

# Elektrická měření

## 1. ÚVOD, PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ NAPĚTÍ A PROUDU, DIGITÁLNÍ OSCILOSKOP

**2024/2025**

**Jakub Svatoš**

# 1. PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ NAPĚTÍ A PROUDU

- **Organizace předmětu**
- **Přístroje pro měření stejnosměrného napětí a proudu**  
– multimetr v režimu měření stejnosměrného napětí nebo proudu
- **Přístroje pro měření střídavého napětí a proudu měřící střední hodnotu** – levný číslicový multimetr v režimu měření střídavého napětí nebo proudu
- **Přístroje pro měření střídavého napětí a proudu měřící efektivní hodnotu** – elektromagnetický voltmetr/ampérmetr, kvalitní číslicový multimetr v režimu měření střídavého napětí nebo proudu
- **Digitální osciloskop** – blokové schéma, osciloskopická sonda

# Organizace předmětu

## *Moodle*

- Informace o předmětu
- Návod k laboratorním

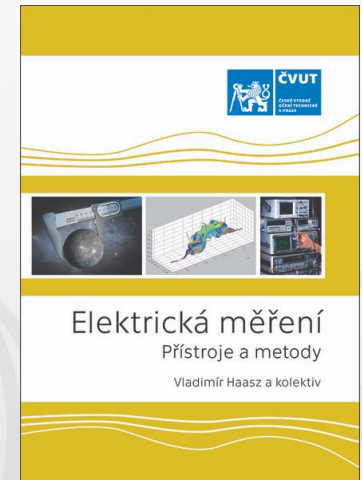


## *Klasifikace*

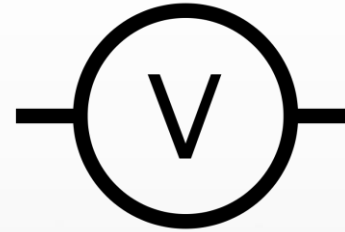
- 45 bodů ze semestru
- 55 bodů ze zkoušky (minimální počet bodů 15)

## *Doporučená literatura*

- Haasz, V. a kol.: Elektrická měření, Přístroje a metody (3. přepracované vydání), Monografie ČVUT, Česká technika – nakladatelství ČVUT, Praha 2018
- *Errata* viz moodle



# Měření napětí a proudu



Ideální voltmetr:  $R_i = \infty$

Realizace:

- digitální voltmetr  $R_i$  typ.  $10\text{ M}\Omega$  nebo více např.  $> 10\text{ G}\Omega$  (Keysight 34401)
- analogový voltmetr, např.  $5\text{ k}\Omega/\text{V}$

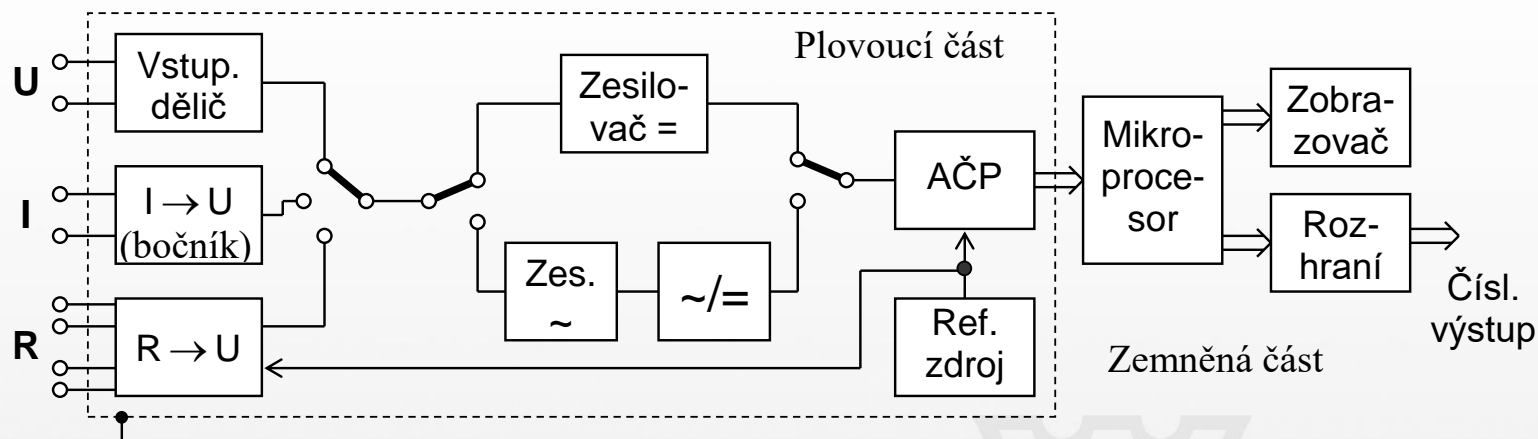


Ideální ampérmetr:  $R_i = 0$

Realizace:

- s bočníkem ( $R_i = 1\text{ m}\Omega - 1\text{ k}\Omega$ )
- elektronický (např.  $I \Rightarrow U$  s OZ)
- analogový (elektromechanický)
- bezkontaktní (magnetický)

# Digitální multimetry



# *Parametry digitálních multimetrů*

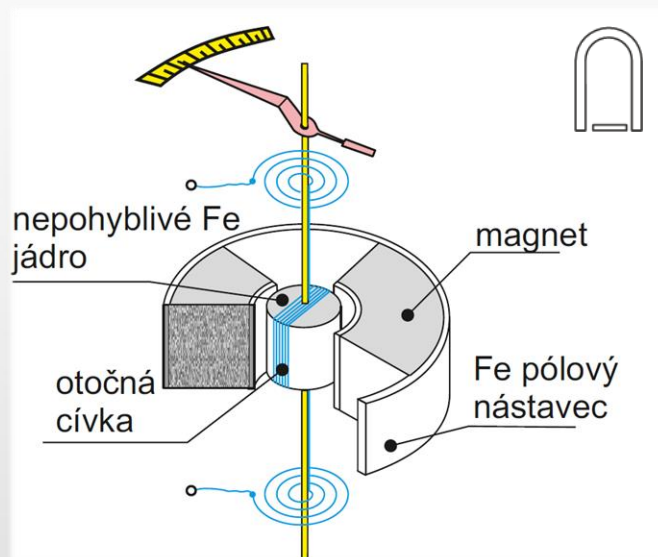
- Počet míst zobrazovače: 999 – 199 999 999
- Počet vstupních rozsahů: typicky 4 – 6
- Přesnost
- Časová stálost
- Rozlišení
- Vstupní odpor pro měření  $U$ , obvykle  $10\text{ M}\Omega$
- Měření skutečné efektivní hodnoty (TrueRMS)
- Rozhraní – USB, GPIB, Ethernet
- Programovatelnost



# Přístroje pro měření stejnosměrného napětí

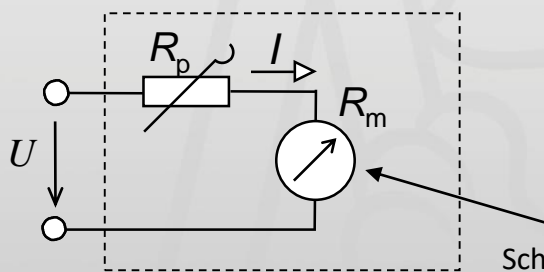
(desítky mV až stovky V)

## 1) Analogový voltmetr s magnetoelektrickým ústrojím – dnes už historie



Ampérův zákon pro sílu  
v magnetickém poli

$$F = BIl$$



Schématický symbol pro ústrojí

$$R_V = R_P + R_m$$

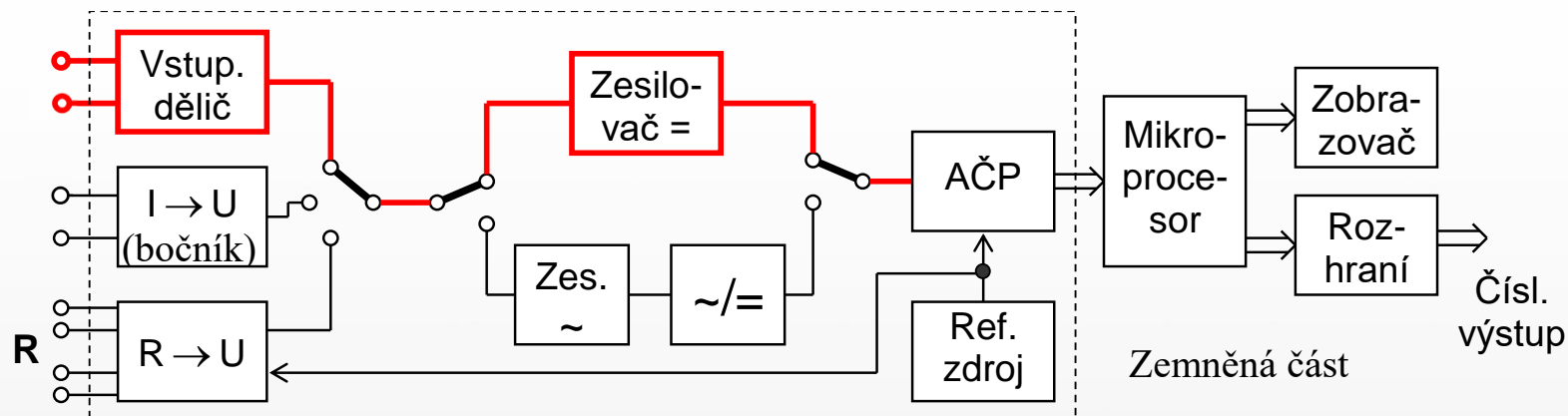
Změna rozsahů:  $R_P$

Většinou se  $R_V$  udává v  $\Omega/V$  – vztaženo k rozsahu

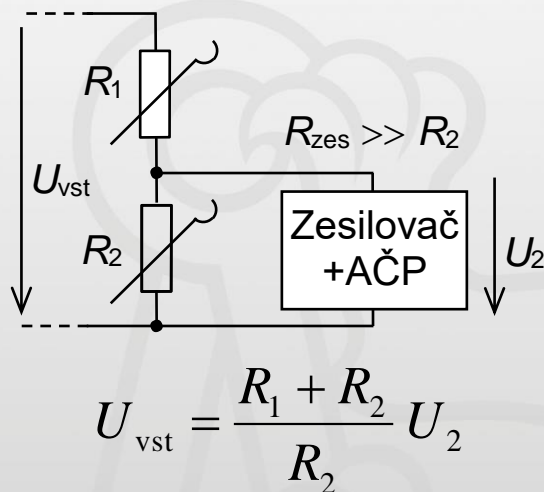




## 2) MULTIMETR v režimu měření stejnosměrného napětí



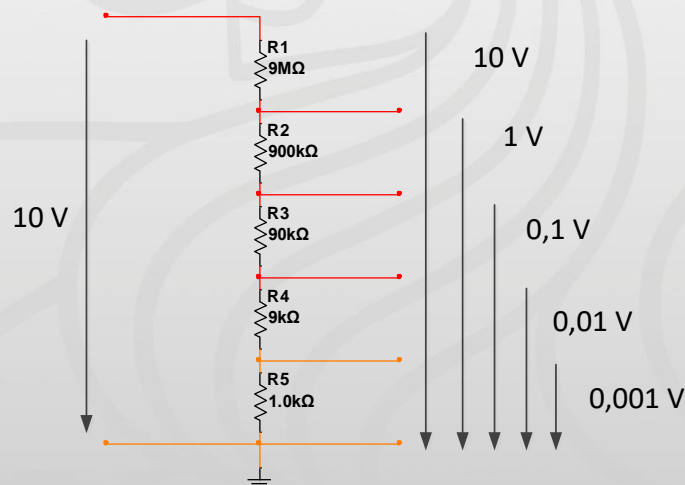
Pro přepínání napěťových rozsahů se používá odporový dělič



Obvykle:

$$R_1 + R_2 = 10 \text{ M}\Omega$$

Vstupní více rozsahový dělič s  
 $R_i = 10 \text{ M}\Omega$  (1:1 – 1:10 000)



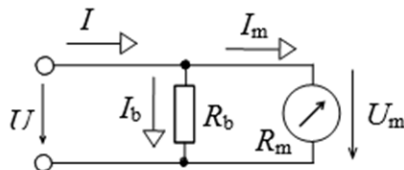


# Přístroje pro měření stejnosměrného proudu

(desítky mA až desítky A)

## 1) Ampérmetr s magnetoelektrickým ústrojím - dnes už historie

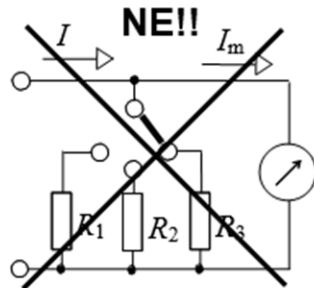
a) jednorozsahový



$$I = I_m + I_b = U_m/R_m + U_m/R_b$$

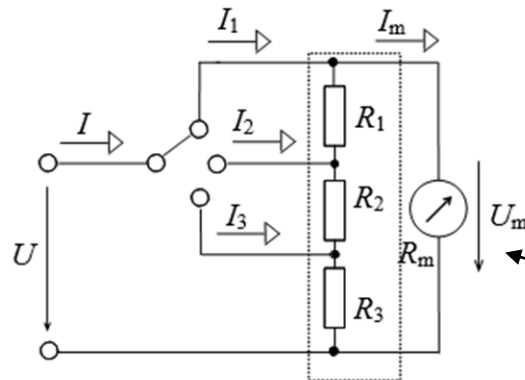
$$R_b = \frac{U_m}{(I - I_m)}$$

b) vícerozsahový

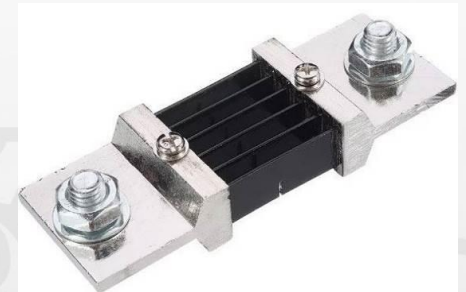


Úbytky napětí na  
přechodových odporech  
přepínače se přičítají  
k úbytku napětí na bočnicku)

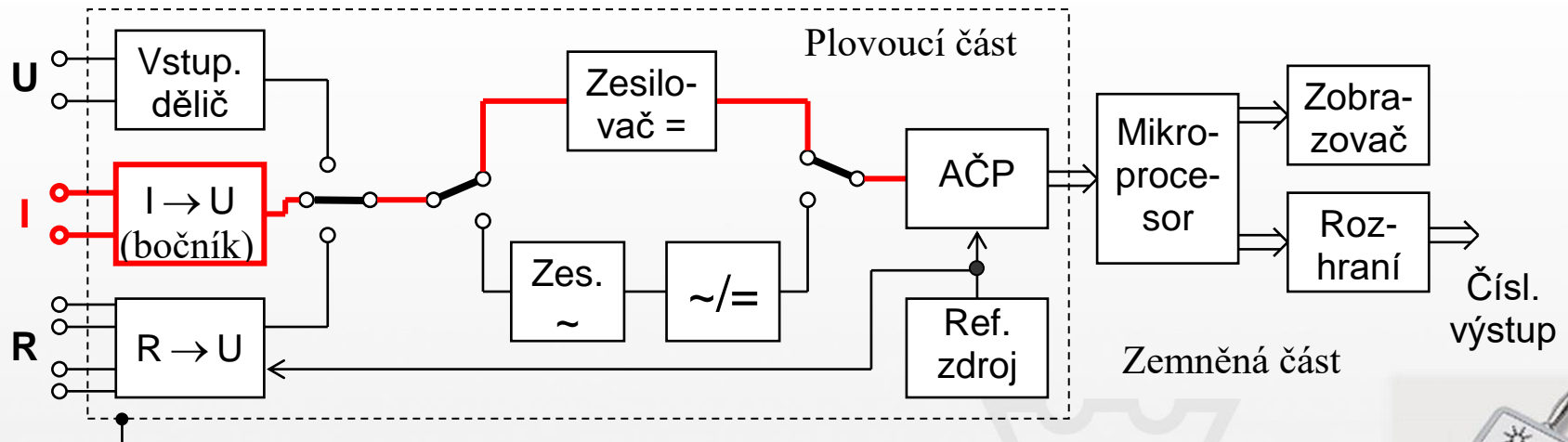
Ayrtonův bočník:



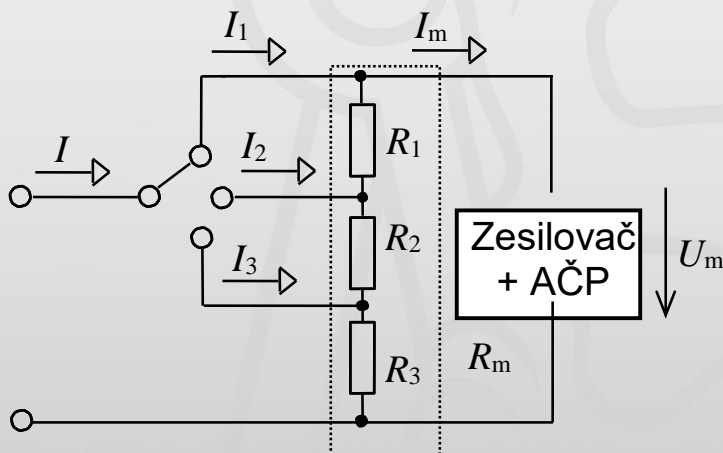
Schématický symbol pro ústrojí



## 2) MULTIMETR v režimu měření stejnosměrného proudu



Pro přepínání proudových rozsahů se používá Ayrtonův bočník



Pokud  $I_m \ll I_1$  (což obvykle pro větší rozsahy je), pak

$$U_m = (R_1 + R_2 + R_3)I_1$$

$$U_m = (R_2 + R_3)I_2$$

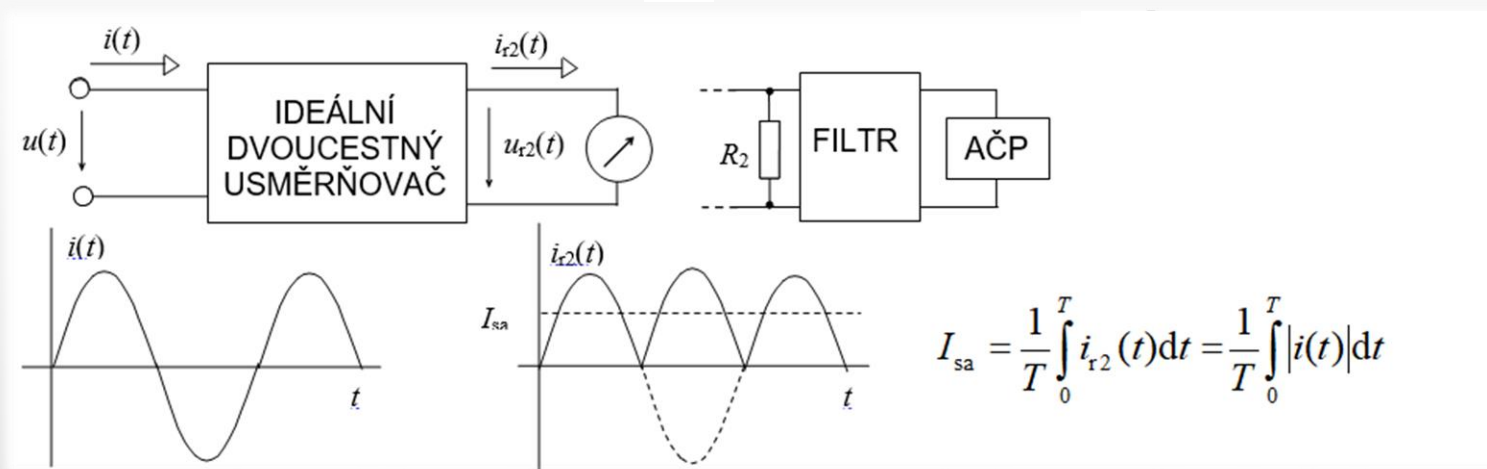
$$U_m = R_3I_3$$

# Přístroje pro měření střídavého napětí a proudu

(desítky mV až stovky V, desítky mA až desítky A)

## 1) Přístroje s usměrňovačem

(ručkové magel. s usměrňovačem, historie, levné multimetry)



- Přístroj **měří usměrněnou střední hodnotu**, je však **kalibrován v efektivních hodnotách** pro harmonický (**sinusový**) průběh.
- Při neharmonickém (nesinusovém) průběhu **nelze efektivní hodnotu z údaje přístroje určit!**
- Střední hodnotu vypočteme dělením údaje koeficientem tvaru pro harmonický průběh (1,11)

# Převodníky střední hodnoty – opakování

**Střední hodnota**

sinusový průběh  $u(t) = U_m \sin \omega t$

$$U_S = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt \quad \text{pro sin } U_S = 0$$

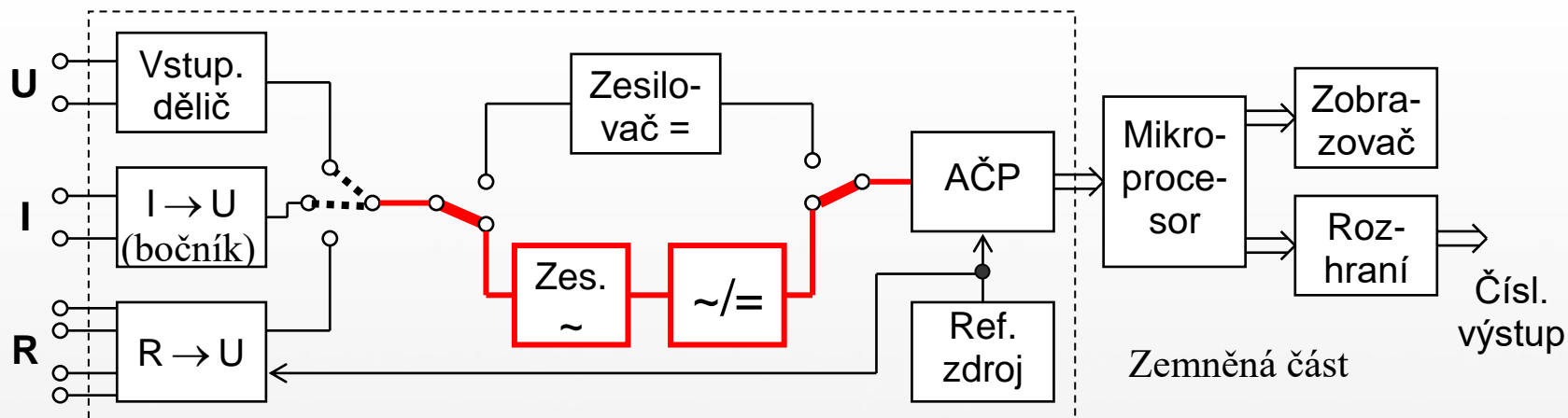
**Střední usměrněná hodnota**

$$U_{SU} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt \quad \text{nebo} \quad U_{SU} = \frac{1}{\frac{T}{2}} \int_0^{\frac{T}{2}} u(t) dt = \frac{2U_m}{\pi} = \frac{2\sqrt{2}U_{ef}}{\pi} = 0,9U_{ef}$$

**Efektivní hodnota (RMS)**

$$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad \text{pro sinus} \quad U_{ef} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

## Levný multimetr v režimu měření střídavého napětí a proudu



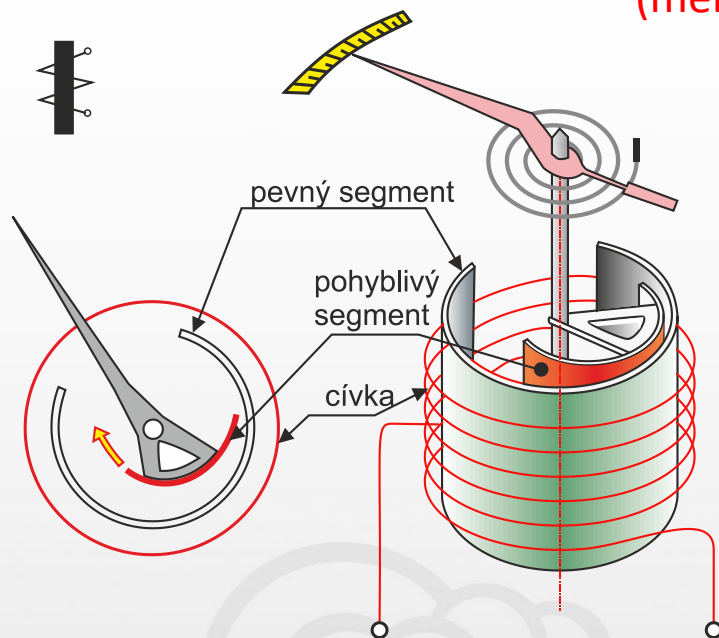
$\sim/=$  Usměrňovač - linearizace operačním zesilovačem (viz 3. přednáška)

### *Kmitočtová závislost:*

- kmitočtová závislost zesilovače
- kmitočtová závislost vstupního děliče (parazitní kapacity rezistorů)
- kmitočtová závislost Ayrtonova bočníku (parazitní indukčnosti rezistorů)
- kmitočtová závislost bývá na proudových rozsazích o cca jeden řád horší

## 2) Elektromagnetický (ferromagnetický) přístroj - PRO ILUSTRACI

(měří efektivní hodnotu)



$$\left. \begin{array}{l} F \sim B^2 \\ B \sim I \end{array} \right\} M_p = k_p I^2; \quad M_p = \frac{1}{T} \int_0^T m_p(t) dt = k_p \frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt = k_p I_{ef}^2$$

Základní rozsah: 10 mA až 100 A

Změna rozsahu A-metru: - odbočky

### Elektromagnetický voltmetr:

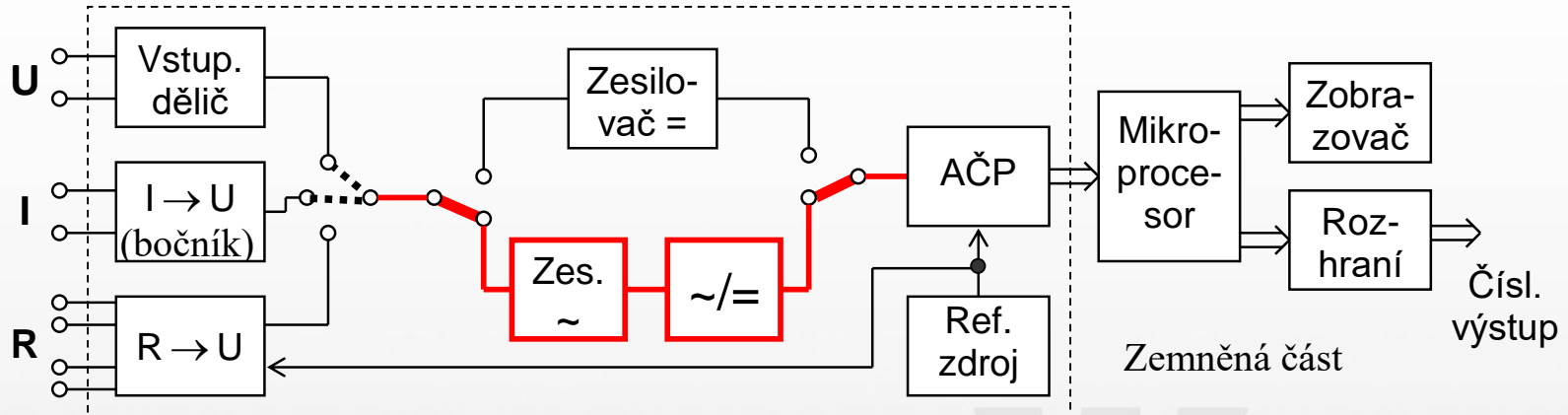
Silná kmitočtová závislost

$$I = \frac{U}{\sqrt{R_v^2 + \omega^2 L_m^2}}$$

$$R_v = R_p + R_m \quad \text{Změna rozsahů: } R_p$$

### 3) Kvalitní multimetr v režimu měření střídavého napětí a proudu

(měří efektivní hodnotu)



$\sim/=$  Převodník efektivní hodnoty na stejnosměrné napětí (viz 9. přednáška)

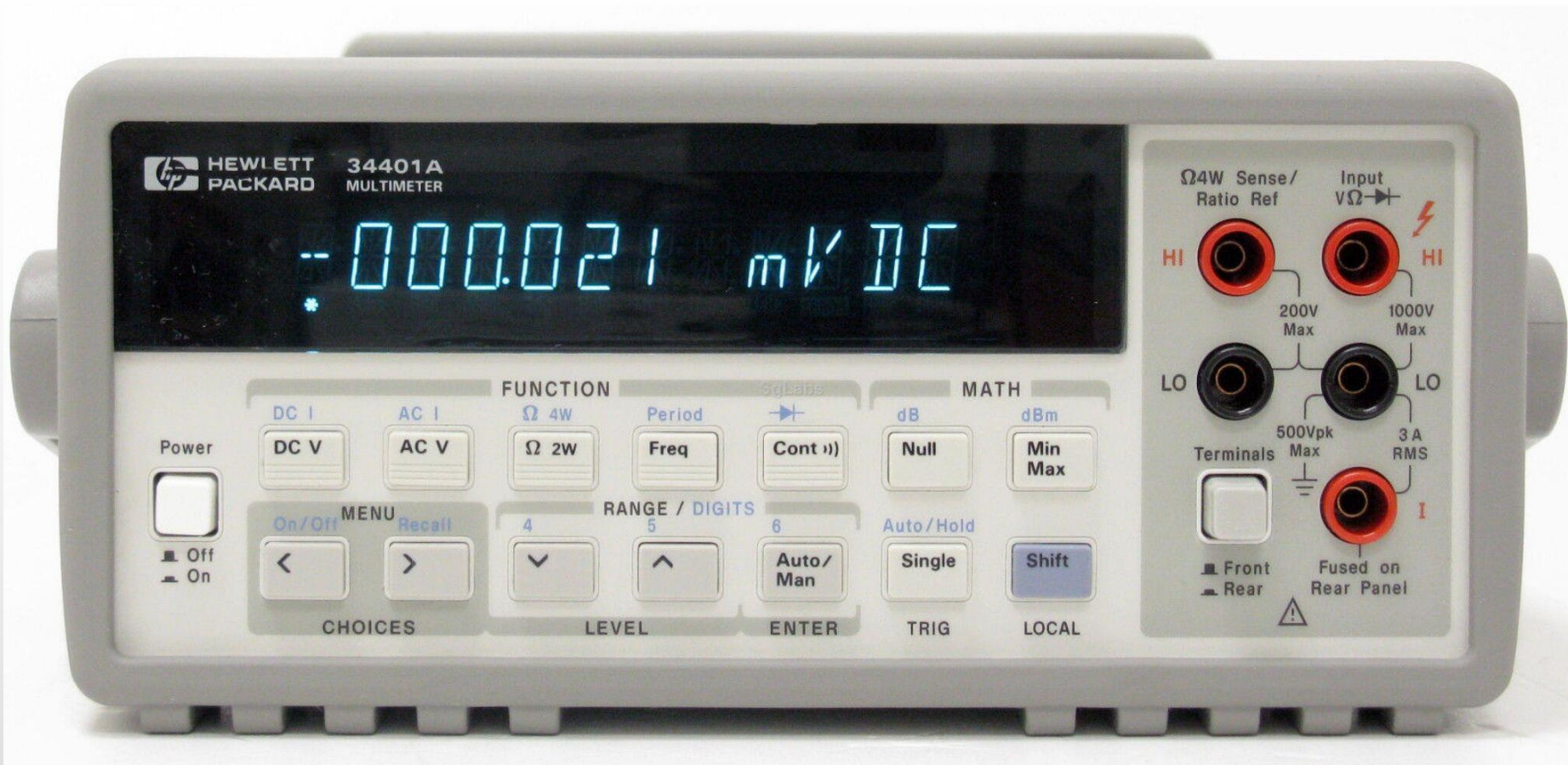
Režim pro střídavá měření označen RMS popř. True RMS

#### *Kmitočtová závislost:*

- kmitočtová závislost zesilovače
- kmitočtová závislost vstupního děliče (parazitní kapacity rezistorů)
- kmitočtová závislost Ayrtonova bočníku (parazitní indukčnosti rezistorů)
- kmitočtová závislost bývá na proudových rozsazích o cca jeden řád horší



# HP 34401 (standardní laboratorní DMM)

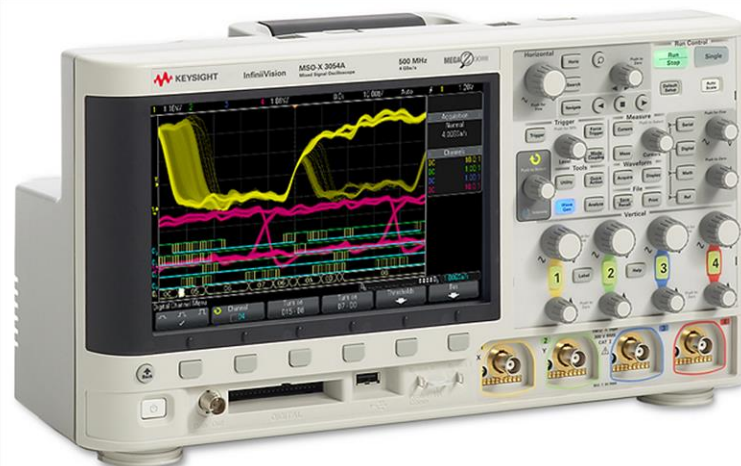
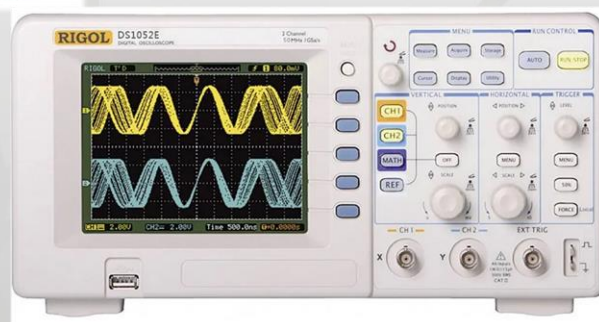


# OSCILOSKOP – STRUČNÝ ÚVOD

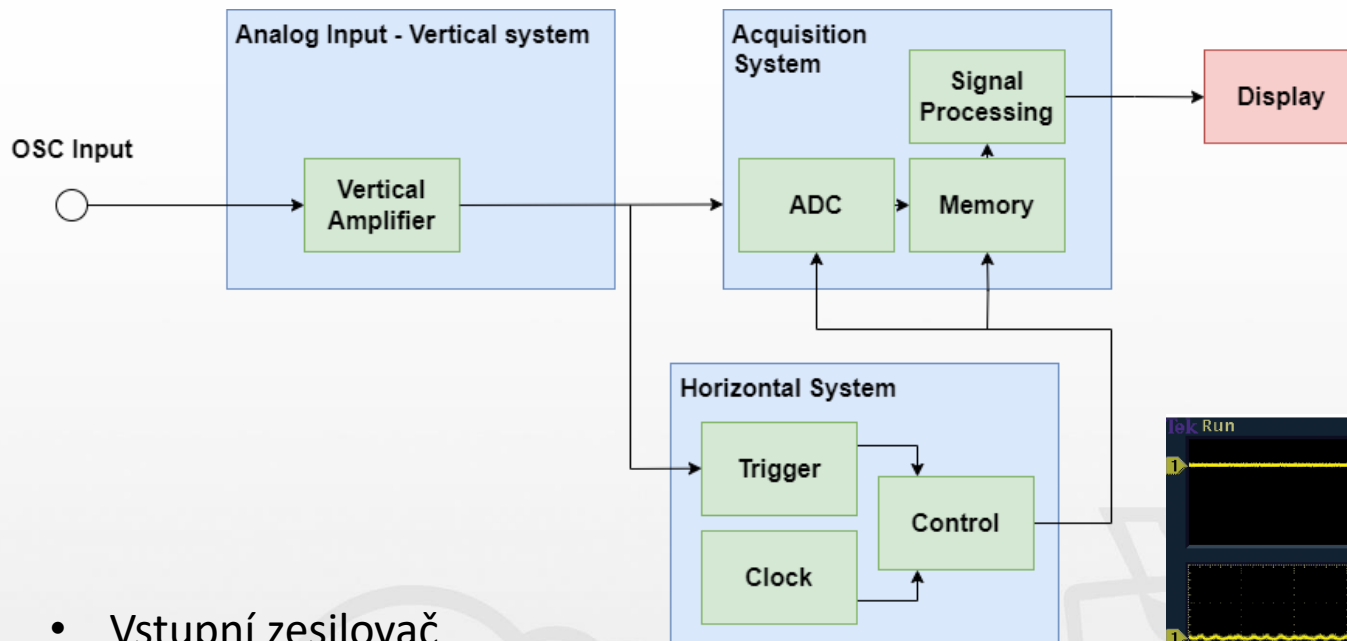
Přístroje pro zobrazení průběhu analogového signálu v čase  $t$  pro kmitočty od jednotek Hz do desítek GHz

**Analogové** – vhodné pro periodické děje, signál na stínítku je „přímo“ vykreslen měřeným signálem, **stále může být používán v laboratořích a průmyslu** ... dnes už jen zřídka

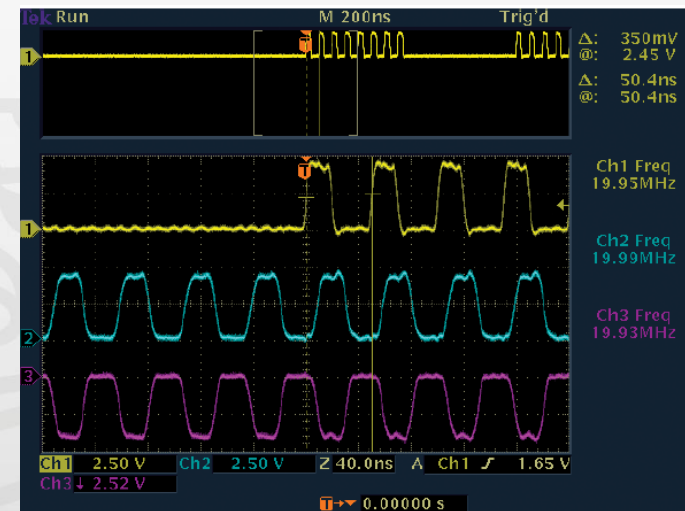
**Digitální** – AD převodník +  $\mu P$  + displej – všechny výhody digitálního zpracování signálů, měření digitálních signálů a jednorázových dějů a mnoho dalšího



# DIGITÁLNÍ OSCILOSKOP – zjednodušené blokové schéma



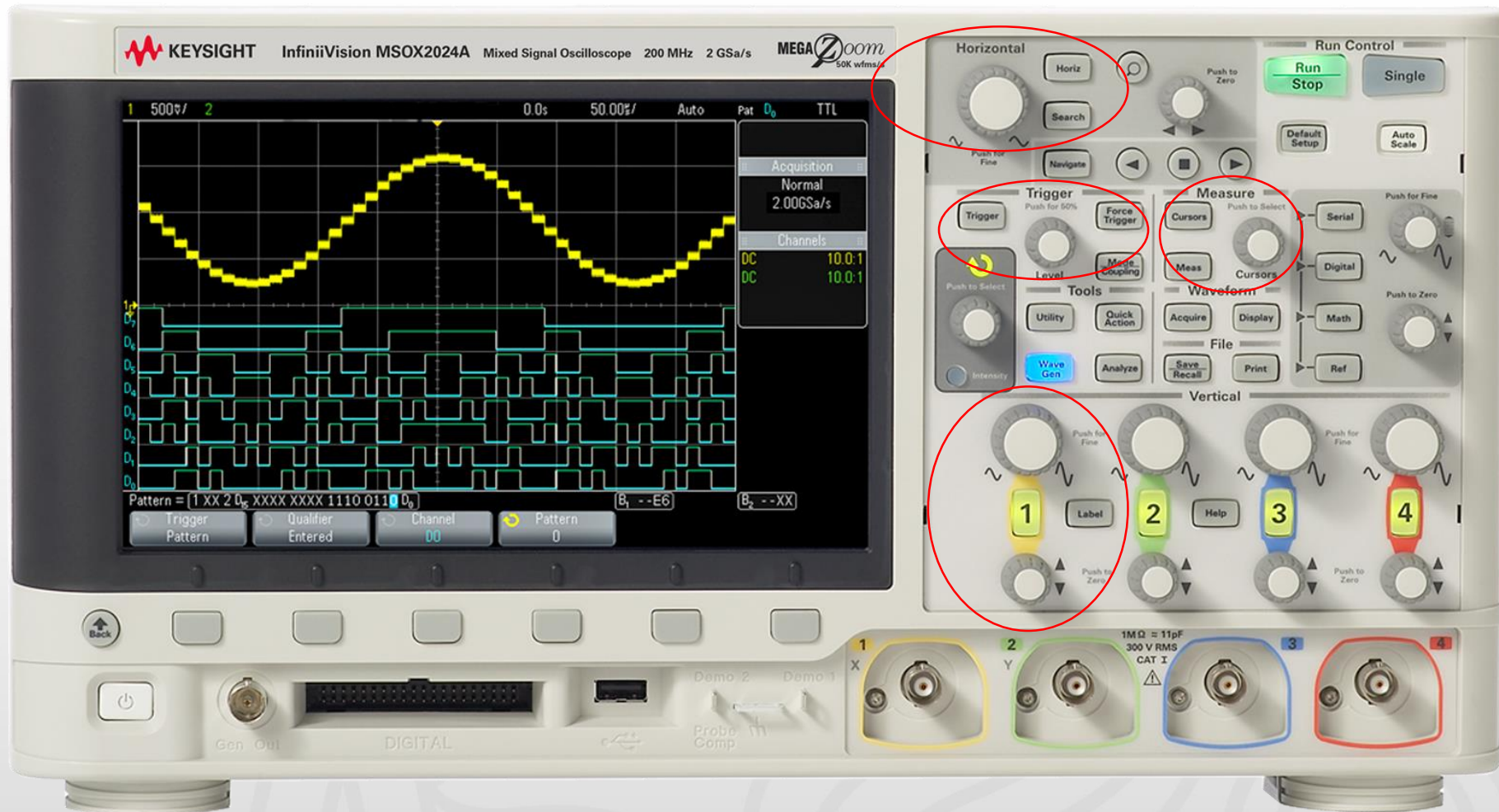
- Vstupní zesilovač
- AD převodník (Flash)
- Paměť typu FIFO (*first in first out*)  
trvale plněny vzorky signálu
- Mikroprocesor
- Časování
- Display



\*zdroj: Tektronix - XYZs of Oscilloscopes



## DIGITÁLNÍ OSCILOSKOP - ovládání

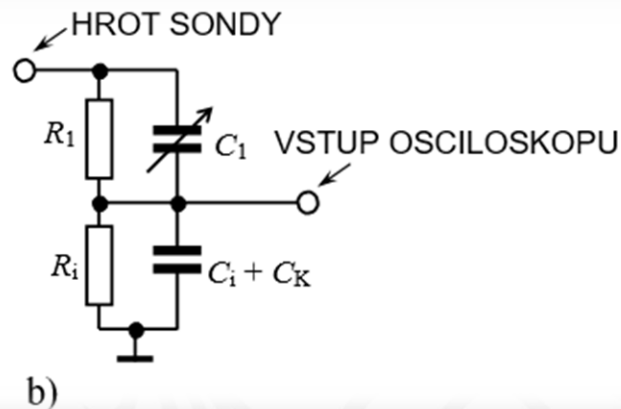
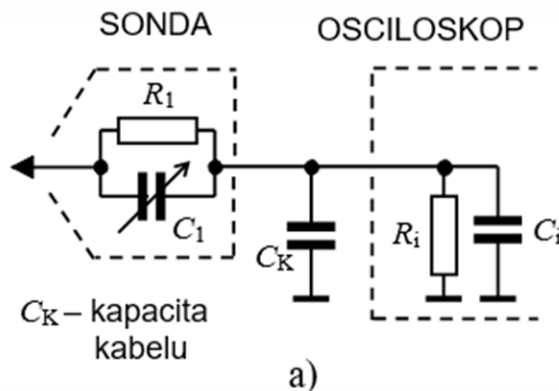


# OSCILOSKOPICKÁ SONDA

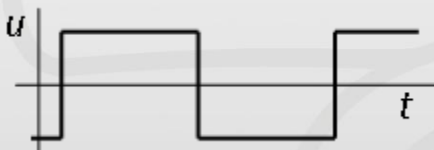
- Menší zatížení měřeného obvodu, kompenzace vstupní kapacity osciloskopu a přívodního kabelu, případně modifikace rozsahu
- Pro nejjednodušší měření při nízkých frekvencích postačí „banánková sonda“ přímé připojení vstupu osciloskopu –  $1\text{ M}\Omega$ ,  $\sim 100\text{ pF}$  (vstup osciloskopu + kapacita kabelu)



*Pasivní sonda 1:10*



- a) ekvivalentní obvod,  
b) ekvivalentní obvod překreslený jako frekvenčně kompenzovaný odporový dělič napětí



*Kalibrace sondy (nastavení kapacity  $C_1$ ) pomocí periodického obdélníkového průběhu*

a)  $R_1 C_1 < R_i (C_K + C_i)$

b)  $R_1 C_1 = R_i (C_K + C_i)$   
(správná kompenzace)

c)  $R_1 C_1 > R_i (C_K + C_i)$