



## **Středoškolská technika 2012**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

### **Můžeme věřit digitálním přístrojům?**

**Bedřich Kubice, Michal Pojer, Petr Bukáček**

Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola  
elektrotechnická Františka Křižíka

Praha 1, Na Příkopě 16

## Anotace

Uvedená práce se zabývá problematikou přesnosti digitálních měřících přístrojů a jejich porovnání v tomto směru s analogovými. V první kapitole je proveden rozbor neurčitosti výsledku měření a jejího stanovení z chyb měření. Je zde proveden rozbor základních chyb měření. V druhé kapitole je proveden rozbor vlivu na chyby měření při využití analogově digitálního převodníku. Kapitola se zabývá zejména kvantováním a vzorkováním měřené veličiny. Třetí kapitola je věnována kontrolnímu měření v závislosti na průběhu a frekvenci měřeného napětí. Jako kontrolní měřící přístroj byl použit multimetr HP 34401A s přesností 0,0002% měřené veličiny + 0,0001% rozsahu. Výsledek analýzy přesnosti digitálních měřících přístrojů je shrnut v závěru práce.

## Obsah

Anotace .....	2
1.1 Rozdělení chyb podle matematického vyjádření.....	3
1.1.2 Chyba (neurčitost) výsledku přímého měření .....	4
1.1.2 Neurčitost výsledku nepřímých měření.....	5
2 Analogově digitální převodník.....	6
2.1 Princip převodu.....	6
2.1.1 Vzorkování .....	6
2.1.2 Kvantování .....	8
3 Kontrolní měření .....	11
3.1 Postup měření.....	11
3.2 Schéma zapojení .....	11
3.3 Použité přístroje.....	11
3.4 Měřený předmět.....	11
3.5 Tabulky naměřených hodnot .....	12
3.6 Grafy.....	15
4 Závěr.....	16
Literatura .....	17

## Neurčitost výsledku měření a její stanovení z chyb přístrojů a členů měřicího obvodu

V praxi se většinou nespokojujeme s chybou jednotlivého měření, ale zajímá nás meze intervalu, mezi nimiž, leží skutečná hodnota měřené veličiny. Šířka tohoto intervalu je rovna dvojnásobku absolutní hodnoty největší možné absolutní chyby měření po korekci systematické chyby. Neurčitost měření (absolutní hodnota největší možné chyby měření nebo tolerance měření) je dána chybami přístrojů, tolerancemi rezistoru, kondenzátoru a cívek užívaných v měřeních (většinou tzv. etalonu a dekád), náhodnými chybami (krajní chybou) a vnějšími rušivými vlivy. Tolerance jsou dány pouze jako absolutní hodnoty  $/D_{\max} X/$  nebo  $/d_{\max} X/$ . Jejich znaménko neznáme. Aby byly hodnoty  $/D_{\max} X/$  nebo  $/d_{\max} X/$  nalezené, z tolerancí a náhodných chyb opravdu největšími možnými chybami měření, je nutno korigovat systematickou chybu. Pro měřicí systém nebo měřicí přístroj, který se skládá z velkého počtu součástí je určení maximální možné chyby z tolerancí všech součástí nereálné. Je totiž velmi malá pravděpodobnost, že všechny součásti mají chyby téhož znaménka a největší hodnoty. Jsou – li hodnoty použitých součástek sice nepřesné, ale časově stálé, lze určit výslednou systematickou chybu experimentálně a korigovat ji při výrobě. Tak lze vyrábět velmi přesné složité přístroje (např. digitální voltmetry) z méně přesných ale časově stabilních dílů.

Při hledání neurčitosti měření postupujeme jinak v případě přímých měření a jinak v případě nepřímých měření.

### 1.1 Rozdělení chyb podle matematického vyjádření

**Absolutní chyba  $\Delta$**  měřené veličiny  $X$  je

$$\Delta_{(x)} = X_M - X_S$$

Kde  $X_M$  je naměřená hodnota a  $X_S$  je správná (konvenčně správná) hodnota měřené veličiny. Absolutní chyba se vyjadřuje v jednotkách měřené veličiny.

**Relativní chyba  $\delta$**  je bezrozměrné číslo nebo je vyjadřována v procentech nebo v p. p. m. (parts per million).

$$\delta_{(x)} = \frac{\Delta_{(x)}}{X_S} \quad (-)$$

$$\delta_{(x)} = \frac{\Delta_{(x)}}{X_S} * 100 \quad (\%)$$

$$\delta_{(x)} = \frac{\Delta_{(x)}}{X_S} * 10^6 \quad (ppm)$$

### 1.1.2 Chyba (neurčitost) výsledku přímého měření

U přímých měření se výsledek získá z údaje jediného přístroje, neurčitost tohoto měření je tedy dána chybou tohoto přístroje.

#### a) Chyba analogového měřicího přístroje

Přesnost analogového měřicího přístroje charakterizuje třída přesnosti, což je procentuelní chyba na konci stupnice přístroje. Je to číslo z řady 0,05 - 0,1 - 0,5 - 1 - 1,5 - 2,5 - 5.

Absolutní chybu se vypočte:

$$|\Delta_x| \leq \frac{TP}{100} MR$$

Procentní chyba:

$$|\delta_x| \leq \frac{\Delta_{(x)}}{X_m} * 100$$

kde MR je měřicí rozsah,  $X_m$  je naměřená hodnota měřené veličiny a TP je třída přesnosti. Procentní chybu lze také spočítat přímo z TP:

$$|\delta_x| = TP * \frac{MR}{MH}$$

#### b) Chyby číslicového měřicího přístroje

Je zde možnost dvojího vyjádření chyby přístroje:

- Chybou v procentech z MH  $\pm\delta_1$  a chybou v procentech rozsahu  $\pm\delta_2$ . Celková absolutní chyba je pak dána vztahem:

$$|\Delta_v| \leq \left| \frac{\delta_1}{100} MH \right| + \left| \frac{\delta_2}{100} MR \right|$$

kde MH je naměřená hodnota a MR je měřicí rozsah.

Relativní (procentní)

$$|\delta_x| \leq |\delta_1| + |\delta_1| \frac{MR}{MH}$$

- Chybou v procentech z  $MH \pm \delta_1$  a počtem kvantizačních kroků  $\pm N$  při výpočtu chyby je nutno zjistit hodnotu jednoho kvantizačního kroku (tzv. digitu – poslední místo na displeji) v jednotkách měřené veličiny (rozlišení přístroje).

$$|\Delta_v| \leq \left| \frac{\delta_1}{100} MH \right| + N * \text{hodnota kvant.kroku}$$

### 1.1.2 Neurčitost výsledku nepřímých měření

Abychom se vyhnuli složitějšímu vyjadřování výsledné neurčitosti pomocí parciálních derivací, lze pro určení výsledných neurčitostí použít několik jednoduchých pravidel.

Je-li měřená veličina  $Y$  dána funkcí:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

Výsledná neurčitost jednodušších výrazů může být nalezena bez diferenciálního počtu aplikací těchto pravidel. Je přitom nutno podle potřeby přecházet od relativních chyb k absolutním a naopak. Jde o tyto pravidla:

Operace	Odpovídající neurčitost
$Y = X_1 + X_2$	$ \Delta_{(Y)}  =  \Delta_{(X1)}  +  \Delta_{(X2)} $
$Y = X_1 - X_2$	$ \Delta_{(Y)}  =  \Delta_{(X1)}  +  \Delta_{(X2)} $
$Y = X_1 * X_2$	$ \delta_{(Y)}  =  \delta_{(X1)}  +  \delta_{(X2)} $
$Y = X_1/X_2$	$ \delta_{(Y)}  =  \delta_{(X1)}  +  \delta_{(X2)} $

Tyto vztahy lze matematickou indukcí rozšířit na větší počet operandů.

#### Příklad:

Měřený výkon rezistoru je určen z efektivní hodnoty napětí na tomto rezistoru změřené střídavým analogovým voltmetrem s  $TP=1$  a  $MR=24$  V. Naměřená hodnota je 18 V. Jmenovitá hodnota odporu rezistoru je 10 k $\Omega$  a jeho tolerance je 5 %. Spočítejte neurčitost měření výkonu.

Pomocí tabulky určíme vztah pro relativní neurčitost měření výkonu.

Výkon je dán vztahem  $P = U^2/R$

Neurčitost je pak na základě tabulky:

$$|\delta_p| = 2|\delta_U| + |\delta_R|$$

Pomocí vzorce lze zjistit:

$$|\delta_U| = 1 * \frac{24}{18} = 1,33\%$$

Chyba výkonu je pak:

$$|\delta_p| \leq 2,66\% + 5\% = 7,66\%$$

**Číslicové měřicí přístroje** pracují na tom principu, že si měřenou veličinu převedou na analogový napěťový signál, ten digitalizují a pak ho dál zpracovávají. Zobrazení může být jak na digitální zobrazovací jednotce (displeje), tak na analogové.

## 2 Analogově digitální převodník

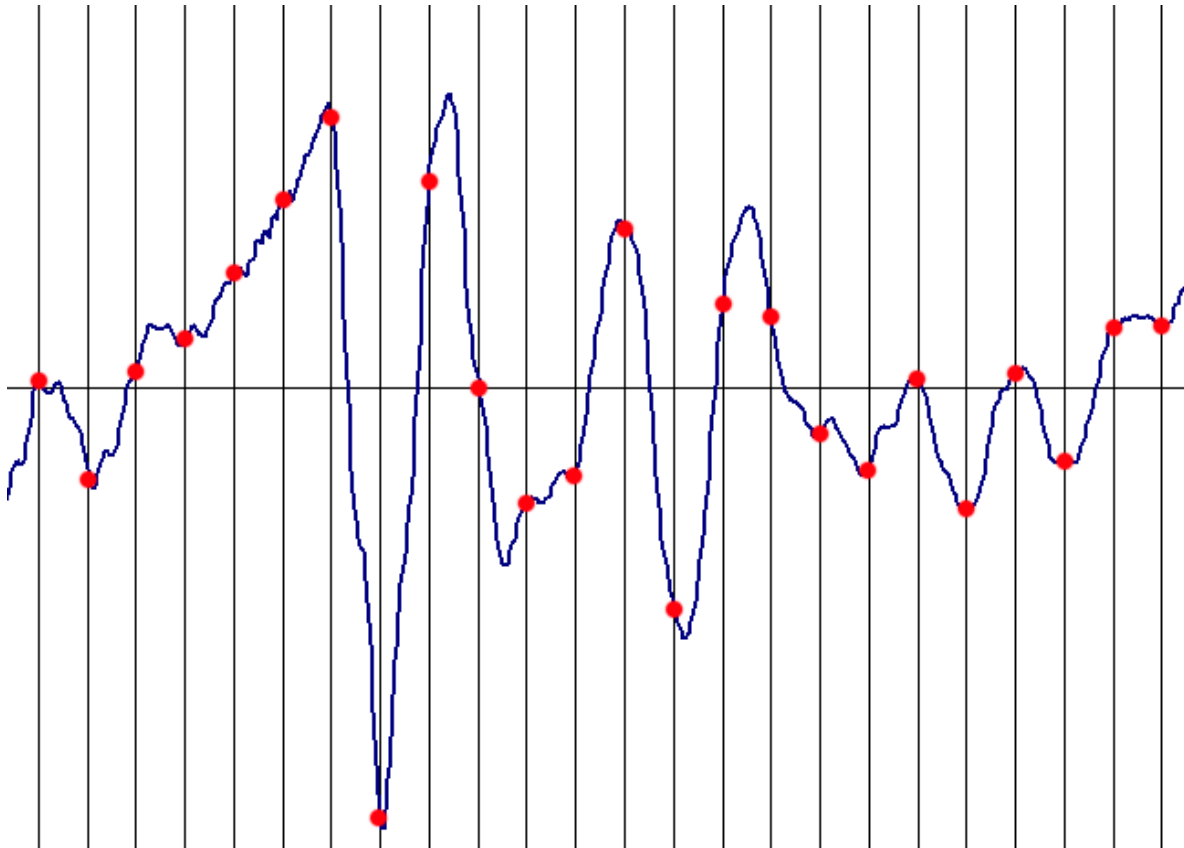
(A/D) je elektronická součástka určená pro převod spojitého (neboli analogového) signálu na signál diskrétní (digitální). Důvodem tohoto převodu je umožnění zpracování původně analogového signálu na číslicových počítačích. Mezi nimi v současnosti převažují digitální signální procesory DSP, které jsou právě na zpracování takových signálů specializované. V digitální podobě se také dají signály daleko kvalitněji zaznamenávat a přenášet. Opačný převod z digitálního signálu na analogový zajišťuje D/A převodník.

### 2.1 Princip převodu

Dvě fáze – **Vzorkování a Kvantování**

#### 2.1.1 Vzorkování

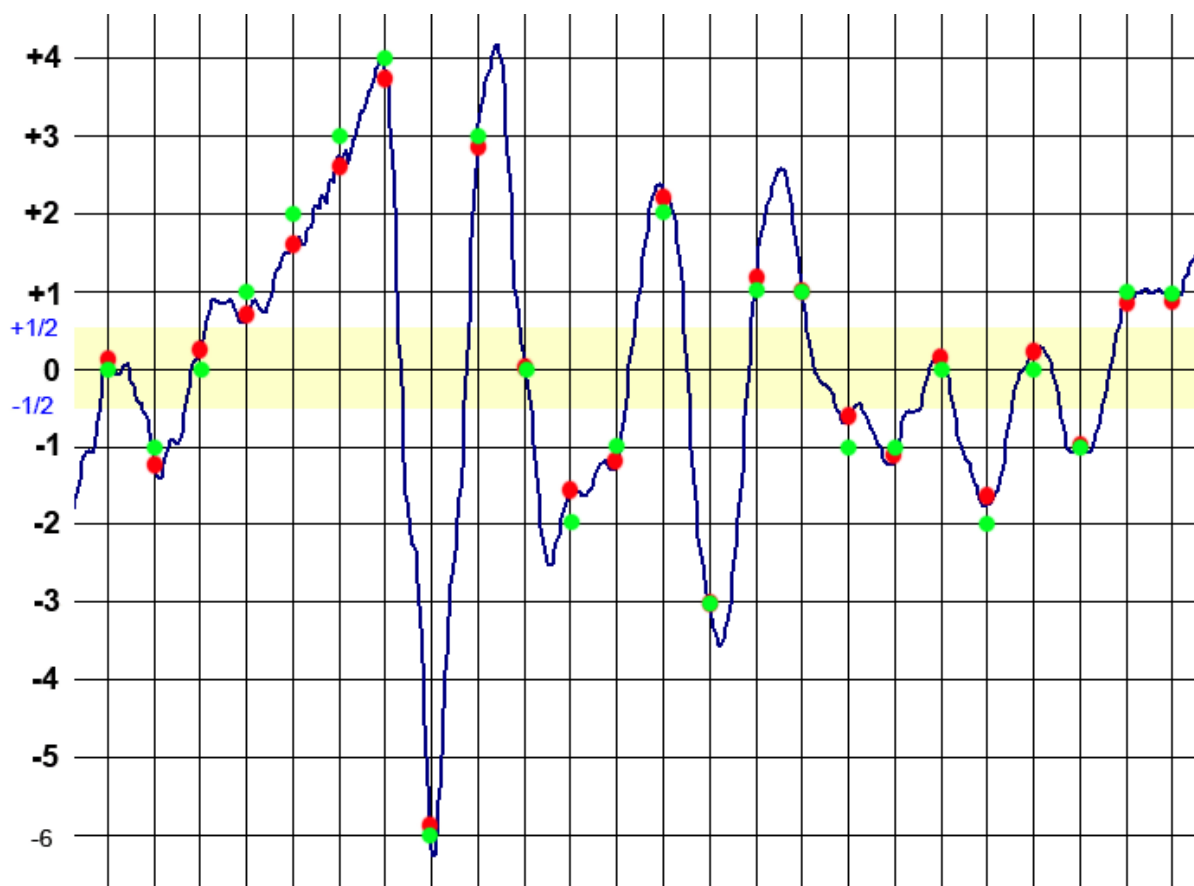
Úsek spojitého signálu se sice dá donekonečna zvětšovat a pozorovat tak jeho nekonečně malé detaily, ale protože počítače mají pouze konečnou kapacitu paměti a ani nejsou nekonečně rychlé, musíme se u reálného vzorkování při A/D převodu omezit pouze na nezbytně nutné množství vzorků, které budeme dále zpracovávat.



Obrázek 1 **Grafické znázornění vzorkování signálu**

Vzorkování se provede tím způsobem, že rozdělíme vodorovnou osu signálu (v našem příkladu je na této ose čas) na rovnoměrné úseky a z každého úseku odebereme jeden vzorek (na obrázku jsou tyto vzorky znázorněny červenými kolečky). Je přitom zřejmé, že tak z původního signálu ztratíme mnoho detailů, protože namísto spojitě čáry, kterou lze donekonečna zvětšovat dostáváme pouze množinu diskrétních bodů s intervalem odpovídajícím použité vzorkovací frekvenci.

## 2.1.2 Kvantování



Obrázek 2 Grafické znázornění kvantování

Vzhledem k tomu, že počítače a další zařízení dále zpracovávající digitální signál umí vyjádřit čísla pouze s omezenou přesností, je potřeba navzorkované hodnoty upravit i na svislé ose. Protože se hodnota vzorku dá vyjádřit pouze po určitých kvantech, nazýváme tuto fázi A/D převodu **kvantování**.

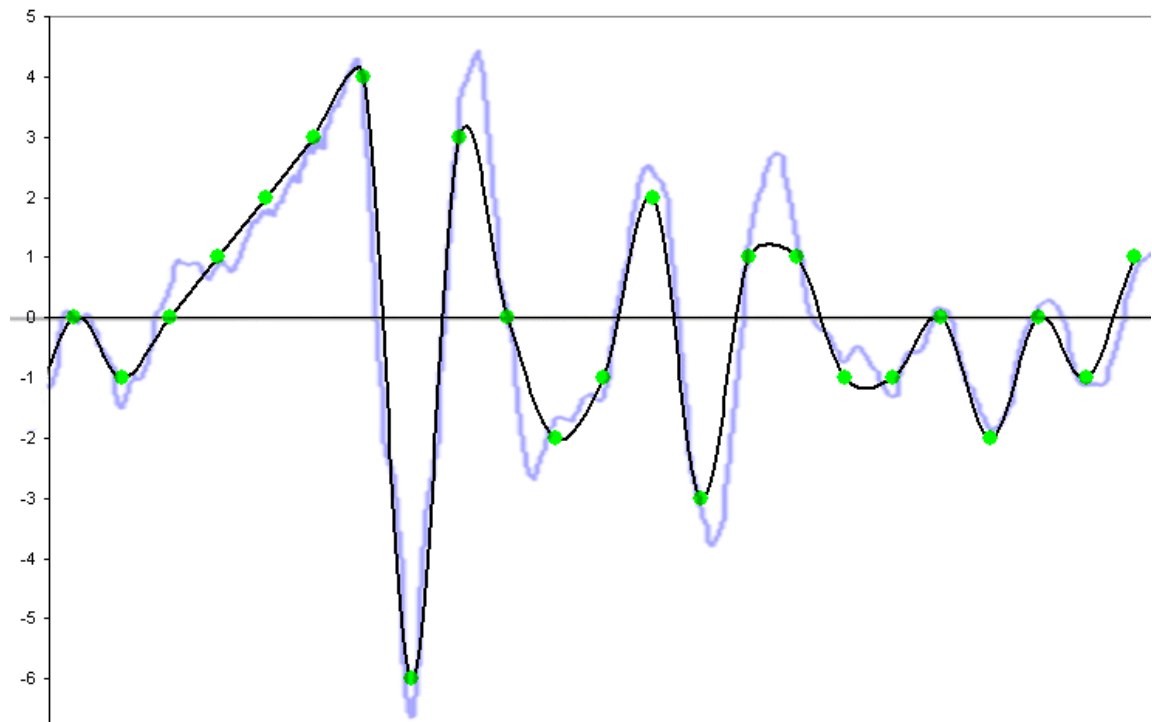
Na obrázku může veličina na svislé ose například nabývat pouze celočíselných hodnot. Aby bylo možné určit, které hodnoty má po kvantování nabývat určitý vzorek, je třeba rozdělit prostor kolem jednotlivých hodnot na toleranční pásy (jeden takový pás je naznačen kolem hodnoty 0). Kterémukoliv vzorku, který padne do daného tolerančního pásu, je při kvantování přiřazena daná hodnota. Kvantované hodnoty jsou na obrázku naznačeny zelenými kolečkami. Jak je vidět, kvantované hodnoty se ve většině případů liší od skutečných vzorkovaných hodnot. Velikost kvantizační chyby je vzdálenost mezi kvantovanými a původními vzorkovanými body, na obrázku ji vyjadřují délky pomyslných úsečků mezi červenými a zelenými kolečkami. Velikost této chyby se pohybuje v intervalu  $+1/2$  až  $-1/2$  kvantizační úrovně.



### Počet kvantizačních úrovní

Protože se digitální signál zpravidla zpracovává na zařízeních pracujících ve dvojkové číselné soustavě, bývají počty kvantizačních úrovní A/D převodníků zpravidla rovny  $N$ -té mocnině čísla  $2$ , přičemž nakvantovaný signál pak lze vyjádřit v  $N$  bitech.

### Kvantizační šum



Obrázek 3 Znárodnění kvantizačního šumu

Pokud bychom vynesli velikosti chyb od jednotlivých vzorků do grafu, získali bychom náhodný signál, kterému se říká kvantizační šum. Velikost šumu je zvykem vyjadřovat jako poměrné číslo v decibelech, a sice jako poměr užitečného signálu ku šumu. Protože číslo ve jmenovateli zlomku - kvantizační chyba je u všech lineárních převodníků stejná (interval  $+1/2$  až  $-1/2$  kvantizační úrovně), závisí velikost kvantizačního šumu jen na čitateli zlomku, tedy na velikosti užitečného signálu, což je maximální počet kvantizačních úrovní daného převodníku.

$$SNR_{A/D} = 20 \cdot \log 2^N \approx 6,02 \cdot N \text{ [dB]}$$

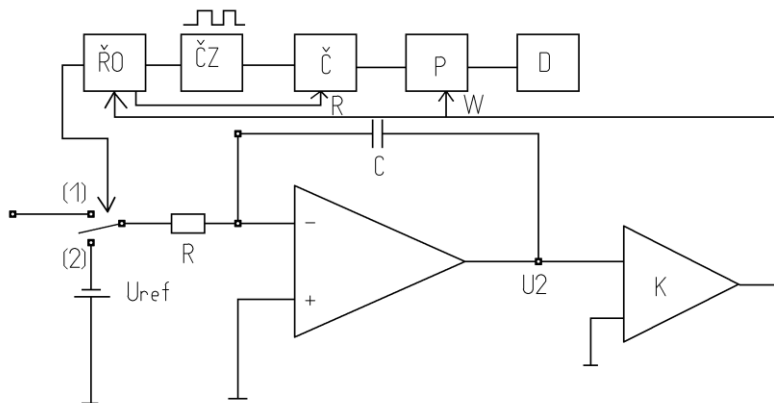
Například u 16 bitového kvantování použitého u záznamu hudby na CD je odstup signálu od šumu  $16 \cdot 6,02 = 96,32$  dB

Díky diskretizaci původního spojitého signálu ve dvou osách nemůže ve většině případů signál zpětně převedený z digitální podoby do analogové přesně odpovídat původnímu signálu. Černá čára na obrázku znázorňuje zpětným D/A převodem zrekonstruovaný analogový signál, zatímco modrá čára je původní analogový signál, ze kterého byl A/D převodníkem získán signál digitální (zelená kolečka).

## Voltmetr s dvojitou integrací

- integrovaný obvod má ošetřenou polaritu na vstupech. Automaticky přepíná rozsahy může měřit střídavý průběh asi do 400Hz

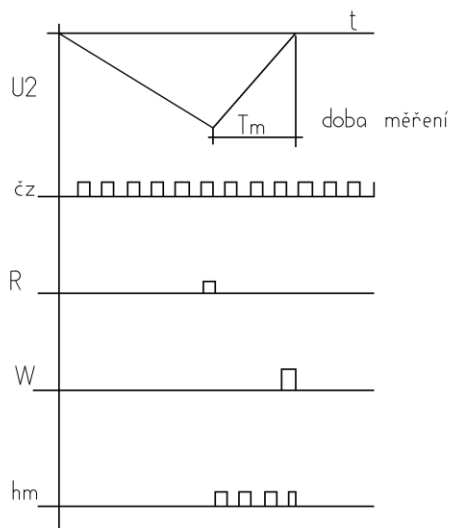
V-metr s dvojí integrací využívá dvojí integrace napětí, pro měření se používá druhá doba - deintegrace.



### Popis funkce

V době (1) – integrace je na integračním zesilovači přivedeno měřené napětí  $U_2$  lineárně klesá.

Integrace trvá po konstantní dobu. Tuhle dobu udává řídicí obvod.



V době (2) – deintegrace – na vstup IZ přivedeno  $U_{ref}$  s opačnou polaritou než  $U_m$ . Napětí lineárně roste.

Komparátor porovnává napětí  $U_2$  s  $0.u_2 = 0$  konec deintegrace. Doba  $T_m$  závisí na velikosti  $U_2$  max a na velikosti  $U_m$ .

ČZ – generátor obdélníkového signálu s  $f_{\check{z}}$  větší než  $f_{nab}$  a  $v_{yb}$  C

Č – počítá impulsy z ČZ po dobu deintegrace.

Při měření digitálními V-metrem, vždy dochází k zaokrouhlování, vzniku kvantizační chyby.

$\Delta q, \delta q$ .

Mimo chyby kvantizační se projevují chyby – tolerance součástek, chyba linearity, chyba nastavení 0 (offset) a další chyby nastavení a A/D převodníku, které se vyjadřují pomocí  $TP = \max$ . povolená chyba výrobce.

### 3 Kontrolní měření

#### 3.1 Postup měření

Ke kontrolnímu měření byl využit velmi přesný multimetr HEWLETT PACKARD s typovým označením HP 34401A. Za zdroj napětí pro kontrolní měření jsme použili generátor funkcí. Kontrolní měření provedeme pro napěťový rozsah 0-3 VAC, při frekvencích 50 Hz, 1 a 10 kHz. Za kontrolní průběhy napětí jsme zvolili harmonický sinusový, trojúhelníkový a obdelníkový neharmonický průběh.

#### 3.2 Schéma zapojení

Voltmetry jsou během kontrolního měření zapojeny paralelně k napájecímu generátoru funkcí.

#### 3.3 Použité přístroje

##### Multimetr HP 34401A

Stolní multimetr, 6 1/2 digit, 1000V, 3A, 100M $\Omega$ ; f, TRMS, GPIB; U, I, R, f, dB, dBm, měření diod, řízení mikroprocesorem; DCU: 100nV - 1000V/0, 003%; ACU: 100nV - 750V/0, 06%/4% do 300kHz; DCI: 10nA - 3A/0, 005%/0, 1%; ACI: 10nA - 3A/0, 1%/1% do 5kHz; R: 100  $\mu\Omega$  - 100 M $\Omega$ /0, 002%/0, 3%; f: 3Hz - 300kHz/0, 006%/0, 1%

**Generátor funkcí MX6 – 9810A**, 10V, zdroj sinusový, trojúhelníkový a obdelníkový průběh



#### 3.4 Měřený předmět

**METEX M-3800** - univerzální ruční multimetr s 3 1/2 místným displeje

Vlastnosti:

Manuální přepínání rozsahů.

Maximální zobrazená hodnota: 1999

Interval měření: 2-3x za sekundu

Napětí DC: 1000V

Napětí AC: 700V

Proud DC: 20A

Proud AC: 20A

Odpor: 20M

Přesnost na rozsahu 20VAC:  $\pm 0,8\% + 3$  čísla

**METRIX 025C**

Analogový multimetr, stupnice 60 dílků, 1000V, 3A, 1/1,5 %

**3.5 Tabulky naměřených hodnot**

Tabulka č. 1: Kontrolní měření při 50 Hz sinusového průběhu

	Analog. volt.	Dig. volt.	Kalibr. Volt.	Absolut. Ch.		Relat. chyba	
Veličina	U	U	U	$\Delta_{AV}$	$\Delta_{DV}$	$\delta_{AV}$	$\delta_{DV}$
Č. měření	V	V	V	mV	mV	%	%
1	2,99	2,99	3	-10	-10	-0,33	-0,33
2	2,48	2,49	2,5	-20	-10	-0,80	-0,40
3	1,98	1,99	2	-20	-10	-1,00	-0,50
4	1,50	1,49	1,5	0	-10	0	-0,66
5	0,98	1,00	1	-20	0	-0,5	0
6	0,48	0,49	0,5	-20	-10	-4,00	-2,0
7	0	0	0	0	0	0	0
Aritmetický průměr						-1,10	-0,64

Tabulka č. 2: Kontrolní měření při 50 Hz nehar. obdelníkového průběhu

	Analog. volt.	Dig. volt.	Kalibr. Volt.	Absolut. Ch.		Relat. chyba	
Veličina	U	U	U	$\Delta_{AV}$	$\Delta_{DV}$	$\delta_{AV}$	$\delta_{DV}$
Č. měření	V	V	V	mV	mV	%	%
1	3,2	3,2	3	200	200	6,66	6,66
2	2,7	2,68	2,5	200	180	8,00	7,20
3	2,15	2,14	2	150	150	7,50	7,50
4	1,65	1,64	1,5	150	140	10,00	9,30
5	1,15	1,13	1	150	130	15,00	13,00
6	0,65	0,64	0,5	150	140	30,00	28,00
7	0	0	0	0	0	0	0
Aritmetický průměr						12,86	11,94

Tabulka č. 3: Kontrolní měření při 50 Hz nehar. trojúhelníkového průběhu

	Analog. volt.	Dig. volt.	Kalibr. Volt.	Absolut. Ch.		Relat. chyba	
Veličina	U	U	U	$\Delta_{AV}$	$\Delta_{DV}$	$\delta_{AV}$	$\delta_{DV}$
Č. měření	V	V	V	mV	mV	%	%
1	3,3	3,3	3	300	300	10,00	10,00
2	2,75	2,75	2,5	250	250	10,00	10,00
3	2,22	2,21	2	220	210	11,00	10,50
4	1,68	1,67	1,5	180	170	12,00	11,33
5	1,16	1,14	1	160	140	16,00	14,00
6	0,65	0,65	0,5	150	150	30,00	30,00
7	0	0	0	0	0	0	0
Aritmetický průměr						14,83	14,3

Tabulka č. 4: Kontrolní měření při 1 kHz har. sinusového průběhu

Veličina	Analog.	Dig.	Kalibr.	Absolut. Ch.		Relat. chyba	
	volt.	volt.	Volt.	$\Delta_{AV}$	$\Delta_{DV}$	$\delta_{AV}$	$\delta_{DV}$
Č. měření	V	V	V	mV	mV	%	%
1	2,98	2,98	3	-20	-20	-0,67	-0,67
2	2,47	2,47	2,5	-30	-30	-1,20	-1,20
3	1,97	1,96	2	-30	-40	-1,50	-2,00
4	1,47	1,46	1,5	-30	-40	-2,00	-2,70
5	0,98	0,97	1	-20	-30	-2,00	-3,00
6	0,47	0,46	0,5	-30	-40	-6,00	-6,00
7	0	0	0	0	0	0	0
Aritmetický průměr						-2,23	-2,59

Tabulka č. 5: Kontrolní měření při 1 kHz nehar. obdelníkového průběhu

Veličina	Analog.	Dig.	Kalibr.	Absolut. Ch.		Relat. chyba	
	volt.	volt.	Volt.	$\Delta_{AV}$	$\Delta_{DV}$	$\delta_{AV}$	$\delta_{DV}$
Č. měření	V	V	V	mV	mV	%	%
1	3,2	3,26	3	200	260	6,70	8,70
2	2,7	2,71	2,5	200	210	8,00	8,40
3	2,16	2,16	2	160	160	8,00	8,00
4	1,6	1,61	1,5	100	110	6,70	7,30
5	1,09	1,10	1	90	100	9,00	10,00
6	0,59	0,55	0,5	90	50	18,00	10,00
7	0	0	0	0	0	0	0
Aritmetický průměr						9,40	8,73

Tabulka č. 6: Kontrolní měření při 1 kHz nehar. trojúhelníkového průběhu

Veličina	Analog.	Dig.	Kalibr.	Absolut. Ch.		Relat. chyba	
	volt.	volt.	Volt.	$\Delta_{AV}$	$\Delta_{DV}$	$\delta_{AV}$	$\delta_{DV}$
Č. měření	V	V	V	mV	mV	%	%
1	2,87	2,86	3	-130	-114	-4,33	-3,80
2	2,38	2,39	2,5	-112	-111	-2,24	-3,70
3	1,90	1,90	2	-100	-100	-5,00	-5,00
4	1,41	1,42	1,5	-90	-80	-6,00	-5,33
5	0,92	0,92	1	-80	-80	-8,00	-8,00
6	0,45	0,46	0,5	-30	-40	-10,00	-8,00
7	0	0	0	0	0	0	0,00
Aritmetický průměr						-5,93	-5,64

Tabulka č. 7: Kontrolní měření při 10 kHz har. sinusového průběhu

	Analog. volt.	Dig. volt.	Kalibr. Volt.	Absolut. Ch.		Relat. chyba	
				$\Delta_{AV}$	$\Delta_{DV}$	$\delta_{AV}$	$\delta_{DV}$
Veličina	U	U	U	$\Delta_{AV}$	$\Delta_{DV}$	$\delta_{AV}$	$\delta_{DV}$
Č. měření	V	V	V	mV	mV	%	%
1	2,93	2,98	3	-70	-20	-2,33	-0,67
2	2,42	2,47	2,5	-80	-30	-3,20	-1,20
3	1,87	1,96	2	-130	-40	-6,50	-2,00
4	1,41	1,46	1,5	-90	-40	-6,00	-4,00
5	0,87	0,95	1	-130	-50	-13,00	-5,00
6	0,37	0,46	0,5	-130	-40	-26,00	-8,00
7	0	0	0	0	0	0	0
Aritmetický průměr						-9,50	-3,14

Tabulka č. 8: Kontrolní měření při 10 kHz nehar. obdelníkového průběhu

	Analog. volt.	Dig. volt.	Kalibr. Volt.	Absolut. Ch.		Relat. chyba	
				$\Delta_{AV}$	$\Delta_{DV}$	$\delta_{AV}$	$\delta_{DV}$
Veličina	U	U	U	$\Delta_{AV}$	$\Delta_{DV}$	$\delta_{AV}$	$\delta_{DV}$
Č. měření	V	V	V	mV	mV	%	%
1	3,2	2,91	3	200	-90	6,67	-3,00
2	2,65	2,40	2,5	150	-100	6,00	-4,00
3	2,12	1,85	2	120	-150	6,00	-7,50
4	1,60	1,39	1,5	100	-110	6,70	-7,30
5	1,08	0,88	1	80	-120	9,00	-12,00
6	0,59	0,42	0,5	90	-80	18,00	-16,00
7	0	0	0	0	0	0	0
Aritmetický průměr						8,72	-8,63

Tabulka č. 9: Kontrolní měření při 10 kHz nehar. trojúhelníkového průběhu

	Analog. volt.	Dig. volt.	Kalibr. Volt.	Absolut. Ch.		Relat. chyba	
				$\Delta_{AV}$	$\Delta_{DV}$	$\delta_{AV}$	$\delta_{DV}$
Veličina	U	U	U	$\Delta_{AV}$	$\Delta_{DV}$	$\delta_{AV}$	$\delta_{DV}$
Č. měření	V	V	V	mV	mV	%	%
1	2,75	2,86	3	-150	-140	-5,00	-4,67
2	2,38	2,39	2,5	-120	-110	-4,80	-4,40
3	1,85	1,90	2	-150	-100	-7,50	-5,00
4	1,29	1,42	1,5	-210	-80	-14,00	-5,33
5	0,81	0,92	1	-190	-80	-19,00	-8,00
6	0,32	0,43	0,5	-180	-70	-36,00	-14,00
7	0	0	0	0	0	0	0
Aritmetický průměr						-14,38	-6,9

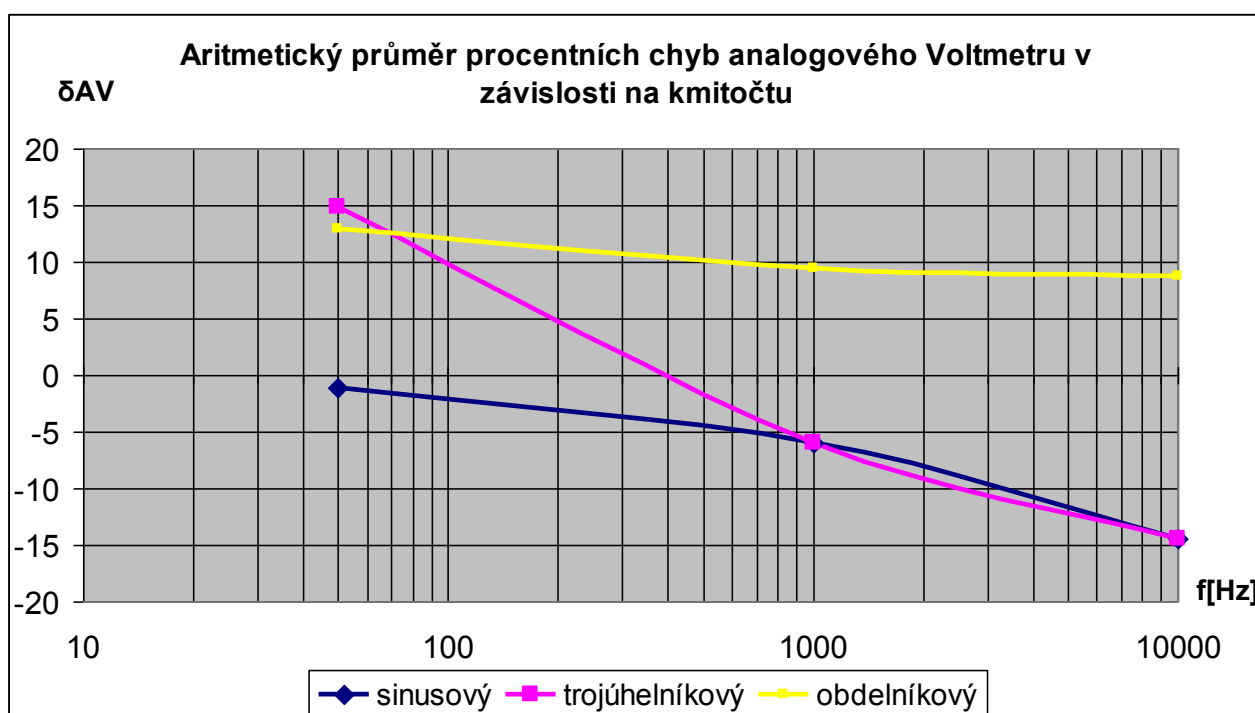
Tabulka č. 10: Aritmetický průměr procentních chyb měření v závislosti na kmitočtu

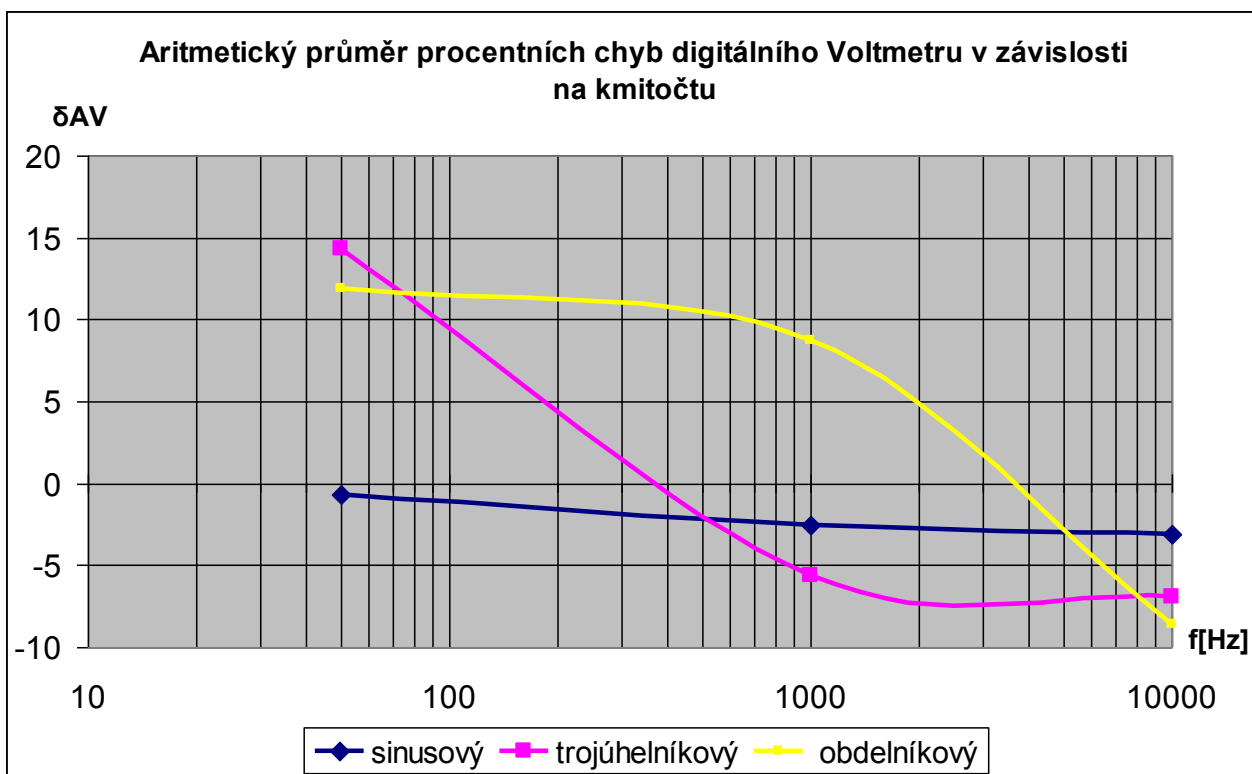
Tvar signálu	50 Hz		1 kHz		10 kHz		Poznámka
	$\delta_{AV}$	$\delta_{DV}$	$\delta_{AV}$	$\delta_{DV}$	$\delta_{AV}$	$\delta_{DV}$	
Sinusový	-1,10	-0,64	-2,23	-2,59	-9,50	-3,14	
Trojúhelníkový	14,83	14,3	-5,93	-5,64	-14,38	-6,9	
Obdelníkový	12,86	11,94	9,40	8,73	8,72	-8,63	

Tabulka č. 11: Maximální chyby měření v závislosti na kmitočtu

Tvar signálu	50 Hz		1 kHz		10 kHz		Poznámka
	$\delta_{AV}$	$\delta_{DV}$	$\delta_{AV}$	$\delta_{DV}$	$\delta_{AV}$	$\delta_{DV}$	
Sinusový	-4	-2	-6	-6	-26	-8	
Trojúhelníkový	30	30	-10	-8	-36	-14	
Obdelníkový	30	28	18	10	18	-16	

### 3.6 Grafy





#### 4 Závěr

Z výsledku měření vyplývá:

Sinusový průběh je měřen, jak analogovým tak digitálním voltmetrem pouze při 50 Hz s vyhovující přesností. Obdélníkový a trojúhelníkový průběh měří oba kontrolované voltmetry zhruba s několikanásobnou chybou, než je garantovaná třída přesnosti. U analogového magnetoelektrického přístroje je toto způsobené zejména tím, že přístroj měří střední hodnotu, přepočít na efektivní je definován koeficientem 1,1 pro sinusový průběh, pro jiné průběhy ovšem toto neplatí. U digitálního přístroje u něhož není prováděno kvantování měřeného signálu je tento problém s přepočtem také. Je třeba zde mít samozřejmě na paměti, že garantovaná třída přesnosti platí pouze pro měřenou veličinu rovnou rozsahu, při nižší hodnotě lineárně roste velikost měřené veličiny a rozsahu. Při kmitočtu 1 kHz je sinusový průběh měřen ještě v mezích daných třídou přesnosti 1%, oba přístroje vyhovují. Při 10 kHz již ani u harmonického průběhu nevyhovují. Je třeba u těchto přístrojů respektovat maximální kmitočet pro který je třída přesnosti garantovaná, u digitálních přístrojů s dvojitou integrací to bývá do 400 Hz.



Neharmonické průběhy nejsou měřeny v dané třídě přesnosti ani při 50 Hz. Přesnost se pohybuje zhruba v pásmu mezi 5 až 12 procenty, což je pro většinu orientačních servisních měření dostatečné.

**Na základě uvedeného rozboru lze tedy analogové a digitální měřicí přístroje (pracujících s převodníkem na principu dvojité integrace) doporučit pro neharmonické průběhy pouze pro orientační servisní měření, pro přesnější měření by bylo nutno provést korekci, zahrnující vliv tvaru signálu. Pro přesná měření je třeba použít měřicí přístroje, které provádí kvantování signálu (kvalitní multimetry, digitální osciloskop).**

## **Literatura**

V. Haasz, M. Sedláček: ELEKTRICKÁ MĚŘENÍ, Přístroje a metody; Vydavatelství ČVUT, Praha 2003