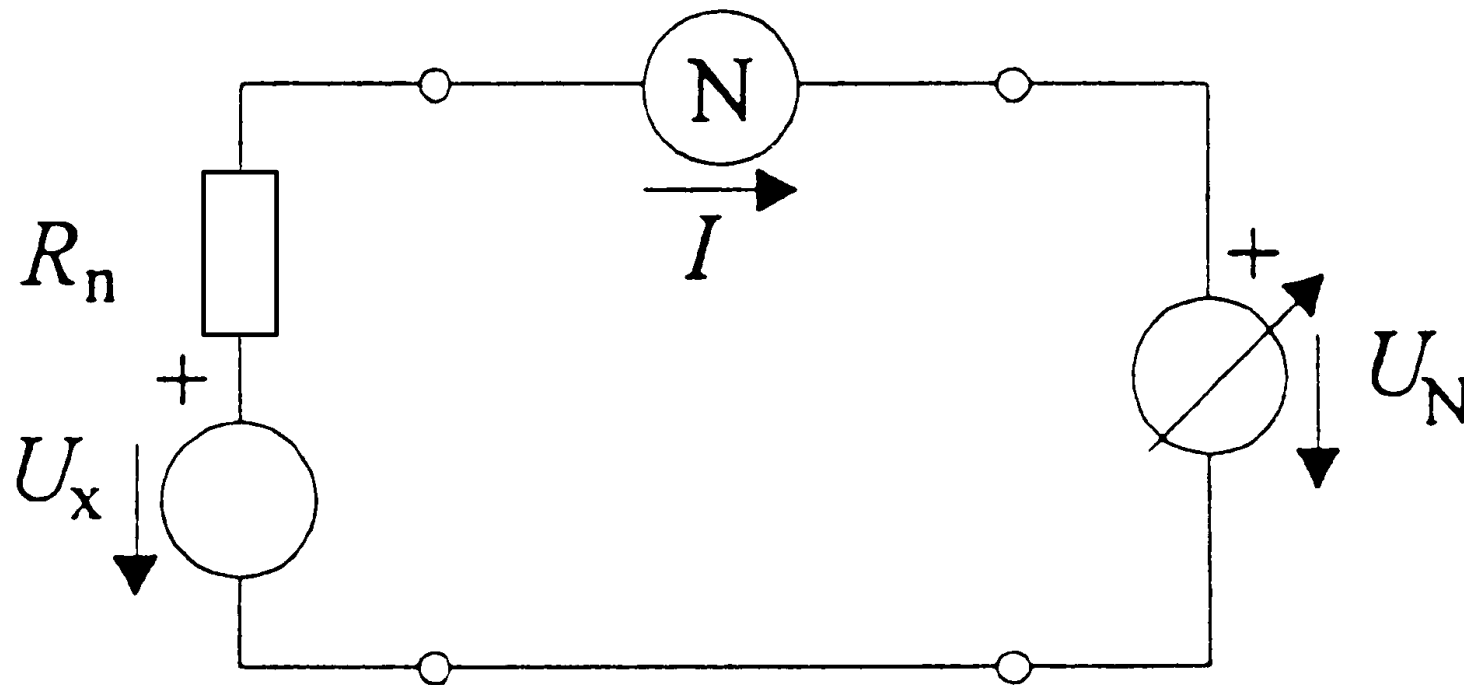


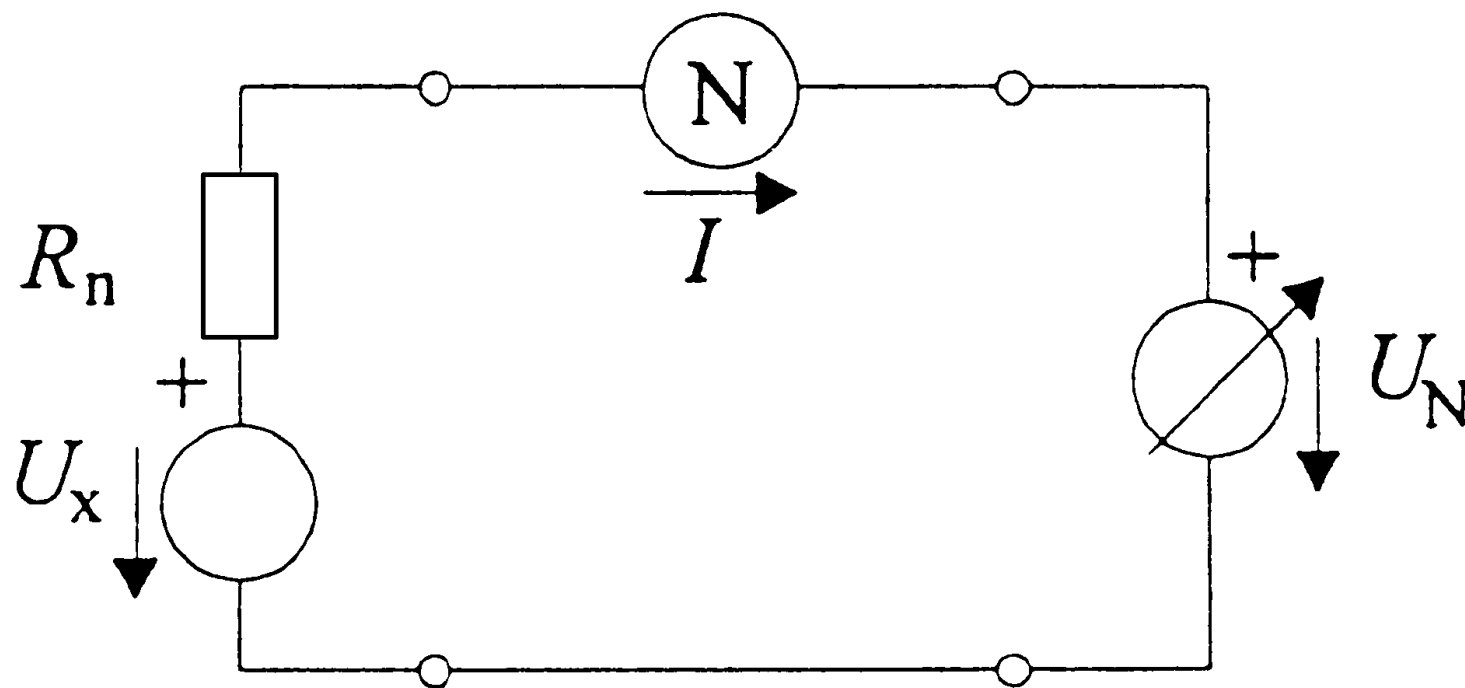
6.4 Enosmerni kompenzator

Neznano napetost U_x izmerimo tako, da jo **primerjamo z znano** U_N , ki jo spreminjamo.

- **kompenziramo** neznano napetost.



Slika 6.16 Kompenzacijski princip merjenja napetosti



Pri izravnavi čez ničelni indikator ne teče noben tok $I \rightarrow 0$,

- $U_x - U_N = 0 \Rightarrow U_x = U_N$
- **merjeni vir ni obremenjen!**
- $u(U_x) \cong u(U_N) !$

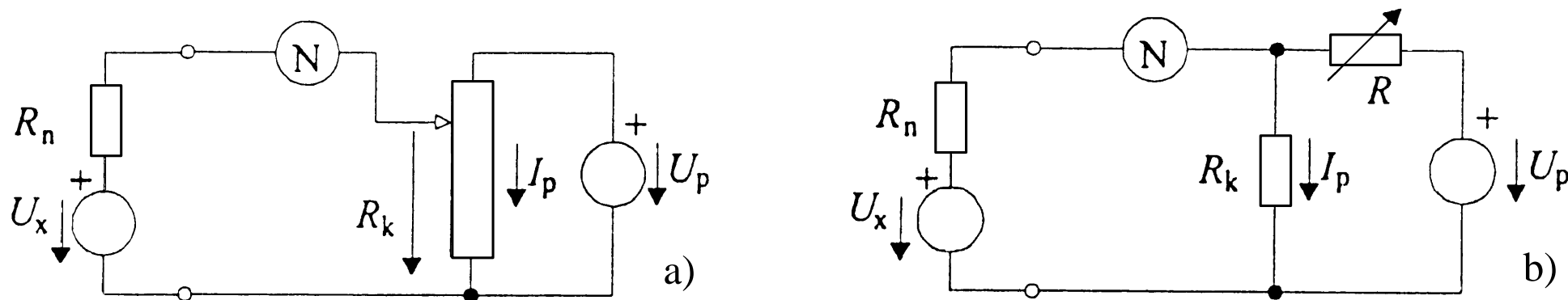




Spremenljivo napetost $U_N = U_k$ realiziramo kot padeč napetosti, ki ga povzroči **električni tok** I_p na **znanem uporu** R_k

$$U_x - U_k = 0, \quad U_k = I_p R_k \quad \Rightarrow \quad U_x = I_p R_k$$

Ločimo dva principa realizacije napetosti U_k :



Slika 6.17 Poggendorffov in Lindeck-Rothejev princip kompenzacije

Poggendorffov princip kompenzacije (a),

- tok je stalen in upornost spremenljiva.

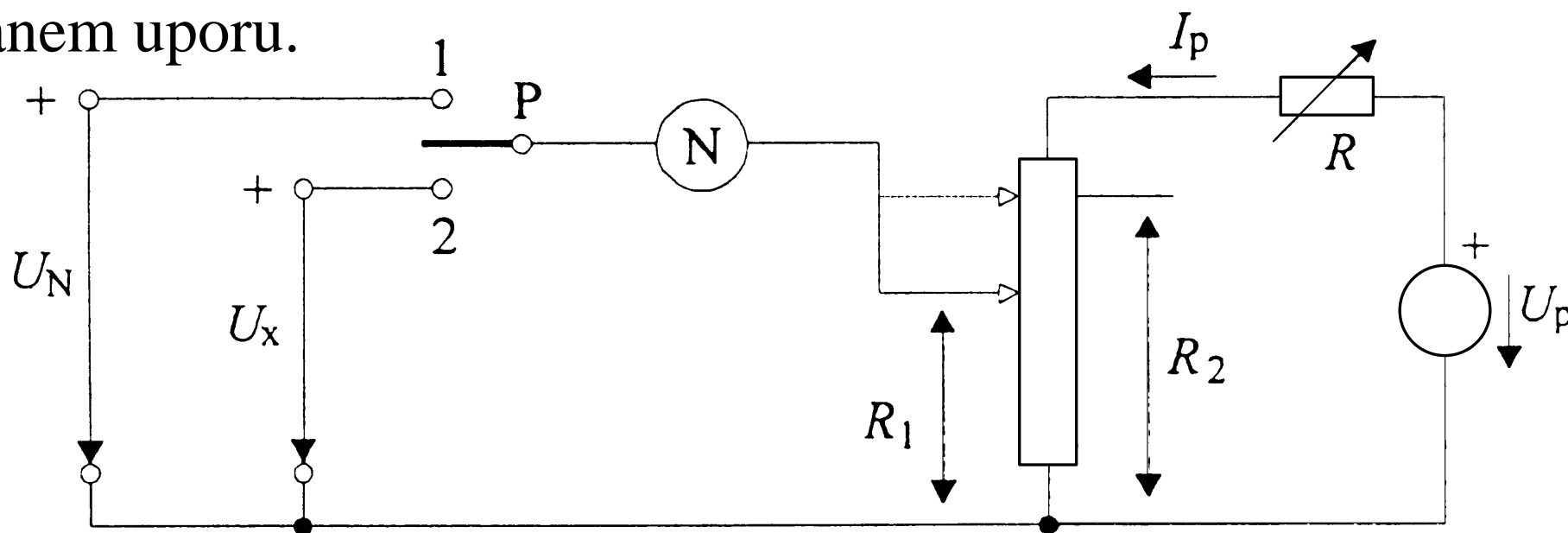
Lindeck-Rothejev princip kompenzacije (b),

- upor je stalen in tok spremenljiv.





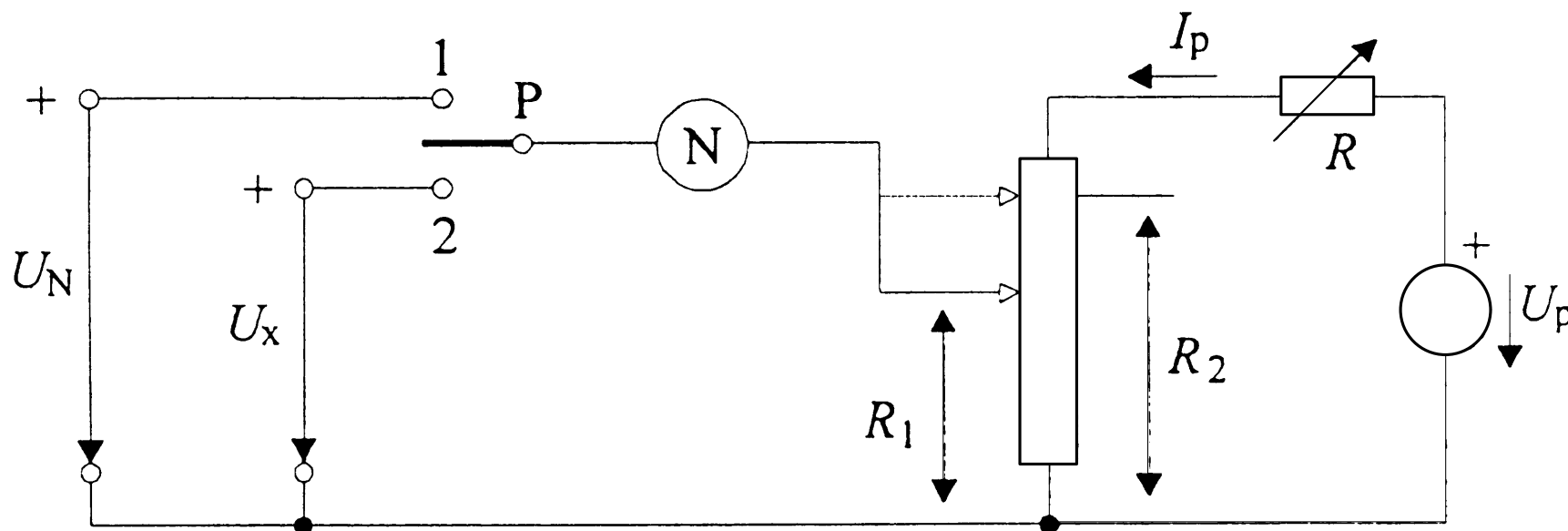
V preciznih napravah izkoriščamo Poggendorffov princip, kjer **pomožni tok nastavimo posredno preko padca na znanem upor.**



Slika 6.18 Kompenzator z enim kompenzacijskim uporom

- v položaju **1 nastavimo tok** I_p na znanem uporu R_1 s pomočjo znane napetosti U_N in pomožne napetosti U_p ter R :
 - ničelni indikator $I = 0 \quad \Rightarrow \quad I_p R_1 = U_N$
- v položaju **2**, izmerimo (**kompenziramo**) napetost U_x :
 - ničelni indikator $I = 0 \quad \Rightarrow \quad I_p R_2 = U_x$





$$I_p R_1 = U_N \quad \text{in} \quad I_p R_2 = U_x$$

Ker pomožni tok ne spreminjamo med meritvijo – pogoj za točnost, zapišemo:

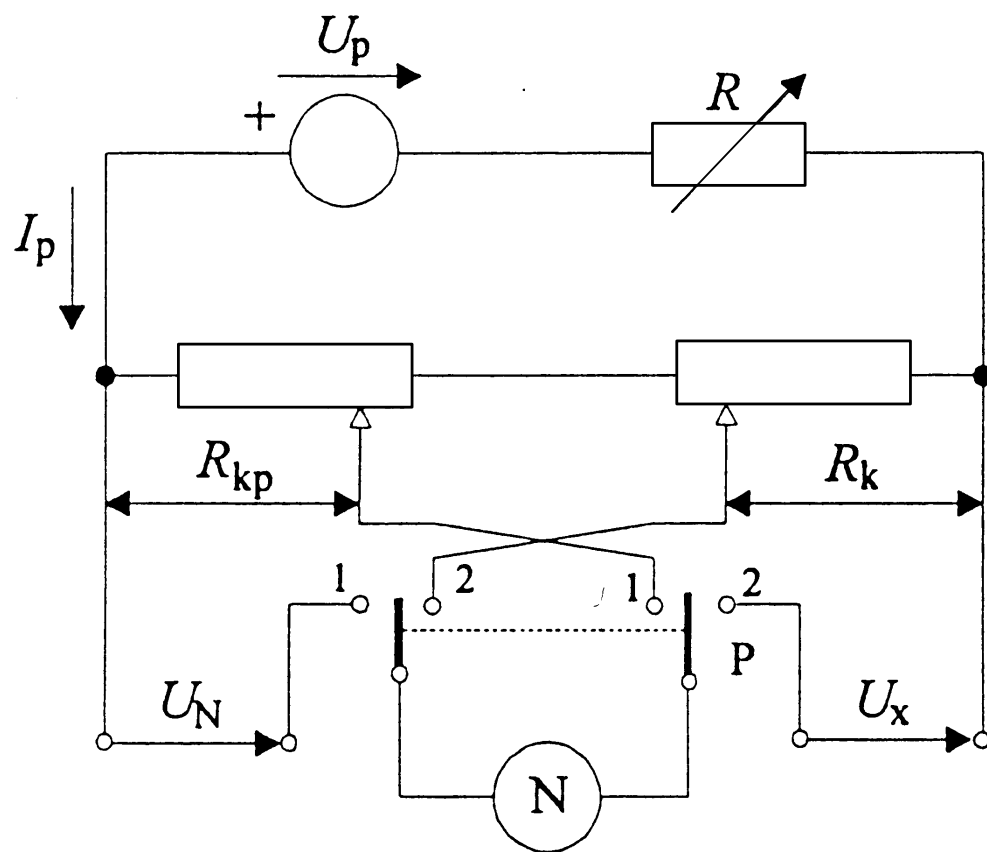
$$U_x = U_N \frac{R_2}{R_1}$$





Postopek se poenostavi, če ima kompenzator še **pomožni kompenzacijski upor**.

Slika 6.19 Kompemzator s pomožnim kompenzacijskim uporom



V položaju **1 nastavimo** pomožni tok I_p ,

- z R_{kp} in U_N :
- ničelni indikator
 $I = 0 \Rightarrow I_p R_{kp} = U_N$

V položaju **2 izmerimo** (kompenziramo) napetost,

- ničelni indikator
 $I = 0 \Rightarrow I_p R_k = U_x$

Rezultat meritve:

$$I_p = \text{konst.} \Rightarrow U_x = U_N \frac{R_k}{R_{kp}}$$





Če želimo v rezultatu okrogle vrednosti - **naravnavanje kompenzatorja**, mora imeti tok I_p **okroglo vrednost**.

- primer: $I_p = 100\mu\text{A}$, $R_k = 3456,7\Omega$

$$U_x = \frac{U_N}{R_{kp}} R_k = I_p R_k = 100\mu\text{A} \cdot 3456,7\Omega = 345,67\text{mV}$$

Tok nastavimo **z referenčno napetostjo** (npr.: Westonov mednarodni normalni člen: $U_N = 1,01845\text{V}$)

- pomožni upor R_{kp} je **nastavljiv**.

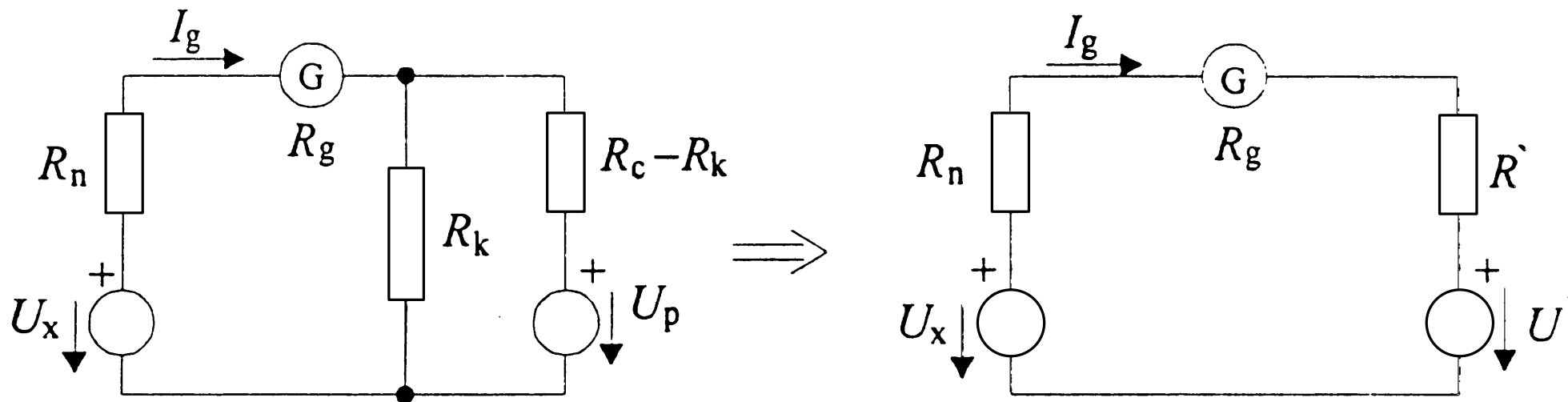
$$R_{kp} = \frac{U_N}{I_{pn}} = \frac{1,01845\text{V}}{100\mu\text{A}} = 10184,5\Omega$$





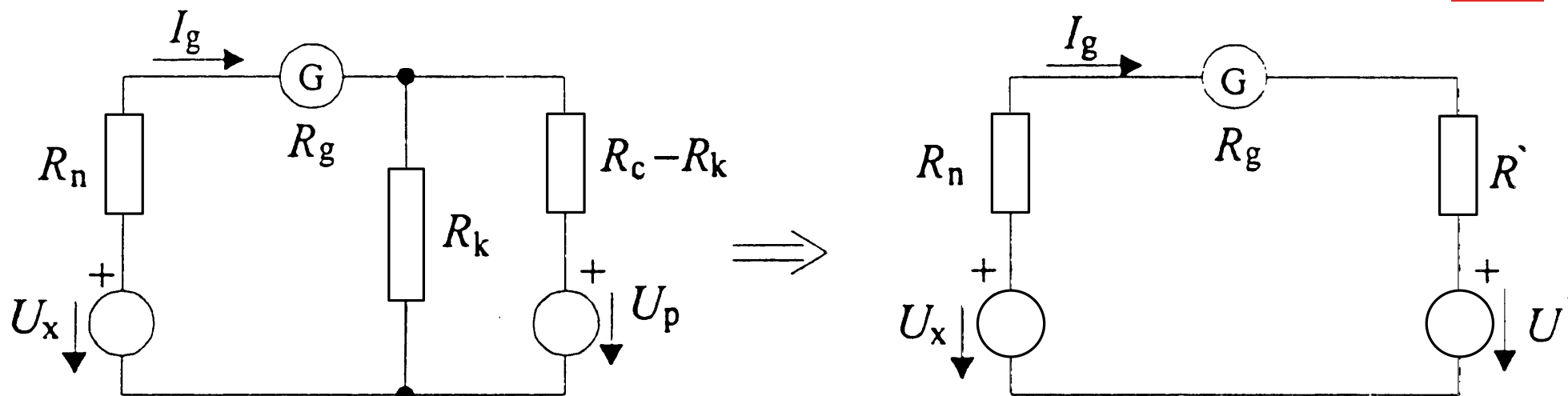
Občutljivost in ločljivost kompenzatorja

Poiskati moramo **povezavo** med izhodno veličino (**tok ničelnega indikatorja I_g**) in vhodno veličino (**sprememba napetosti $\Delta U_x / U_x$**).



Slika 6.20 Nadomestno vezje kompenzatorja





- nadomestni veličini: $U' = U_p \frac{R_k}{R_c}$, $R' = \frac{R_k (R_c - R_k)}{R_c}$

- R_c - celotna upornost v krogu pomožnega toka,
- R_g - upornost galvanometra kot ničelnega indikatorja,

Ker je: $U_x - U' - I_g (R_n + R_g + R') = 0$, je tok:

$$I_g = \frac{U_x - U'}{R_n + R_g + R'} \quad \text{oz.} \quad I_g = \frac{U_x - U_p R_k / R_c}{R_n + R_g + R_k (1 - R_k / R_c)}$$





$$I_g = \frac{U_x - U_p R_k / R_c}{R_n + R_g + R_k (1 - R_k / R_c)}$$

Odvod je: $\frac{dI_g}{dU_x} = \frac{1}{R_n + R_g + R_k (1 - R_k / R_c)}$

in občutljivost: $S = \frac{\Delta I_g}{\Delta U_x / U_x} = \frac{U_x}{R_n + R_g + R_k (1 - R_k / R_c)}$





Ločljivost

Kolikšna je relativna sprememba napetosti $\Delta U_x / U_x$, ki spremeni tok za ΔI_g in obratno?

$$\frac{\Delta U_x}{U_x} = \frac{\Delta I_g}{U_x} \left[R_n + R_g + R_k \left(1 - R_k / R_c \right) \right]$$

Če vstavimo za ΔI_g ločljivost ničelnega indikatorja $(\Delta I_g)_q$, dobimo relativno **ločljivost kompenzatorja**:

$$\delta_q = \frac{(\Delta U_x)_q}{U_x} = \frac{(\Delta I_g)_q}{U_x} \left[R_n + R_g + R_k \left(1 - R_k / R_c \right) \right]$$

Standardna negotovost zaradi **ločljivosti** kompenzatorja je:

$$w(U_x)_q = \frac{u(U_x)_q}{U_x} = \frac{1}{2\sqrt{3}} \frac{(\Delta U_x)_q}{U_x}$$

- v praksi bi naj bila zanemarljiva proti ostalim prispevkom.





6.5 Izmenični kompenzator

Ločimo dve izvedbi merjenja sinusne napetosti:

- z eno merimo **amplitudo in fazni kot (kompleksni kompenzator)**,
 - enaka frekvenca,
- z drugo pa **efektivno vrednost**,
 - primerjamo z enosmerno napetostjo.

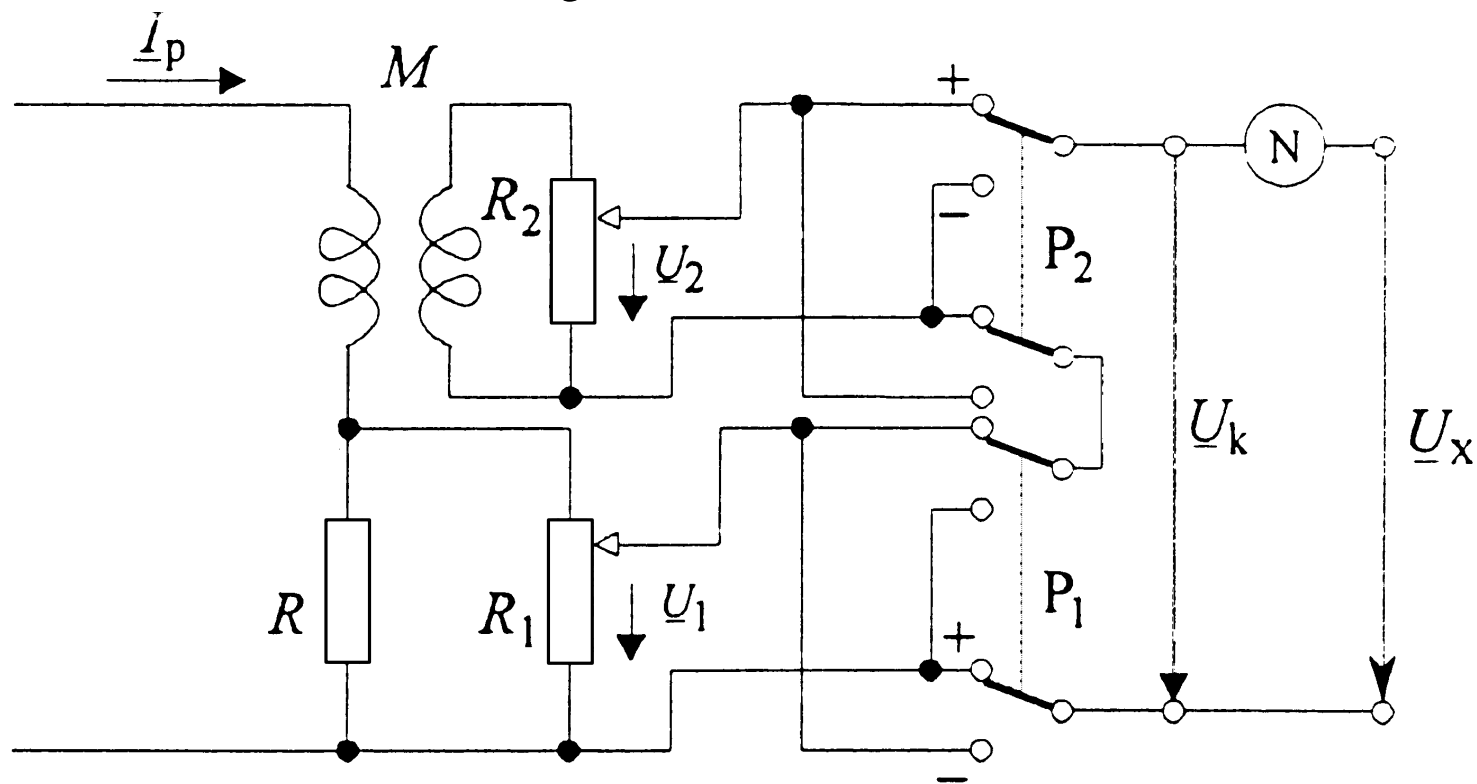




Kompleksni kompenzator

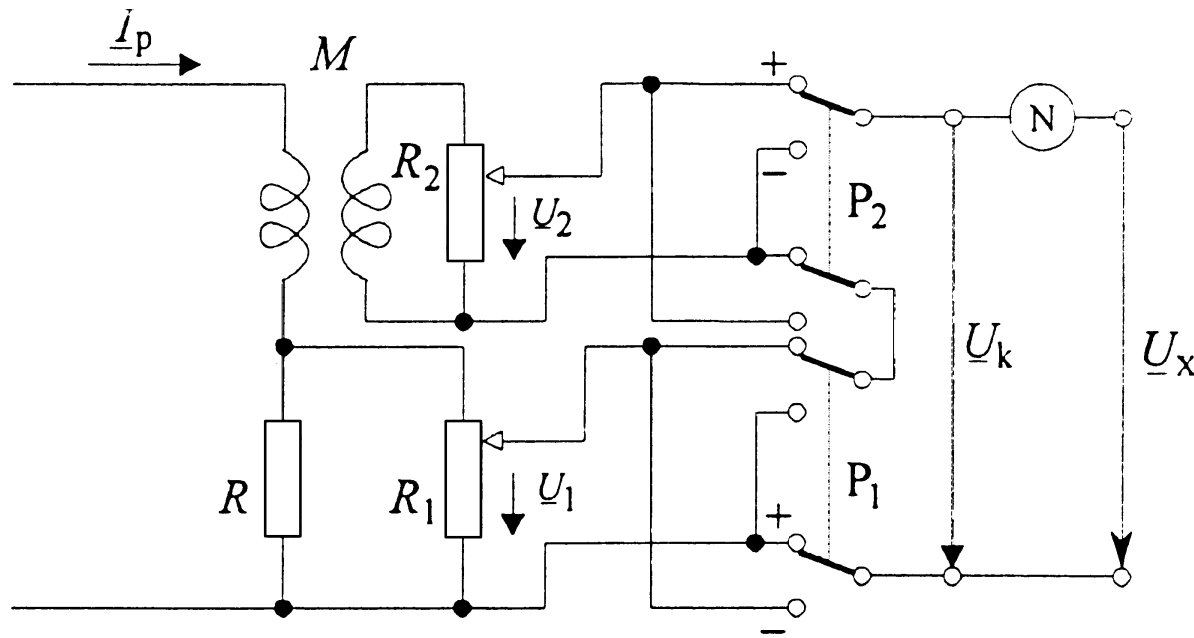
Kompenzacijska napetost je sestavljena iz napetosti dveh napetosti \underline{U}_1 in \underline{U}_2 ,

- ki sta **zamaknjeni za 90°** ,



Slika 6.24 Kompleksni kompenzator





Preklopnika P_1 in P_2 za polariteto omogočata izravnavo v vseh **štirih kvadrantih**.

- **Napetost \underline{U}_1 je v fazi s pomožnim tokom \underline{I}_p :**

$$\underline{U}_1 = k_1 R_1 \underline{I}_p \frac{R}{R + R_1} \quad (k_1 R_1 \text{ del upora za kompenzacijo})$$

- **Napetost \underline{U}_2 prehiteva pomožni tok \underline{I}_p za 90° zaradi medsebojne induktivnosti M :**

$$\underline{I}_p = \hat{i}_p e^{j\omega t} \Rightarrow \underline{U}_i = M \frac{d\underline{I}_p}{dt} = j\omega M \underline{I}_p$$

$$\underline{U}_2 = k_2 j\omega M \underline{I}_p$$

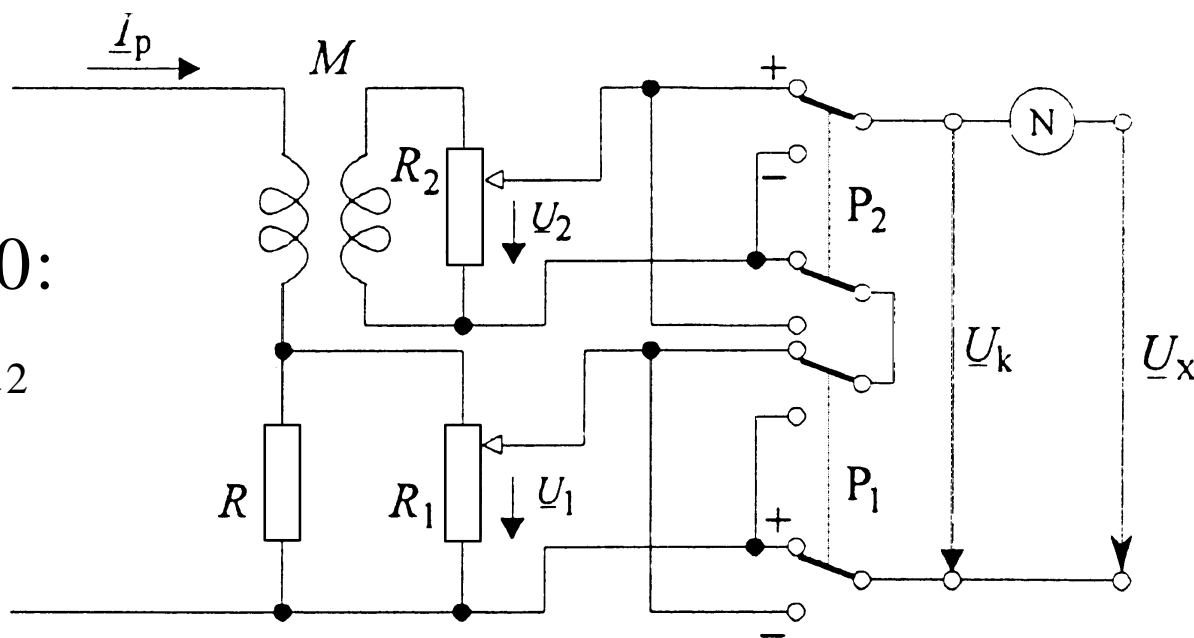




Izravnavava:

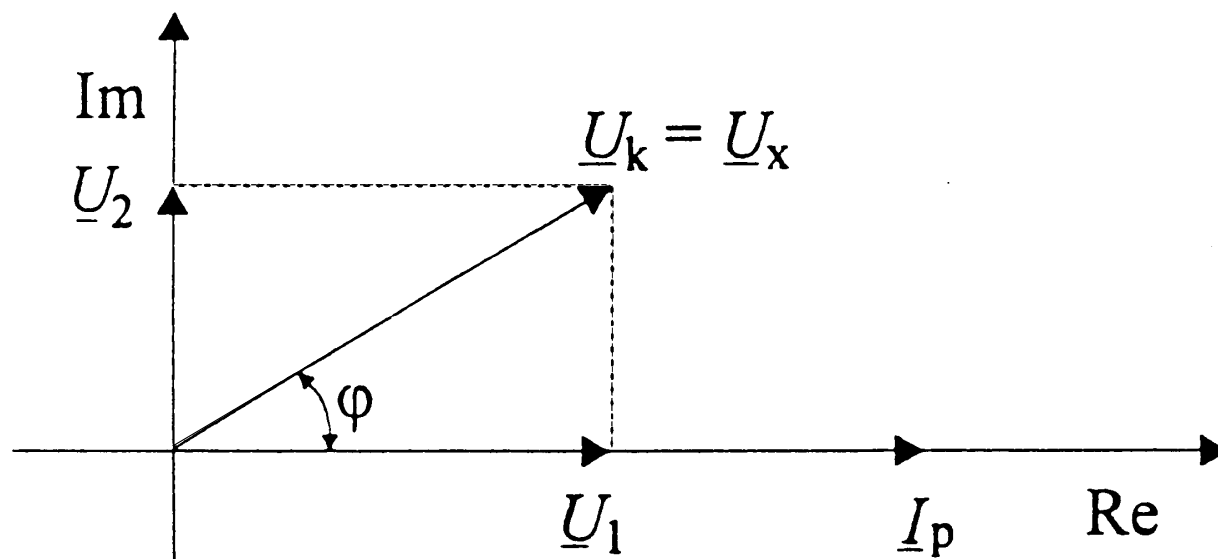
- ničelni indikator $I = 0$:
 $\Rightarrow \underline{U}_x = \underline{U}_k = \underline{U}_1 + \underline{U}_2$

Merilna negotovost je odvisna od negotovosti elementov vezja (R , M , R_1 , R_2 in I_p).



Fazorski diagram ob izravnavi:

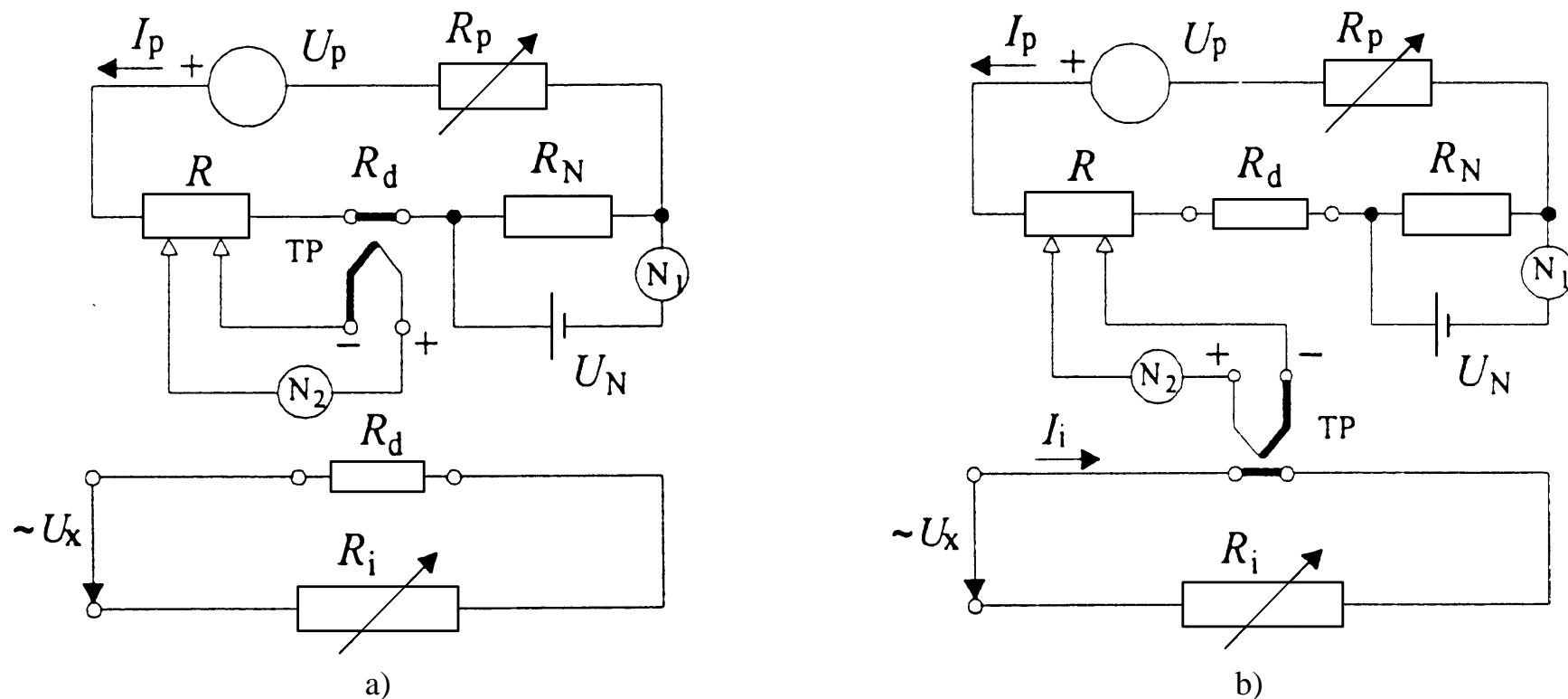
- amplituda: $U_x = \sqrt{U_1^2 + U_2^2}$
- fazni kot: $\varphi = \arctg \frac{U_2}{U_1}$
- frekvenčna analiza za eno komponento!



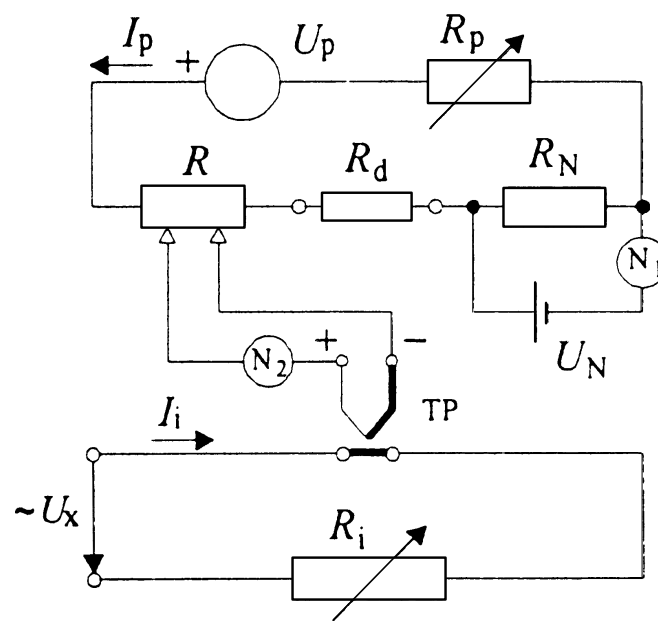
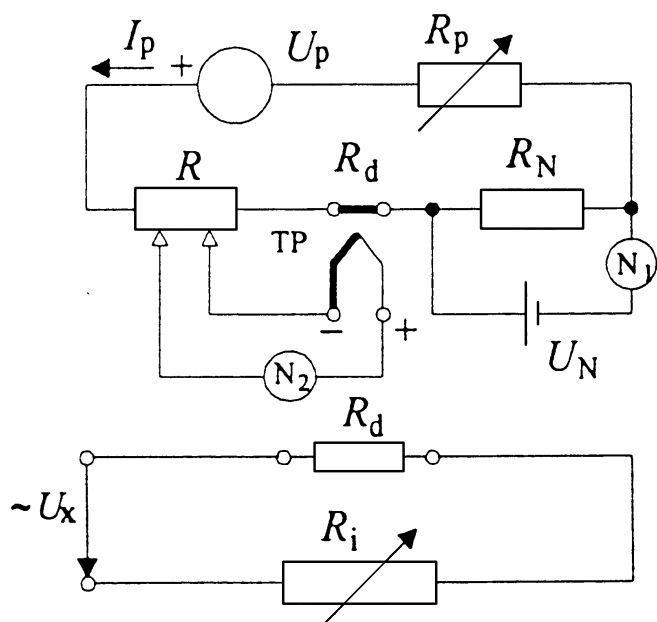
Kompenzator za merjenje efektivne vrednosti

Uporablja se element, ki se **odziva na efektivno vrednost** merjene veličine (enosmerna ali izmenična).

- **Termopretvornik – TP**



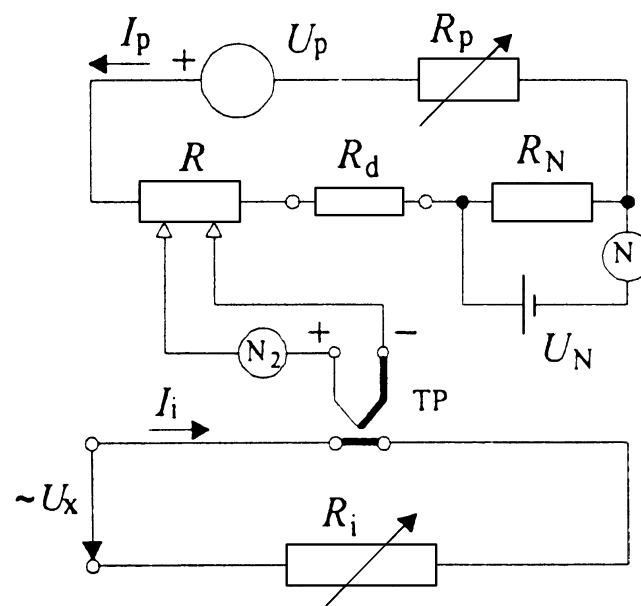
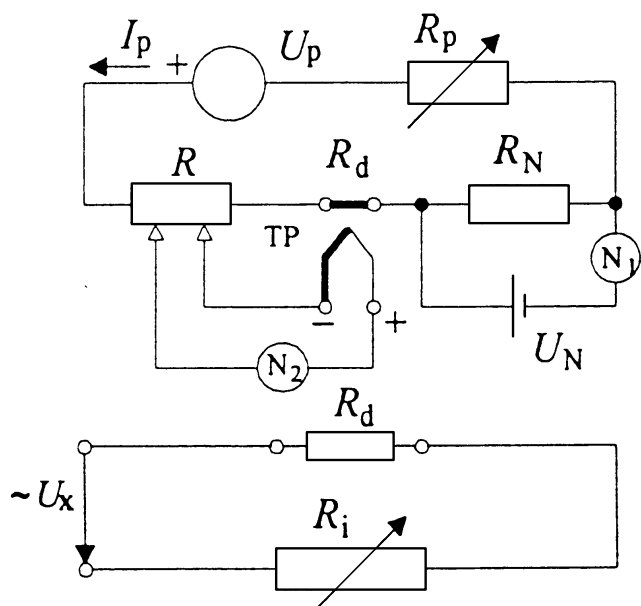
Slika 6.26 Izmenični kompenzator s termopretvornikom



Prvi korak: Najprej **nastavimo pomožni tok** na nazivno vrednost (z ničelnim indikatorjem $N_1 \rightarrow 0$),

- npr.: $I_p = 10 \text{ mA}$,
- tok teče tudi čez upor R in ogrevno nitko TP,
- **z drsnikoma izravnamo** izhodno napetost TP in padec na uporu R (z $N_2 \rightarrow 0$).





Drugi korak: Ogrevno žičko TP vključimo v izmenični tokokrog,

- njeno upornost nadomestimo z R_d ,
- s spreminjanjem R_i dosežemo $N_2 \rightarrow 0$

- kadar je efektivna vrednost toka $I_i = I_p$

$$U_x = I_i (R_i + R_d) \Rightarrow U_x = I_p (R_i + R_d)$$





$$U_x = I_p (R_i + R_d)$$

Ker nastavimo I_p s pomočjo R_N in U_N - $I_p = U_N / R_N$:

$$U_x = \frac{U_N}{R_N} (R_i + R_d)$$

Z uporabo preciznih uporov znižamo merilno negotovost na $\approx 10^{-4}$ pri frekvencah do 10 Hz.

