

Úloha Fyzikální praktikum 1

č. 10 Měření elektrického napětí a proudu

Úvod	1
Ručkové měřicí přístroje	2
Digitální měřicí přístroje	2
Určení chyby měření napětí a proudu	2
Určení chyby ručkových přístrojů	3
Určení chyby digitálních přístrojů	3
Měření vnitřního odporu ručkového měřicího přístroje	4
Z Ohmova zákona	4
Substituční metoda	4
Změna rozsahu měřicích přístrojů	5
Změna rozsahu ampérmetru	5
Změna rozsahu voltmetru	6
Kompenzační metoda měření napětí	8
Určení chyby kompenzační metody	9
Automatizace měření	10
Reprezentace čísel v počítači	10
Digitálně-analogový převodník (D/A převodník)	11
Analogově-digitální převodník (A/D převodník)	12
Úkoly	13

Úvod

Měření elektrických veličin – proudu a napětí patří k zcela základním experimentálním technikám. Jejich použití se neomezuje pouze sledování elektrických jevů. V současné době je patrný trend převádět i jiné neelektrické veličiny na napětí nebo proud pomocí speciálních snímačů a tím roste význam správného měření elektrických veličin. V našem praktiku je také několik příležitostí se s převodníky neelektrických veličin na napětí nebo proud setkat.

Běžné přístroje pro měření proudu a napětí můžeme rozdělit do dvou skupin

1. ručkové (analogové)
2. číslicové (digitální)

Tyto skupiny se na první pohled liší způsobem zobrazení měřené hodnoty – výchylka ručky na stupnici resp. číselný údaj na displeji. Tato zřejmá odlišnost však není nejpodstatnějším rozdílem mezi přístroji. Tím je zcela odlišný princip měření a toho plynoucí odlišné vlastnosti.

Významným parametrem, který určuje vlastnosti měřicího přístroje je vnitřní odpor R_i , který je definován jako podíl napětí na svorkách přístroje U_p a proudu I_p , který přístrojem prochází.

$$R_i = \frac{U_p}{I_p} \quad (1)$$

Vliv vnitřního odporu na vlastnosti a možnosti použití přístroje je popsán v dalším textu.

Ručkové měřicí přístroje

Tyto přístroje využívají silové interakce mezi magnetickým polem a cívkou, kterou protéká měřený proud¹. Nejčastější uspořádání je tzv. magnetoelektrický (deprezský) systém, kde je ručka spojena s otočnou cívkou umístěnou v poli permanentního magnetu. Při průchodu proudu působí na cívku silový moment, který je úměrný proudu. Cívka a s ní spojená ručka zaujme takovou polohu, ve které je moment magnetické síly roven vratnému momentu pružiny. Celý pohyblivý systém cívka + ručka má jistý nenulový moment setrvačnosti. Proto přístroj není schopen registrovat rychlé změny měřeného signálu a okamžitá výchylka ručky je úměrná střední hodnotě měřeného proudu. Pokud chceme tímto přístrojem měřit střídavý proud, je nutné proud usměrnit diodou zapojenou do série s přístrojem.

Důležité je, že přístroj v principu měří proud, i když jej lze použít pro měření napětí (viz dále). Vždy tedy musí přístrojem určitý proud procházet, což může významně ovlivnit děje v obvodu, ve kterém je přístroj zapojen.

Digitální měřicí přístroje

Digitální přístroj je elektronický systém, který provádí převod měřené analogové veličiny na digitální. Převod je zajišťován analogově digitálním převodníkem (A/D převodníkem). Více informací týkající se problematiky A/D a D/A převodu se dočtete v části automatizace měření.

Mezi digitální přístroje řadíme např. univerzální digitální multimetry, digitální osciloskopy nebo dokonce měřicí karty, které se připojují přímo na sběrnici počítače. Významnou vlastností digitálních přístrojů vysoký vnitřní odpor, který zajišťuje velmi malý odběr elektrického proudu při vlastním měření.

Protože digitální měřicí přístroje samy převádí měřenou veličinu na číslo pomocí vlastního A/D převodníku, je pak už poměrně snadné doplnit obvody, které by zajišťovaly komunikaci s počítačem po některém ze standardních rozhraní (sériové rozhraní RS-232, USB, GPIB, atd.). Digitální multimetry lze proto často ovládat přímo z počítače.

Určení chyby měření napětí a proudu

Jako při každém jiném měření i zde jsou naměřené hodnoty zatíženy experimentálními chybami. Obecnou metodou určení tzv. směrodatné odchylky měřené hodnoty s_x je statistické zpracování většího počtu měření dle známého vztahu

¹ Existují ručkové přístroje založené i na odlišném principu, jsou však méně časté.

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n(n-1)}} \quad (2)$$

kde x_i jsou jednotlivé měřené hodnoty z celkového počtu n měření, a \bar{x} je střední hodnota (aritmetický průměr z měřených hodnot). Tento postup však často nevede ke správnému výsledku – při opakovaném měření napětí dostáváme stále stejné hodnoty, což by při neuváženém použití vztahu (2) vedlo k nulové chybě. Náhodná chyba měření elektrických veličin je často dominantně dána náhodným rozptylem parametrů měřicích přístrojů. Informaci o chybách měření tak nejlépe získáme z údajů výrobce příslušného přístroje. Tímto postupem můžeme určit chybu i z jednoho jediného měření.

Určení chyby ručkových přístrojů

Ke stanovení chyby ručkových přístrojů se standardně používá veličina zvaná **třída přesnosti**, která bývá vyznačena přímo na stupnici měřicího přístroje. Třída přesnosti určuje **krajní chybu** jako procento z aktuálního rozsahu přístroje.

Uvedme si příklad. Měříme napětí 4,52V na voltmetru s třídou přesnosti 0,5 s rozsahem 10V. Krajní chyba měřené hodnoty je rovna 0,5% z 10V tedy 0,05V. Směrodatná odchylka je třetinou krajní chyby, tedy pro naměřenou hodnotu můžeme psát

$$U = (4,52 \pm 0,02) \text{ V} \quad (3)$$

Chybu obvykle zaokrouhlujeme na jedno platné místo, hodnotu zaokrouhlujeme na stejný řád, na kterém se nachází chyba.

Zde je nutné si uvědomit jednu důležitou skutečnost. Chyba přístroje je dána rozsahem, nikoliv měřenou hodnotou. V našem příkladě je tedy chyba rovna 0,02V ať je měřená hodnota na daném rozsahu jakákoliv. Je tedy zřejmé, že měření bude tím přesnější (tj. tím menší bude relativní chyba) čím bud měřená hodnota bližší maximální měřitelné hodnotě, tj. rozsahu přístroje. Na přístrojích s měnitelným rozsahem se vždy snažíme měřit tak, aby ručka byla pokud možno nejvíce vpravo, blíže k maximální hodnotě.

Určení chyby digitálních přístrojů

Návod k výpočtu chyby je součástí každého manuálu digitálního měřicího přístroje. Obvykle se výpočetní formule skládá ze dvou příspěvků, které se sčítají. Jeden je úměrný měřené hodnotě a druhý měřicímu rozsahu. Na příklad u digitálního měřicího přístroje METEX M3890D je v manuálu uvedeno

$$0,8\% \pm 2\text{dgs}$$

První číslo udává procento z měřené hodnoty, druhé číslo je počet jednotek na posledním desetinném místě aktuálního rozsahu (tzv. digits). Například měříme-li napětí 2,452V (na rozsahu 20V), je **krajní chyba** rovna

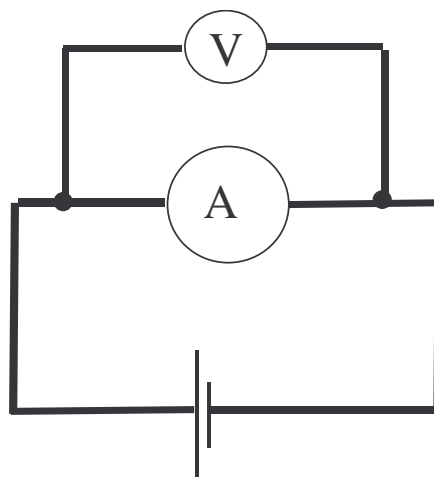
$$\pm 0,8\% \text{ z } 2,452\text{V} \pm 2 \cdot 0,001\text{V} = \pm 0,02 \text{ V}$$

Měření vnitřního odporu ručkového měřicího přístroje

Vnitřní odpor většinou udává výrobce přístroje, u ručkového přístroje je však možné relativně jednoduše vnitřní odpor určit. Lze pro to použít dvě metody.

Z Ohmova zákona

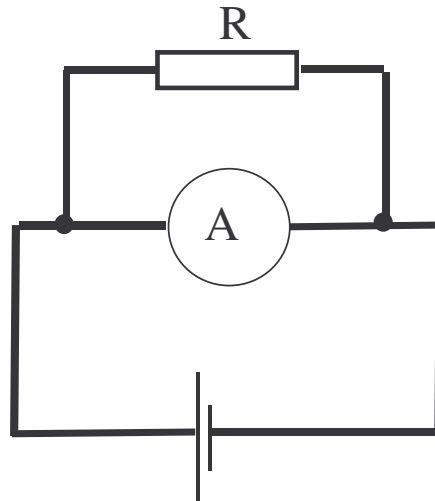
Měřicí přístroj (zde ampérmetr) zapojíme do obvodu dle obr.2. Měříme proud procházející ampérmetrem a současně i spád napětí na jeho svorkách. Odpor určíme přímo z Ohmova zákona..



Obr 2. Měření vnitřního odporu ampérmetru z Ohmova zákona.

Substituční metoda

Druhá metoda využívá stavitelného odporu, tzv. odporové dekády. Použijeme zapojení dle obr. 3, které se liší do zapojení předchozího (obr. 2) pouze tím, že vyměníme voltmetr za odporovou dekádu R . Nejprve necháme dekádu nepřipojenu a říditelným zdrojem nastavíme na ampérmetru určitou výchylku (například na maximum rozsahu). Poté dekádu připojíme a snažíme se nastavením hodnoty jejího odporu dosáhnout poloviční výchylky na ampérmetru. Pokud máme jistotu, že zdroj dodává do obvodu stále stejný proud (a zdroj u úlohy tuto podmínku splňuje), musí nyní protékat oběma větvemi shodný proud. Současně tedy musí být odpory v obou větvích také shodné a tedy vnitřní odpor přístroje je roven odporu nastavenému na dekádě.



Obr 3. Měření vnitřního odporu ampérmetru pomocí odporové dekády.

Změna rozsahu měřicích přístrojů

Mezi ampérmetrem a voltmetrem není z principálního hlediska žádný rozdíl. Oba přístroje mohou měřit jak napětí, tak i proud. Uživatelská odlišnost těchto přístrojů spočívá v cejchování stupnice a obvykle i v hodnotě vnitřního odporu, který bývá typicky u ampérmetru malý a u voltmetru velký. Můžeme tedy po malých úpravách použít tentýž systém jak pro měření napětí, tak i pro měření proudu a dokonce můžeme i v jistých mezích měnit rozsahy obou přístrojů. Způsob, jakým to lze zajistit si ukážeme v následujících odstavcích.

Kontrolní otázka

Mějme analogový měřicí přístroj z výroby cejchovaný jako ampérmetr rozsahu $100\mu\text{A}$. Víme, že přístroj má vnitřní odpor 2000Ω . Kdybychom tento přístroj chtěli bez jakékoliv úpravy použít jako voltmetr, jaký by byl jeho rozsah?

Změna rozsahu ampérmetru

Obecně můžeme rozsah přístroje pouze zvětšit. Měřený proud rozdělíme do dvou větví. Do první větve zapojíme měřicí přístroj a do druhé větve odpor vhodné velikosti tzv. **bočník** (viz obr. 4). Funkce bočníku je zcela zřejmá. Chceme-li například použít přístroj původního rozsahu $100\mu\text{A}$ pro měření proudu do 1mA , musí při tomto proudu protékat bočníkem $900\mu\text{A}$ a vlastním přístrojem pouze původních $100\mu\text{A}$. Nyní jde je o to, jaký odpor R_B musí bočník mít, aby tuto podmínku splnil.

Označme symbolem I_N nový rozsah přístroje. Dále označíme I_A původní rozsah ampérmetru a I_B proud tekoucí bočником. Zcela evidentně platí

$$I_N = I_B + I_A \quad (4)$$

Dále musí být shodné napětí na obou větvích a rovno napětí zdroje. Odtud plyne rovnice

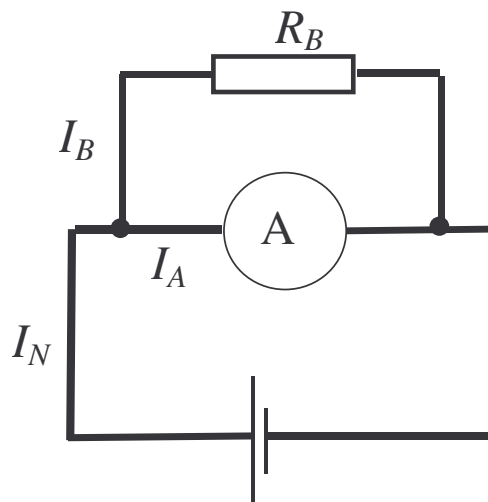
$$I_B R_B = I_A R_A = I_N R_N \quad (5)$$

kde R_A je ve shodě s předchozím označením vnitřní odpor ampérmetru a R_N je výsledný odporu obou paralelních větvích. Za použití rovnice pro paralelní zapojení odporů

$$\frac{1}{R_N} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} \quad (6)$$

a rovnic (4) a (5) dostaneme výsledný vztah pro odpor bočníku.

$$R_B = \frac{R_A}{\frac{I_N}{I_A} - 1} \quad (7)$$



Obr 4. Zapojení bočníku.

Změna rozsahu voltmetru

Namísto paralelně zapojeného bočníku je v případě změny rozsahu voltmetru třeba použít sériově zapojený odpor, tzv. **předřadník**. Měřicí přístroj a předřadník pak spolu tvoří napěťový dělič tak, aby při celkovém napětí rovném novému U_N rozsahu bylo na měřicím přístroji napětí shodné s jeho původním rozsahem U_V . Zapojení předřadníku je na obr. 5.

Celkové napětí zdroje U_N (a tedy napětí měřené v novém rozsahu přístroje) se rozdělí na oba prvky tak, že

$$U_N = U_V + U_B \quad (8)$$

kde U_V je napětí na přístroji a U_P napětí na předřadníku. Výsledný odpor R_N seriově zapojeného předřadníku a přístroje je roven

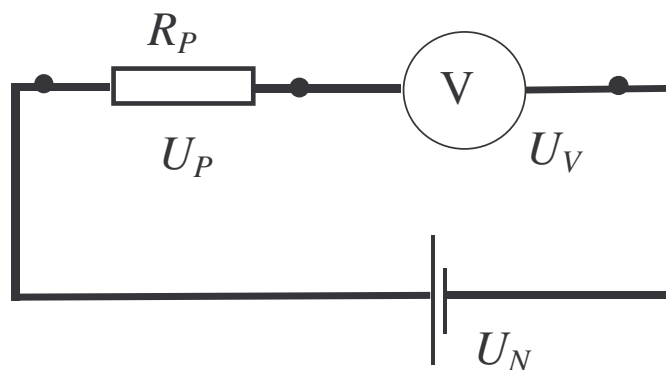
$$R_N = R_V + R_B \quad (9)$$

a proud v obvodu spočteme jako

$$I = \frac{U_V}{R_V} \quad (10)$$

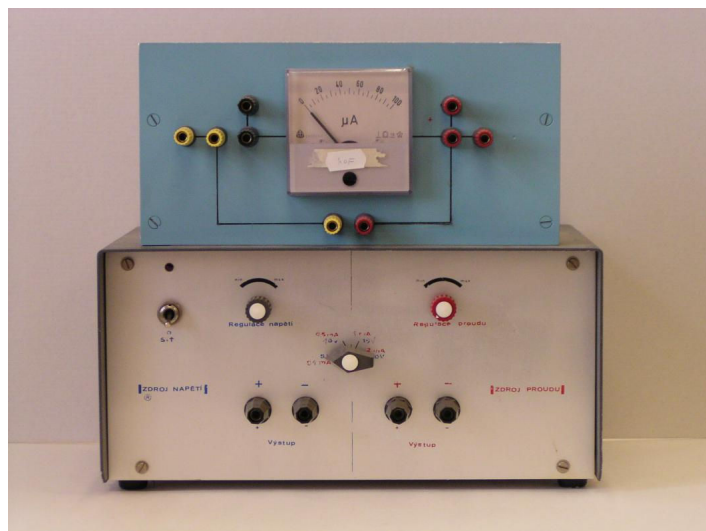
Z rovnic (8) - (10) pak získáme výsledný vztah pro odpor předřadníku

$$R_P = R_V \left(\frac{U_N}{U_V} - 1 \right) \quad (11)$$



Obr 5. Zapojení předřadníku.

V praktiku budete měřit se zařízením z obr. 6. V dolní části je stabilizovaný zdroj napětí a stabilizovaný zdroj proudu. V horní části je měřicí přístroj z výroby cejchovaný jako ampérmetr. S tímto přístrojem budete pracovat: měřit jeho vnitřní odpor a měnit jeho rozsah jako ampérmetru i jako voltmetru.



Obr 6. Zdroj napětí a proudu s integrovaným měřícím přístrojem.

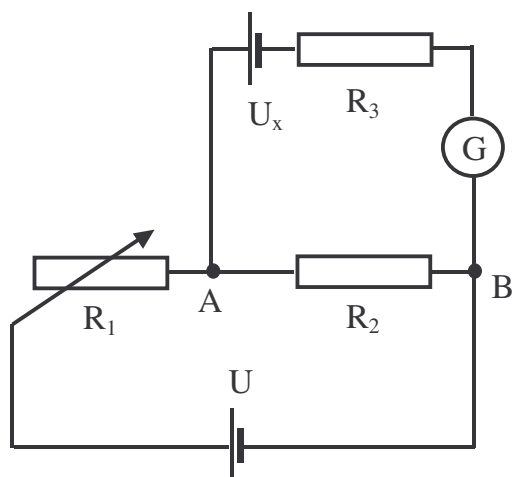
Kompenzační metoda měření napětí

V minulosti sehrála důležitou roli tzv. kompenzační metoda měření napětí. Její výhodou je, že dokáže (alespoň teoreticky) měřit napětí zdroje bez toho, aby byl ze zdroje odebrán elektrický proud. To má význam v případě, kdy měříme elektromotorické napětí velmi měkkého zdroje, jehož svorkové napětí silně závisí na odebíraném proudu. Kompenzační metodou lze také jednoduše měřit velmi malá napětí. Požadavek bezproudového měření velmi malých napětí musí být splněn například u měření napětí termočlánku a právě pro tento účel se kompenzační metoda běžně užívala.

V dnešní době již kompenzační metoda ztrácí svůj původní význam a místo ní běžně používáme digitální voltmetry, které mají tak vysoký vnitřní odpor, že ve velké většině případů můžeme považovat měření digitálním voltmetrem za bezproudové.

Přesto, že v laboratorní praxi se s nutností použití kompenzační metody téměř nesetkáme, zde se s ní podrobněji seznámíme. Měření kompenzační metodou je dobrým cvičením práce s elektrickými obvody a vhodným příkladem k zamyšlení se nad činností jednoduchého, ale ne úplně triviálního zapojení.

Existuje více variant zapojení kompenzační metody. Jedna z možností je na obr. 7.



Obr. 7 Zapojení kompenzační metody

Odpor R_1 a R_2 pracují jako dělič napětí pomocného zdroje U . Při měření kompenzátozem se snažíme stavitelným odporem R_1 – odporovou dekádou dosáhnout toho, aby galvanoměrem G neprotékal žádný proud. V tom případě se proud I protékající dolní smyčkou obvodu v uzlu A nedělí a můžeme pro něj psát

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2}. \quad (12)$$

Pokud je kompenzátor vyvážen, musí být napětí neznámého zdroje U_x být právě kompenzováno úbytkem napětí na odporu R_2 protékaného proudem I . Tedy

$$U_x = R_2 I. \quad (13)$$

Po dosazení z rovnice (12) pak jednoduše dostaneme

$$U_x = \frac{R_2 U}{R_1 + R_2}. \quad (14)$$

Odpor R_3 v zapojení na obr. 6 určuje citlivost metody. Čím je odpor menší, tím je kompenzátor citlivější. Je vhodné použít jako odpor R_3 stavitelnou dekádu a na počátku měření ji nastavit na větší hodnotu. Po přibližném vyvážení kompenzátoru postupně odpor R_3 zmenšujeme a stále dostáváme proud galvanometrem G na nulu pomocí odporu R_1 . Tak se vyvarujeme přílišného proudového zatížení galvanometru, ke kterému by došlo v případě, že by počáteční nastavení bylo příliš vzdáleno od podmínky vyvážení kompenzátoru.

Určení chyby kompenzační metody

Měření kompenzační metodou je zatíženo přinejmenším náhodnými chybami, stejně jako jakékoliv jiné měření. Jakým způsobem tuto chybu určíme? Zdrojem náhodné chyby je omezená přesnost čtení na stupnici galvanometru. Souvislost mezi chybou čtení (v dílcích

stupnice galvanometru) a chybou určení odporu R_I (a s tím související chyby napětí vypočteného podle vztahu (14)) určuje veličina zvaná citlivost c definovaná jako

$$c = \frac{\Delta n}{\Delta R}, \quad (15)$$

kde Δn je změna výchylky galvanometru při změně odporu R_I o ΔR . Pokud odhadneme chybu čtení na stupnici galvanometru jako s_n , můžeme s pomocí rovnice (15) určit chybu odporu R_I jako

$$s_R = \frac{s_n}{c}, \quad (16)$$

Chybu napětí pak spočítáme ze zákona šíření chyb aplikovaného na rovnici (14).

Automatizace měření

Automatizace měření pomocí výpočetní techniky patří mezi moderní fyzikální metody měření v laboratorní i průmyslové praxi. Nejčastěji měřenou fyzikální veličinou je elektrické napětí. Ostatní fyzikální veličiny, i neelektrické, se většinou na měření elektrického napětí převádí. Avšak současné počítače, dříve též označované jako číslicové či digitální, nejsou přímo na měření elektrického napětí vybaveny. Nezpracovávají totiž přímo fyzikální veličiny, ale čísla (jakkoli elektrickým napětím kódované). Existují proto speciální obvody, tzv. převodníky, které umí mezi číslem (např. určitou hodnotou fyz. veličiny v jednotkách) a skutečnou realizací (např. el. signálem o napětí 1,5 V) převádět.

Digitálně-analogový převodník (D/A) dovoluje převádět číslo na analogovou veličinu, analogově-digitální převodník (A/D) převádí veličinu na číslo. D/A převodník tedy veličinu generuje, A/D převodník naopak veličinu měří. Důležitým parametrem převodníku je bitovost převodníku, neboli počet bitů čísla, které je možné do převodníku poslat (u D/A) nebo naopak z něj přečíst (u A/D).

Reprezentace čísel v počítači

Číselná hodnota je v současných počítačích ukládána a zpracovávána ve dvojkové (binární) soustavě. To znamená, že číslo je možné zapsat pouze pomocí dvou číslic, 0 a 1. Dvojkové číslici se také říká bit (*binary digit*). Srovnajme tyto příklady

$$235_{10} = 2 \cdot 10^2 + 3 \cdot 10^1 + 5 \cdot 10^0 \quad (\text{index } 10 \text{ znamená vyjádření v desítkové soustavě})$$
$$110_2 = 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 6_{10}.$$

Číslo 110_2 je tedy zkráceným zápisem, který vyjadřuje počet různých řádů se základem 2. Mezi čísla vyjádřených v různých číselných soustavách je možné samozřejmě převádět. Převod z dvojkové do desítkové soustavy je naznačen výše. Pro převod z desítkové do dvojkové soustavy se používá následující algoritmus.

1. Převáděné číslo zapíšeme do prvního řádku tabulky vlevo. Do stejného řádku vpravo zapíšeme dvojkou.
2. Číslo vlevo vydělíme dvěma, celou část zapíšeme o řádek níže pod něj a celočíselný zbytek po dělení (dělíme dvěma, zbytkem tedy může být nula nebo jednička) zapíšeme opět na nižší řádek vpravo.

3. Opakujeme krok 2., až dospějeme k dvojici 0, 0. Potom zbytky přečteme v obráceném pořadí.

235	2	
117	1	↑
58	1	
29	0	
14	1	
7	0	
3	1	
1	1	
0	1	
0	0	

Pro kontrolu spočteme opět vyjádření v desetinné soustavě:

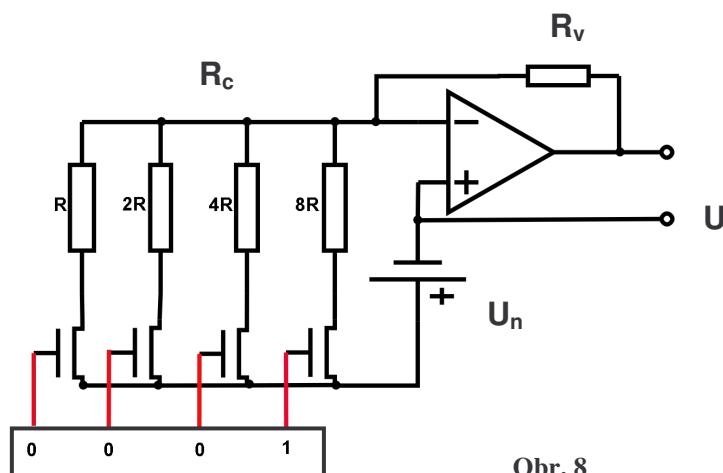
$$11101011_2 = 1 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 128 + 64 + 32 + 0 + 8 + 0 + 2 + 1 = 235_{10}$$

Hodnota binární číslice je v počítači reprezentována různým způsobem. Příkladem je logika TTL, při které je nula reprezentována napětím v intervalu 0 – 0,8 V a jednička napětím v rozsahu 2,5 – 5 V.

Digitálně-analogový převodník (D/A převodník)

Jak již bylo uvedeno výše, digitálně-analogový převodník (D/A) dovoluje převádět číslo na analogovou veličinu. Lze jej tedy použít jako regulovatelný zdroj malého výkonu. Jednoduchý čtyřbitový D/A převodník je zobrazen na obr. 8. Vstupem jsou hodnoty čtyř bitů, výstupem napětí U . Napětí zdroje je U_n . Výstupní napětí použitého operačního zesilovače je

$$U = \frac{R_v}{R_c} \cdot U_n$$



Obr. 8

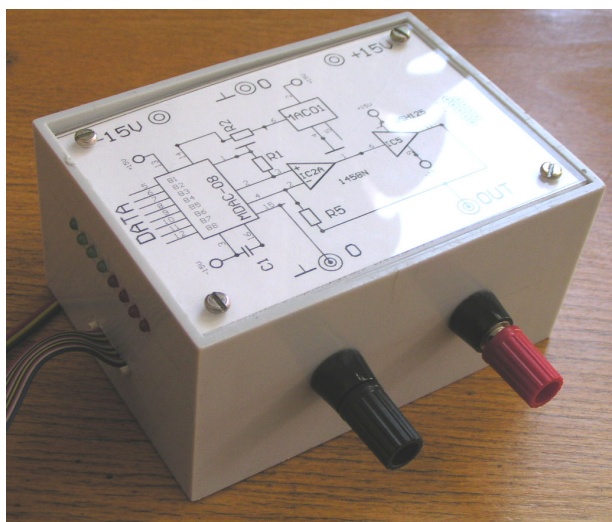
Hodnota odporu R_c je měněna podle dodaných bitů pomocí tranzistorů, které zapojují jednotlivé větve paralelně zapojených rezistorů. Např. pro číslo 1 bude výsledné napětí

$$\frac{R_v}{8R} U_n$$

v případě čísla 3

$$3 \frac{R_v}{8R} U_n$$

Tento čtyřbitový převodník byl v textu použit pouze pro jednoduché vysvětlení problematiky. V praxi se ovšem používají převodníky složitější a vícebitové. V této úloze používáme osmibitový D/A převodník, který je obsažen v malé krabičce (viz obr. 9), která se k počítači připojuje pomocí paralelního rozhraní LPT. Převodník vyžaduje stabilizovaný zdroj napětí 12 V. Při zapojení je nutné dávat pozor na správnou polaritu zapojení zdroje.

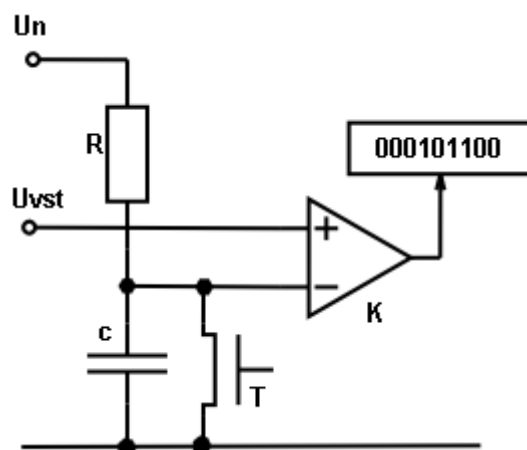


Obrázek 9: D/A převodník

Paralelní rozhraní LPT, dříve používané zejména pro připojení tiskárny k počítači, posílá převodníku číslo tak, že jednotlivé bity čísla jsou posílány současně po samostatných vodičích (odtud paralelní). Na převodníku je umístěno osm barevných LED diod, které svým stavem (svítí/nesvítí) vyjadřují číslo v binárním tvaru, které je z počítače vystaveno na vodičích rozhraní a které tedy převodník převádí na napětí. Generované napětí je možné změřit multimetrem na předních svorkách převodníku.

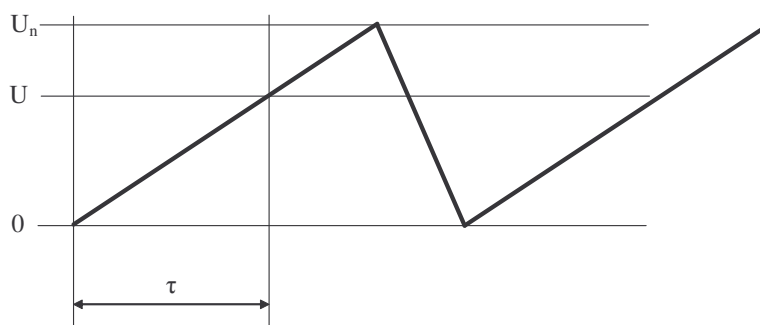
Analogově-digitální převodník (A/D převodník)

Zopakujme, že analogově-digitální převodník (A/D) provádí převod analogové fyzikální veličiny na její číselné vyjádření. Konstrukcí A/D převodníků je celá řada a jejichž výčet a podrobný popis přesahuje rozsah tohoto textu. Uvedeme si jen jeden příklad, který převádí problém měření napětí na měření času. Je jím jednoduchý integrační A/D převodník, který je zobrazen na silně zjednodušeném schématu na obr. 10.



Obr. 10

Tranzistor T krátce zkratuje (a tedy i vybije) kondenzátor C . Kondenzátor se začne přes odpor R nabíjet z napájecího napětí U_n (viz obr. 11). Komparátor K (operační zesilovač) srovnává rostoucí napětí na kondenzátoru se převáděným napětím U_{vst} . Současně se měří doba, po kterou se kondenzátor nabíjí. V okamžiku, kdy napětí na kondenzátoru dosáhne napětí U_{vst} , komparátor zastaví měření času a doba nabíjení se prohlásí za výsledek převodu. Čas lze měřit relativně jednoduše a přesně s využitím vysokofrekvenčního generátoru a čítače. Generátor pulsů využívá vlastních kmitů křemenného krystalu, obdobně jako oscilátor ve standardních hodinkách typu Quartz². Kmitá-li například oscilátor na frekvenci 1MHz, pak každý puls registrovaný čítačem odpovídá času 1 μ s.



Obr.11. Měření napětí AD převodníkem s převodem na měření času.

A/D převodník je součástí každého digitálního měřicího systému. Budete jej tedy využívat např. i v úloze **Teplná vodivost**, ve které je měření rozdělení teploty realizováno jako měření napětí na termočláncích pomocí multifunkční měřicí karty ADVANTECH.

Úkoly

1. Změřte vnitřní odpor ampérmetrem rozsahu 100 μ A oběma výše uvedenými metodami. Pro měření z Ohmova zákona použijte digitální voltmetr MIT 330.
2. Spočítejte velikosti bočníků, které zvětší rozsah ampérmetru 100 μ A na velikosti 0,5mA, 1mA a 2mA. Bočníky realizujte odporovou dekádou. Pomocí jiného ampérmetru ověřte správnou funkci přístroje na nových rozsazích.

² Quartz je anglicky křemen.

3. Spočítejte velikosti předřadníků, které umožní používat ampérmetr $100\mu\text{A}$ jako voltmetr s rozsahy 5V a 10V. Předřadníky realizujte odporovou dekádou. Pomocí jiného voltmetru ověřte správnou funkci přístroje na nových rozsazích.
4. Změřte kompenzační metodou napětí termočlánek. Oba konce termočlánek umístěte od prostředí s odlišnou teplotou (voda s ledem, teplá voda). Vypočítejte termoelektrický koeficient pro použitý termočlánek a porovnejte jej s tabulkovou hodnotou. Určete citlivost kompenzátoru a chybu měřeného napětí termočlánek.
5. Otestujte činnost D-A převodníku. Pro zadávání čísel můžete použít program *Paralelní rozhraní* v operačním systému MS Windows. Použijte registr A (v programu vstupní pole A).
 - a. Najděte číselný rozsah převodníku. Víte přitom, že do převodníku je možné zadávat pouze celá nezáporná čísla a že převodník je osmibitový. Určete, jaké hodnoty napětí odpovídají krajním číselným hodnotám. Je rozsah výstupního napětí opravdu deklarovaných 10 V?
 - b. Určete, jaká změna napětí přísluší nejmenší možné změně zadávaného čísla. Jaký má tato hodnota význam?
 - c. Nastavte na převodníku napětí 3,2 V. Potřebné číslo stanovte výpočtem.