

NÍZKOFREKVENČNÍ A STEJNOSMĚRNÝ VOLT- A MILIVOLTMETR

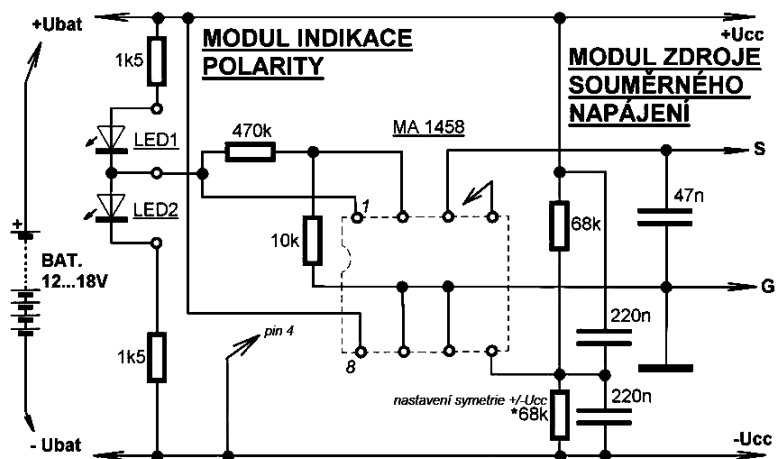
Hill, únor 2005 (opravená verze)

Předkládané schéma vypadá, že se hodí spíše pro nostalgiky, ale není tomu tak. Především ne vždy je totiž digitální multimetr tím nejvhodnějším typem měřidla pro danou měřicí metodu. V některých případech je vhodné vědět, zda a jak se úroveň napětí mění, což je stav, který může digitální přístroj snadno „přeskočit“ v důsledku konečné rychlosti vzorkování.

Napájení přístroje je bateriové: spotřeba není velká, takže 8 až 12 tužkových článků nebo dvě destičkové baterie 9V vydrží poměrně dlouho. Navíc odpadá nebezpečí zavlečení rušivých napětí ze sítě.

Přístroj je rozkreslený do modulů, které lze přednastavit jednotlivě:

- První modul zastává dvě funkce a je osazený dvojitým operačním zesilovačem. Jeden z nich je zapojený jako sledovač napětí a zajišťuje **vytvoření umělé země G**, která pro účely měření slouží jako nulový potenciál. Bylo by samozřejmě možné rozdělit sadu napájecích článků napůl a z jejich „středu“ tuto zem vyvést. Nelze však současně zajistit dostatečně stabilní nulu měřidla při nerovnoměrném vybíjení jednotlivých článků. Použitý obvod udržuje na „zemi“ G polovinu napětí baterie. Tu lze vhodným výběrem hodnot rezistorů 68k nastavit velmi přesně, i když, jak už bylo řečeno, zde jde především o stabilitu tohoto potenciálu, trvalá absolutní odchylka od poloviny napájecího napětí do $\pm 0,2V$ ještě nehraje roli. Takto vzniklý zdroj souměrného napájení je pak k dispozici pro oba další moduly.
- Protože, jak později zmíním, je usměrňovač měřidla trvale připojený, neúčastní se měřidlo samotné **indikace polarity měřeného napětí** a musíme ji zobrazit jinak. To zajišťuje druhý OZ v IO 1458, na jehož neinvertující vstup je přivedený signál z výstupu **S** desky měřidla. Vnějšími rezistory je nastavené zesílení asi 47, což bohatě stačí k tomu, aby již při malé výchylce ručky měřidla jedna z LED spolehlivě zhasla. Při měření střídavých napětí pak svítí (blikají) obě LEDky střídavě.



Modul měřidla je osazený rychlým operačním zesilovačem MAB357 nebo jeho ekvivalentem s vysokým vstupním odporem. Měřidlo (použit systém METRA MP120, 40 μA , odpor cívky 6600 Ω) je zapojené v příčce můstku sestaveného ze dvou germaniových diod s přivařeným zlatým hrotem, které se vyznačují malým úbytkem napětí v propustném směru, a dvou párovaných odporů. Tyto odpory sice snižují citlivost měřidla, ale uplatňují se současně jako tlumicí prvek. Systém má totiž poměrně dlouhou ručku a tomu odpovídající hmotnost vyvažovacího členu, takže nízké kmitočty měřeného signálu by mohly vyvolat značné dynamické namáhání systému.

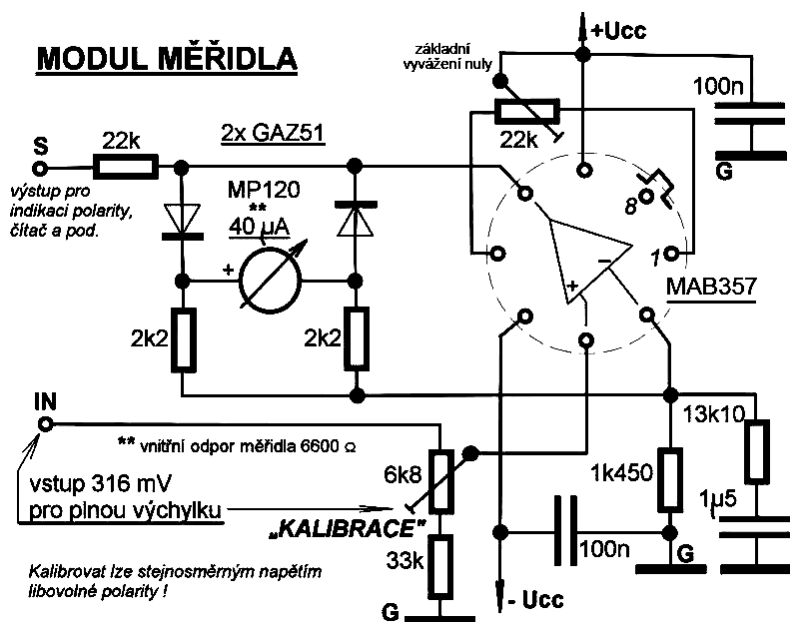
Můstek s měřidlem je zapojený ve smyčce záporné zpětné vazby, která se vůči němu chová jako téměř dokonalý zdroj konstantního proudu. Tím se omezuje vliv nelinearity diod na méně, než 1% plné výchylky měřidla a linearita na kterémkoli místě stupnice je dána linearitou samotného měřidla.

Citlivost na vstupu měřicího modulu je tedy dána vazebním odporem (zde 1k45, nejlépe vybraný z více rezistorů hodnoty 1k5). Pro co nejjednodušší kalibraci se modul nastaví jen jednou: nejdříve se trimrem 22k nastaví ručka měřidla na nulu, pak se na vstup připojí stejnosměrné napětí 316mV (libovolné polarity) a trimrem 6k8 na vstupu se „dotáhne“ na plnou výchylku.

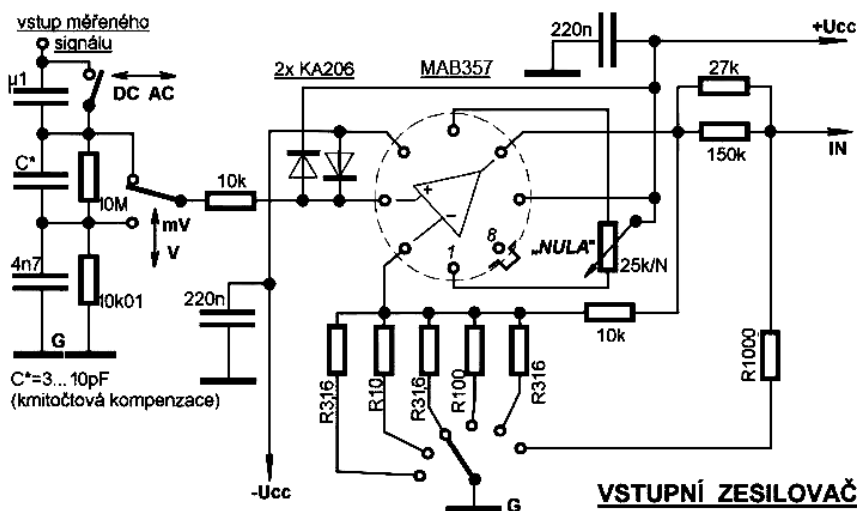
Při měření střídavého napětí ale měřidlo ukazuje jeho střední hodnotu, nikoli efektivní, v níž se obvykle uvádí úrovně napětí sinusového průběhu. Potřebnou úpravu citlivosti zajišťuje sériový RC člen, kterým je přemostěný vazební odpor. Odpor 13k1 není v řadě, nezbyvá, než složit či vybrat z více kusů. Kondenzátor je třeba bezindukční svitkový nebo kvalitní keramický. Při měření sinusového průběhu toto uspořádání plně vyhovuje. Při nejnižších kmitočtech se už začne uplatňovat reaktance kondenzátoru – s použitou kapacitou 1μ5 je chyba měření při 20Hz menší, než -0,3dB.

Pro jiný průběh signálu, než harmonický, je samozřejmě nutné počítat s tím, že měřidlo ukazuje o 11% více, než je střední hodnota měřeného napětí.

Výstup S je určený k rozlišení polarity měřeného signálu.



Patrně nejnáročnější na nastavení a výběr součástek je **vstupní zesilovač**. Je nutné mít na paměti, že bude pracovat do vstupního odporu zesilovače měřidla, který by měl být pokud možno přesně 39k8. Dvojice paralelně řazených rezistorů na výstupu vstupního zesilovače (ve schématu odpory 150k a 27k) je třeba vybrat tak, aby jejich celkový odpor byl 22k88 nebo se od této hodnoty lišil jen nepatrně.



Pro všechny rozsahy (mimo rozsah 1000mV) platí, že na pinu 6 OZ vstupního zesilovače je 500mV, má-li být na vstupu měřicího modulu napětí 316mV. Přepínačem rozsahů se mění hodnota příčného odporu ve zpětné vazbě, čímž se změní zisk zesilovače.

Krok přepínání rozsahů je zvolen po 10dB, každé přepnutí rozsahu znamená 3,16x vyšší nebo nižší citlivost. Na rozsahu 1000 pracuje OZ jako sledovač s jednotkovým zesílením, pro plnou výchylku je na jeho výstupu napětí 1V a přepínač v této poloze připojí další odpor, kterým zatíží dělič na vstupu měřicího modulu (R_{1000}) tak, aby na vstupu IN bylo opět napětí 316mV. Toto uspořádání dovoluje použít v přepínači odpory malých hodnot, vůči nimž se parazitní kapacity uplatní až v oblasti kmitočtů, na nichž stejně vzhledem k vlastnostem použitých OZ nelze zaručit dostatečnou linearitu ani přesnost.

Je otázkou, jak často využijeme rozsah 3,16mV, ale vyšší citlivost postrádá smysl a toto uspořádání se ukázalo jako nejschůdnější: pro měření napětí nad 1V je na vstupu zařazený **dělič napětí 1:1000**, kterým se sníží citlivost o 60dB. Jinak řečeno, zde se volí mezi volty a milivolty. Je tedy zjevné, že nejvyšší rozsah je do 1000V a tomu je třeba podřídit i dimenzování odporu 10M v děliči (nejlépe složit ho z více sériově řazených jednotlivých rezistorů) a kompensační kondenzátor C* by měl snést alespoň 2kV (o tomto kondenzátoru ještě bude řeč: nejlepší stav je ten, kdy ho lze vynechat). Kondenzátor pro oddělení stejnosměrné složky stačí na menší napětí, ale nejméně 1 kV= vřele doporučuji. Rovněž tak je třeba věnovat pozornost dimenzování a izolaci vstupních svorek, přepínače V/mV a spínače AC/DC.

Rezistory pro přepínač rozsahů lze jen stěží vybrat z dostupných hodnot. Proto je dále uvedena tabulka se seznamem sériových kombinací odpor + trimr. Hodnoty tak jsou v malých mezích, potřebných pro kalibraci, nastavitelné.

V každém případě doporučuji použít rezistory s kovovou vrstvou. Trimry přednostně cermetové, ale v zásadě ani s uhlíkovými by neměly být potíže.

Měřidlo lze nulovat u obou zesilovačů: v modulu měřidla pomocí trimru pro nastavení offsetu operačního zesilovače se vynuluje jen jednou, a to se zkratovaným vstupem **S** na zem **G**. V modulu vstupního zesilovače je trimr nahrazený potenciometrem, ačkoliv po prvním seřízení obvykle dlouho není třeba nastavení měnit, přesto je vhodné jeho osičku vyvést tak, aby kvůli případné korekci nebylo nutné rozebírat celý přístroj. Vstupní zesilovač i s přepínači rozsahů doporučuji umístit do stínící krabičky z bílého plechu dobře spojenou se zemí **G**.

REZISTORY K PŘEPÍNAČI ROZSAHŮ

ROZSAH		OZNAČENÍ REZISTORU	POŽADOVANÝ ODPOR	SÉRIOVÁ KOMBINACE	
dB	V, mV			PEVNÝ ODPOR	TRIMR
+10 / -50	3,16	R3,16	63,86 Ω	56 Ω	22 Ω
+20 / -40	10	R10	204,9 Ω	180 Ω	47 Ω
+30 / -30	31,6	R31,6	677,0 Ω	680 Ω ←	(výběr)
+40 / -20	100	R100	2 513 Ω	2k2	680 Ω
+50 / -10	316	R316	17 360 Ω	15k	4k7
+60 / 0	1000	R1000	14 410 Ω	12k	4k7

Platí v případě, že rezistory 10k, 27k a M15 v modulu předzesilovače byly vybrány co nejbližší k hodnotám požadovaným v textu a součet odporu 33k a trimru KALIBRACE činí pokud možno přesně 39k8.

Tabulka a schéma způsobu propojení jednotlivých modulů tedy uzavírají všechny potřebné informace. Ještě zbývá dodat, že dělič 1:1000 na vstupu je třeba kmitočtově kompenzovat – měření napětí nad 1V by totiž jinak bylo na kmitočtech nad asi 6kHz zatížené rostoucí odchylkou. Málokdo dokáže s vyhovující přesností odhadnout vliv parazitních

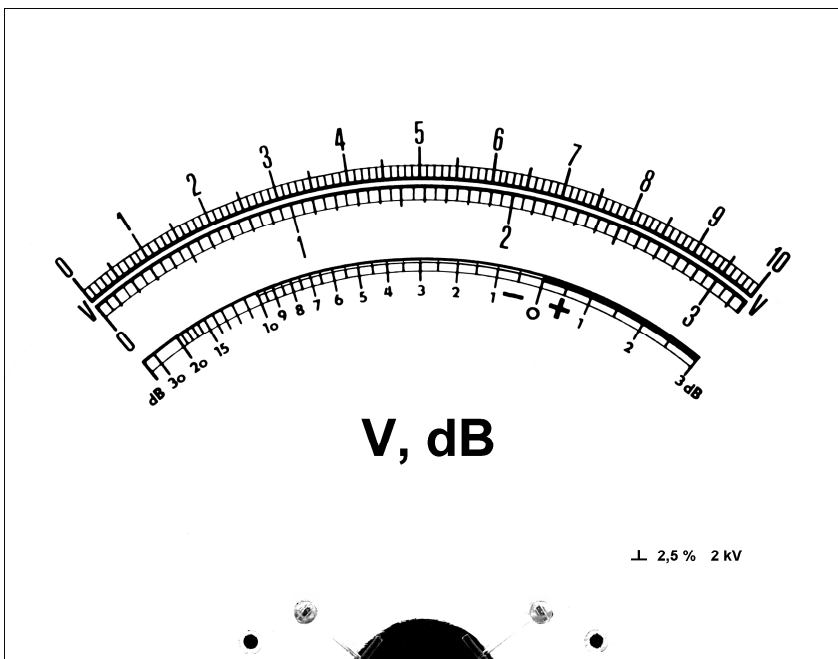
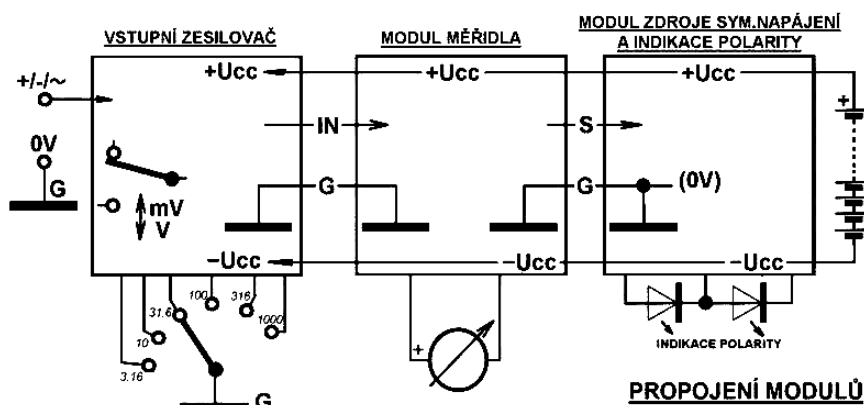
kapacit, které právě při vyšších kmitočtech způsobí změnu dělicího poměru tím, že jedna z nich vytváří z odporu $10\text{M}\Omega$ paralelní člunek RC s poměrně velkou časovou konstantou.

K výběru vhodných kapacit poslouží generátor obdélníkového průběhu a osciloskop.

Pokud by docházelo k zaoblení přechodů, lze vyměnit kondenzátor $4\text{n}7$ za jiný s nižší kapacitou nebo zvětšit kapacitu C^* , tu však je škoda zbytečně zvyšovat. Ideální stav by byl bez kondenzátoru C^* a dělič vykompenzovaný pouze „dolním“ kondenzátorem.

Při měření na milivoltových rozsazích se vliv parazitních kapacit přepínače a vstupního děliče projevuje až v oblasti nad 300kHz , pro kterou není přístroj určen – od 200kHz nahoru se už na snížení přesnosti projevují i ostatní vlivy, zejména rychlost přeběhu použitých operačních zesilovačů.

P.S.: pokud se někdo divíte, proč kreslím schémata tak neobvykle, odhalíte důvod, až začnete navrhovat plošný spoj (pokud návrh nesvěříte programu). Všechny součástky totiž kreslím při pohledu zespodu na vývody, takže jejich pořadí odpovídá pohledu na spoje. Komu nepřišlo k srdci pohled na rozmístěné součástky a zrcadlové převrácení obrazce, jistě to ocení.



Na závěr ještě stupnice – obě pro měření napětí mají jednotkové dělení, přičemž jedna má 100 dílků na plnou výchylku, druhá pak 63 dílků (po polovině jednotky do 31,5), přičemž poslední ryska neodpovídá ještě plné výchylce: hodnota 31,6277 by se přece jen dost špatně četla. Vzájemný poměr dělení obou stupnic ale právě odpovídá kroku 10dB , takže na stupnici úrovní stačí jen přečíst hodnotu a decibely přičítat nebo odečítat.

Stupnice pro MP120 má rozměr $111 \times 86,5 \text{ mm}$, to pro případ, že si vytvoříte vlastní stupnici sami, protože v použitém rozlišení je kvalita poněkud nevalná.

Mechanická konstrukce je podmíněná dostupným měřidlem, proto neuvádím ani její ukázkou. Stejně tak odpory v můstku usměrňovače a vazební člunek v invertujícím vstupu zesilovače měřidla je nutné přepočítat v závislosti na vnitřním odporu a citlivosti použitého systému.