

# Číslicové meracie prístroje

## Obsah:

1. Teória číslicových meracích prístrojov
2. Merania s číslicovými meracími prístrojmi

## 1. Teória číslicových meracích prístrojov

### 1.0 Úvod

V roku 1953 boli na trh uvedené prvé číslicové voltmetre. Boli to objemné a nákladné prístroje, určené pre špeciálne laboratóriá. Koncom 60. rokov sa číslicová technika uplatnila v širšom merítke. Boli objavené nové metódy analógovo/číslícového(a/č) prevodu a súčiastková základňa bola obohatená o číslicové integrované obvody a operačné zosilňovače. Tie dovolili podstatne znížiť počet súčiastok a tiež rozšíriť funkčné možnosti týchto prístrojov. S rastúcou integráciou jednotlivých obvodov sa rozmery zmenšili a teraz možno vidieť číslicové meracie prístroje(čmp) od vreckového prevedenia až po objemnejšie prístroje.

ČMP poskytujú hodnotu meranej veličiny v číselnej forme na indikačnom paneli prístroja.

ČMP je prístroj, ktorý v procese merania vykonáva operáciu kvantovania meranej veličiny, jej číslicové kódovanie a znázorňuje výsledky merania v číslicovom tvare priamo ako číslo alebo kód.

Meraná informácia môže mať len určitý vopred zvolený počet diskretných hodnôt.

Meranú veličinu nie je možné merať trvalo, pretože prevod analógovej hodnoty na diskretnú hodnotu vyžaduje určitý čas.

### 1.1 Prednosti číslicových meracích prístrojov

#### 1.1.1 Rýchlosť a presnosť čítania veľkosti meranej veličiny

Pri čítaní údajov z analógového meradla musíme najprv skontrolovať polaritu meranej veličiny, potom musíme určiť meraný rozsah, prečítať hodnotu v dielikoch a vynásobiť konštantou. Pritom často dochádza k chybe spôsobenej čítaním z rôznych uhlov.

Údaj čítaný z ČMP sa číta i s polohou desatinnej čiarky okamžite spolu s údajom o polarite.

#### 1.1.2 Možnosť automatickej volby polarity a rozsahov

Veľká väčšina ČMP je vybavená automatickým prepínaním rozsahov, čím sa zjednodušuje a zrýchľuje meranie.

#### 1.1.3 Presnosť a linearita merania

Klasické analógové meracie prístroje majú presnosť okolo 1 - 0,1%. ČMP merajú bežne s presnosťou 0,1 - 0,001%, to isté platí aj o linearite merania.

#### 1.1.4 Potlačenie rušivých signálov

U ČMP sa používajú také metódy č/a prevodu, ktoré bez použitia vstupných filtrov umožňujú potlačiť rušivé signály superponované na meranej veličine. Vhodným usporiadaním vstupných obvodov sa potláčajú aj súhlasné napätia, objavujúce sa na svorkách zdroja meraného napätia.

#### 1.1.5 Odolnosť proti preťaženiu

ČMP sú spravidla vybavené obvodmi pre automatickú ochranu proti preťaženiu, takže na ich vstup možno priviesť až tisíckrát väčší signál než odpovedá zvolenému rozsahu. Bezprostredne po odstránení preťaženia je prístroj schopný správne merať.

#### 1.1.6 Vstupný odpor

Vstupný odpor u analógových meracích prístrojoch býva bežne 20 - 200k $\Omega$ /V.

ČMP majú na nižších rozsahoch odpor cca 10000M $\Omega$ , na vyšších rozsahoch cca 10M $\Omega$ . To má veľký vplyv na presnosť merania, najmä napätí na veľkých impedanciách.

#### 1.1.7 Rýchlosť merania

U analógových meracích prístrojoch je rýchlosť merania určená predovšetkým dobou ustálenia ručičky - rádovo sekundy.

U ČMP je to iba doba prevodu vstupnej analógovej veličiny na číslicový údaj. Bežné ČMP majú dobu prevodu v rozmedzí 20 - 300 ms, čo umožňuje sledovať pomaly sa meniace signály a pomocou vzorkovacích obvodov i rýchle sa meniace signály a krátke napätové impulzy.

#### 1.1.8 Možnosť záznamu výsledkov merania

Číslicový údaj úmerný meranej veličine je možno vyviesť z ČMP vo forme binárneho kódu a vkladať do procesorov.

#### 1.1.9 Možnosť prenosu výsledkov merania na veľké vzdialenosti

Prenos analógových signálov vedením je možný len do určitej vzdialenosti. Na túto vzdialenosť má vplyv veľkosť prenášaného signálu, veľkosť rušenia a útlm vedenia, preto je výhodný ich prevod na binárne signály.

#### 1.1.10 Elektrické veličiny, ktoré môžu ČMP merať

- jednosmerné napätie
- striedavé napätie
- jednosmerný prúd
- striedavý prúd
- odpor
- kapacitu
- indukčnosť
- frekvenciu
- periódu, ...

## 1.2 Základné vlastnosti číslicových meracích prístrojov

### 1.2.1 Presnosť

Zdroje chýb ČMP môžeme rozdeliť do dvoch skupín:

- a) pevné chyby, tj. chyby nezávislé na veľkosti vstupného signálu. Tieto chyby sú spôsobené napr. posunutím nuly vstupného zosilňovača, šumovými vlastnosťami meracieho prístroja, zbytkovým napätím spínačov a pod.
- b) chyby úmerné veľkosti vstupného signálu. Sú spôsobené chybami zisku zosilovača, vstupného deliča, vnútorného referenčného napätia a pod. Tieto chyby sa prejavujú najmä pri meraní hodnôt blízky maximálnym hodnotám zvoleného rozsahu.

Pevné chyby sa vyjadrujú v % z meracieho (plného) rozsahu FS (full scale).

Chyby úmerné veľkosti vstupného signálu sa vyjadrujú v % z meraného údaju R (reading).

Medzi pevné chyby zaraďujeme aj tzv. chyby kvantovania. Tieto chyby sú spoločné pre všetkým ČMP. Chyba kvantovania je spôsobená tým, že diskrétna hodnota číslicového údaja sa môže líšiť od meranej analógovej hodnoty až o polovicu hodnoty najnižšej číslice (čísllice s najnižším rádom).

Z hľadiska používateľa je dôležitejšia presnosť z plného rozsahu FS.

### 1.2.2 Potlačenie rušivých signálov

Rušivé signály vyskytujúce sa pri meraní elektrických veličín môžeme rozdeliť do dvoch skupín:

- súhlasné rušivé signály - CMRR (common mode)
- sériové rušivé signály - NMRR (normal mode)

Toto rozdelenie vyplýva zo spôsobov zapojenia zdroja rušivého signálu voči zdroju meraného signálu.

Schopnosť meracieho prístroja potlačovať vplyv rušivých signálov je

$$\text{definovaná: } \begin{aligned} CMRR &= 20 \log \frac{U_{cm}}{\Delta U} \\ NMRR &= 20 \log \frac{U_{nm}}{\Delta U} \end{aligned} \quad [ \text{ dB } ]$$

### 1.2.3 Vstupná impedancia

ČMP s presnosťou 0,1% by mal mať vstupný odpor najmenej  $10\text{M}\Omega$ , čo umožňuje merať signály zo zdrojov s vnútorným odporom do  $10\text{k}\Omega$ . Vstupný prúd prístroja s citlivosťou  $1\text{mV}$  by nemal byť väčší než  $100\text{nA}$ .

### 1.2.4 Teplotná a dlhodobá stabilita

ČMP musí byť schopný uchovať si svoje parametre a najmä presnosť po určitú dobu a v určitom teplotnom rozsahu.

Dlhodobá stabilita je spravidla definovaná presnosťou zaručovanou po dobu 90 dní, alebo 1 rok. Potom je nutné prístroj znovu prekalibrovať.

Presnosť pri ľubovolnej teplote sa určí teplotným koeficientom  $TK$ , ktorý sa udáva v % alebo  $^{\circ}\text{C}$

## 1.3 Prehľad metód číslicového merania

### 1.3.1 Kompenzačná metóda

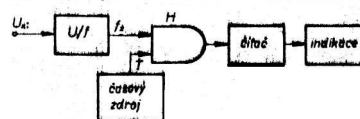
Túto metódu nazývame tiež aj metódou postupných aproximácií. Patrí k najstarším a dodnes sa používa najmä u rýchlych a/č prevodníkov.

### 1.3.2 Metóda pílovitého prevodu

Tento spôsob prevodu a/č sa často používal u lacnejších voltmetrovo.

### 1.3.3 Integračná metóda s medziprevodom na frekvenciu

Merané napätie  $U_x$  sa najprv prevádza na frekvenciu prevodníkom napätie/frekvencia ( $U/f$ ). Kmity  $f_x$  sa potom privádzajú cez hradlo  $H$  do čítača po dobu  $T$ . Interval  $T$  závisí na činnosti časového zdroja. Ak bol čítač na začiatku intervalu  $T$  je úmerný meranému napätiu  $U_x$ .



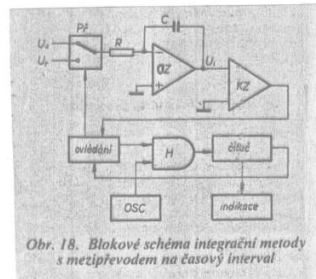
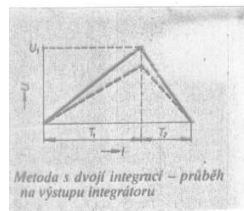
### 1.3.4 Integrovaná metóda s medziprevodom na časový interval

Tiež nazývaná ako metóda s dvojitou integráciou.

Celý prevod možno rozdeliť do dvoch časových intervalov  $T_1$  a  $T_2$ . Po dobu  $T_1$  je vstupným prepínačom  $Pr$  pripojené na vstup integrátora merané vstupné napätie  $U_x$ . Napätie  $U_i$  sa lineárne zväčšuje.

Počas intervalu  $T_2$  je na vstup integrátora pripojené referenčné napätie  $U_{REF}$  opačnej polarity vzhľadom k  $U_x$ . Napätie  $U_i$  sa lineárne znižuje až na konci  $T_2$  dosiahne nulu.

Pretože  $U_{REF}$  a  $T_1$  majú konštantnú veľkosť, je  $U_x$  priamo úmerné  $T_2$ , teda časovému intervalu, počas ktorého bolo pripojené  $U_{REF}$ .



#### 1.3.5 Integrovačno/kompenzační metoda

Vyvinutá firmou Hewlett Packard

#### 1.3.6 Metóda s vyrovnávaním náboja

Používa ju firma Keithley

#### 1.3.7 Modulácia delta

Vyvinutá firmou Philips špeciálne pre obvody MOS LSI

### 1.4 Prevodníky číslicových meracích přístrojov

Popísané metody a/č sa týkali prevodu jednosmerného napätia na číslicový údaj. Ostatné elektrické veličiny sa spravidla najprv prevádzajú na jednosmerné napätie a až potom na číslicový údaj.

Pri meraní striedavých veličín musíme tieto previesť na jednosmerné. Výhodou je, že nezáleží na tom, či meriame jednosmerné alebo striedavé napätie, a taktiež na polarite napätia. Pritom druh meraného napätia a polaritu ukáže display.

#### 1.4.1 Prevodník odpor/napätie

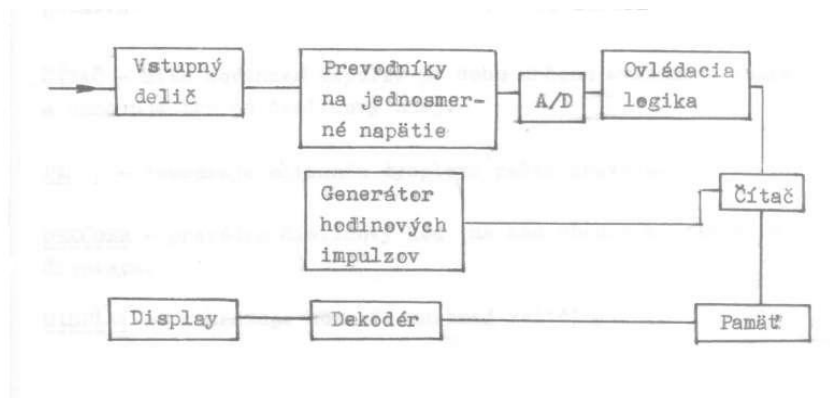
Zo zdroja konštantného prúdu tečie cez neznámy odpor presne určený prúd, pričom na tomto odpore vzniká úbytok napätia, ktorý sa odmeria.

Neznámy odpor možno tiež zaradiť do obvodu spätnej väzby operačného zosilňovača, tým sa nastaví zosilnenie známeho napätia na vstupe operačného zosilňovača a z výstupu odoberáme napätie.

## 1.4.2 Prevodník prúd/napätie

Meraný prúd vytvára na známom odpore úbytok napätia, ktorý potom meriame.

## 1.5 Základná bloková schéma číslicového meracieho prístroja



### 1.5.1 Vstupný delič

Prispôsobuje veľkosť meraného signálu v rozsahu ďalších obvodov prístroja.

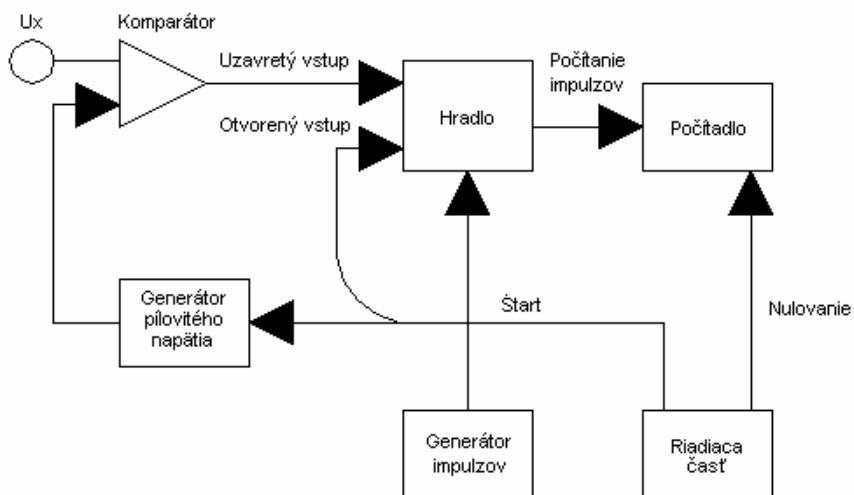
Väčšinou obsahuje napäťový delič. Ak sa jedná o čítač impulzov, spravidla tento blok ešte obsahuje tvarovač signálu, delič frekvencie a pod. V číslicovom voltmetri môžu byť zapojené filtračné obvody alebo aj vzorkovacie obvody, ak sa jedná o prístroj s rýchlym prevodom.

### 1.5.2 Prevodníky na jednosmerné napätie

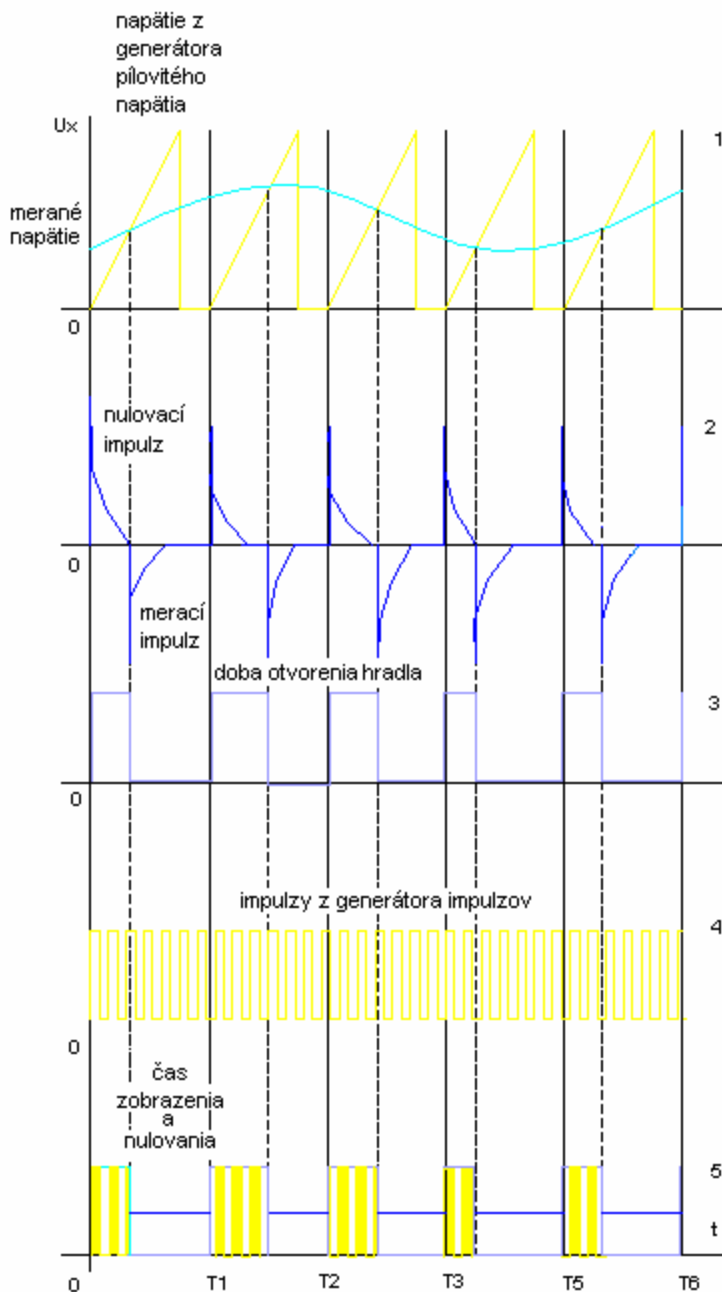
Signál zo vstupného deliča ide do vstupného zosilňovača, ktorý je vybavený kompenzáciou vstupného prúdu a ochranou proti preťaženiu, potom nasleduje prepínač jednotlivých režimov, ktorý spína jednotlivé prevodníky, pričom v obvode merania napätia je prevodník na absolútnu hodnotu.

Prevádza veľkosť jednosmerného napätia na číslicový údaj.

1.5.3.1 Blokové zapojenie A/Č prevodníka s pílovitým priebehom napätia:



1.5.3.2 Napätové prevodníka priebehom



diagramy A/Č s pílovitým napätia:

1. časové priebehy meraného napätia a napätia vytváraného generátorom pílovitého napätia
2. po spustení riadiacim impulzom alebo nulovacím impulzom začne narastať pílovitý priebeh z nulovej hodnoty
3. riadiaci impulz súčasne otvára hradlo
4. generátor impulzov generuje impulzy
5. impulzy prechádzajú otvoreným hradlom. Hodnota počítadla sa zobrazí na displayi. Potom sa počítadlo vynuluje, aby bolo pripravené na ďalšie počítanie impulzov.

#### 1.5.3.3 Popis činnosti:

Merané napätie  $u_x$  privedieme na jeden vstup operačného zosilňovača (komparátor meraného napätia).

Na druhý vstup pripojíme výstup z generátora pílovitého priebehu napätia.

K nárastu napätia generátora predchádza štartovací impulz z riadiacej časti.

Ten istý štartovací impulz otvára hrdlový obvod za komparátorom.

Z impulzového generátora cez otvorené hrdlo všetky impulzy postupujú do číslicového počítadla.

Merací napäťový komparátor vyšle impulz v okamihu rovnosti rastúceho pílovitého napätia a meraného napätia.

Riadiaci obvod po určitom čase vynuluje počítadlo a vyšle nový štartovací impulz na generátor pílovitého priebehu napätia a súčasne na hradlový obvod - ZAČÍNA SA NOVÁ PERIÓDA MERANIA.

#### 1.5.4 Ovládacia logika

Jej úlohou je privádzať hodinové impulzy na vstup čítača tak, aby doba čítania bolo úmerná meranému napätiu.

#### 1.5.5 Čítač

Číta hodinové impulzy po dobu určenú ovládacou logikou a upravuje ich na číslicový údaj.



### 1.5.6 Pamäť

Zamedzuje blikaniu displeya počas prevodu.

### 1.5.7 Dekóder

Prevádza číslícový kód na kód vhodný k ovládaniu displeya.

### 1.5.8 Displey

Zobrazuje hodnotu meranej veličiny.

## 2. Merania s číslicovými meracími prístrojmi

### 2.0 Meranie frekvencie a periódy signálu univerzálnym čítačom

#### 2.0.1 Zadanie:

1. Oboznámte sa s obsluhou a použitím čítača G.2001.500. Z návodu si opíšte hlavné technické údaje čítača, ktoré udáva výrobca.
2. Zistite citlivosť čítača G.2001.500.
3. Čítačom G.2001.500 odmerajte frekvenciu signálu z RC generátora BK 124 pri nastavení 20 Hz, 100 Hz, 1 kHz a 50 kHz. Meranie vykonajte dvoma metódami:
  - priamym meraním frekvencie signálu
  - meraním periódy signálu

#### 2.0.2 Čítač G.2001.500

##### 1. Meranie frekvencie:

- rozsah: 10 Hz - 60 MHz

- rozlíšiteľnosť: 1 kHz, 100 Hz, 10 Hz, 1 Hz.
- chyba časovej základne: +/- 1 čítací krok

## 2. Meranie dĺžky periódy:

- rozsah: 5 $\mu$ s - 100ms
- činiteľ strednej hodnoty: 10, 100, 1000, 10 000
- rozlíšiteľnosť: 1 $\mu$ s, 100ns, 10ns, 1ns

### 2.0.3 Zhodnotenie

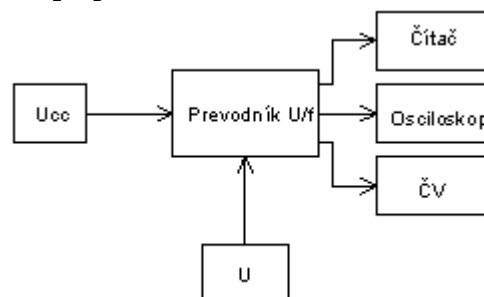
Čítač G.2001.500 je vhodný pre meranie frekvencie signálu pri vyšších frekvenciách priamym meraním frekvencie signálu a pri nižších frekvenciách meraním periódy signálu.

## 2.1 Meranie prevodníka napätie/frekvencia

### 2.1.1 Zadanie

1. Zoznámte sa s princípom predloženého U/f prevodníka
2. Odmerajte jeho prevodové charakteristiky  $f = f(u)$  pri napájacom napätí +/- 12V a +/- 8V a znázornite ich graficky
3. Z obrazovky osciloskopu odkreslite časový priebeh výstupného napätia prevodníka

### 2.1.2 Bloková schéma zapojenia



### 2.1.3 Zhodnotenie

Zmenou vstupného napätia sa priamoúmerne mení i frekvencia. Pri zvyšovaní vstupného napätia sa zvyšuje frekvencia a perióda sa zmenšuje. Zmenou napájacieho napätia (z nižšieho na vyššie) stúpa amplitúda signálu, frekvencia a perióda sa mení minimálne.

## 2.2 Meranie prevodníka odpor/napätie

Marek Heteš	4.D	Komplexná práca č.: 3/IV	Strana č.: 9/11
-------------	-----	--------------------------	-----------------

### 2.2.1 Úvod

K číslicovému meraniu odporov môžeme využiť číslicový voltmeter, ku ktorému pridáme prevodník, ktorého výstupné napätie bude úmerné veľkosti pripojeného meraného odporu. K tomuto účelu môžeme použiť operačný zosilňovač, do ktorého spätnej väzby je zapojený meraný odpor. Platí:

$$U_2 = -\frac{R_x}{R_1} \cdot U_1 \Rightarrow R_x = -\frac{U_2}{U_1} \cdot R_1 \quad [\Omega]$$

$U_1$  vstupné napätie operačného zosilňovača

$U_2$  výstupné napätie operačného zosilňovača

$R_1$  odpor zapojený na vstupe operačného zosilňovača

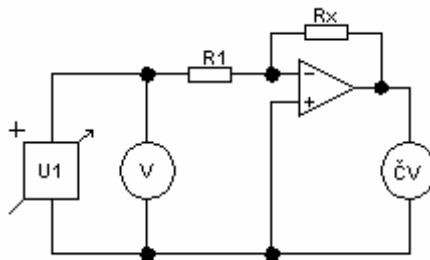
$R_x$  meraný odpor

Na presnosť merania odporu má vplyv presnosť odporu  $R_1$ , stálosť napätia  $U_1$ , vlastnosti použitého operačného zosilňovača a presnosť použitého voltmetra.

### 2.2.2 Zadanie

1. Pomocou prevodníka odpor/napätie z číslicového voltmetra odmerajte rezistory odporovej dekády v rozsahu:
  - 0 až  $1500\Omega$ , odpor  $R_1=1k\Omega$
  - 0 až  $100k\Omega$ , odpor  $R_1=100k\Omega$

### 2.2.3 Schéma zapojenia



### 2.2.4 Zhodnotenie

Rádovo väčšie odpory (desiatky kiloohmov) sa merajú presnejšie ako rádovo menšie odpory (desiatky až stovky ohmov).

## Použitá literatúra:

- Príloha amatérskeho rádia 1982, str. 33, J Novotný - Číslicový merací prístroj
- Amatérske rádio B/5 1976, str. 162 Ing. K. Maas, J. Zuzka - Základné meracie číslicové prístroje
- Amatérske rádio 12 1977, str. 453, Ing. V Steklý - Jednoduchý prevodník U/f