětšené protékajícím proudem (vlastním teplem zahříváný termistor), používaný většinou jako **spouštěcí** termistor.

Zvenku zahříváný termistor se smí protékajícím proudem zahřát jen nepatrně. Naproti tomu by neměl být vlastním teplem zahříváný termistor vůbec ovlivňován okolní teplotou.

NTC - termistor s vnějším ohřevem je používán v oblasti strmě stoupající charakteristiky. Zde je proud ještě tak malý, že svým průtokem nezahřívá termistor. Tyto termistory mají velmi malé rozměry proto velmi rychle reagují na změnu teploty. Díky velkému teplotnímu součiniteli  $\alpha$  je možno s jejich pomocí měřit rozdíly teplot  $\pm 0,0001$  K. K linearizaci charakteristiky se zapojuje paralelně nebo sériově (nebo současně sériově i paralelně) k termistoru pevný rezistor (nebo dva rezistory).

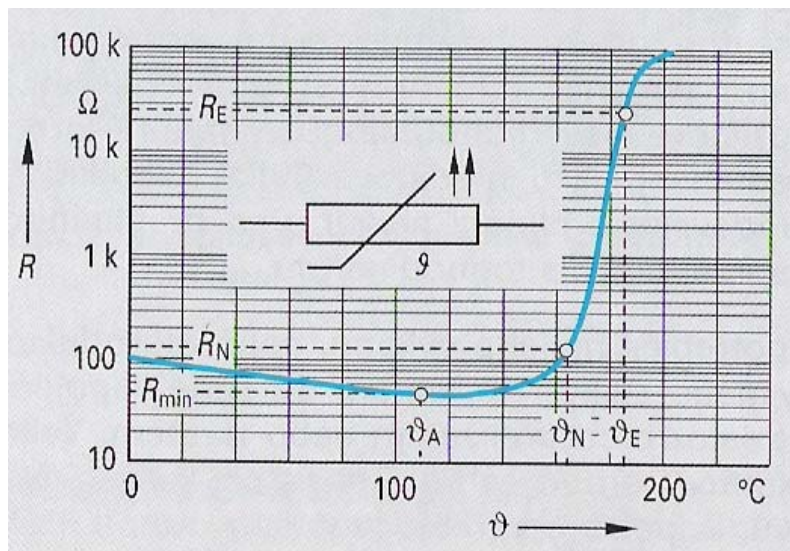
NTC – termistory s vnějším ohřevem se používají jednak k **měření teploty** , např. k měření tělesné teploty, kůže, k měření teploty v mikrovlnných troubách, nebo ke kompenzaci teplotních závislostí jiných polovodičových prvků, např. tranzistorů. Dále slouží jako čidla k regulaci teploty v topných systémech, klimatizacích, pračkách nebo chladničkách. V automobilech měří teplotu oleje a chladicí kapaliny.

### Termistory s pozitivním teplotním součinitelem

PTC – termistory ( z anglického Positive Temperature Coefficient = pozitivní teplotní činitel) , nebo taky pozistory mají kladný teplotní součinitel odporu (vedou proud lépe studené). Počítáme k nim všechny kovy. Pozistory z polovodičových materiálů však vykazují netypické chování, způsobené feroelektrickými vlastnostmi hlavní složky, kterou je bariumtitanát. U tohoto pozistoru nejprve odpor s teplotou mírně klesá jako u všech polovodičů. Při tzv. výchozí teplotě  $\vartheta_A$  je dosaženo nejmenšího odporu  $R_{\min}$  . Při dalším zvyšování teploty pak odpor prudce až tisícinásobně narůstá, až ke konečné hodnotě  $R_E$ . Teplota, při které začíná strmý nárůst odporu, se označuje  $\vartheta_N$  jako **jmenovitá teplota pozistoru**.

Strmý nárůst odporu pozistoru je v úzkém rozpětí teplot.

Výchozím materiálem pro pozistory je polykrystalický bariumtitanát . Obsahuje molekulární dipóly odpovědné za teplotně závislý odpor pozistoru.



Obr. 50 Charakteristika pozistoru

## Tlakoměry

Druhou nejčastěji měřenou fyzikální veličinou je tlak. Všeobecně se setkáváme s měřením atmosférického tlaku, když chceme vědět, jaké bude počasí, velikost tohoto tlaku je udávána i při televizních relacích o počasí. S měřením tlaku se setkáváme i u kol, motocyklů a automobilů při huštění pneumatik. Tlak musí mít i voda, aby tekla v potrubí do bytů a také zemní plyn. Tlak látek samozřejmě měříme i v průmyslu, obvykle je to stlačený vzduch, který se často používá.



Obr. 51



Na obr.51 je jednoduchý nástěnný barometr, který ukazuje tlak vzduchu. Podle velikosti tlaku se nechá usuzovat na to, jaké je nebo v brzké době bude počasí. Když je tlak nižší (ručička natočená vlevo), může pršet, pokud je tlak vyšší, bude nebo je hezké počasí a možná i slunečno. Základní jednotkou tlaku je Pascal (Pa), u atmosférického tlaku používáme z praktických důvodů jednotku 100x větší - hektopascal (hPa).



Obr. 52

Pokud chceme měřit atmosférický tlak přesněji, musíme použít jiný barometr. Na fotografii č. 52 je barometr odborně nazývaný staniční. Vychází ze samého principu měření atmosférického tlaku. Dole je uzavřená nádoba se rtutí (ale spojená s atmosférou) a do ní je ponořena nahoře uzavřená skleněná trubička. Výška, do které rtuť v trubičce vystoupí odpovídá atmosférickému tlaku (hovoříme o pravé trubičce, levá slouží k jinému účelu).



Obr. 53

Na obr. 53 vidíme detail odečítání hodnoty tlaku. Posuvný nonius nastavíme tak, aby se spodní okraj v prostředním okénku shodoval s výškou rtuťového sloupce a na noniu vpravo odečteme hodnotu tlaku v milimetrech rtuťového sloupce (mmHg), podobně, jako odečítáme rozměry na posuvném měřítku. Hodnoty se potom obvykle přepočítávají na hPa. Navíc, abychom mohli porovnávat tlaky naměřené na různých místech, musíme naměřený tlak přepočítat na hladinu moře, jinak by námi naměřený tlak byl závislý na nadmořské výšce.



**Obr. 54**

Na obr. 54 je kapalinový tlakoměr. Je to skleněná trubička ve tvaru písmene U naplněná např. obarvenou vodou. Pokud se z jedné strany přivede tlak, plyn vytlačí část vody a výše hladiny nebude v obou ramenech stejná. Rozdíl hladin tak určuje velikost tlaku. Toto měřidlo se používá při měření malých tlaků (např. tlak svítiplynu).



**Obr. 55**

Na obr. 55 je měřidlo podobné předchozímu, hlavní rozdíl je v tom, že se trubice nechá sklápět. Tím se dosáhne toho, že sice můžeme měřit menší tlaky ale mnohem přesněji.



**Obr. 56**

Toto měřidlo (obr.56) asi všichni známe, je to tzv. manometr. Má kruhovou stupnici s ručičkou. Na stupnici někdy bývá vyznačena maximální provozní hodnota tlaku (jako na fotografii). Při měření vyšších tlaků se používá jako jednotka kilopascal (kPa) nebo megapascal (MPa).



**Obr. 57**

Na poslední fotografii je vnitřek předchozího manometru. Je zde vidět princip, na kterém je u něho měření založeno. Jedná se o trubku elipsovitého průřezu stočenou do kruhu. Při vzrůstajícím tlaku uvnitř se trubka snaží narovnat a tento její pohyb se přenáší převodem na ručičku ukazující tlak. Výhodou těchto manometrů je jejich použití na vysoký tlak, i když nejsou příliš přesné.