

## Rozšíření rozsahu miliampérmetru a voltmetru. Cejchování kompenzátorem.

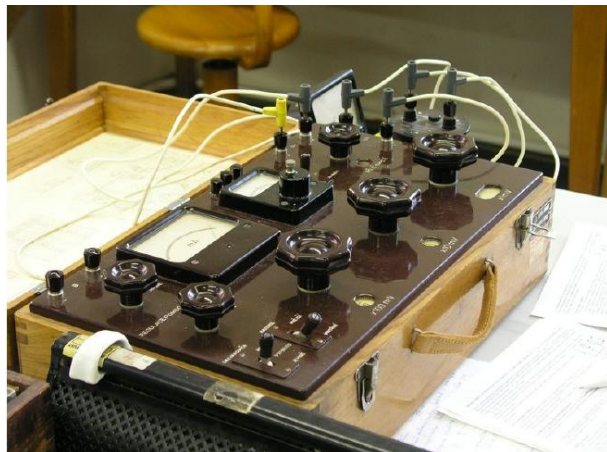


Figure 1: Technický kompenzátor Metra

**Pomůcky:** Miliampérmetr, zdroj 0-20V, voltmetr, odporová dekáda, reostaty  $130\ \Omega$  a  $23300\ \Omega$ , dva vypínače, multimetr, odporové normály  $100\ \Omega$  a  $1000\ \Omega$ , technický kompenzátor QTK Metra, Westonův normální článek.

## 1 Základní pojmy a vztahy

### 1.1 Rozšíření rozsahu miliampérmetru

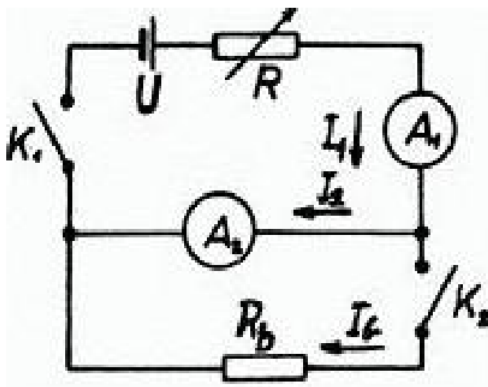


Figure 2: Zapojení k rozšíření rozsahu miliampérmetru

Při přímém měření ampérmetrem je velikost měřeného proudu omezená rozsahem použitého přístroje. Při měření vyšších proudů zabráníme přetížení ampérmetru připojením bočníku (odporu)

Obr. 2. Při vypnutém klíči  $K_2$  je proud měřený ampérmetrem  $A_2$  a pomocným ampérmetrem  $A_1$  stejný,

$$I_1 = I_2 = \frac{U}{R + R_0} \quad (1)$$

a je určen elektromotorickou silou zdroje  $U$  a odpory  $R$  a  $R_0$ , kde  $R_0$  je vnitřní odpor ampérmetru  $A_2$  a do odporu  $R$  je zahrnut vnitřní odpor zdroje i pomocného ampérmetru  $A_1$ . Při sepnutí klíče  $K_2$  bude platit:

$$I_1 = I_2 + I_b, \frac{I_2}{I_b} = \frac{R_b}{R_0}, \frac{I_b}{I_2} = \frac{I_1 - I_2}{I_2} = \frac{I_1}{I_2} - 1 \quad (2)$$

Pokud potřebujeme změnit rozsah ampérmetru  $n$ -krát, musí platit  $I_1/I_2 = n$ . Pak odpor bočníku zvolíme takto:

$$R_b = R_0 \frac{I_2}{I_b} = \frac{R_0}{\frac{I_b}{I_2}} = \frac{R_0}{\frac{I_1}{I_2} - 1} = \frac{R_0}{n - 1}. \quad (3)$$

## 1.2 Rozšíření rozsahu voltmetru

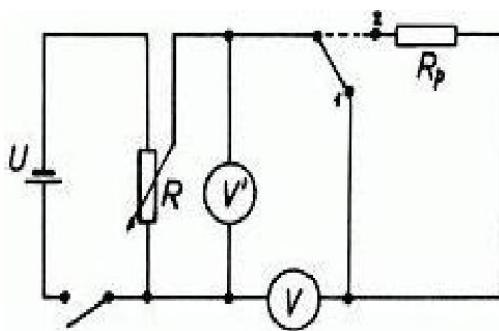


Figure 3: Zapojení k rozšíření rozsahu voltmetru

Chceme-li měřit vyšší napětí než jaké odpovídá plné výchylce měřidla, musíme upravit vnitřní odpor obvodu sériovým zařazením předřadného odporu  $R_p$  tak, aby při zapojení této kombinace na měřené napětí proud tekoucí měřidlem nepřesáhl maximální dovolenou hodnotu. Podobně jako u ampérmetru lze odvodit pro vnitřní odpor voltmetru:

$$R_V = \frac{R_p}{n - 1}, \quad (4)$$

kde odpor  $R_p$  je odpor dekády,  $R_V$  vnitřní odpor voltmetru  $V$  a  $n$  udává kolikrát je rozsah voltmetru rozšířen. Odpor dekády si nastavíte tak, aby platilo:

$$U_2 = \frac{U_1}{n}, \quad (5)$$

kde  $U_1$  je hodnota napětí na  $V$  při zapnutém klíči v poloze 1,  $U_2$  je hodnota napětí na  $V$  při zapnutém klíči v poloze 2. K tomuto měření je nutné použít dostatečně tvrdý dělič napětí, tzn. použít reostat s nepřilíš velkým odporem. Pro přesné měření je nutné udržovat konstantní napětí na  $V$  pomocí odporu  $R$ .

### 1.3 Kompenzátor

Pro přesné měření elektromotorického napětí stejnosměrných zdrojů se zpravidla používá kompenzační metody. Tato metoda je založena na poznatku, že lze s daleko větší přesností indikovat nulový proud v obvodu, než určit absolutně jeho nenulovou velikost. Kompenzátory měří s vysokou přesností a nezatěžují měřený zdroj proudem.

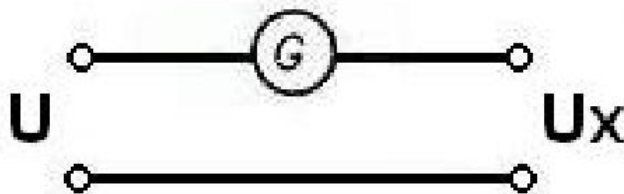


Figure 4: Principiální schéma zapojení kompenzátoru.

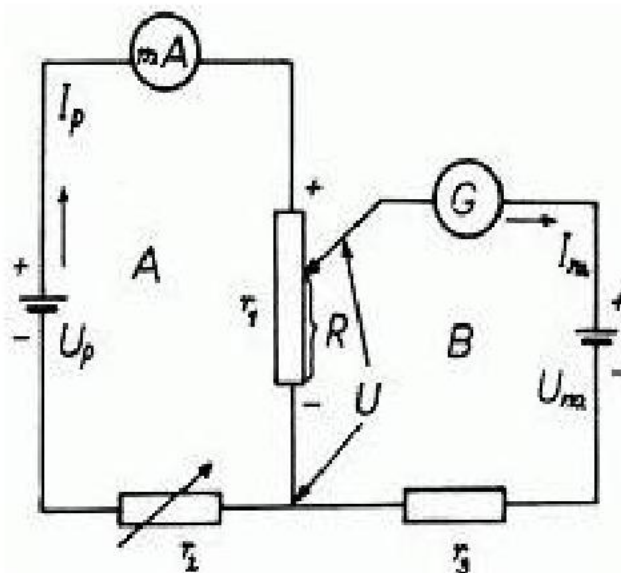


Figure 5: Zjednodušené schéma kompenzátoru METRA QTK

Principiální schéma zapojení kompenzátoru je znázorněno na Obr. 4. Neznámé napětí je označeno  $U_x$ , referenční  $U$ . Předpokládáme, že  $U$  je dobře definované a lze jej plynule měnit. Pokud se  $U_x$  a  $U$  liší, protéká obvodem proud a galvanometr  $G$  ukazuje výchylku. Pokud  $U_x = U$  (t.j.  $U_x$  je vykompenzováno napětím  $U$ ), pak galvanometr neukáže nic.

K měření budete používat kompenzátor METRA typ QTK. Přesný popis kompenzátoru a návod k jeho použití je uveden v Návodě k přístrojům, str. 14-18 (soubor navody-o.pdf). Na Obr. 5 a Obr. 6 jsou zjednodušená schémata technického kompenzátoru METRA. Na Obr. 5 je písmenem A označen pomocný obvod a písmenem B měrný obvod. Oba obvody jsou navzájem vázány skrze přesný odpor  $r_1$ , který je zapojen jako potenciometr. Je-li jezdec potenciometru v takové poloze, že je na něm napětí  $U$  rovné napětí měřeného zdroje  $U_m$ , bude proud  $I_m = 0$  a

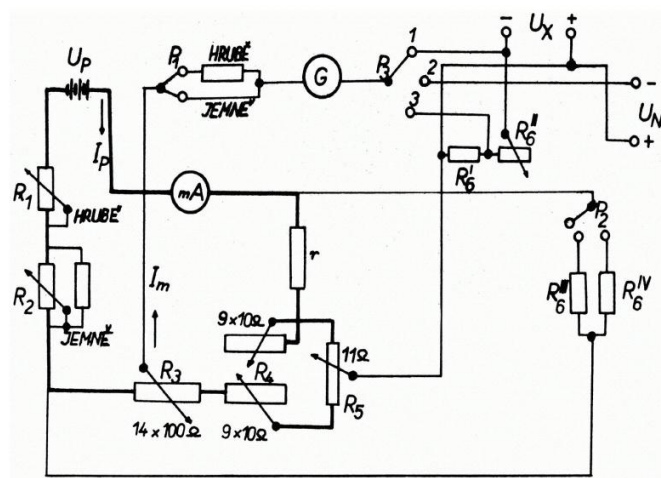


Figure 6: Zjednodušené schéma kompenzátoru METRA QTK

obvod B nebude ovlivňovat proud  $I_p$  v obvodu A a tedy ani napětí  $U$ . Tuto okolnost využijeme k určení napětí  $U_m$ . Nulovou hodnotu proudu  $I_m$  dosahujeme tak, že měníme polohu jezdce na potenciometru tak dlouho, až velikost napětí  $U$  na výstupu potenciometru vykompenzuje měřené napětí  $U_m$ . Potom platí,  $U=U_m$ . Napětí  $U$  můžeme vyjádřit jako  $U=RI_p$ , kde  $R$  je ta část odporu  $r_1$ , která je zařazena v měrném obvodu B a  $I_p$  je proud protékající tímto odporem. Poté dostaneme:

$$U_m = RI_p. \quad (6)$$

Velikost proudu  $I_p$  protékajícího pomocným obvodem A určujeme zpravidla nepřímou, užitím Westonova normálního článku, který zapojíme na místo měřeného napětí  $U_m$ . Nechť napětí  $U_N$  tohoto článku je vykompenzováno ( $I_m=0$ ) napěťovým úbytkem na potenciometru, potom platí:  $U = U_N$  a  $U = I_p R_N$ . Odtud pak:

$$U_N = R_N I_p \quad (7)$$

$$U_m = \frac{R}{R_N} U_N. \quad (8)$$

Důležitým předpokladem pro správné měření je neproměnlivost pomocného proudu  $I_p$  během měření, proto je zapotřebí velikost tohoto proudu během měření hlídat. Kalibraci kompenzátoru provádíme pomocí normálového Westonova článku, který připojíme ke svorkám kompenzátoru označených  $U_N$  a postupujte tak, jak je uvedeno v Návodech k přístrojům. Kalibraci provádějte velmi opatrně, Westonův článek je velmi křehký a je snadné ho zničit.

Měření napětí  $U_m$  se připojuje na svorky označené  $U_x$ . Kompenzátořem můžeme stejně přesně měřit proud nebo odpor, máme-li k dispozici přesný odpor.

### 1.3.1 Cejchování voltmetru

Cejchování voltmetru se provádí tak, že pomocí reostatu  $R_1$ , Obrázek 7 vkládáme na svorky voltmetru různé stejnosměrné napětí. Odečteme výchylku na voltmetru a pomocí kompenzátoru určíme správnou hodnotu napětí. Pomocí kompenzátoru se cejchují voltmetry třídy 0,2.

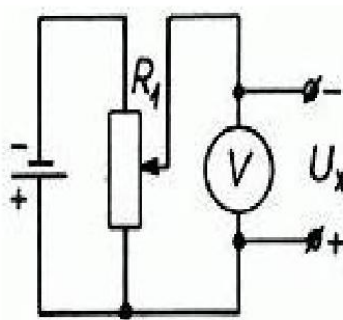


Figure 7: Schéma zapojení pro cejchování voltmetru.

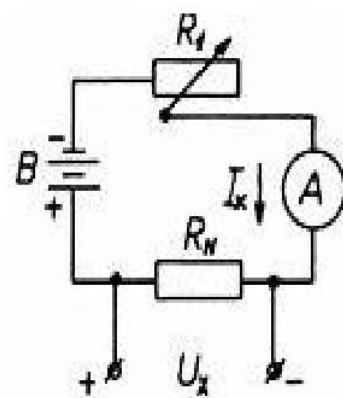


Figure 8: Schéma zapojení pro cejchování ampérmetru.

### 1.3.2 Cejchování miliampérmetru

Pro měření použijeme zapojení zobrazené na Obrázku 8. Průchodem proudem  $I_x$  odporovým normálem  $R_N$  vznikne úbytek napětí  $U_x = R_N I_x$ , který změříme pomocí kompenzátoru. Hodnotu měřeného proudu určíme ze vzorce:

$$I_x = \frac{U_x}{R_N} \quad (9)$$

Při měření volíme hodnotu odporového normálu tak, aby měřený úbytek napětí bylo možné určit bez použití děliče napětí, t.j. do 1500mV.

### 1.3.3 Cejchování odporové dekády

Cejchování odporové dekády provádíme opět pomocí odporových normálů. Zvláště výhodné je použití kompenzátoru při srovnávání odporů o hodnotách sobě velmi blízkých. Schéma zapojení je na Obrázku 9. Neznámý odpor  $R_X$  zapojíme do série s odporovým normálem  $R_N$  a pomocnou baterií B a obvodem necháme procházet proud  $I$ . Na obou odporech vzniká spád napětí, který postupně přivádíme na svorky  $U_X$ . Poměr napětí na obou odporech je roven poměru hodnot příslušných odporů, platí:

$$\frac{U_X^{R_X}}{U_X^{R_N}} = \frac{IR_X}{IR_N} = \frac{R_X}{R_N}, R_X = \frac{U_X^{R_X}}{U_X^{R_N}} R_N. \quad (10)$$

Během měření kontrolujeme stálost protékajícího proudu.

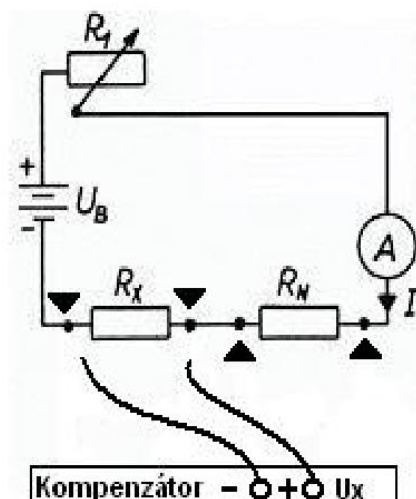


Figure 9: Schéma zapojení pro cejchování odporové dekády.

## 2 Pracovní úkoly

1. V přípravě odvoďte vztah 4.
2. Pomocí kompenzátoru ocejchujte stupnici voltmetru (cejchujte v celém rozsahu stupnice). Pro 10 naměřených hodnot sestrojte kalibrační křivku a vynesete ji do grafu.
3. Pomocí kompenzátoru ocejchujte stupnici miliampérmetru (cejchujte v celém rozsahu stupnice). Pro 10 naměřených hodnot sestrojte kalibrační křivku a vynesete ji do grafu.
4. Pomocí kompenzátoru ocejchujte odporovou dekádu. Měření proveďte pro 10 hodnot v rozsahu 100-1000  $\Omega$ . Pro 10 naměřených hodnot sestrojte kalibrační křivku a vynesete ji do grafu.
5. Rozšiřte rozsah miliampérmetru dvakrát a určete jeho vnitřní odpor  $R_0$ . Měření proveďte pro 10 různých nastavení obvodu, t.j. pro 10 různých proudů.
6. Rozšiřte rozsah voltmetru dvakrát a určete jeho vnitřní odpor. Měření proveďte pro 10 různých nastavení obvodu, t.j. pro 10 různých napětí.
7. Při zpracování výsledků z měření vnitřních odporů vezměte v úvahu výsledky získané cejchováním stupnic voltmetru a miliampérmetru a proveďte korekci naměřených hodnot. Diskutujte rozdíl mezi výsledkem získaným bez korekce a s korekcí.

### 3 Poznámky

1. Při měření vnitřních odporů volte takovou konfiguraci obvodu, aby se výchylky ručiček přístrojů pohybovaly v poslední třetině stupnice.
2. Na začátku měření kompenzátor zkalibrujte pomocí Westonova článku.
3. Při kalibrování odporové dekády (úkol 4) použijte v oboru  $100\text{--}500\ \Omega$  odporový normál  $100\ \Omega$  a v oboru  $500\text{--}1000\ \Omega$  odporový normál  $1000\ \Omega$ .
4. Mezinárodní Westonův normální článek má při  $20^\circ\text{C}$  elektromotorickou sílu  $U_{20} = 1,01865\ \text{V}$ .
5. Elektromotorickou sílu při teplotě  $t^\circ\text{C}$  lze vypočítat podle rovnice:

$$U_t = U_{20} - 4,06 \cdot 10^{-5}(t - 20) - 0,95 \cdot 10^{-6}(t - 20)^2 + 1 \cdot 10^{-8}(t - 20)^3\text{V} \quad (11)$$

Westonův normální článek nesmíte zatížit. Z článku se nesmí odebírat proud větší než  $1\ \mu\text{A}$ .

5. Při zapojení obvodů s voltmetrem (cejchování i měření vnitřního odporu) použijte jako dělič napětí reostat  $115\ \Omega$ .

#### 3.1 Literatura:

- [1] Brož: Základy fyzikálních měření I, SPN, Praha, 1983, str. 302 a 321 až 328.
- [2] Petržílka: Fyzikální optika, Přírodovědecké nakladatelství, Praha, 1952, str. 175.
- [3] Horák: Praktická fyzika, SNTL, Praha, 1958, str. 445 až 446, 459 až 461, 463, 471 až 472.