

Kompenzovaný vstupní dělič

Analogový nízkofrekvenční milivoltmetr

1. Zadání:

A. Na předloženém kompenzovaném vstupní dělič k nf milivoltmetru se vstupní impedancí $Z_{vst} = 1 \text{ M}\Omega \parallel 25 \text{ pF}$, pro dělicí poměry 1:2, 1:5, 1:10.

Proveďte tato měření:

- zkalibrujte dělič stejnosměrně
- Vykompenzujte jednotlivé stupně pomocí obdélníkového signálu na kmitočtu $f_0 = 1 \text{ kHz}$
- Změřte kmitočtovou charakteristiku napěťového přenosu děliče v kmitočtovém pásmu 100 Hz až 1 MHz a ověřte její linearitu

B. Na předloženém analogovém nízkofrekvenční milivoltmetru s těmito parametry:

Základní měřicí rozsah nf milivoltmetru $U_{vst} = 100 \text{ mV}$

Jako indikátor použijte ručkové měřidlo na rozsahu 100 μA , evtl. 1 mA (PU 500, UNI 11e, ...)

Proveďte tato měření:

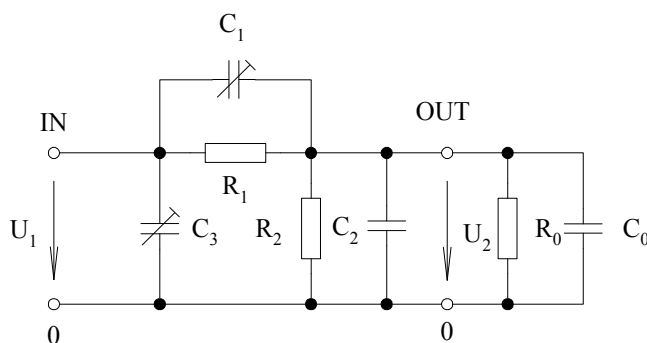
- Určete kmitočtový rozsah, v němž relativní chyba milivoltmetru nepřesahuje hodnotu $\delta [\%] = 2,5 \%$
- K milivoltmetru připojte kompenzovaný vstupní dělič z bodu A a změřte korekční křivky pro jednotlivé měřicí rozsahy (100 mV až 1 V)
- Určete třídu přesnosti nf milivoltmetru při $f = 1 \text{ kHz}$

3. Teoretický rozbor

a) vlastností měřeného předmětu

Kompenzovaný vstupní dělič

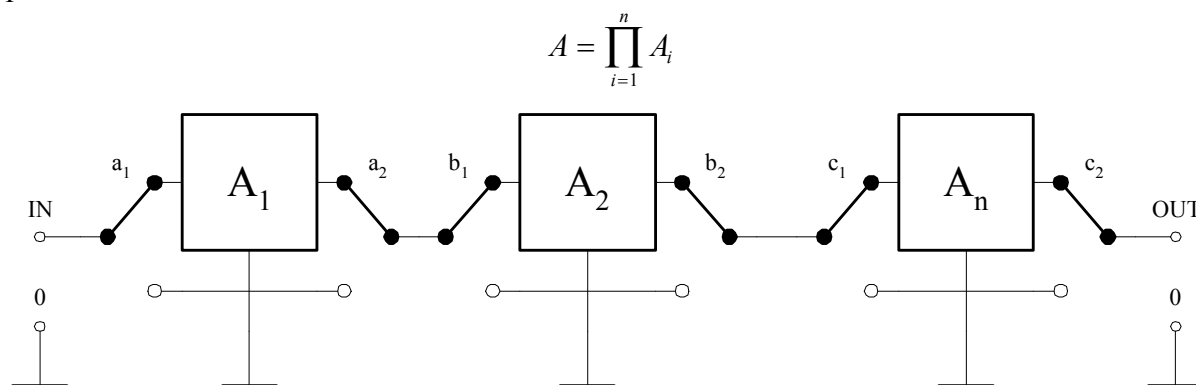
Pro rozšíření měřicího rozsahu střídavých milivoltmetrů nebo osciloskopů se používají odporové vstupní děliče s přesně definovaným dělicím poměrem (obr.31).



Obr. 31

Vzhledem k tomu, že vstupní dělič je zatížen vstupní impedancí voltmetru nebo osciloskopu (paralelní kombinací odporu R_0 a kapacity C_0) je třeba jej navrhnout jako kmitočtově kompenzovaný dělič napětí. Přenos obyčejného odporového děliče zatíženého kapacitou je totiž kmitočtově závislý, a tudíž v měřicích přístrojích (voltmetru, osciloskopu) nepoužitelný. Aby dělicí poměr kompenzovaného děliče měl požadovanou hodnotu nezávislou na kmitočtu, je nutno při návrhu počítat s danou zatěžovací impedancí, neboť na ní dělicí poměr závisí.

Při návrhu vícestupňového děliče je výhodné kaskádní řazení jednotlivých stupňů (útlumových článků) viz obr. 32, při němž výsledný přenos je součinem jednotlivých dílčích přenosů



Obr. 32

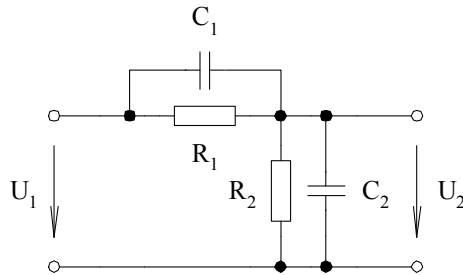
Tím se sníží počet stupňů děliče, neboť různé dělicí poměry dostaneme vhodným kombinováním několika základních poměrů (Např. pro dělicí poměry 1:1, 1:2, 1:5, 1:10, 1:20, 1: 50, 1:100 stačí pouze tři stupně 1:2, 1:5, 1:10).

Přepínání těchto článků můžeme řešit pomocí vícerozsahového přepínače s několika sekcemi, pomocí relé ovládanými elektronickými spínači ap. Princip přepínání je na obr.32.

Při kaskádním řazení děličů je každý stupeň zatěžován vstupní impedancí dalšího stupně. Aby bylo možné zapojovat základní stupně v libovolném počtu a kombinaci, je třeba zajistit, aby vstupní impedance každého stupně byla rovna jmenovité zatěžovací impedanci Z_0 :

$$Z_{IN} = Z_0 = R_0 \parallel C_0$$

Podmínku pro kmitočtovou kompenzaci děliče lze odvodit ze zapojení na obr. 33.



Obr. 33

Zapojení se skládá z odporového (R_1, R_2) a kapacitního (C_1, C_2) děliče, které jsou spojeny paralelně. Celý dělič je přitom kmitočtově kompenzován, je-li dělicí poměr obou dílčích děličů stejný. Porovnáním dělicích poměrů odporového a kapacitního děliče dostaneme:

$$R_2 \cdot C_2 = R_1 \cdot C_1$$

Návrh kompenzovaného děliče

Skutečné schema zapojení jednoho stupně kompenzovaného děliče je na obr. 31. Dělič si pro účely návrhu rozdělíme na odporovou část (R_1, R_2, R_0) a kapacitní část (C_1, C_2, C_3, C_0).

Odporová část:

Označíme-li paralelní kombinaci R_2 a R_0 jako R_Z , bude vstupní odpor děliče $R_{IN} = R_0$ roven seriové kombinaci odporů R_1 a R_Z . Ze vztahu pro dělicí poměr děliče D určíme odpor R_Z a pomocí něj odpory R_2 a R_1

Kapacitní část

Pro kompenzovaný dělič je třeba splnit podmínku kompenzace, pro náš dělič tedy musí platit:

$$R_1 \cdot C_1 = R_Z \cdot C_Z \quad \text{kde} \quad C_Z = C_2 + C_0$$

Z podmínky kompenzace vypočteme C_1 (C_2 se volí a to tak, aby i při malých dělicích poměrech D vycházela hodnota C_1 ještě prakticky realizovatelná).

Poslední podmínka, kterou je nutno splnit je požadavek rovnosti vstupní a zatěžovací kapacity.

$$C_{IN} = C_0$$

Pro její splnění použijeme korekční kapacitu C_3 , která se vypočítá jako rozdíl mezi požadovanou vstupní kapacitou C_{IN} a kapacitou kombinace kondenzátorů C_1, C_2 a C_0 .

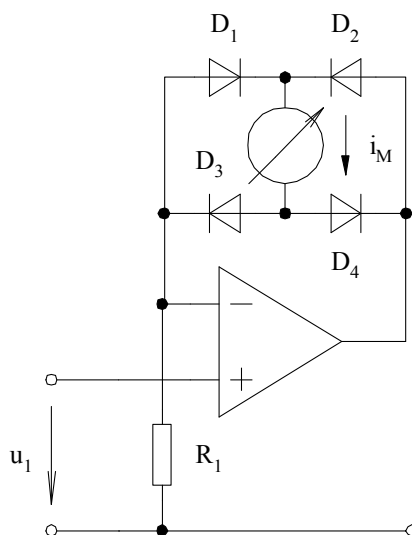
Nízkofrekvenční milivoltmetry

Při měření střídavého napětí pomocí ss měřicího přístroje musíme měřené napětí zesílit v zesilovači a převést na stejnosměrnou veličinu pomocí usměrňovače. Přitom o citlivosti stř. voltmetru a jeho frekvenčních vlastnostech rozhodují právě vlastnosti usměrňovače a zesilovače. Velmi často funkci zesilovače a usměrňovače plní jeden obvod - měřicí usměrňovač.

Široké uplatnění v měřicích obvodech mají přesné usměrňovače pro usměrnění malých střídavých napětí a proudů. Na rozdíl od výkonových usměrňovačů není u nich kladen důraz na účinnost, ale na zajištění velmi přesného lineárního vztahu mezi vstupním střídavým signálem a výstupním stejnosměrným signálem. Obvyklé usměrňovače s polovodičovými diodami nejsou pro tento účel vhodné, protože při malých napětích se velmi rušivě projevuje prahové napětí diod i úbytek napětí, který na nich v přímém směru vzniká. Zařazením diod do zpětnovazebního obvodu operačního zesilovače se jejich nelineární vlastnosti potlačí a přenosová charakteristika obvodu se linearizuje. Působení OZ spočívá v uplatnění jeho vysokého zesílení (10^5 až 10^6) do té doby, než se dioda ve zpětné vazbě otevře. Potom operační usměrňovač s jednotkovým zesílením začíná usměrňovat napětí řádově mikrovoltů, což je pod úrovní napětí jiných chybových zdrojů. Prahové napětí, které má u křemíkových diod typickou hodnotu 600 mV, se sníží na úroveň řádově mikrovoltů a usměrňovač lze realizovat s přesností lepší než 0,01 %. Přesné usměrňovače s operačními zesilovači se někdy nazývají operační usměrňovače.

Na obr. 34 je nf milivoltmetr s můstkovým neinvertujícím usměrňovačem. Ampérmetr s můstkovým diodovým usměrňovačem je zde zapojen ve zpětnovazební větvi zesilovače. Při rovnosti potenciálů na obou vstupech se musí napětí na invertujícím vstupu rovnat vstupnímu napětí u_1 . Rezistorem R_1 proto prochází proud

$$i_1 = \frac{u_1}{R_1}$$



Obr. 34

Předpokládáme-li nulový vstupní klidový proud zesilovače, bude stejný proud procházet i obvodem ampérmetru, nezávisle na velikosti úbytků napětí na diodách a měřidle. Proud i_M

procházející měřicím přístrojem je usměrňován můstkovým usměrňovačem tak, že má stále stejný směr. Ampérmetr měří střední hodnotu usměrněného proudu

$$I_{MS} = \frac{U_{1S}}{R_1}$$

kde I_{MS} , U_{1S} jsou střední hodnoty proudu měřidlem a vstupního napětí
Pro efektivní hodnotu proudu tekoucí měřicím přístrojem platí:

$$I_M = \frac{U_1}{R_1}$$

Jelikož však I_M představuje efektivní hodnotu střídavého harmonického proudu, ale ve skutečnosti stejnosměrný měřicí přístroj měří střední hodnotu dvoucestně usměrněného průběhu, musíme předcházející vztah upravit:

$$I_{MS} \cdot k_t = \frac{U_1}{R_1}$$

Z toho pro odpor R_1 platí:

$$R_1 = \frac{U_1}{I_{MS} \cdot k_t} = \frac{U_1}{1,11 \cdot I_{MS}}$$

$k_t \dots$ je činitel tvaru - poměr mezi efektivní a střední hodnotou střídavého signálu (pro harmonický signál 1,11)

Přesnost měření je omezena jen třídou přesnosti ampérmetru a vstupním napětíovým a proudovým ofsetem operačního zesilovače. Vlivy úbytků napětí na diodách a měřidle jsou potlačeny tím více, čím větší je stejnosměrné rozdílové zesílení zesilovače A_0 . Velikost vstupního odporu milivoltmetru lze upravit připojením odporu R_0 paralelně ke vstupu usměrňovače.

Pozor !!

Při návrhu nf milivoltmetru s operačním usměrňovačem si musíme uvědomit, že stejnosměrný měřicí přístroj na výstupu **usměrňovače měří střední hodnotu** usměrněného napětí nebo proudu, velikost měřeného střídavého napětí však **udáváme v efektivní hodnotě**. Z tohoto důvodu je nutné navrhovat zesílení operačního usměrňovače, příp. zesilovače k_t krát větší (k_t je činitel tvaru pro sinusový průběh, $k_t = U_{ef}/U_s$). Údaj milivoltmetru pak ale bude správný jen při měření napětí sinusového průběhu.

Vlastnosti operačního usměrňovače obecně ovlivňují všechny součástky jeho obvodu. Rezistory musí mít velkou poměrovou přesnost a stálost; pro většinu aplikací vyhoví přesné rezistory s kovovou vrstvou, popř. vícenásobné destičkové rezistory. U diod požadujeme malý závěrný proud, malou kapacitu přechodu a krátkou zapínací i vypínací dobu. Tyto vlastnosti splňují rychlé spínací křemíkové diody (KA 206S, KA 221 až KA 225 aj.). Operační zesilovač musí mít dobré statické i dynamické vlastnosti. Ofset a drift se přímo projeví odpovídajícím chybovým napětím na výstupu. Tranzitní frekvence má vliv na šířku pásma, ve kterém operační zesilovač pracuje s danou přesností. Důležitá je velká mezní rychlost průběhu, protože má vliv na dobu, kterou zesilovač potřebuje k překonání oblasti asi ± 600 mV, kdy jsou diody vlivem prahového napětí zavřeny.