



7.3 Merjenje upornosti

Meritve upornosti $R = \frac{u(t)}{i(t)}$ praviloma izvajamo:

- pri **enosmernem** (konstantnem) toku in napetosti,
 - če nas zanima realna komponenta upora,
- pri **sinusnem** toku in napetosti,
 - če želimo določiti še **kapacitivnost in induktivnost** upora.





Pri merjenju se **električna energija** ($u_R \cdot i_R$) pretvori v **toplotno**
→ **spremeni se upornost**

- sistematični vpliv

- pri **bakru** in ostalih kovinah je temperaturni koeficient:

ca. $+0,4\%/K$

- zlitina **manganin** ima temperaturni koeficient zelo majhen:

ca. $+10^{-5}/K$





Upornost je lahko **odvisna od:**

- **napetosti** (varistor),
- **zunanje temperature** (termistor),
- **osvetljenosti** (fotoupor),
- **magnetne indukcije** (uporovna magnetna sonda),
- **frekvence** (kožni pojav),
- **specifične upornosti** (materialna lastnost),
- **dimenzij** itn.

Kadar ima upornost tudi **elektrolitičen značaj** (upornost tekočin, ozemljitvene upornosti itn.), jo merimo **z izmeničnim sinusnim tokom** (polarizacija elektrod).



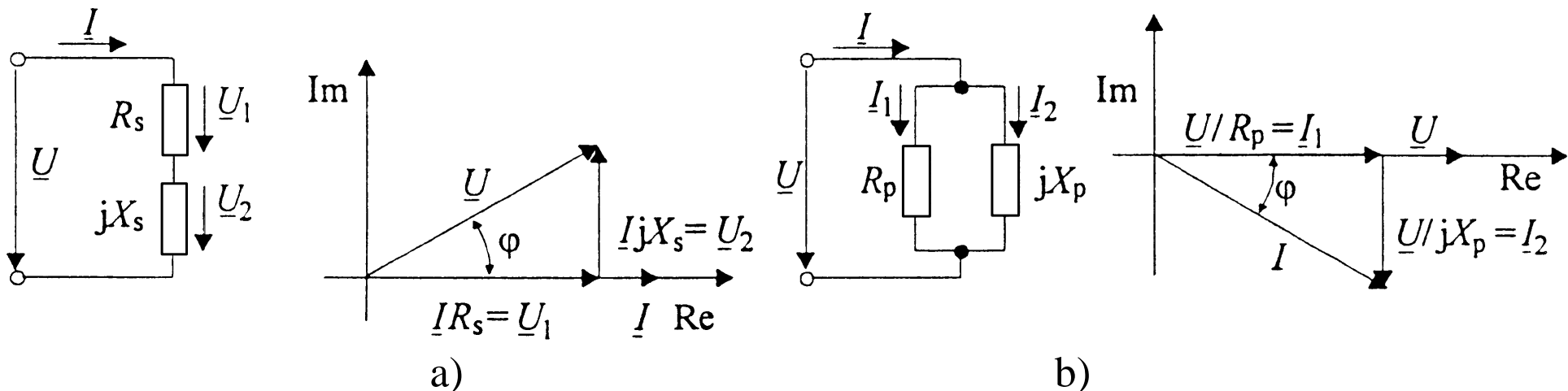


Upornost sestavljata:

- **realna ohmska** komponenta,
- in **jalova** upornost ali **reaktanca**.

Realno in imaginarno upornost povežemo v:

- **zaporedno** nadomestno vezavo (a) - skupen tok,
- **vzporedno** nadomestno vezavo (b) - skupna napetost,



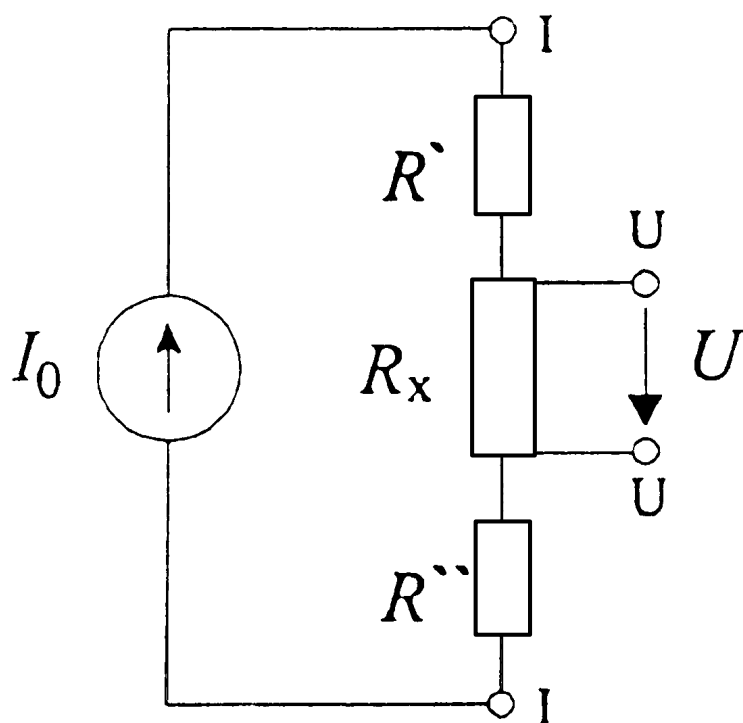
Slika 7.25: Nadomestni vezji pasivnega dvopola





Pri merjenju (**majhnih!**) upornosti moramo biti pozorni na **upornost priključkov:**

- priključni vodniki,
- prehodne upornosti stikov.



Uporabljamo **tokovne** in **napetostne** sponke.

- če ne uporabimo napetostnih sponk:

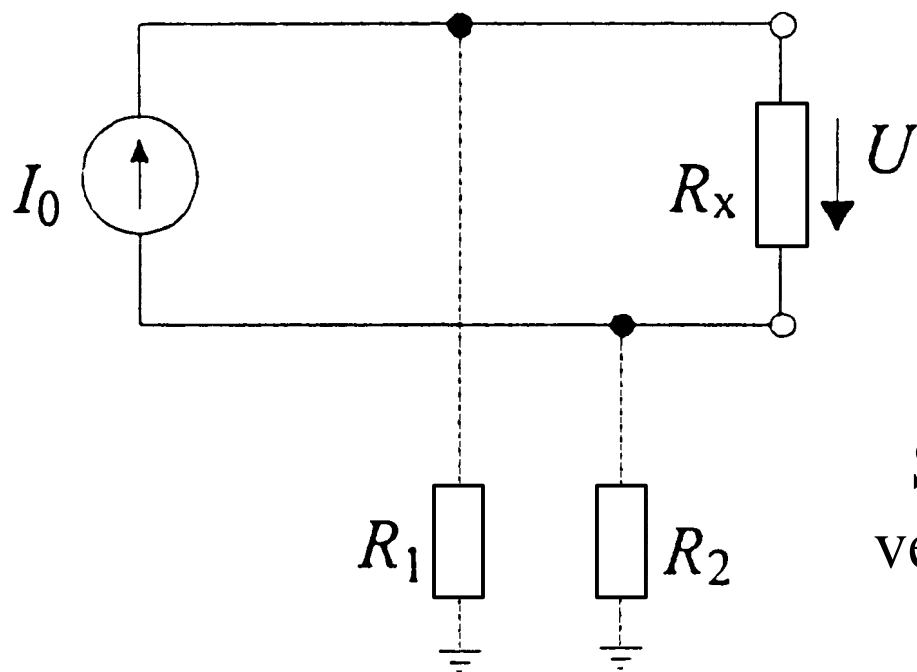
$$R_x + R' + R''$$





Pri merjenju **velikih upornosti** moramo imeti dobro **galvansko ločitev od okolice** (zemlje).

- **velika izolacijska upornost** $R_1, R_2 \gg 1$,
- izolacijska upornost $R_1 + R_2$ je vezana vzporedno k merjeni R_x .



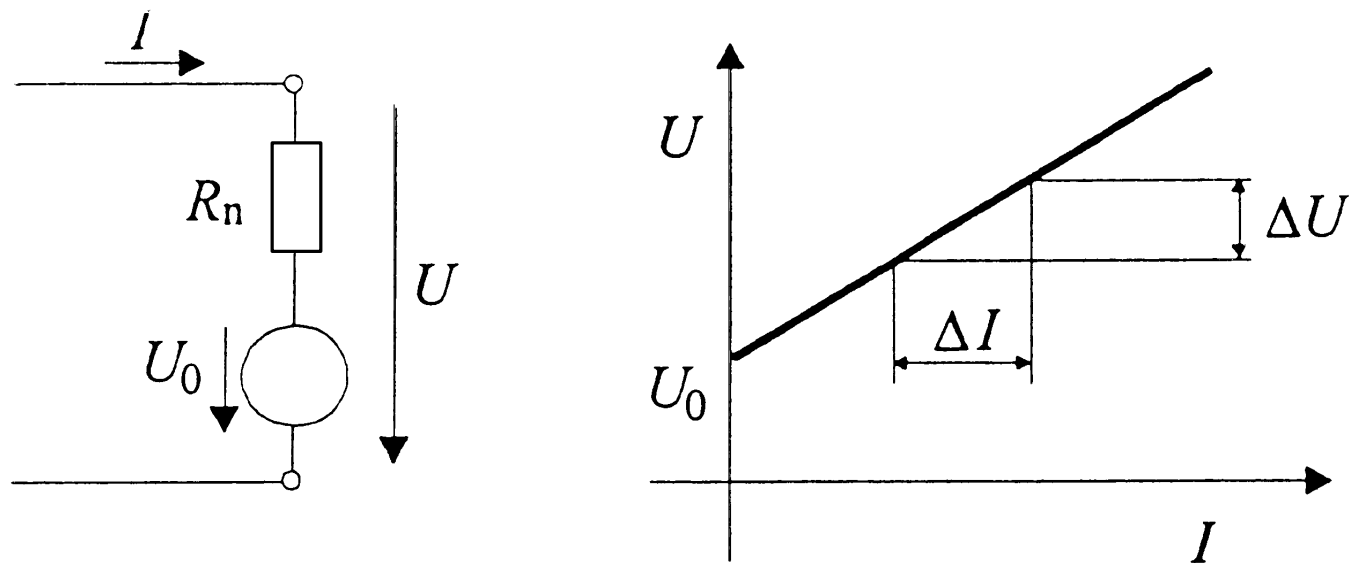
Slika 7.26: Posebnosti pri merjenju velikih upornosti





Notranja upornost aktivnega dvopola je razmerje med:

- spremembo napetosti na sponkah,
- in pripadajočo spremembo toka.



Slika 7.27: Notranja upornost aktivnega dvopola

Za aktivni dvopol velja: $U = U_0 + IR_n \Rightarrow dU = R_n dI$

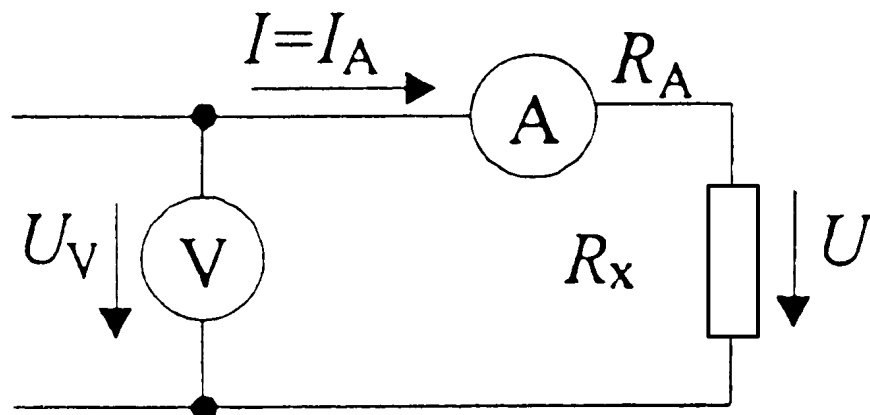
Notranja upornost: $R_n = \frac{\Delta U}{\Delta I}$



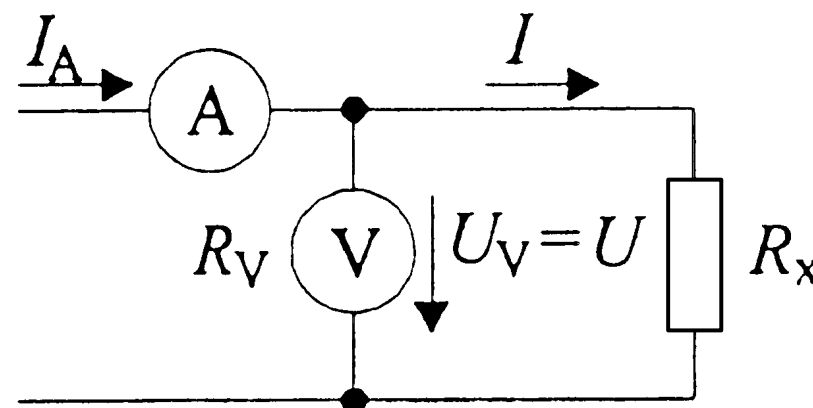


Metod za merjenje upornosti je veliko (mostična, U-I, ...)

***U-I* metoda merjenja upornosti**



a)



b)

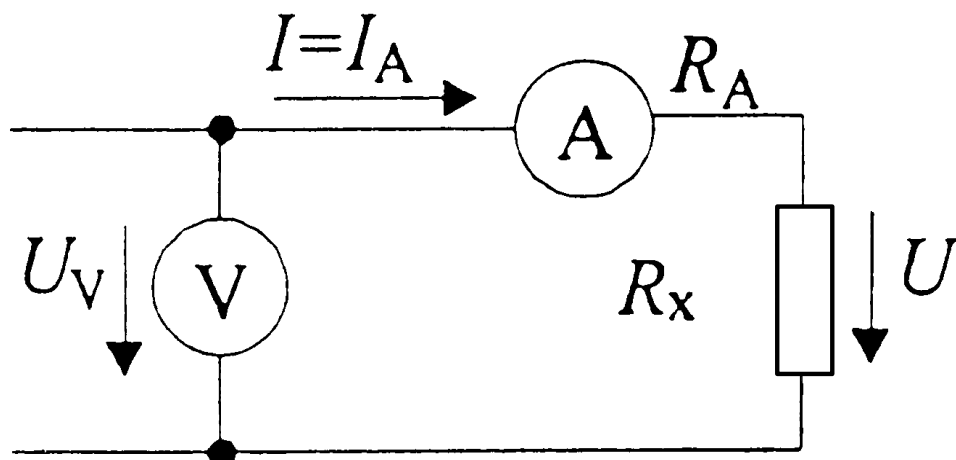
Slika 7.28: *U-I* metoda merjenja upornosti

Varianta a: - tok je pravilen: $I_A = I$;

- napetost je prevelika: $U_V = U + IR_A$

Razmerje je **večje** kot R_x :
$$\frac{U_V}{I_A} = \frac{U + IR_A}{I} = R_x + R_A$$





$$\frac{U_V}{I_A} = \frac{U + IR_A}{I} = R_x + R_A$$

- če upoštevamo samo U_V in I_A , je **systematični pogrešek**: $R_i = \frac{U_V}{I_A} \Rightarrow e = \frac{U_V/I_A - R_x}{R_x} = \frac{R_A}{R_x}$

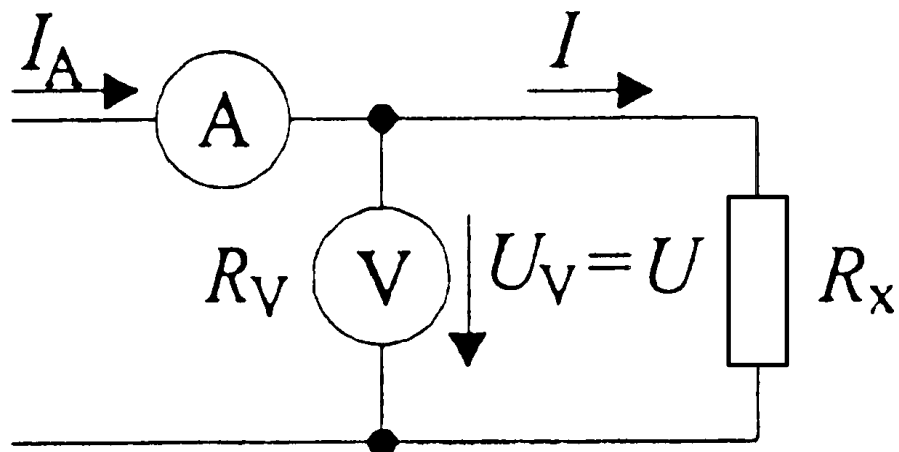
Ta metoda se uporablja za **merjenje velikih upornosti**,

- pogrešek (R_A) je zanemarljiv.

Pri **zelo velikih upornostih** moramo upoštevati **dopustno obremenitev** $I^2 R_x$.

Merilna negotovost je odvisna od negotovosti pri merjenju napetosti in toka.





Slika 7.28 b: U - I metoda merjenja upornosti

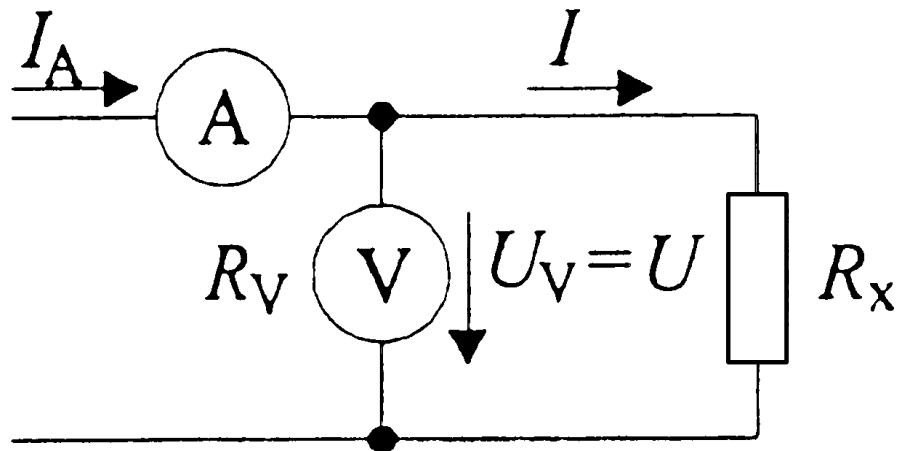
- Varianta b:**
- napetost je pravilna: $U_V = U$,
 - tok je prevelik: $I_A = I + U_V / R_V$,

Razmerje je **manjše** kot R_x :
$$\frac{U_V}{I_A} = \frac{R_x R_V}{R_x + R_V}$$

- če upoštevamo samo U_V in I_A , je **sistematični pogrešek**:

$$R_i = \frac{U_V}{I_A} \Rightarrow e = \frac{U_V / I_A - R_x}{R_x} = -\frac{R_x}{R_x + R_V} \approx -\frac{R_x}{R_V}$$





Ta metoda se uporablja **za merjenje majhnih upornosti**,

- upornost R_V je praviloma dosti večja od R_x .

Pri **zelo majhnih upornostih** moramo upoštevati **dopustno obremenitev** U^2/R_x .

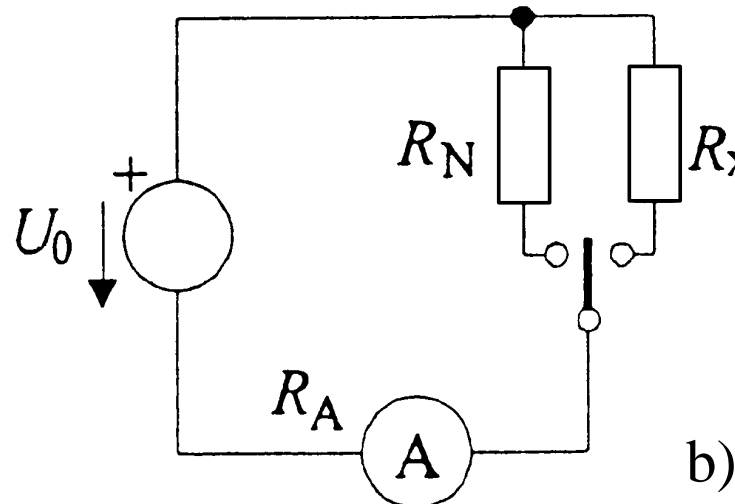
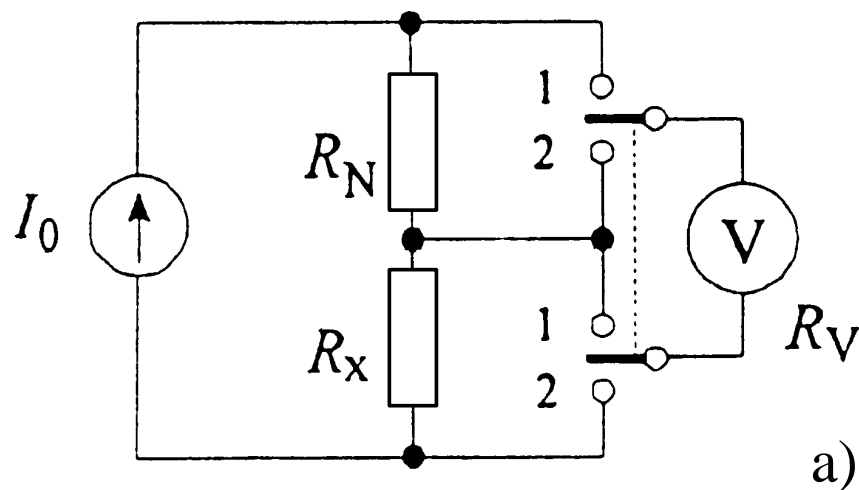
Merilna negotovost je odvisna od negotovosti pri merjenju napetosti in toka.





Primerjalna metoda

Slika 7.29:
Napetostna in tokovna
primerjalna metoda



Napetostna primerjalna metoda (a)

$$\text{Položaj 1-1: } U_N = I_0 \frac{R_N R_V}{R_N + R_V}, \quad \text{Položaj 2-2: } U_x = I_0 \frac{R_x R_V}{R_x + R_V}.$$

$$\text{Pri konstantnem } I_0: \quad R_x = R_N \frac{U_x}{U_N} \cdot \frac{1}{1 + (1 - U_x/U_N) R_N/R_V}$$





$$R_x = R_N \frac{U_x}{U_N} \cdot \frac{1}{1 + (1 - U_x/U_N) R_N/R_V}$$

Če uporabimo izraz $R_i = R_N \frac{U_x}{U_N}$, 'pridelamo' **systematični pogrešek**:

$$e = \frac{R_i - R_x}{R_x} \quad \text{oz.} \quad e = \frac{R_N}{R_V} \left(1 - \frac{U_x}{U_N} \right)$$

$$\text{oz.} \quad e = \frac{R_N - R_x}{R_x + R_V} = \frac{R_N - R_x}{R_V}$$

- odločilno je razmerje razlike upornosti $R_N - R_x$ proti upornosti voltmetra R_V .
 - primerna za **merjenje majhnih upornosti**.





Merilna negotovost napetostne primerjalne metode

Če izvedemo primerjavo **z istim voltmetrom**, lastni **pogrešek E ne vpliva na negotovost**, kadar sta upornosti (napetosti) blizu skupaj:

$$R_N \approx R_x \Leftrightarrow U_x / U_N - 1 \approx 0,01$$

Pogreška voltmetra E ne poznamo, vendar se v kvocientu njegov vpliv izloči:

$$R_i = R_N \frac{U_x - E}{U_N - E} = R_N \frac{U_x}{U_N} \cdot \frac{1 - E/U_x}{1 - E/U_N} \approx R_N \frac{U_x}{U_N}$$





Primer:

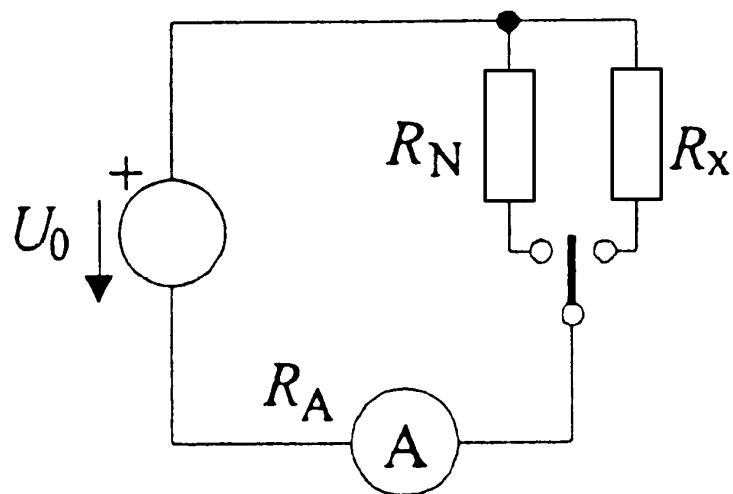
$$U_x = 1,025 \text{ V} \text{ in } U_N = 1,018 \text{ V}, \quad E = 0,015 \text{ V}$$

$$\frac{U_x - E}{U_N - E} = \frac{1,025 \text{ V} - 0,015 \text{ V}}{1,018 \text{ V} - 0,015 \text{ V}} = 1,0070$$

$$\frac{U_x}{U_N} = \frac{1,025 \text{ V}}{1,018 \text{ V}} = 1,0069$$

- samo za 0,01% manj! $\Leftrightarrow e = 1,5\%$





Slika 7.29 b: **Tokovna primerjalna metoda**

• **čez upor R_N teče tok:**

$$I_N = \frac{U_0}{R_N + R_A}$$

• **čez upor R_x teče tok:**

$$I_x = \frac{U_0}{R_x + R_A}$$

Pri konstantni napetosti U_0 :

$$R_x = R_N \frac{I_N}{I_x} \left[1 + \frac{R_A}{R_N} \left(1 - \frac{I_x}{I_N} \right) \right]$$





$$R_x = R_N \frac{I_N}{I_x} \left[1 + \frac{R_A}{R_N} \left(1 - \frac{I_x}{I_N} \right) \right]$$

Če uporabimo izraz: $R_i = R_N \frac{I_N}{I_x}$,

- ‘pridelamo’ istematični pogrešek:

$$e = \frac{G_x - G_N}{G_A + G_N} \approx \frac{G_x - G_N}{G_A}$$

Primerjanje je tem bolj točno, čim bliže sta si merjeni veličini!

Če je etalon R_N spremenljiv in vzpostavimo $I_x = I_N$, se metoda spremeni **zamenjalno** (R_A nepomembna)!

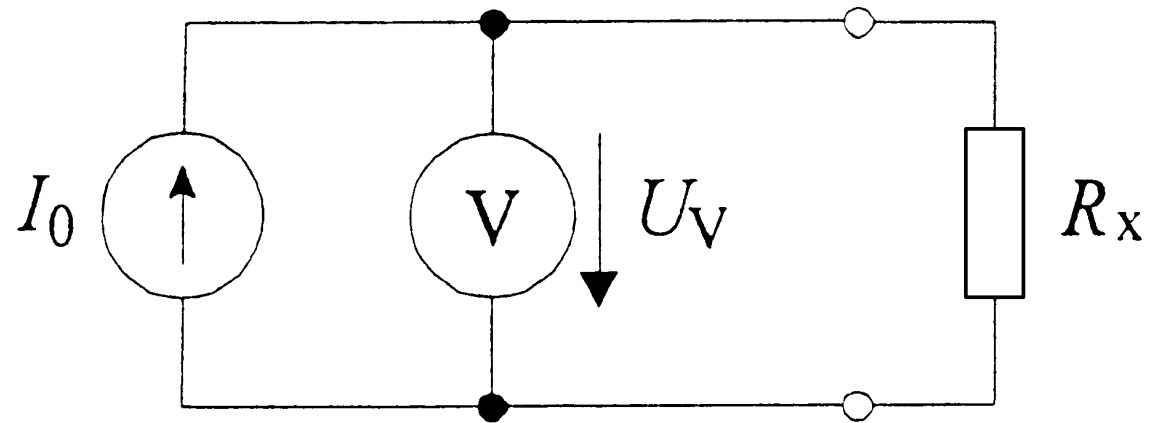




Merjenje upornosti z voltmetrom in tokovnim virom.

Uporablja se pri digitalnih multimetrih ($R_V > R_x$):

$$U_V = I_0 \frac{R_x R_V}{R_x + R_V} =$$
$$= I_0 R_x \frac{1}{1 + R_x / R_V} \approx I_0 R_x$$



Slika 7.30: Ohmmeter s tokovnim virom

Območje ohmetra se spreminja s tokom I_0 :

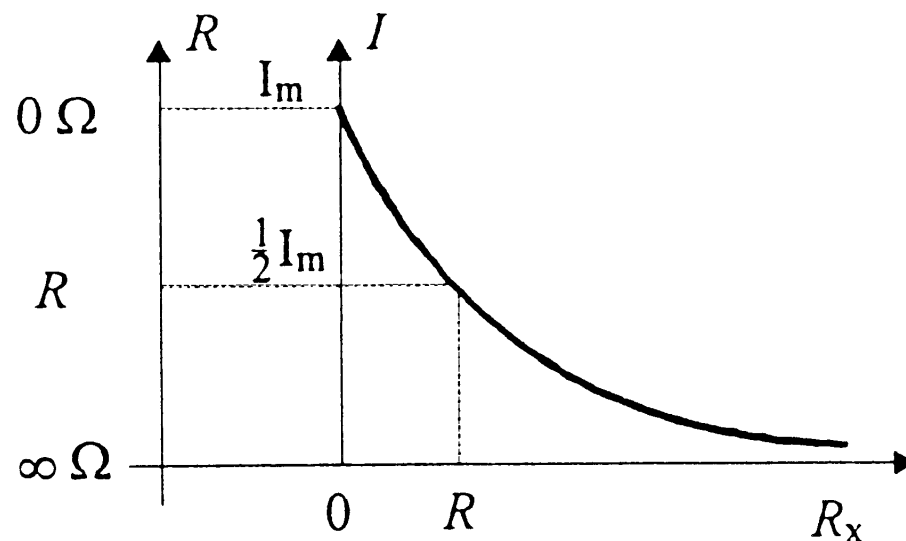
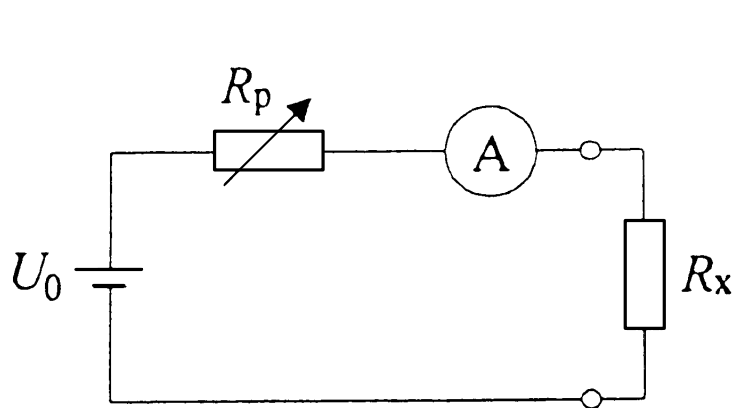
- npr.: merilno območje voltmetra je $(0 \div 200) \text{ mV}$;
- pri $I_0 = 1 \mu\text{A}$ je merilno območje $(0 \div 200) \text{ k}\Omega$,
- pri $I_0 = 10 \mu\text{A}$ je merilno območje $(0 \div 20) \text{ k}\Omega$,





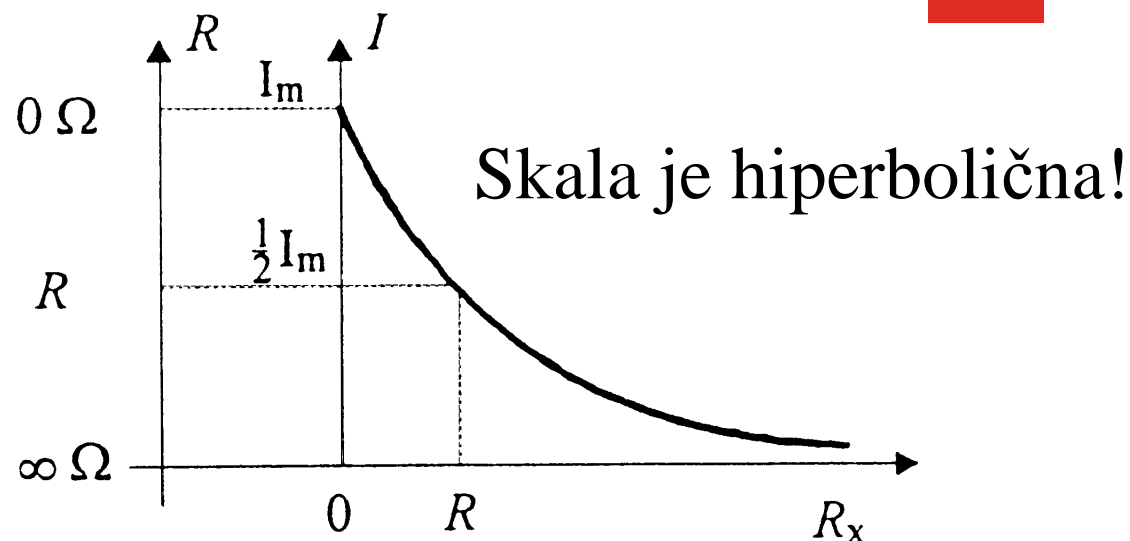
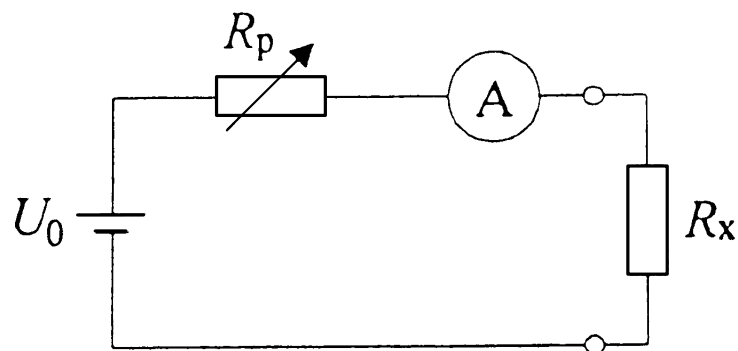
Klasični instrumenti z vrtljivo tuljavico ima namesto tokovnega vira galvanski člen.

- pri **majhnih upornostih** je instrument vezan **kot voltmeter** (slika 7.30),
- pri **velikih upornostih** je instrument vezan **kot ampermeter** (slika 7.31).



Slika 7.31: Ohmmeter za merjenje večjih upornosti





Ker napetost U_0 ni stalna, moramo ohmmeter pred meritvijo **nastaviti**:

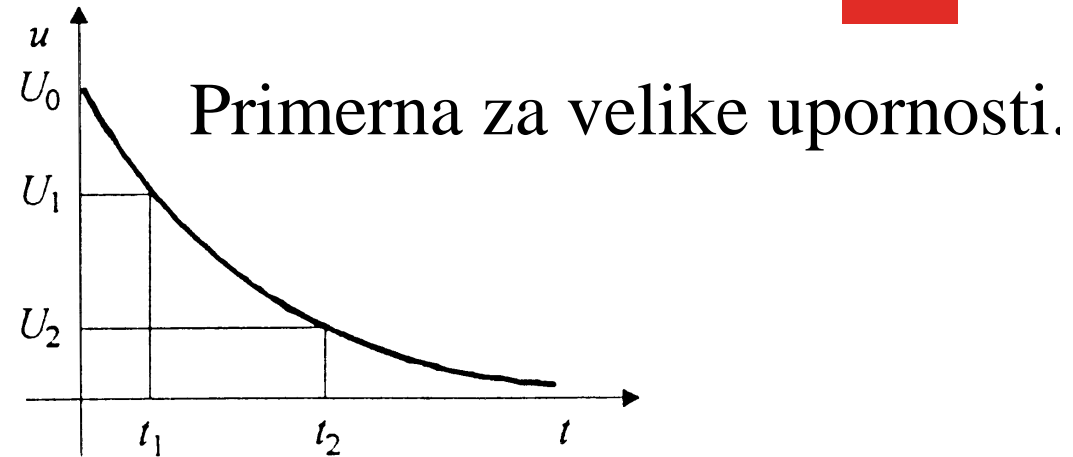
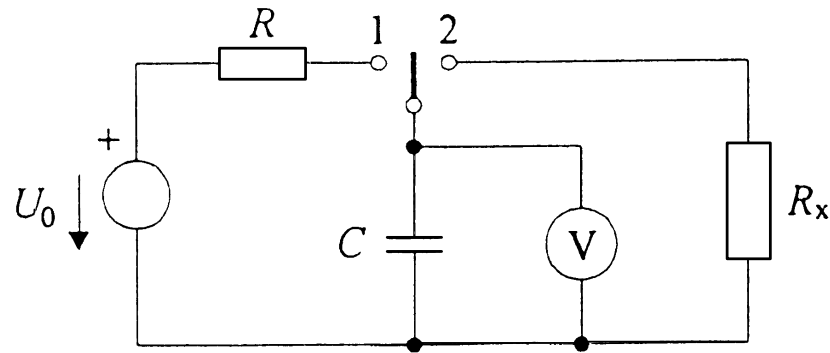
- sponke kratko **sklenemo** ($R_x = 0\Omega$) in
 - nastavimo maksimalni tok I_m z $R_p \rightarrow$ oznaka 0Ω .
- sponke **razklenemo** \rightarrow oznaka $\infty\Omega$.

- če priključimo **neznano upornost** R_x , steče tok:
$$I = \frac{U_0}{R + R_x}$$





Metoda praznenja kondenzatorja



Slika 7.32: Metoda praznenja kondenzatorja

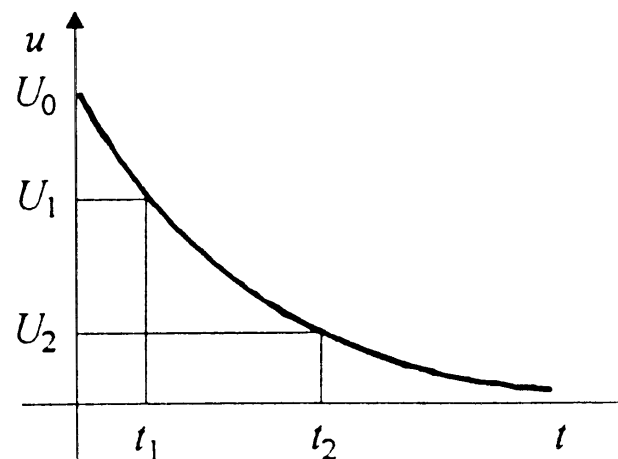
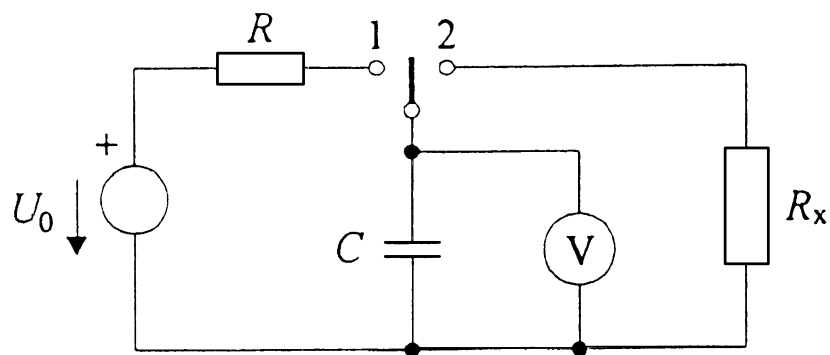
- položaj 1: kondenzator **se nabije** na napetost U_0 .
- položaj 2: kondenzator **se začne prazniti** pretežno preko R_x (izolacijska upornost in R_V zelo veliki).

- v času t_1 : $U_1 = U_0 e^{-t_1/R_x C}$;

- v času t_2 : $U_2 = U_0 e^{-t_2/R_x C}$

Neznana upornost je:
$$R_x = \frac{t_2 - t_1}{C \ln U_1 / U_2}$$





Če izolacijske upornosti in R_V **ne moremo zanemariti:**

- prva meritev **brez** R_x : $R_1 = R_i \parallel R_V$,
- druga meritev **z** R_x : $R_2 = R_1 \parallel R_x$,
- **neznana upornost je:** $R_x = \frac{R_1 R_2}{R_1 - R_2}$.

