

Měřicí převodníky elektrických veličin

Autor: Viktor Pokorný

Po prostudování

- Pochopíte základní principy převodníků elektrických veličin.
- Porozumíte Hallovu jevu.
- Tyto obecné poznatky budete umět aplikovat při praktických měřeních.
- Budete schopni posoudit vhodnost určitého převodníku pro danou aplikaci.
- Dozvíte se o výhodách a nevýhodách jednotlivých typů převodníků.

Klíčová slova: převodník, dělič, měřicí transformátor proudu a napětí, hallův jev

Čas potřebný ke studiu:
90min

Úvod:

U elektrických měřicích přístrojů můžeme upravovat velikost měřené veličiny tak, aby ji měřicí ústrojí mohlo bez poškození a s dostatečnou přesností měřit, nebo můžeme převádět jednu elektrickou veličinu na elektrickou veličinu jiného druhu.

Měřicí převodníky se používají pro měření základních elektrických veličin, které převádějí na výstupní analogové signály. Tyto signály je možno použít jak pro indikaci v místě měření, tak pro průmyslové měření a regulaci ve vzdálených velínech. Jsou konstruovány podle nejnovějších bezpečnostních předpisů EN 61010-1, ustanovení o shodě (CE) a jsou zkoušeny proti rušení.

V praxi se využívá především těchto měřicích převodníků:

Pro měření proudu se používá klešťový ampérmetr (využívající principu Hallova jevu – Hallovy sondy) a Měřicí transformátor proudu.

Pro měření napětí jsou to pak měřicí transformátory napětí, odporový a kapacitní dělič.

Hallova sonda

Hallovy sondy (generátory) se v současné době používají zejména pro měření magnetické indukce, ale své použití našly i při měření proudu. Dosažitelná přesnost je asi 1% přístroje lze použít pro měření proudu do kmitočtu asi 25kHz.

Pro měření stejnosměrného i střídavého proudu lze využít i Hallova jevu, viz. obrázek. Vložíme-li destičku polovodiče do magnetického pole a necháme-li jí příčně protékat stejnosměrný proud, objeví se na opačných hranách destičky tzv. Hallovo napětí, jehož velikost je dána vztahem:

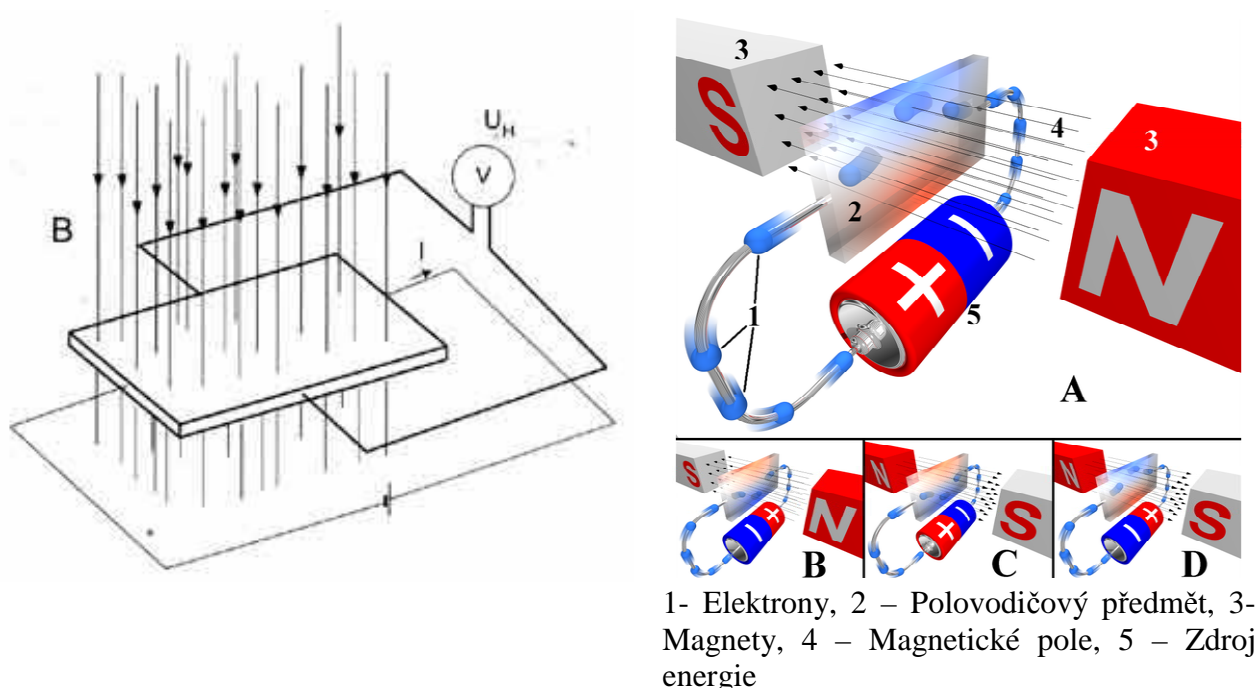
$$U_H = kIB$$

kde:

k - konstanta závislá na materiálu, tloušťce a struktuře polovodičové destičky,

I - stejnosměrný proud protékající destičkou,

B - indukce magnetického pole, v němž se destička nachází.



Obr. 1 - Využití principu Hallova jevu

Popis obrázku: A – dostává předmět negativní náboj symbolizovaný modrou barvou a kladný náboj symbolizovaný barvou červenou.
B a C - se elektrický proud obrací, což způsobuje změnu polarizace.
D -Změna proudu i magnetického pole opět vytvoří záporný náboj v horní části předmětu.

Hallovy sondy (generátory) se v současné době používají zejména pro měření magnetické indukce, ale své použití našly i při měření proudu.

Praktické řešení zapojení Hallovy sondy pro měření proudu je na obrázku. Vodič, kterým protéká měřený proud I_p (je jedno, jestli je stejnosměrný nebo střídavý) obemkne kleštěmi magnetického obvodu (magnetický obvod je podobný kleštím běžných klešťových ampérmetrů). Ve vzduchové mezeře je zasunut Hallův generátor, kterým protéká řídicí stejnosměrný proud I_s . Současně s velikostí měřeného proudu I_p roste i velikost magnetické indukce ve vzduchové mezeře a tedy i jí odpovídající Hallovo napětí. Toto napětí se zesiluje

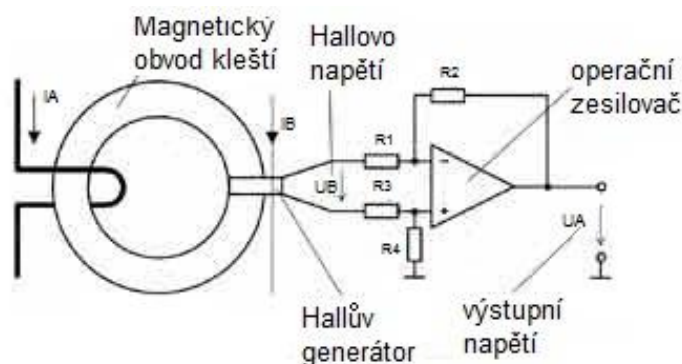
pomocí operačního zesilovače na výstupní napětí U_A - Velikost napětí U_A je přímo úměrná velikosti měřeného elektrického proudu I_p .



Obr. 2 - Praktické využití Hallova jevu u klešťového ampérmetru

Tímto způsobem lze tedy snadno měřit efektivní hodnoty periodických i neperiodických střídavých proudů i proudy stejnosměrné. Dosažitelná přesnost je asi 1% přístroje, lze použít pro měření proudu do kmitočtu asi 25kHz.

Klešťové ampérmetry s Hallovým generátorem lze použít pro měření proudů 1mA až 1MA. Výstup přístrojů bývá výhradně v digitální formě, některé přístroje však mívají i analogový výstup pro připojení osciloskopu (chceme-li zobrazit časový průběh měřeného proudu). Dá se předpokládat, že tyto přístroje v budoucnosti vytlačí klasické klešťové ampérmetry.



Obr. 3 - Principiální schéma zpracování signálu z Hallového generátoru.

Dalším typickým zástupcem převodníku využívajícího hallova jevu je LEM čidlo.

Toto čidlo se používá pro průmyslové aplikace, kdy je čidlo namontováno přímo do systému.

- Výhodou je izolované měření proudu a napětí s okamžitým proudovým nebo napěťovým výstupem. Možnost měření proudu od 0,1 do 20.000 A a to třemi způsoby, bezkontaktně, s integrovaným vodičem, nebo tzv. Clip-on měření.
- Měření širokého rozsahu napětí od 10 V do 6400 V.
- Výhodou je veliká přesnost těchto čidel.

Praktické využití, výhody, nevýhody a porovnání Hallové sondy

Nejčastější aplikací hallové sondy použité jako měřící převodník elektrických veličin je klešťový ampérmetr. Ten je využíván pro diagnostické a laboratorní úkoly. Jejich výhodou je možnost měření stejnosměrné složky a mají velký frekvenční rozsah

Lze použít oproti měřicímu transformátoru i pro měření velkých stejnosměrných proudů.

Nevýhodou je oproti měřicímu transformátoru proudu nižší přesnost ve srovnatelné cenové hladině.

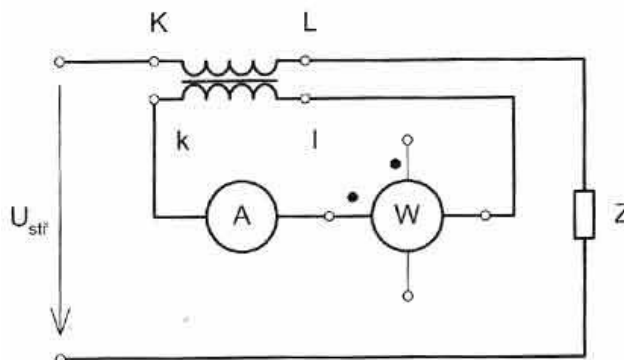
Měřicí transformátor

Základní dělení měřících transformátorů je na měřicí transformátory napětí a měřicí transformátory proudu.

Měřicí transformátory slouží ke snížení či zvýšení proudu a napětí. Většinou však ke snížení. Pomocí transformátoru uděláme z 10kV 100V, což můžeme měřit obyčejným V-metrem. Transformátor lze použít jen ve střídavých obvodech a většinou pro sinusové průběhy. Velké stejnosměrné proudy, kde nelze použít trafo se nahrazuje měření Hallovoou sondou. Trafo má primární a sekundární obvod, dle počtu závitů se určí převod trafo. Nejčastěji 1:2, 1:10, 10:1, 1:100....

Měřicí transformátory proudu

Tyto transformátory se používají ke změně rozsahů (zvětšení, někdy i zmenšení) střídavých ampérmetrů. Zapojení do obvodu se provádí podle obrázku. Primární vinutí se připojí do série se zátěží, kterou protéká měřený proud a na sekundární vinutí měřicího transformátoru se připojují jednotlivé přístroje (ampérmetr, proudová cívka wattmetru, elektroměr, ...) sériově.



Obr.4 - Schéma měřicího transformátoru proudu



Obr. 5 - Možnosti konstrukce měřících transformátorů proudu.

Břemenem pro měřicí transformátor proudu je Admittance.

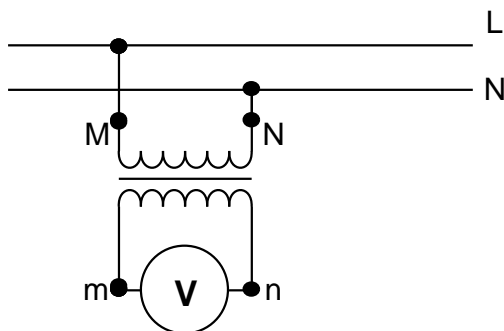
Praktické využití, výhody, nevýhody a porovnání Měřících transformátorů proudu.

U průmyslových aplikací se používají měřicí transformátory. Jejich výhodou je galvanické oddělení a možnost dosažení velkých převodních poměrů. Výhodou měřících transformátorů proudu oproti klešťovým ampérmetrům je vysoká přesnost a nízká chyba amplitudy a fáze v daném frekvenčním rozsahu 40 až 60Hz. Pokud by jsme chtěli dosáhnout stejné přesnosti u klešťového ampérmetru cena by dosahovala v současnosti téměř desetinásobku. Jako nevýhoda by se dala označit možnost použití pouze pro střídavý proud.

Měřicí transformátor napětí

Transformátor sloužící k rozšíření napětového rozsahu střídavého voltmetru, elektroměru, wattmetru či jiného přístroje.

Primární vinutí se zapojuje místo měřicího přístroje, sekundární vinutí se připojí na měřicí přístroj.



Obr.6 - Schéma měřicího transformátoru napětí

Měřicí transformátor napětí se nikdy nesmí zkratovat!

Břemeno transformátoru napětí Y je admitance připojených přístrojů včetně přívodů.

Transformátor je dimenzovaný pro chod na prázdno, pokud jím začne protékat větší proud, může se poškodit. Maximální zátěž je na transformátoru vyznačená.

Transformátor má jednu, nebo několik, primárních cívek a jednu cívku sekundární.

M,N - primární cívka m,n - sekundární cívka.

Výhody nevýhody a porovnání:

Měřicí transformátory napětí mají převážně větší počty závitů než měřicí transformátory proudu (u nich je primární vinutí tvořeno jedním závitem nebo několika závity).

Protože se kapacity vinutí zvětšují s počtem závitů, je horní mezní frekvence transformátorů napětí nižší než u transformátorů proudu.

Je zřejmé, že měřené napětí nesmí obsahovat stejnosměrnou složku. Jinak by vznikla stejnosměrná složka magnetizačního proudu nadměrně oteplující vinutí a bránící správné funkci transformátoru.

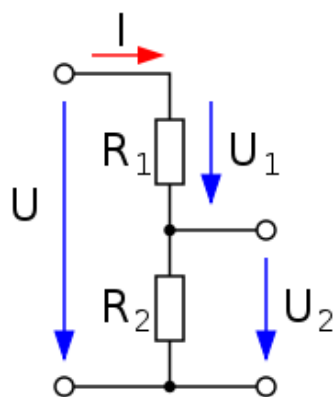
Rozsah frekvencí, v němž lze transformátor napětí použít, je menší než u transformátorů proudu. Proto využití transformátorů napětí jako převodníků napětí — napětí pro neharmonické průběhy je možné s uspokojivými výsledky jen při měření malých napětí a při malých přenášených výkonech, kdy rozměry transformátoru mohou být rovněž malé. Frekvenční rozsah takovýchto transformátorů leží přibližně v oblasti akustického pásma.

Transformátory napětí nejsou vhodné k přenosu přechodových jevů při větších nárocích na přesnost a na věrnost tvaru přenášeného napětí. Jejich výhodou je galvanické oddělení a možnost dosažení velkých převodních poměrů.

Odporový dělič

Jsou dva rezistory spojeny za sebou (v sérii) jak je naznačeno na obrázku č. 7.

Velikost střídavého napětí lze změnit pomocí dvojice rezistorů R_1 a R_2 , které tvoří odporový dělič. Pro ideální odporový dělič naprázdno, pouze zmenšuje okamžité hodnoty napětí. Protože však rezistory R_1 a R_2 nejsou ideální (mají parazitní kapacity a indukčnosti) a navíc i vstupní impedance zařízení použitého k měření napětí u_{2t} (osciloskop nebo voltmetr) má konečnou velikost a není čistě odporová závisí obecně přenos děliče na frekvenci. Často je nutné navíc uvažovat i indukčnost přívodů od zdroje napětí k děliči.



Pro napětí U_1 platí vztah:

$$U_1 = U \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Pro napětí U_2 platí vztah:

$$U_2 = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Např. pokud $R_1 = R_2$ pak platí vztah:

$$U_1 = U_2 = \frac{1}{2} \cdot U$$

Poměr výstupního napětí ke vstupnímu se může pohybovat od 0 do 1.

Obr. 7 - Principiální schéma odporového děliče



Obr. 8 – Příklad odporového měřícího děliče

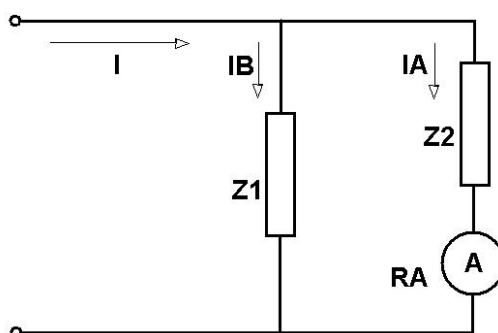
Výhody nevýhody a porovnání odporových děličů:

Jeho výhodou je že jej můžeme použít při měření napětí v širším frekvenčním rozsahu. Mezi další výhody patří jednoduchost konstrukce a tedy i nízké pořizovací náklady a také možnost použití jak pro stejnosměrná tak pro střídavá napětí.

Nevýhodou je vnitřní odpor měřícího přístroje, který tedy zkresluje měření a dále také teplotní závislost a absence galvanického oddělení.

Impedanční dělič proudu

Impedanční dělič proudu (obr. 9) umožňuje měřit ampérmetrem s vnitřním odporem R_A proudy větší, než jaké odpovídají měřicímu rozsahu ampérmetru. Princip tohoto děliče spočívá v tom, že se paralelně k ampérmetru zapojí impedance Z_1 taková, aby jí procházela větší část měřeného proudu I . Zbytek proudu I_A prochází ampérmetrem, s nímž může být v sérii zapojena přídatná impedance Z_2 .



Obr.9 - Princip impedančního děliče proudu

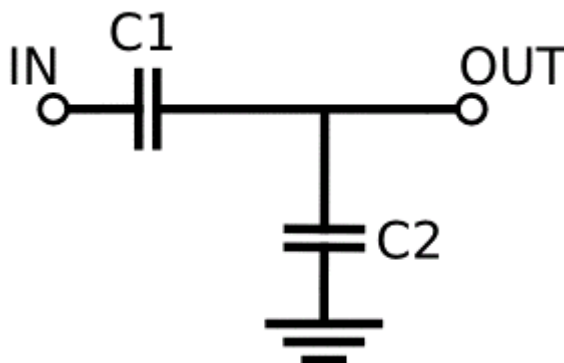
Nejjednodušším případem impedančního děliče proudu je kombinace odporového bočnicku a ampérmetru.

Kapacitní dělič

Kapacitní dělič je obdobou odporového děliče pro střídavé napětí. Pro stejnosměrné napětí je samozřejmě tento dělič nepoužitelný. Výstupní napětí děliče je dáno vztahem:

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

Nejjednodušší zapojení kapacitního děliče je na následujícím obrázku.

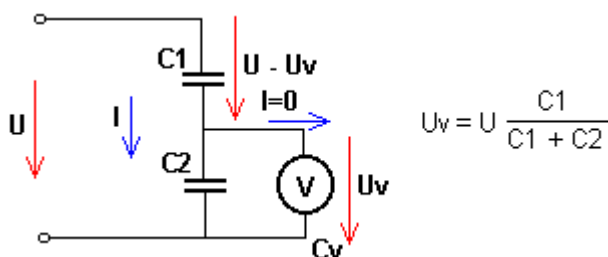


Obr. 10 - Kapacitní dělič

Kapacitní děliče napětí se používají převážně u elektrostatických voltmetrů při měření střídavého a pulzujícího vysokého napětí a velmi vysokého napětí.

Kapacitní dělič pracuje následovně: Dáme-li dva kondenzátory s kapacitami C_1 a C_2 do série a připojíme na ně střídavé napětí U , rozdělí se napětí na kondenzátory tak aby oběma procházel stejný proud.

Je-li na C_1 napětí U_1 a na C_2 napětí U_2 platí vztah:



Obr.11 – Schéma kapacitního děliče

Praktické využití, výhody a nevýhody Kapacitních děličů:

Představte si obvod, který sníží vstupní napětí na polovinu a výstupní proud vůči vstupnímu zvýší na dvojnásobek. Ten v porovnání s lineárními regulátory zajišťuje mnohem vyšší účinnost, neboť energii nepřeměňuje v teplo. Navíc přináší i nové možnosti v aplikacích, které mají limitovaný výstupní proud.. Mnohé aplikace dnes často používají například operační zesilovače či mikrokontroléry, které pracují s velmi nízkými napětími. V těchto obvodech přináší kapacitní dělič a jeho převod napětí na polovinu až třičtvrtinovou úsporu energie.



Obr. 11 – Příklady kapacitních měřících děličů

Výhodou Kapacitních děličů je že je lze umístit například přímo do kondenzátorových průchodek. Zásadní nevýhoda těchto děličů je, že neoddělují galvanicky měřený obvod s měřicími přístroji a při poruše se může objevit plné napětí na straně měřících přístrojů a zničit zařízení. Další nevýhody jsou frekvenční závislost a možnost použití pouze pro střídavé a pulzující proudy.

Použitá literarura:

- [1] Ďaďo, S.; Kreidl, M.: Senzory a měřící obvody. ČVUT Praha, 1996.
- [2] Ďaďo, S.; Sedláček M.: Měření aktivních elektrických veličin s neharmonickými průběhy. STTL Praha, 1987
- [3] Mišák, S.; Přístrojové transformátory. VŠB Ostrava, 2005
- [4] http://pandatron.cz/?914&dc/dc_nabojove_pumpy_a_jak_na_ne
- [5] http://umm.j2me.cz/index.php5?title=M%C4%9B%C5%99ic%C3%AD_transform%C3%ADtory_proudu_a_nap%C4%9Bt%C3%AD-funkce,vlastnosti,u%C5%BEit%C3%AD
- [6] <http://elektrika.cz/data/clanky/clanek.2006-04-01.2480110481>