

# ESF II projekt Západočeské univerzity v Plzni

reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18\_056/0013239

## Měření elektrického napětí

Přednáška KET/ELM

J. Švarný



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

  
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

# Měření elektrického napětí

## Obsah

- Etalony DC napětí
- Vliv V-metru v obvodu
- Přístroje pro měření DC napětí
- Měření AC napětí – základní definice
- Přístroje pro měření AC napětí
- Změna rozsahu V-metru
- Literatura

# Měření DC napětí – Etalony DC napětí

## Etalon napětí využívající Josephsonova jevu

- Brian David Josephson \*1940 UK, 1973 N.C. za fyziku – tunelování elektronů izolační bariérou mezi dvěma supravodiči
- Volně vázané supravodivé materiály (Sn, Pb,..),  $T = 4 \text{ K}$
- Stejnosměrný Josephsonův jev
- Střídavý Josephsonův jev
- Inverzní střídavý Josephsonův jev

$$f = \frac{2eU}{h}$$

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

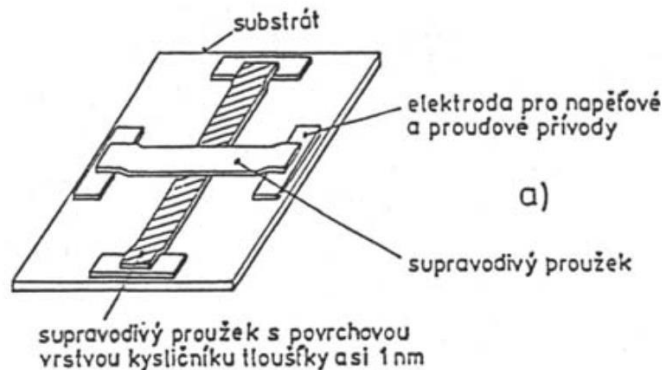
$$K_{J90} = 483,5979 \text{ MHz}/\mu\text{V} \quad (\text{Josephsonova konstanta fixovaná 1990})$$



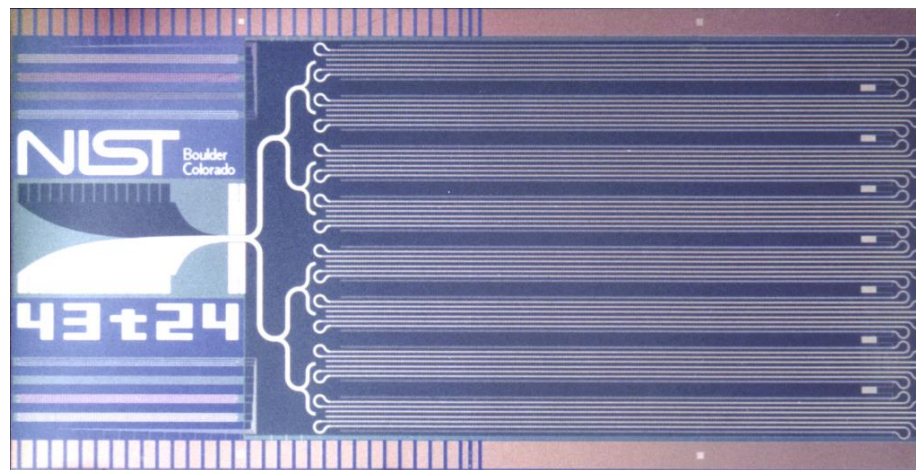
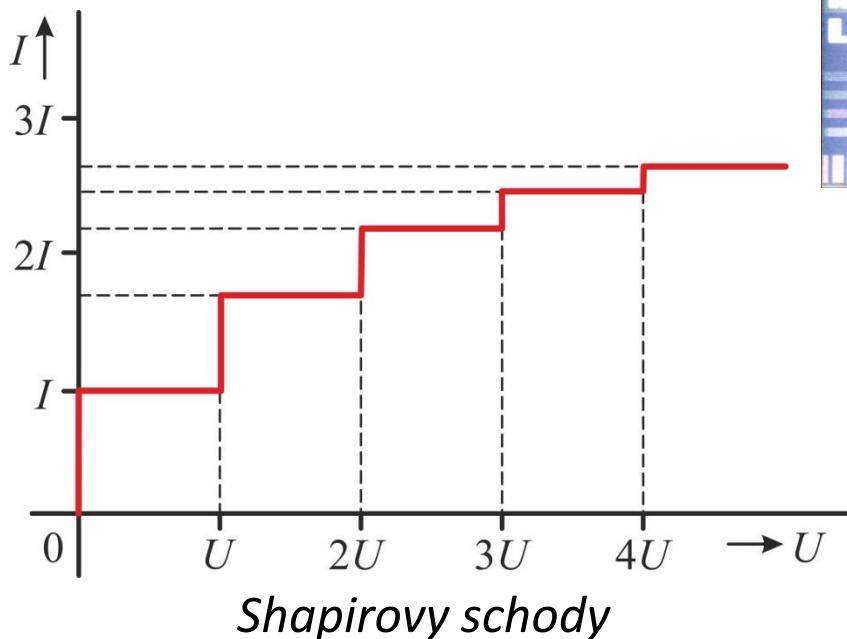
*B. D. Josephson*

# Měření DC napětí – Etalony DC napětí

## Etalon napětí využívající Josephsonova jevu



Josephsonův tunelový kontakt, [1]



Čip s integrovanými Josephsonovými kontakty NIST (National Institute of Standards and Technology)  
(převzato z: [www.cmi.cz](http://www.cmi.cz))

# Měření DC napětí – Etalony DC napětí

Etalon napětí využívající Josephsonova jevu

## Kvantový etalon DC napětí ČR

od r. 2004 kvantový etalon 1 V

od r. 2009 kvantový etalon 10 V  
( $u_c = 10,3 \text{ nV}$ )

Čítač

Gunnova dioda

Chladicí vakuová nádoba s čipem

Řízení



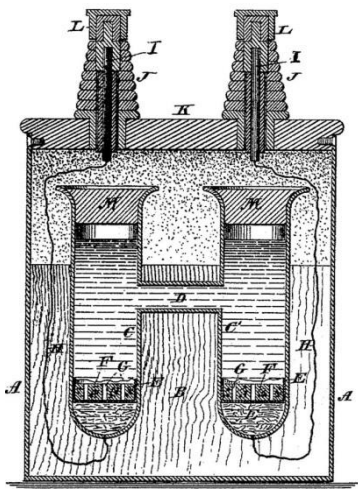
*Kvantový etalon DC napětí, ČMI Brno*

*(převzato z: [www.cmi.cz](http://www.cmi.cz))*

# Měření DC napětí – Etalony DC napětí

## Westonův článek

Edward Weston – 1893



*Originální patentový náčrt*

Stabilní elektrochemický článek dávající v nezatíženém stavu konstantní DC napětí velikosti **1,01865 V**.

Vznikl úpravou konstrukce již zavedného Clarkova článku (Josiah Latimer Clark – 1873, UK). Ten dával napětí 1,434 V @ 15 °C. Problém: značná teplotní závislost a nedostatečná životnost (koroze přívodních vodičů a následné praskání skleněné baňky)

Od r. 1905 až do r. 1990 (zavedení řádově přesnějšího kvantového etalonu) používán jako mezinárodně uznávaný primární etalon v laboratořích.

# Měření DC napětí – Etalony DC napětí

## Westonův článek



### Pravidla používání:

- žádné otřesy
- konst. provozní teplota
- skladovací teplota  
+15 °C až +25 °C
- nezatěžovat (1 μA max.)

- S nasyceným roztokem CdSO<sub>4</sub>

$$U_{20} = 1,01865 \text{ V}$$

$$U_{\vartheta} = U_{20} - 4,06 \cdot 10^{-5}(\vartheta - 20) - \\ - 0,95 \cdot 10^{-6}(\vartheta - 20)^2 + \\ + 1 \cdot 10^{-8}(\vartheta - 20)^3$$

$$R_i \cong 1000 \Omega$$

- S nenasyceným roztokem CdSO<sub>4</sub>

$$U_{20} = 1,019 \text{ V}$$

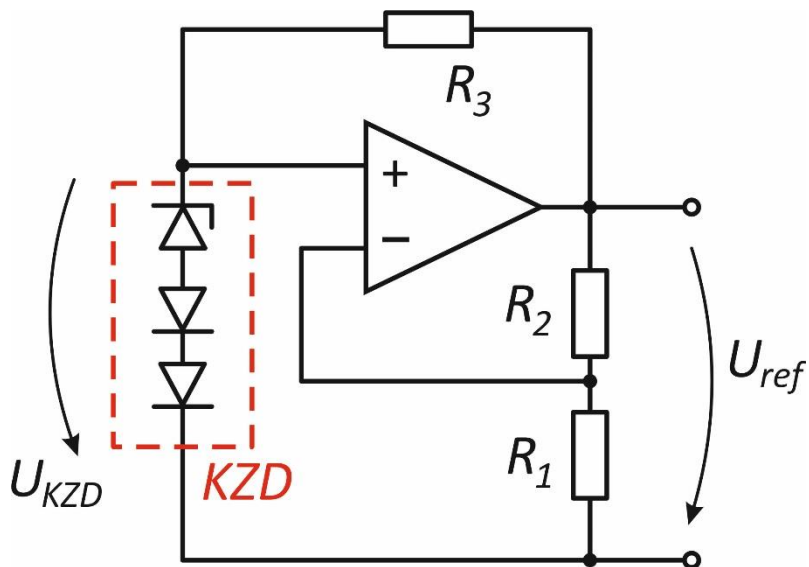
$$R_i \cong 600 \Omega$$

Menší teplotní závislost

Horší časová stálost

# Měření DC napětí – Etalony DC napětí

## Elektronický etalon napětí



Referenční zdroj se Zenerovou diodou-  
princip

- Zenerova dioda - záporný TC
- Si v propust. směru - kladný TC



Zenerovy diody

### Characteristics

( $T_j = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified)

Kennwerte  
( $T_j = 25^\circ\text{C}$  wenn nicht anders spezifiziert)

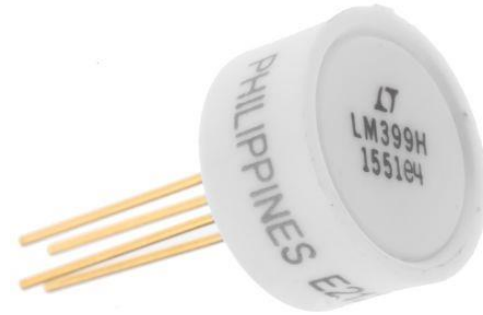
Type Typ	Zener voltage <sup>1)</sup> Zener-Spanng. <sup>1)</sup> $I_z = 5 \text{ mA}$		Dynamic resistance Inhär. diff. Widerstand $r_{zj} [\Omega]$ at $f = 1 \text{ kHz}$		Temp. Coeff. of Z-voltage ...der Z-spanng. $\alpha_{Vz} [10^{-4} / ^\circ\text{C}]$	Reverse volt. Sperrspanng. $I_R = 500 \text{ nA}$ $V_R [\text{V}]$	Z-current <sup>3)</sup> Z-Strom <sup>3)</sup> $T_A = 50^\circ\text{C}$ $I_{z\text{max}} [\text{mA}]$
	$V_{z\text{min}} [\text{V}]$	$V_{z\text{max}} [\text{V}]$	$I_z = 5 \text{ mA}$	$I_z = 1 \text{ mA}$			
ZMD1 <sup>5)</sup>	0.71	0.82	6.5 (<8)	–	–26...–23	–	500
ZMD3.9	3.7	4.1	80 (<95)	–	–9...–4	–	244
ZMD4.3	4.0	4.6	80 (<95)	–	–9...–3	–	217
ZMD4.7	4.4	5.0	70 (<78)	< 1400	–8...–3	–	200
ZMD5.1	4.8	5.4	30 (<60)	< 700	–8...–3	> 0.5 (1 $\mu\text{A}$ )	185
ZMD5.6	5.2	6.0	10 (<40)	< 500	–7...–3	> 1 (1 $\mu\text{A}$ )	167
ZMD6.2	5.8	6.6	4.8 (<11)	< 300	–6...–1	> 1.5 (1 $\mu\text{A}$ )	152
ZMD6.8	6.4	7.2	4.5 (<10)	< 300	–5...+2	> 2 (1 $\mu\text{A}$ )	139
ZMD7.5	7.0	7.9	4.0 (<8)	< 100	–3...+4	> 3.5	127
ZMD8.2	7.7	8.7	4.5 (<10)	< 50	–2...+6	> 5	115
ZMD9.1	8.5	9.6	4.8 (<11)	< 50	–1...+7	> 6	104
ZMD10	9.4	10.6	5.2 (<15)	< 70	+2...+7	> 7	94
ZMD11	10.4	11.6	6 (<20)	< 70	+3...+7	> 7	86
ZMD12	11.4	12.7	7 (<20)	< 90	+4...+7	> 8	79
ZMD13	12.4	14.1	8 (<25)	> 110	+5...+8	> 9	71

Katalogový list diod ZMD1-100, Diotec  
(převzato z: [www.diotec.com](http://www.diotec.com))

# Měření DC napětí – Etalony DC napětí

## Elektronický etalon napětí

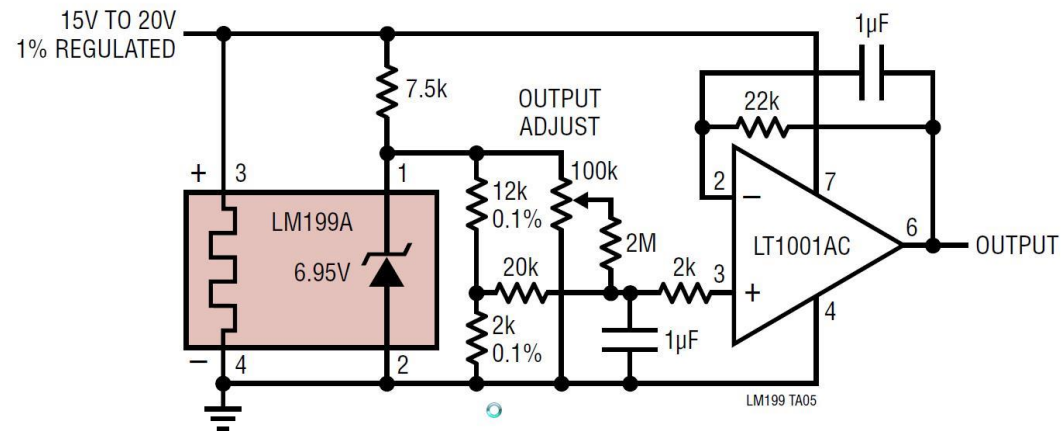
**Příklad:** Monolitická  
termostatovaná reference se  
Zenerovou diodou  
**LM199/LM399**, (Linear Tech.), [4]



Vlastnosti:

- Výstup: 6,95 V
- $TC$ : 0,5 ppm/°C  
( $T_A$  -55 °C až +85 °C)
- $T_j = 90$  °C (teplota čipu)
- Napájení: 9 V až 40 V
- Použití: Přesné referenční  
zdroje pro multimetry,  
Kalibrační zdroje

*Obvod LM399, Linear Technology*



*Elektronická náhrada Westonova  
člátku, viz data sheet [4]*

# Měření DC napětí – Etalony DC napětí

## Elektronický etalon napětí

**Příklad:** kalibrační zdroj Fluke 723C, [5]

Vlastnosti:

- Výstupy: 10 V; 1 V; 0,1 V
- Stabilita:  $\pm 3 \mu\text{V}$   
(1 rok, výstup 1 V)
- Šum  $0,15 \mu\text{V}_{\text{RMS}}$  (výstup 1 V)
- TC  $0,1 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$  (výstup 1 V)
- Specifikován pro:  
+15 °C až +35 °C
- Napájení: bateriové/síťové



*DC kalibrační zdroj Fluke 723C DC Standard, [5]*

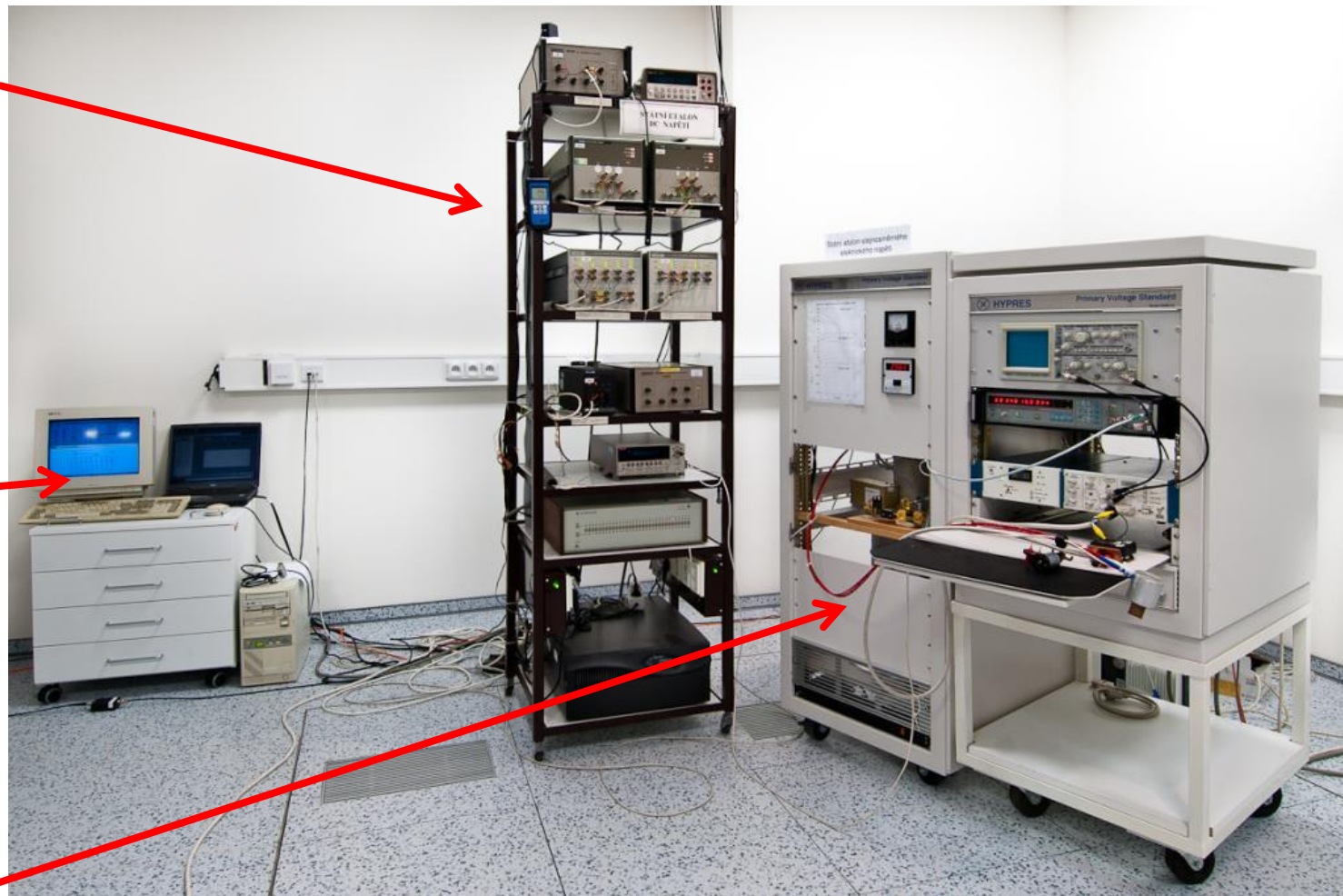
# Měření DC napětí – Etalony DC napětí

## Elektronický etalon napětí

Zenerovy  
reference

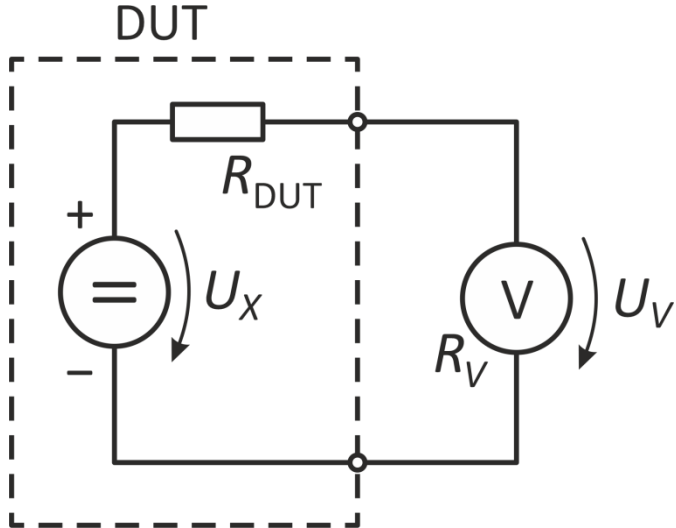
Řídicí  
počítače

Kvantový  
etalon



*Státní etalon DC napětí ČR, ČMI Brno (převzato z: [www.cmi.cz](http://www.cmi.cz))*

# Měření DC napětí - vliv voltmetru



Pro  $R_{DUT} > 0$  je  $U_V < U_X$

$$\Delta = U_V - U_X = U_X \frac{R_V}{R_{DUT} + R_V} - U_X$$

$$\delta_{\%} = \frac{\Delta}{U_X} 100 = \left( \frac{R_V}{R_{DUT}} - 1 \right) 100 = \left( \frac{R_V - R_{DUT} - R_V}{R_{DUT} + R_V} \right) 100 \cong -\frac{R_{DUT}}{R_V} 100$$

Ideální V-metr:  $R_V \rightarrow \infty$ .

**Příklad:** Měříme-li napětí pomocí DMM ( $R_V = 10 \text{ M}\Omega$ ) na zdroji s vnitřním odporem  $R_{DUT} = 100 \text{ k}\Omega$  vzniká chyba:

$$\delta_{\%} \cong -\frac{R_{DUT}}{R_V} 100 = -\frac{100 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^6} 100 = \underline{\underline{-1 \%}}$$

# Měření DC napětí - přístroje

## Magnetoelektrické V-metry

- Rozsahy:  $\sim 0,1$  V až  $\sim 100$  V
- Omezená přesnost měření
- Relativně levné

## Příklad: MX1 (Metrix)

Charakteristika MX1 [6]:

- $V_{DC}$  rozsahy: 150 mV až 1,5 kV
- Vnitřní odpor:  $20 \text{ k}\Omega/\text{V}$
- $TP: 2$



Multimetr MX1 (Metrix)

# Měření DC napětí - přístroje

## Digitální multimetry

- $V_{DC}$  rozsahy:  $\sim 0,1 \text{ V} \sim 100 \text{ V}$
- Rozlišení: až  $0,1 \mu\text{V}$  (laboratorní přístroje)
- Vysoká přesnost, vyšší cena



Multimetr 34401A

### Příklad: 34401A (Keysight)

#### Charakteristika 34401A, [7]:

- $V_{DC}$  rozs.: 100 mV až 1 kV
- Rozlišení:  $0,1 \mu\text{V}$  ( $M = 100 \text{ mV}$ )
- Vnitřní odpor:  $10 \text{ M}\Omega$  (na nižších rozsazích  $10 \text{ G}\Omega$ )
- Přesnost viz specifikace

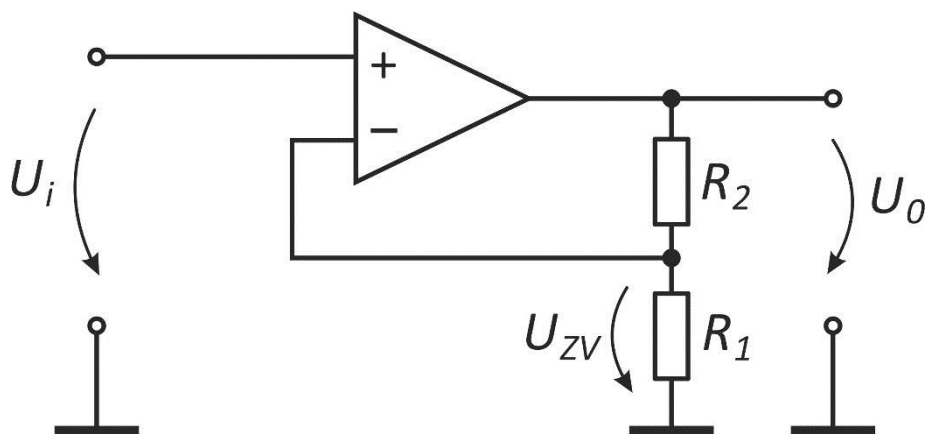
Accuracy Specifications  $\pm$  (% of reading + % of range)<sup>1</sup>

Function	Range <sup>3</sup>	Frequency, etc.	24 Hour <sup>2</sup> 23°C $\pm$ 1°C	90 Day 23°C $\pm$ 5°C	1 Year 23°C $\pm$ 5°C	Temperature Coefficient 0°C – 18°C 28°C – 55°C
DC voltage	100.0000 mV		0.0030 + 0.0030	0.0040 + 0.0035	0.0050 + 0.0035	0.0005 + 0.0005
	1.000000 V		0.0020 + 0.0006	0.0030 + 0.0005	0.0040 + 0.0007	0.0005 + 0.0001
	10.00000 V		0.0015 + 0.0004	0.0020 + 0.0005	0.0035 + 0.0005	0.0005 + 0.0001
	100.0000 V		0.0020 + 0.0006	0.0035 + 0.0005	0.0045 + 0.0006	0.0005 + 0.0001
	1000.000 V		0.0020 + 0.0006	0.0035 + 0.0010	0.0045 + 0.0010	0.0005 + 0.0001
True rms AC voltage <sup>4</sup>	100.0000 mV	3 Hz – 5 Hz	1.00 + 0.03	1.00 + 0.04	1.00 + 0.04	0.100 + 0.004
		5 Hz – 10 Hz	0.35 + 0.03	0.35 + 0.04	0.35 + 0.04	0.035 + 0.004
		10 Hz – 20 kHz	0.04 + 0.03	0.05 + 0.04	0.06 + 0.04	0.005 + 0.004
		20 kHz – 50 kHz	0.10 + 0.05	0.11 + 0.05	0.12 + 0.05	0.011 + 0.005
		50 kHz – 100 kHz	0.55 + 0.08	0.60 + 0.08	0.60 + 0.08	0.060 + 0.008
		100 kHz – 300 kHz <sup>5</sup>	4.00 + 0.50	4.00 + 0.50	4.00 + 0.50	0.20 + 0.02
1.000000 V to 750.000 V		3 Hz – 5 Hz	1.00 + 0.02	1.00 + 0.03	1.00 + 0.03	0.100 + 0.003
		5 Hz – 10 Hz	0.35 + 0.02	0.35 + 0.03	0.35 + 0.03	0.035 + 0.003
		10 Hz – 20 kHz	0.04 + 0.02	0.05 + 0.03	0.06 + 0.03	0.005 + 0.003
		20 kHz – 50 kHz	0.10 + 0.04	0.11 + 0.05	0.12 + 0.04	0.011 + 0.005
		50 kHz – 100 kHz <sup>5</sup>	0.55 + 0.08	0.60 + 0.08	0.60 + 0.08	0.060 + 0.008
		100 kHz – 300 kHz <sup>6</sup>	4.00 + 0.50	4.00 + 0.50	4.00 + 0.50	0.20 + 0.02

# Měření DC napětí – přístroje

## Měřicí zesilovače

Zesilování malých napětí pro další zpracování (měření)



Neinvertující zesilovač napětí

Zisk:  $A = 1 + \frac{R_2}{R_1}$

Chyba vlivem vstupní napětíové nesymetrie:

$$\Delta U_O = A U_{OS}$$

- OZ – problém napětového offsetu a driftu.
- Měření napětí  $\sim 1$  mV a méně vyžaduje použití precizního zesilovače nebo jiný přístup...
- Řešení: zesilovače s automatickým nulováním popř. modulačního zesilovače

**uA741**

SLOS094G – NOVEMBER 1970 – REVISED JANUARY 2018

www.ti.com

### 6.4 Electrical Characteristics: $\mu$ A741C

at specified virtual junction temperature,  $V_{CC\pm} = \pm 15$  V (unless otherwise noted)

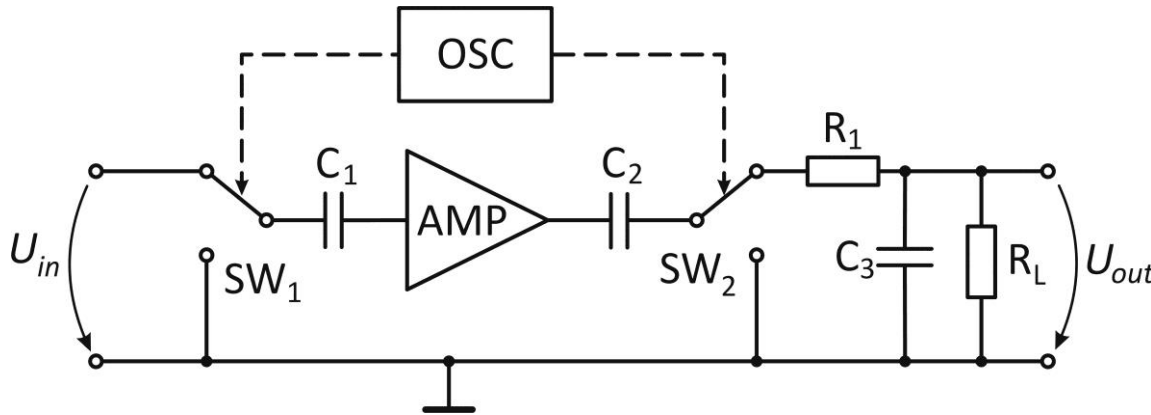
PARAMETER	TEST CONDITIONS <sup>(1)</sup>	MIN	TYP	MAX	UNIT
$V_{IO}$ Input offset voltage	$V_O = 0$		1	6	mV
	Full range			7.5	
$\Delta V_{IO(Adj)}$ Offset voltage adjust range	$V_O = 0$		$\pm 15$		mV
$I_{IO}$ Input offset current	$V_O = 0$		20	200	nA
	Full range			300	

Offset zesilovače  $\mu$ A741, [8]

# Měření DC napětí – přístroje

## Měřicí zesilovače

## Modulační zesilovač



*Princip modulačního zesilovače*

### Princip:

Napětí je nejprve rozstředáno, zesíleno střídavě vázaným zesilovačem a následně synchronně usměrněno.

### Příklad: WSH222A (Tesla):

- Napěťový offset: 10 mV (externě nulovatelný)
- Drift offsetu: 0,1  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- Vst. proud: 10 nA max
- Mod. kmitočet: 400 Hz
- Mezní kmitočet: 10 Hz
- Napájení:  $\pm 14\text{ V}$  až  $\pm 16\text{ V}$
- Použití: zesilovač pro termočláanky

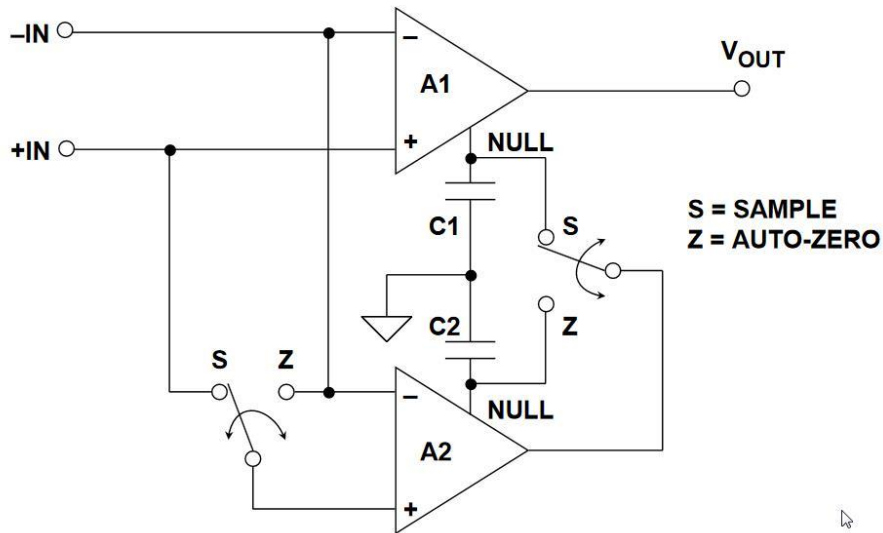


*Zesilovače WSH222A*

# Měření DC napětí – přístroje

## Měřicí zesilovače

### Auto-Zero zesilovač



*Auto-Zero zesilovač – princip*

A1...hlavní zesilovač

A2...pomocný (nulovací) zes.

C1, C2...paměťové kapacity

**Příklad:** LTC2051C (Linear), [10]:

- Napěťový offset: 3  $\mu\text{V}$  (max)
- Drift nap. Offsetu: 30 nV/ $^{\circ}\text{C}$
- Napájení: 2,7 V až  $\pm 5,5$  V
- Vstupní proud: 150 pA max.
- Vnitřní spínací frekv.: 7,5 kHz
- Mezní kmitočet: 3 MHz
- Použití: zesilování napětí termočlánků, DAQ systémy, aktivní filtry...



*Auto-zero zesilovač LTC2051C*

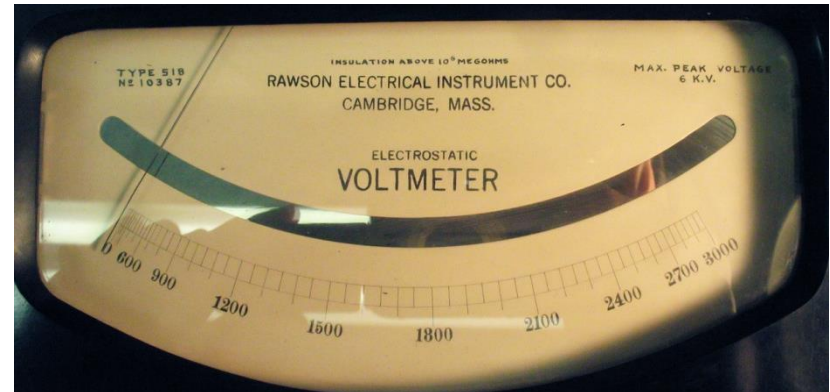
# Měření DC napětí – přístroje

## Elektrostatické voltmetry

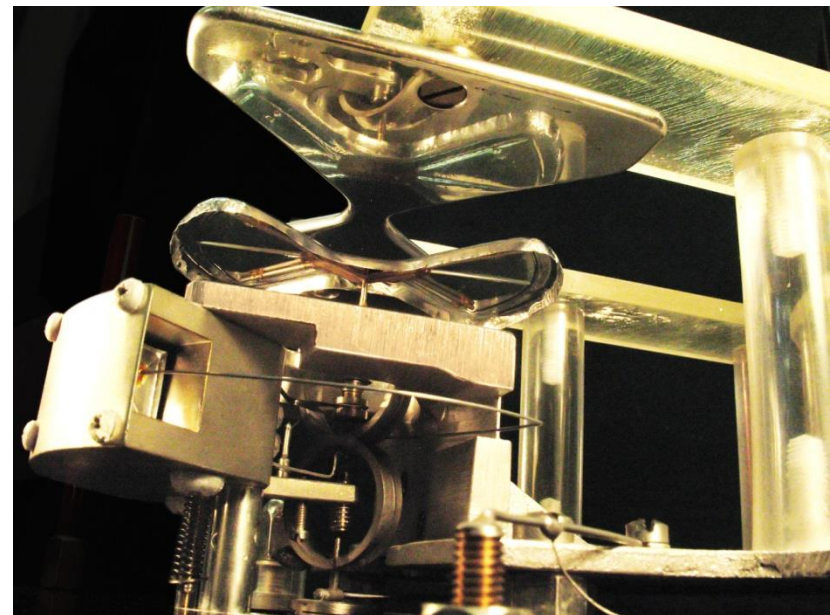
### Klasické provedení:

- Pracují na principu silového působení mezi dvěma nabitými elektrodami
- Měření velkých napětí (až  $\sim 100$  kV)
- Téměř nekonečný vnitřní odpor
- Problematická změna rozsahu
- Potlačená nula resp. silná nelinearita na počátku stupnice

### Příklad: Elstat. Voltmetr Rawson



(převzato z: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?curid=30105743>)



(převzato z: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?curid=30105790>)

# Měření DC napětí – přístroje

## Elektrostatické voltmetry

### Elektronické elektrostatické voltmetry:

- Princip: Vibrující kapacitní snímací elektroda a citlivý zesilovač indukovaného střídavého napětí
- Měření v rozsazích (~ 1 V až 1 kV)

### **Příklad: 244AL**, Monroe, [11]

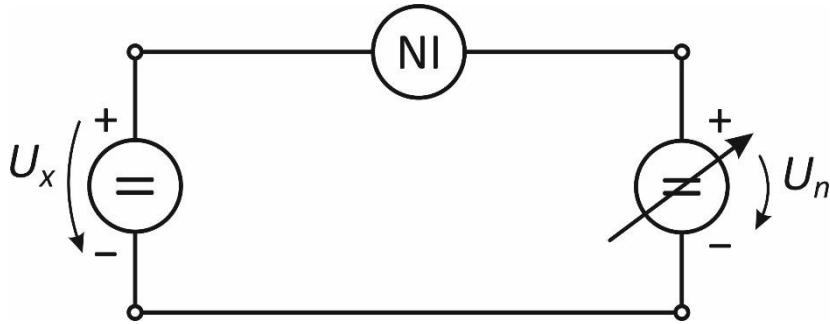
- Měřicí rozsah:  $\pm 15$  V
- Rozlišení: 10 mV
- Chyba: 0,1 %



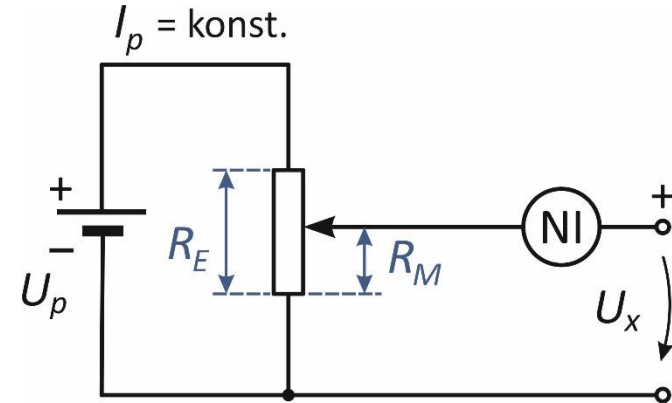
*244AL s kapacitní snímací sondou,  
Monroe Electronics, [11]*

# Měření DC napětí – přístroje

## Kompenzátor DC napětí



Napěťový kompenzátor-princip

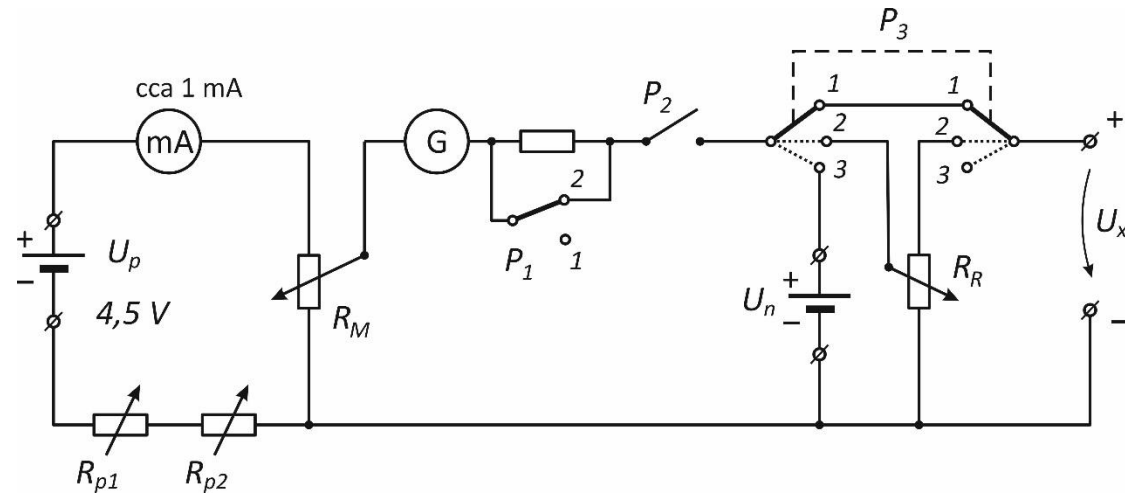


Kompenzace DC napětí děličem

- Nastavení  $U_n$  tak aby:

$$NI = 0 \Rightarrow U_x = U_n$$

- NI...nulový indikátor
- Ve vykompenzovaném stavu není měřený zdroj zatěžován (ideální V-metr)



Zjednodušené schéma laboratorního kompenzátoru QTK

# Měření AC napětí – základní definice

- Maximální hodnota
- Střední hodnota (nábojová)
- Efektivní hodnota (tepelná)
- Činitel tvaru (form factor)
- Činitel výkyvu (crest factor)
- Činitel plnění

$$U_m = \max[u(t)]_0^T$$

$$U_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt$$

$$U_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

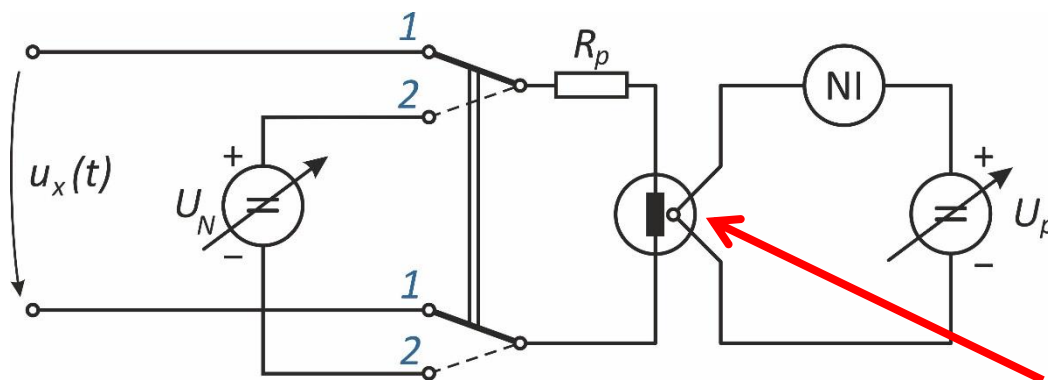
$$k_{tv} = \frac{U_{RMS}}{U_{av}}$$

$$k_v = \frac{U_m}{U_{RMS}}$$

$$k_p = \frac{U_{av}}{U_m}$$

# Měření AC napětí – přístroje

## Komparátory AC napětí



Komparátor AC napětí-princip

$u_x(t)$ ...měřené AC napětí

$R_p$ ...předřadník

NI...nulový indikátor

$U_N$ ...zdroj komparačního DC napětí

$U_p$ ...zdroj kompenzačního DC napětí

### Význam:

Přístroje pro přesná měření RMS hodnoty střídavého průběhu.

### Princip:

Pomocí **topného tělesa svázaného s termočlánkem** se porovnávají tepelné účinky neznámého AC napětí a známého DC napětí.

### Postup měření:

- 1) SW=1: Nastavení  $U_p$  tak, aby platilo NI=0
- 2) SW=2: Nastavení  $U_N$  tak, aby platilo NI=0
- 3) Čtení  $U_N$ , platí  $U_{RMS} = U_N$

# Měření AC napětí – přístroje

## Komparátory AC napětí

**Příklad:** AC/DC Komparátor  
**Fluke792A** (Fluke Call.), [12]

- Měřicí rozsahy: 22 mV, ..., 1 kV
- Chyba komparace: 0,001 %
- Frekv. rozs.: 10 Hz až 1 MHz



# Měření AC napětí – přístroje

## Magnetoelektrické přístroje s usměrňovači

- Rozsahy:  $\sim 1\text{ V}$  až  $\sim 100\text{ V}$
- Omezená přesnost měření
- Problém tvaru průběhu (kalibrováno pro sinus)
- Omezený frekvenční rozsah (max.  $\sim 10\text{ kHz}$ )
- Relativně levné

**Příklad: MX1 (Metrix), [6]:**

- $V_{AC}$  rozsahy:  $5\text{ V}$  až  $1,5\text{ kV}$
- Frekv. rozs:  $16\text{ Hz}$  až  $1\text{ kHz}$
- Vnitřní odpor:  $6,32\text{ k}\Omega/\text{V}$
- $TP: 2,5$



Multimetr MX1 (Metrix)

# Měření AC napětí – přístroje

## Elektromagnetické přístroje

- Rozsahy:  $\sim 10\text{ V}$  až  $\sim 100\text{ V}$
- $TP$  0,2 nebo horší
- Měří přímo efektivní hodnotu bez ohledu na tvar průběhu
- Omezený frekvenční rozsah (max.  $\sim 100\text{ Hz}$ )
- Větší vlastní spotřeba než magnetoel. přístroje
- Relativně levné
- Vhodné jako panelová měřidla

**Příklad:** Fa96c (Metra Blansko), [13]:

- Rozsahy: 10 V, ..., 600 V
- $TP = 1,5$
- Prac. frekv.: 40 Hz- 100 Hz
- Vl. Spotřeba: 5-8 VA



*Fa96c, Metra Blansko*

# Měření AC napětí – přístroje

## Digitální multimetry

- $V_{AC}$  rozs.:  $\sim 0,1$  V až  $\sim 100$  V
- Rozlišení: až  $0,1 \mu\text{V}$  (lab. př.)
- TRMS nebo aktivní usm.
- Fr. rozs:  $\sim 1$  Hz až  $\sim 100$  kHz
- Přesnost, vyšší cena



Multimetr 34401A

### Příklad: 34401A (Keysight), [7]:

- $V_{AC}$  rozsahy: 100 mV až 750 V
- TRMS převodník
- Rozlišení:  $0,1 \mu\text{V}$  (M=100 mV)
- Vst. Imp.:  $1 \text{ M}\Omega$  ||  $100 \text{ pF}$
- Fr. rozs.: 3 Hz až 300 kHz
- Přesnost viz specifikace

Accuracy Specifications  $\pm$  (% of reading + % of range)<sup>1</sup>

Function	Range <sup>3</sup>	Frequency, etc.	24 Hour <sup>2</sup> 23°C $\pm$ 1°C	90 Day 23°C $\pm$ 5°C	1 Year 23°C $\pm$ 5°C	Temperature Coefficient 0°C – 18°C 28°C – 55°C
DC voltage	100.0000 mV		0.0030 + 0.0030	0.0040 + 0.0035	0.0050 + 0.0035	0.0005 + 0.0005
	1.000000 V		0.0020 + 0.0006	0.0030 + 0.0007	0.0040 + 0.0007	0.0005 + 0.0001
	10.00000 V		0.0015 + 0.0004	0.0020 + 0.0005	0.0035 + 0.0005	0.0005 + 0.0001
	100.0000 V		0.0020 + 0.0006	0.0035 + 0.0006	0.0045 + 0.0006	0.0005 + 0.0001
True rms AC voltage <sup>4</sup>	100.0000 mV	3 Hz – 5 Hz	1.00 + 0.03	1.00 + 0.04	1.00 + 0.04	0.100 + 0.004
		5 Hz – 10 Hz	0.35 + 0.03	0.35 + 0.04	0.35 + 0.04	0.035 + 0.004
		10 Hz – 20 kHz	0.04 + 0.03	0.05 + 0.04	0.06 + 0.04	0.005 + 0.004
		20 kHz – 50 kHz	0.10 + 0.05	0.11 + 0.05	0.12 + 0.05	0.011 + 0.005
		50 kHz – 100 kHz	0.55 + 0.08	0.60 + 0.08	0.60 + 0.08	0.060 + 0.008
		100 kHz – 300 kHz <sup>6</sup>	4.00 + 0.50	4.00 + 0.50	4.00 + 0.50	0.20 + 0.02
1.000000 V to 750.000 V		3 Hz – 5 Hz	1.00 + 0.02	1.00 + 0.03	1.00 + 0.03	0.100 + 0.003
		5 Hz – 10 Hz	0.35 + 0.02	0.35 + 0.03	0.35 + 0.03	0.035 + 0.003
		10 Hz – 20 kHz	0.04 + 0.02	0.05 + 0.03	0.06 + 0.03	0.005 + 0.003
		20 kHz – 50 kHz	0.10 + 0.04	0.11 + 0.05	0.12 + 0.04	0.011 + 0.005
		50 kHz – 100 kHz <sup>5</sup>	0.55 + 0.08	0.60 + 0.08	0.60 + 0.08	0.060 + 0.008
		100 kHz – 300 kHz <sup>6</sup>	4.00 + 0.50	4.00 + 0.50	4.00 + 0.50	0.20 + 0.02

# Měření AC napětí – přístroje

## AC milivoltmetry

- Měření malých AC napětí.
- Princip: AC vazba, AC zesilovač, aktivní usměrňovač
- Rozsahy:  $\sim 100 \mu\text{V}$  až  $\sim 10 \text{ V}$
- Frekv. rozs.:  $\sim 10 \text{ Hz}$  až  $\sim 100 \text{ kHz}$
- Zobrazovač: ručkový přístroj

### Příklad: GVT417B (GW Instek), [14]

- Rozsahy:  $300 \mu\text{V}$  až  $100 \text{ V}$
- Frekv. rozs.:  $10 \text{ Hz}$  až  $1 \text{ MHz}$
- Chyba:  $\pm 3\%$  ( $20 \text{ Hz}$  až  $200 \text{ kHz}$ )  
 $\pm 10\%$  ( $10 \text{ Hz}$  až  $1 \text{ MHz}$ )
- Vst. impedance:  $1 \text{ M}\Omega$  II  $40 \text{ pF}$



AC milivoltmetr GVT417B,  
GW Instek

# Měření AC napětí – přístroje

## Měřicí transformátory napětí

- Určeny pro měření vysokých napětí až  $\sim 10$  kV
- Pouze pro AC, typicky pro tech. kmitočty (50 Hz, 60 Hz nebo 400 Hz)
- Galvanické oddělení
- Značení svorek M-N/m-n
- Chod naprázdno
- Pevný transformační poměr
- Jmenovité sekundární napětí: obvykle 100 V

**Příklad: VPT38** (KPB Intra):

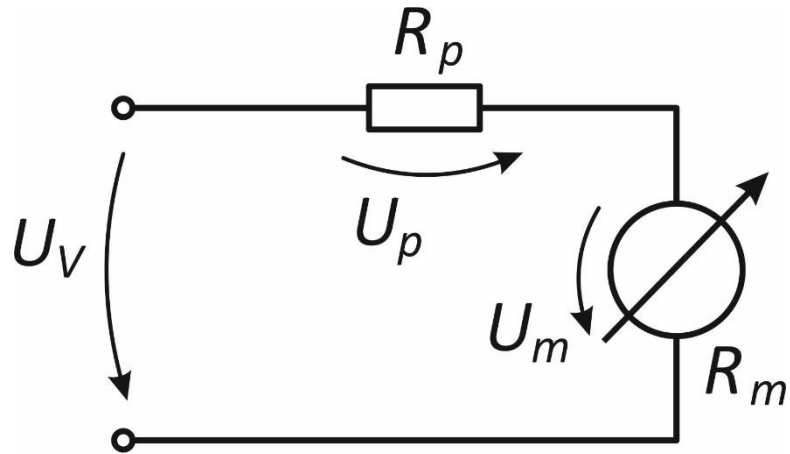
- Jm. prim. nap.: 3 kV – 35 kV
- Jm. sek. nap.: 100/110/120 V
- Jm. kmitočet: 50 Hz
- *TP*: 0,2; 0,5; 1; 3



*Měřicí transformátor napětí VPT38, KPB Intra, (převzato z: [www.kpb intra.cz](http://www.kpb intra.cz))*

# Měření napětí – změna rozsahu V-metru

## Předřadník



$$U_V = U_P + U_m$$

$$\frac{U_V}{U_m} = \frac{R_P + R_m}{R_m}$$

$$R_P = R_m(n - 1)$$

$$n = \frac{U_V}{U_m}$$

**Příklad:** Voltmetr má rozsah  $U_m = 100 \text{ V}$  a odpor  $10 \text{ k}\Omega/\text{V}$ . Určete velikost předřadníku pro rozsah  $U_V = 1000 \text{ V}$  a celkový vnitřní odpor.

$$\begin{aligned} R_P &= R_m(n - 1) = \\ &= 100 \cdot 10 \cdot 10^3 \left( \frac{1000}{100} - 1 \right) = \\ &= \underline{9 \text{ M}\Omega} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_i &= R_p + R_m = 9 \cdot 10^6 + \\ &+ 100 \cdot 10 \cdot 10^3 = \underline{10 \text{ M}\Omega} \end{aligned}$$

# Literatura

- [1] J. Boháček: Metrologie elektrických veličin. Vyd.1. Praha : ČVUT, 1994.
- [2] M. Šíra, J. Streit: Nový státní etalon stejnosměrného napětí ČR, květen 2013
- [3] P. Vanysek: Weston, the Weston Cell, and the Volt, The Electrochemical Society Interface, 2017, [www.electrochem.org](http://www.electrochem.org)
- [4] Linear Technology: LM199/LM399, LM199A/LM399A Precision Reference, Data Sheet, LT 1214 REV C, 1987, [www.analog.com](http://www.analog.com)
- [5] Fluke Calibration: 732C and 734C DC Reference Standard, Technical Data, 2018, [www.flukecal.com](http://www.flukecal.com)
- [6] Metrix: MX 1 Multimeter, Data Sheet, X02917B00 - Ed. 04 - 03/13, 2013, [www.chauvin-arnoux.com](http://www.chauvin-arnoux.com)
- [7] Keysight Technologies: 34401A Digital Multimeter, Data Sheet, April 2020, [www.keysight.com](http://www.keysight.com)
- [8] Texas Instruments:  $\mu$ A741 General-Purpose Operational Amplifiers, Data Sheet, SLOS094G, Nov. 1970–REV. January 2018, [www.ti.com](http://www.ti.com)
- [9] Analog Devices: Chopper Stabilized (Auto-Zero) Precision Op Amps, MT-055 tutorial, Rev.0, 10/08, WK, [www.analog.com](http://www.analog.com)
- [10] Linear Technology: LTC2051/LTC2052 Dual/Quad Zero-Drift Operational Amplifiers, Data Sheet, 20512fd, 2000, [www.analog.com](http://www.analog.com)
- [11] Monroe Electronics: Model 244AL Electrostatic millivolt meter, Data Sheet, 2002, [www.monroe-electronics.com](http://www.monroe-electronics.com)
- [12] Fluke Calibration: 792A AC/DC Transfer Standard, Technical Data, 2016, [www.flukecal.com](http://www.flukecal.com)
- [13] Metra Blansko: Rozvaděčové přístroje – katalog, [www.metra.com](http://www.metra.com)
- [14] GW Instek: GVT-417B User Manual, [www.gwinstek.com](http://www.gwinstek.com)
- [15] Haasz V.: Elektrická měření – přístroje a metody, ČVUT 2018