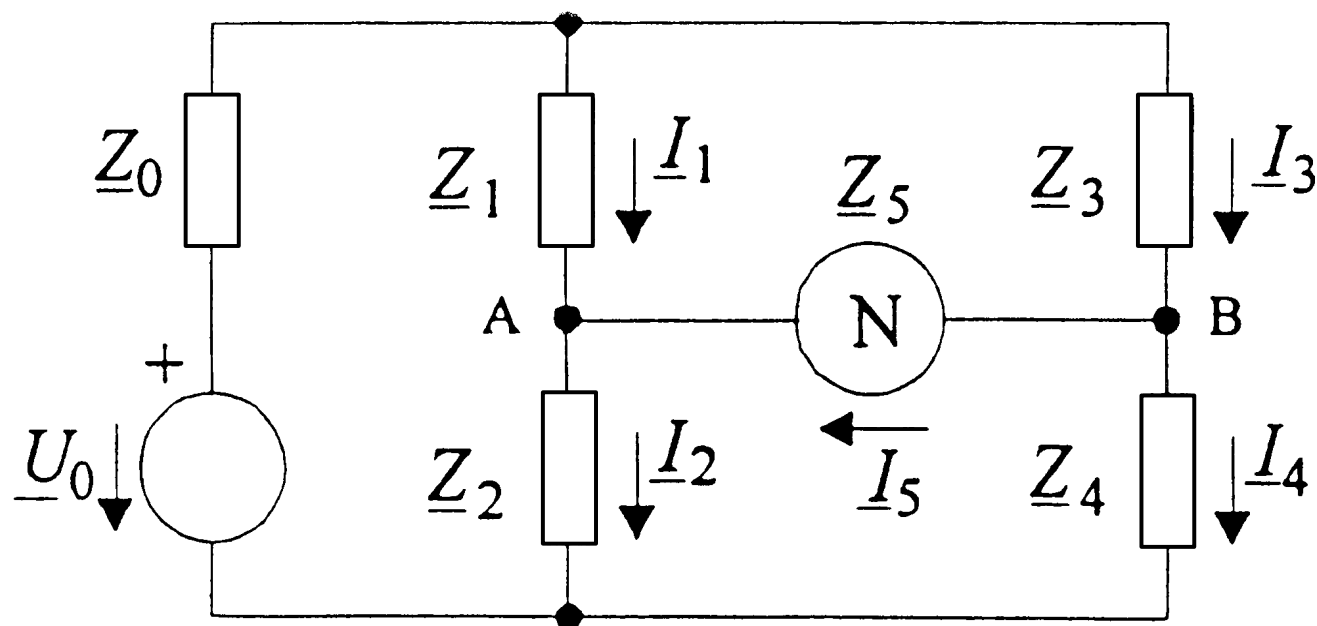




6.3 Izmenični mostič

Izmenični Wheatstonov mostič:



Slika 6.9 Izmenični Wheatstonov mostič

Upornosti zamenjajo impedance in vse veličine dobijo **kompleksni značaj:**

- $\underline{I}_1 \underline{Z}_1 - \underline{I}_3 \underline{Z}_3 = 0$,
- $\underline{I}_2 \underline{Z}_2 - \underline{I}_4 \underline{Z}_4 = 0$,
- $\underline{I}_1 = \underline{I}_2$, $\underline{I}_3 = \underline{I}_4$.





Ravnovesna enačba:

$$\frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_2} = \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_4} \quad \text{ali} \quad \underline{Z}_1 \underline{Z}_4 = \underline{Z}_2 \underline{Z}_3$$

- izražena **z admitancami**: $\underline{Y}_1 \underline{Y}_4 = \underline{Y}_2 \underline{Y}_3$
- ali mešano: $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 \underline{Z}_3 \underline{Y}_4$
- izražena **z realnimi in imaginarnimi** komponentami:

$$(R_1 + jX_1)(R_4 + jX_4) = (R_2 + jX_2)(R_3 + jX_3)$$

Iz $(R_1 + jX_1)(R_4 + jX_4) = (R_2 + jX_2)(R_3 + jX_3)$ sledita dva ravnovesna pogoja:

- izenačitev realnega dela: $R_1 R_4 - X_1 X_4 = R_2 R_3 - X_2 X_3$
- izenačitev imaginarnega dela: $R_1 X_4 + R_4 X_1 = R_2 X_3 + R_3 X_2$





Ravnovesna enačba v eksponentni obliki:

$$Z_1 e^{j\varphi_1} \cdot Z_4 e^{j\varphi_4} = Z_2 e^{j\varphi_2} \cdot Z_3 e^{j\varphi_3}$$

- in ravnovesna pogoja: $Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3$
 $\varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3$

Za ravnovesje potrebujemo **dva spremenljiva elementa** (dva ravnovesna pogoja!).

V ravnovesnih enačbah nastopa **8 veličin**,

- **6 veličin** mora biti **znanih** (nekateri so tudi nič).
- v nekaterih primerih moramo poznati tudi frekvenco.

Medsebojno neodvisno uravnovešanje dosežemo, če sta oba spremenljiva elementa **v isti veji** mostiča.

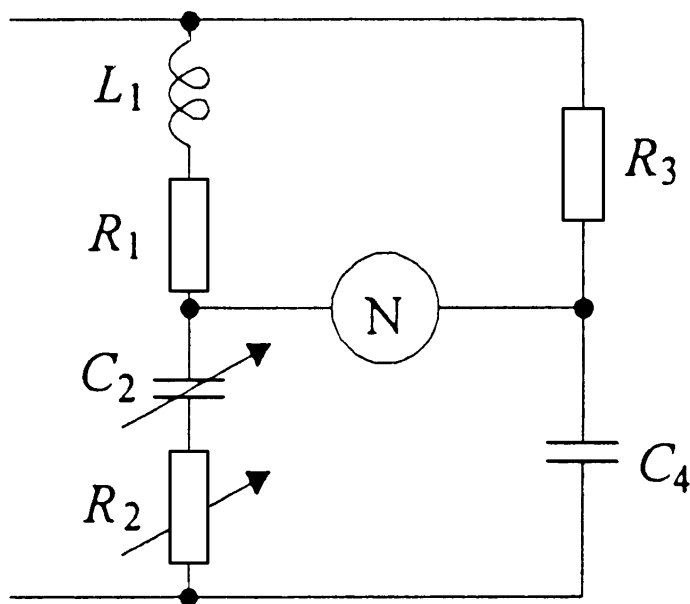




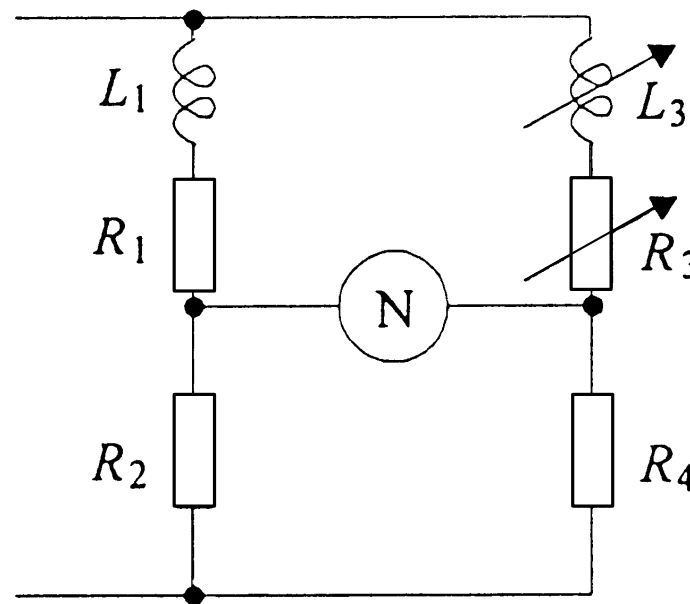
Poznamo dva tipa mostičev:

- **mostiči razmerja,**
- **mostiči produkta.**

Mostiči razmerja



a) Owenov mostič



b) Maxwellov mostič

Slika 6.10 Mostiča razmerja

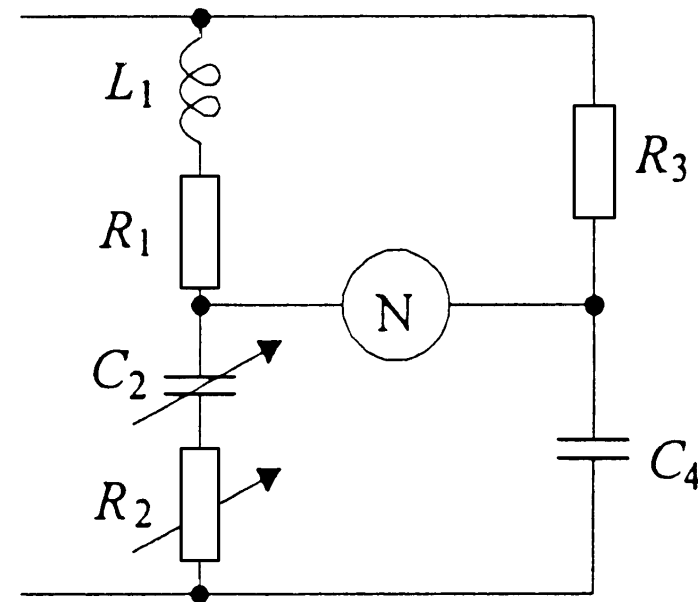




Owrov mostič:

$$R_1 + j\omega L_1 = \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_4} \left(R_2 + \frac{1}{j\omega C_2} \right),$$

$$\frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_4} = j\omega R_3 C_4$$



- razmerje impedanc $\underline{Z}_3/\underline{Z}_4$ je imaginarno
- z R_2 uravnesimo **imaginarni** del \underline{Z}_1 ,
- s C_2 uravnesimo pa **le realni** del \underline{Z}_1 .

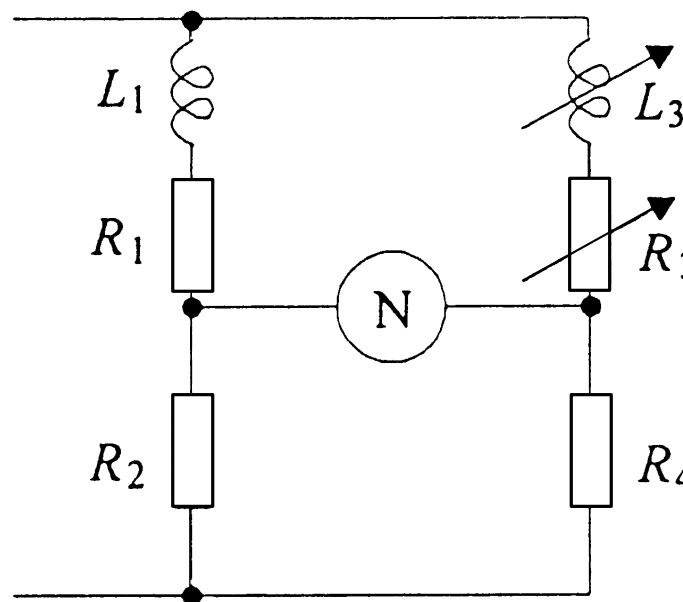




Maxwell mostič:

$$R_1 + j\omega L_1 = \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_4} (R_3 + j\omega L_3) ,$$

$$\frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_4} = \frac{R_2}{R_4}$$



- razmerje impedanc $\underline{Z}_2/\underline{Z}_4$ je realno
- z R_3 uravnesimo **le realni** del \underline{Z}_1 ,
- s C_3 uravnesimo **imaginarni** del \underline{Z}_1 .

Razmerje nespremenljivih impedanc **ne sme biti kompleksno!**



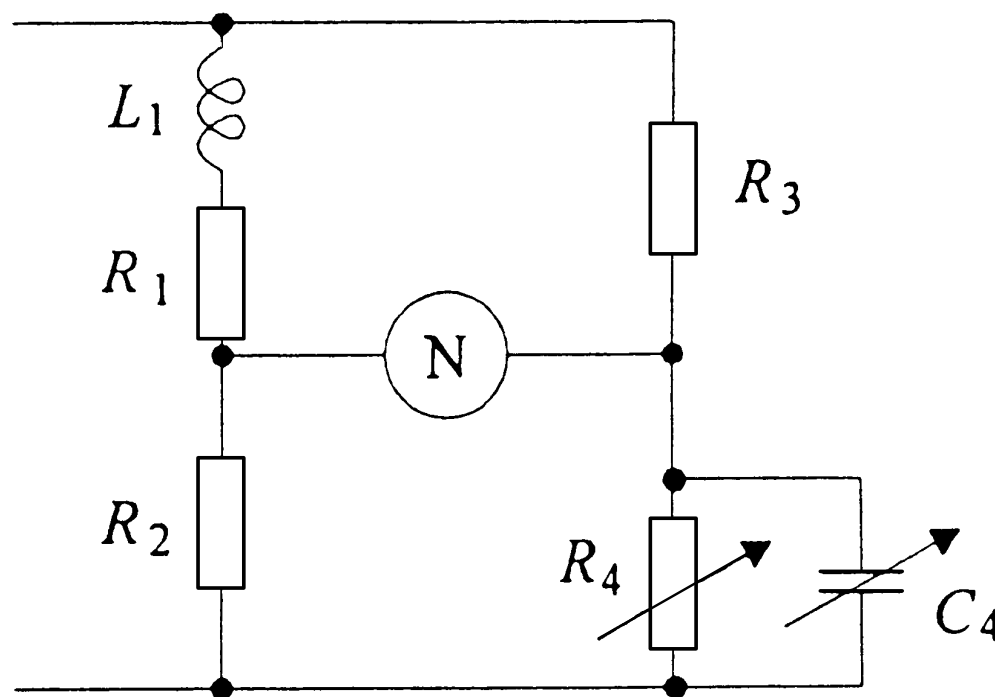


Mostiči produkta

Maxwell-Wienov mostič:

- **produkt impedanc, ki se ne spreminjata, je stalen.**

$$\underline{Z}_2 \underline{Z}_3 = R_2 R_3$$

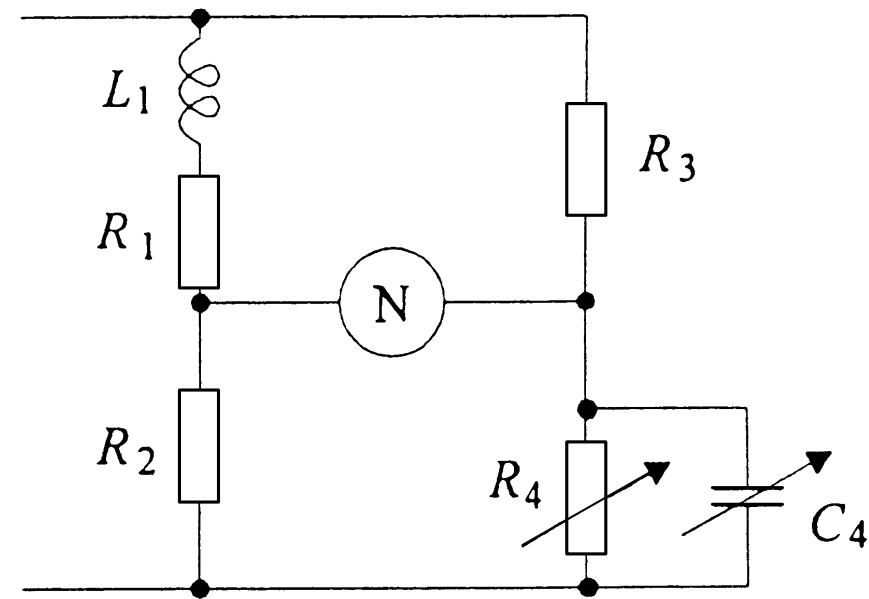


Slika 6.11 Mostič produkta





$$R_1 + j\omega L_1 = \underline{Z}_2 \underline{Z}_3 \left(\frac{1}{R_4} + j\omega C_4 \right)$$



- **produkt** impedanc $\underline{Z}_2 \underline{Z}_3$ je realen,
- z R_4 uravnesimo **le realni** del \underline{Z}_1 ,
- s C_4 uravnesimo **imaginarni** del \underline{Z}_1 .

Produkt mora biti ali **realen ali imaginaren**, če želimo **medsebojno neodvisno uravnovešanje**.

- uravnovešanje hitrejše in bolj točno.





Ločljivost izmeničnega mostiča

Upornosti pri enosmernem mostiču zamenjamo **z impedancami.**

$$\underline{\delta}_q = \frac{(\Delta \underline{I}_5)_q}{\underline{U}_0} \left[\underline{Z}_{10} + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 + \underline{Z}_4 + \underline{Z}_5 \left(\frac{\underline{Z}_{10}}{\underline{Z}_2} + 2 + \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_{10}} \right) \right]$$

Ker za ničelne indikatorje uporabljamo praviloma elektronske instrumente

$$\underline{Z}_5 \gg \underline{Z}_{10} + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 + \underline{Z}_4 \Rightarrow (\Delta \underline{U}_5)_q = (\Delta \underline{I}_5)_q \underline{Z}_5$$

dobimo:

$$\underline{\delta}_q = \frac{(\Delta \underline{U}_5)_q}{\underline{U}_0} \left(\frac{\underline{Z}_{10}}{\underline{Z}_2} + 2 + \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_{10}} \right)$$

- v praksi je zanimiva le absolutna vrednost.





Merilna točnost odvisna od:

- **točnosti uporabljenih elementov,**
- **in ločljivosti,** če ni dovolj občutljiv,
- **vpliva spreminjanja elementov pri višjih frekvencah,**
 - **nezadostna izolacija,**
 - **medsebojne induktivnosti,**
 - **stresane kapacitivnosti** itn.

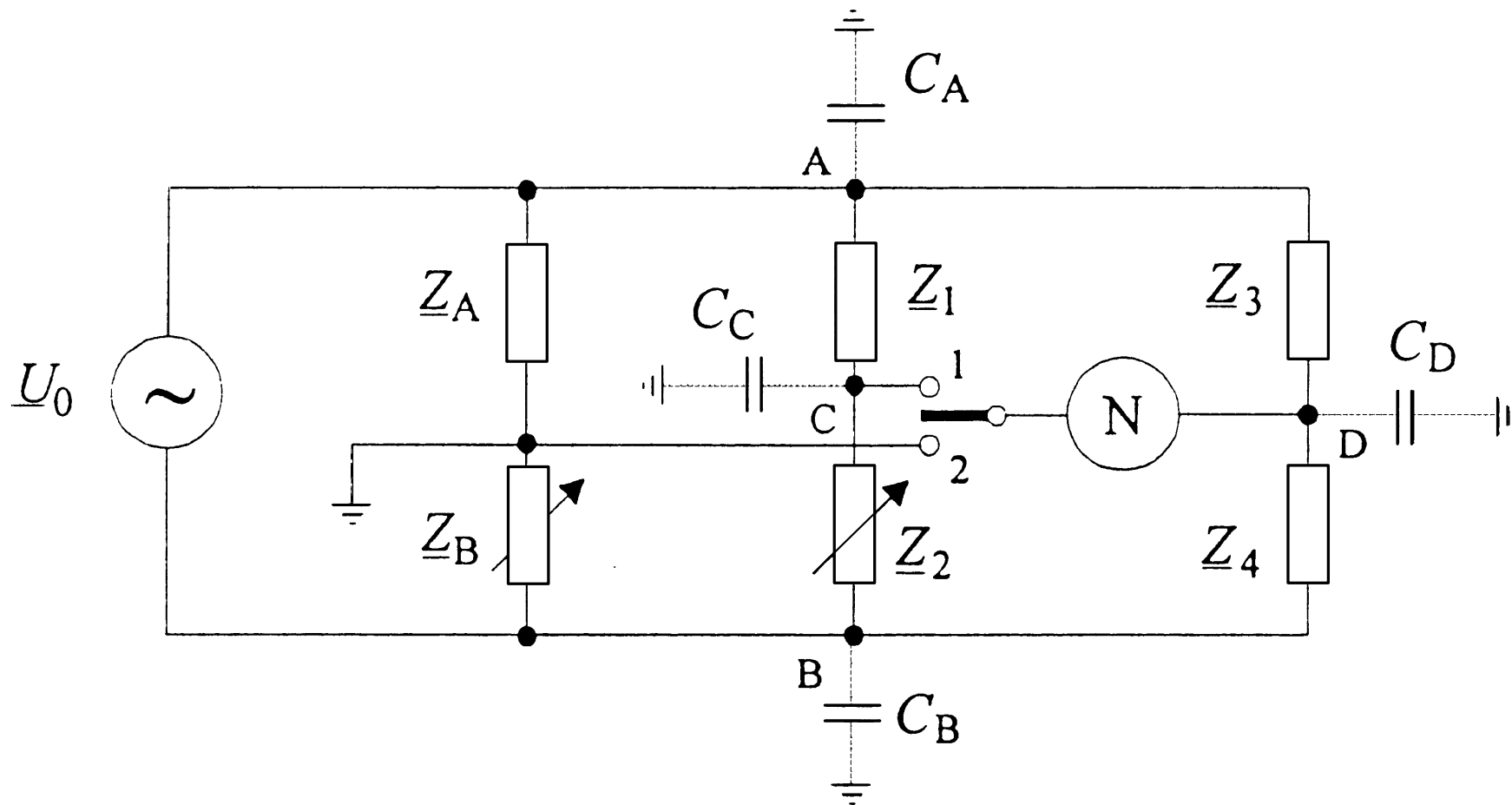
Z **oklopitevijo** lahko vplive **stresanih kapacitivnosti** zmanjšamo.

- zaradi šestih elementov in zemlje je teh kar **deset.**
- z **oklopitevijo** bolj določimo **stresane kapacitivnosti.**



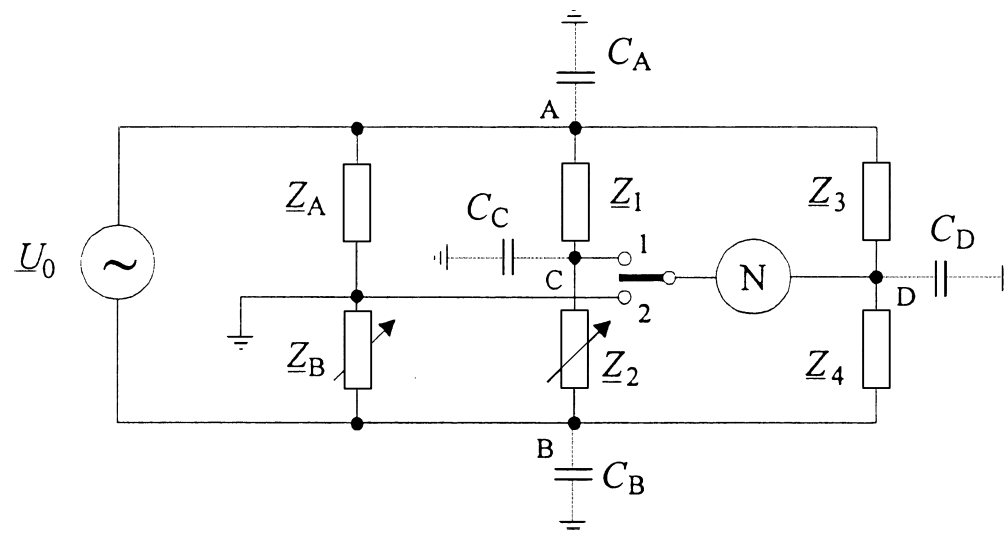


Vplive stresanih kapacitivnosti v ogliščih izločamo s pomožnim Wagnerjevim mostičem.



Slika 6.12 Pomožni Wagnerjev mostič





- \underline{Z}_A in \underline{Z}_B sta pomožni nizkoohmski impedanci,
 - po naravi enaki impedancama \underline{Z}_1 in \underline{Z}_2
- v položaju 1 uravnesimo mostič $(\underline{Z}_1, \underline{Z}_2, \underline{Z}_3, \underline{Z}_4)$ z \underline{Z}_2 ,
- v položaju 2 uravnesimo mostič $(\underline{Z}_A, \underline{Z}_B, \underline{Z}_3, \underline{Z}_4)$ z \underline{Z}_B ,
- točki C in D imata enak potencial – **potencial zemlje**,
 - **čez C_C in C_D ne teče noben tok**,
 - njun vpliv je izločen.
- **kapacitivnosti C_A in C_B sta vezani vzporedno k \underline{Z}_A in \underline{Z}_B in nimata vpliva na ravnovesje mostiča $(\underline{Z}_1, \underline{Z}_2, \underline{Z}_3, \underline{Z}_4)$.**

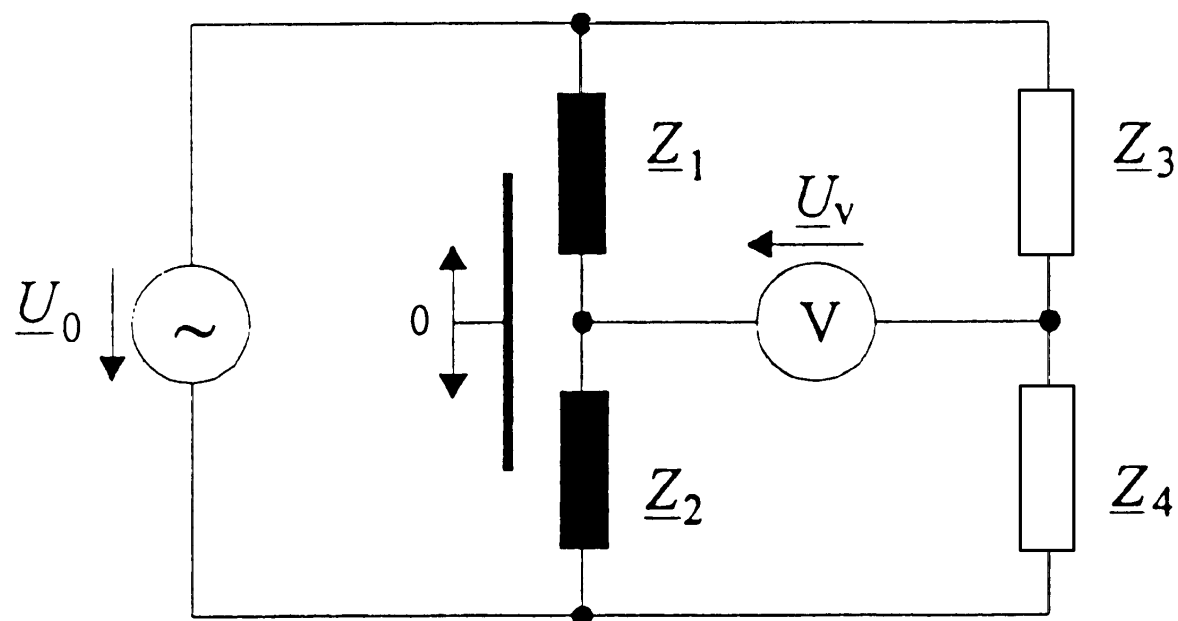




Odklonski izmenični Wheatstonov mostič

Diferencialna dušilka v polovičnem odklonskem mostiču

- merjenje pomika in manjših razdalj.

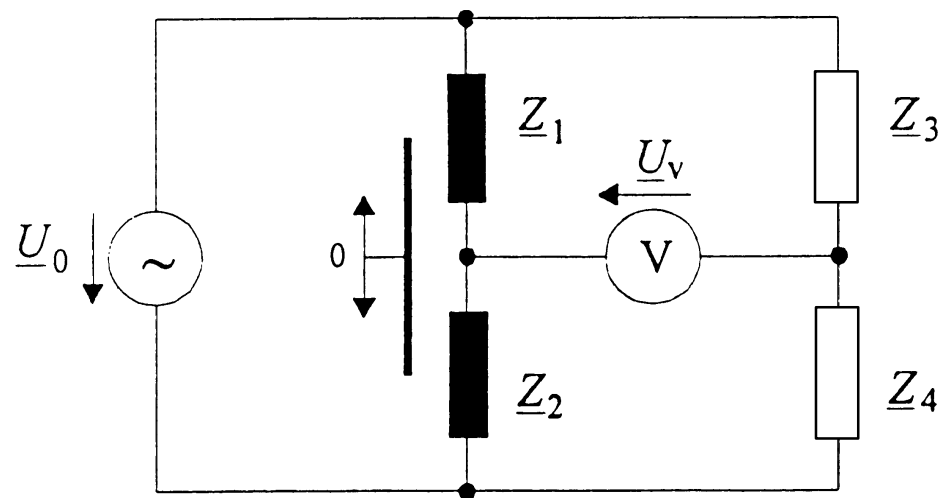


Slika 6.13 Polovični odklonski izmenični Wheatstonov mostič

Napetost voltmetra ($Z_5 \gg Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$):

$$\underline{U}_V = \underline{U}_0 \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_4 - \underline{Z}_2 \underline{Z}_3}{(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2)(\underline{Z}_3 + \underline{Z}_4)}$$





$$\underline{U}_V = \underline{U}_0 \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_4 - \underline{Z}_2 \underline{Z}_3}{(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2)(\underline{Z}_3 + \underline{Z}_4)}$$

- pri premiku feromagnetnega jedra dušilke iz ravnovesne lege $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2$ se induktivnost prve dušilke poveča in druge zmanjša:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_1 &= R + j\omega(L + \Delta L) , & \underline{Z}_3 &= R_N \\ \underline{Z}_2 &= R + j\omega(L - \Delta L) , & \underline{Z}_4 &= R_N \end{aligned}$$

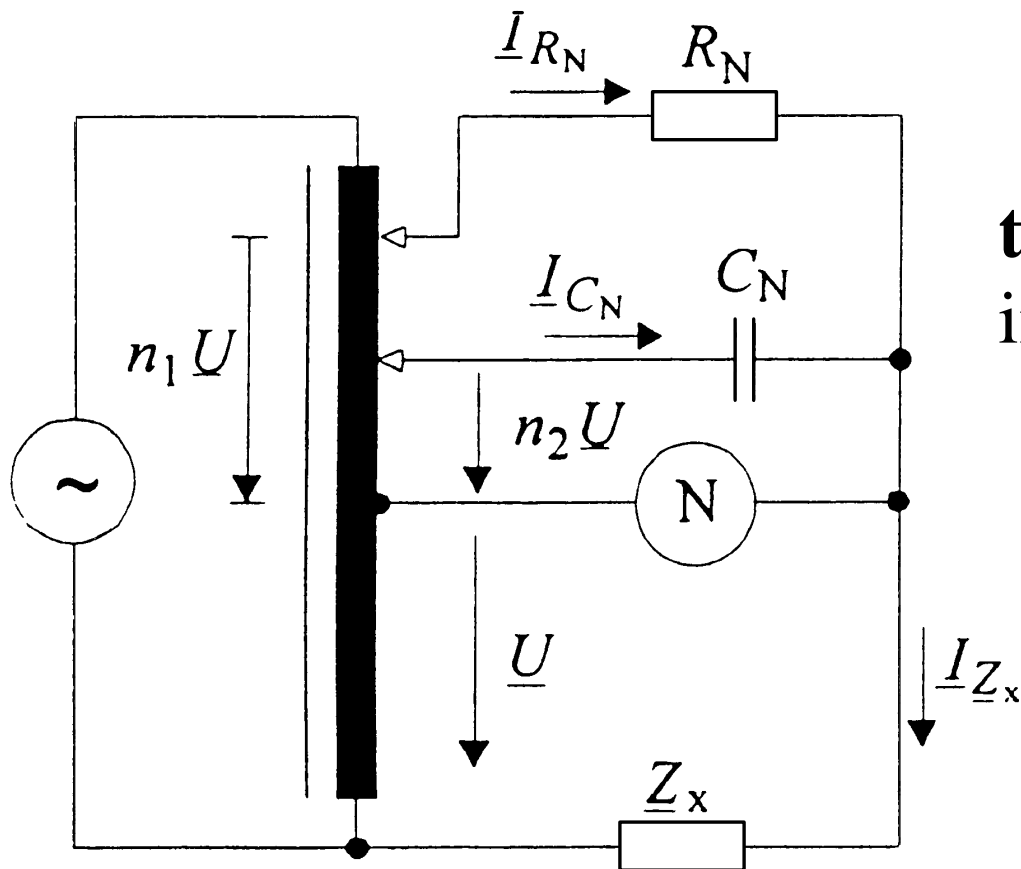
$$\Rightarrow \underline{U}_V = \underline{U}_0 \frac{j\omega R_N \Delta L}{2(R + j\omega L)R_N}$$

$$R \ll \omega L \Rightarrow U_V = \frac{1}{2} U_0 \frac{\Delta L}{L}$$





Mostič z induktivnim delilnikom

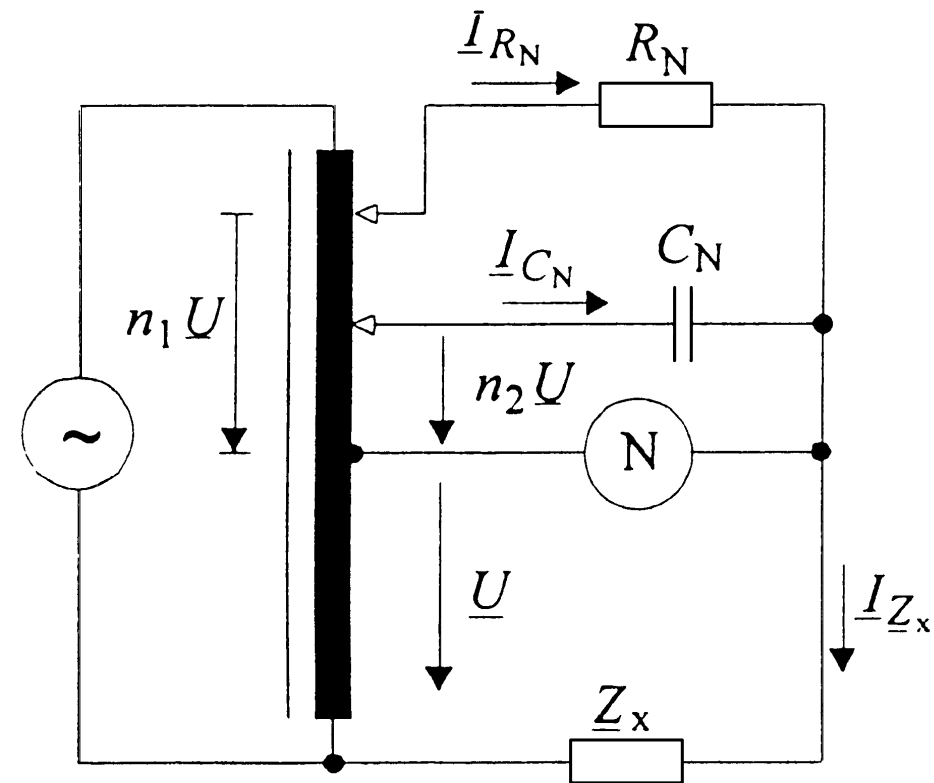


Bistveni element je **napetostni transformator z odcepi** – induktivni delilnik,

- **v kaskado** lahko vežemo več delilnikov,
- do osem dekadnih mest

Slika 6.14 Mostič z induktivnim delilnikom





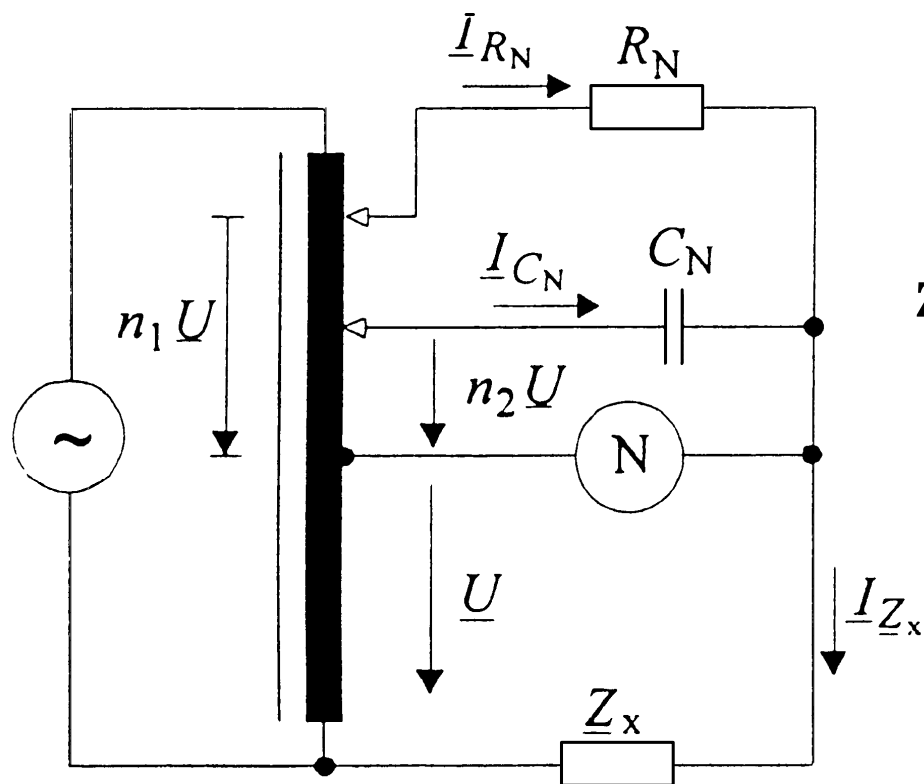
- **uravnovešen** mostič ($\underline{I}_N \rightarrow 0$):

$$\underline{I}_{R_N} + \underline{I}_{C_N} - \underline{I}_{Z_x} = 0 \quad \Rightarrow \quad n_1 \underline{U} \frac{1}{R_N} + n_2 \underline{U} j \omega C_N = \underline{U} \underline{Y}_x$$

- **neznana admitanca** je:
$$\underline{Y}_x = \frac{n_1}{R_N} + j n_2 \omega C_N$$

- mostič je primeren za **merjenje kapacitivnosti**,





Če polariteto priključka pri n_2 zamenjamo, merimo **induktivnost**:

$$n_1 \underline{U} \frac{1}{R_N} - n_2 \underline{U} j\omega C_N = \underline{U} \underline{Y}_x$$

$$\Rightarrow \frac{1}{R_x} + \frac{1}{j\omega L_x} = \frac{n_1}{R_N} - jn_2\omega C_N$$

- če C_N izključimo pa omsko upornost:

$$n_1 \underline{U} \frac{1}{R_N} = \underline{U} \underline{Y}_x \Rightarrow \frac{1}{R_x} = n_1 \frac{1}{R_N}$$

- velika merilna **točnost**,
- časovna **stabilnost**,
- frekvenčno območje do 250 MHz,
- in **temperaturna neodvisnost**.





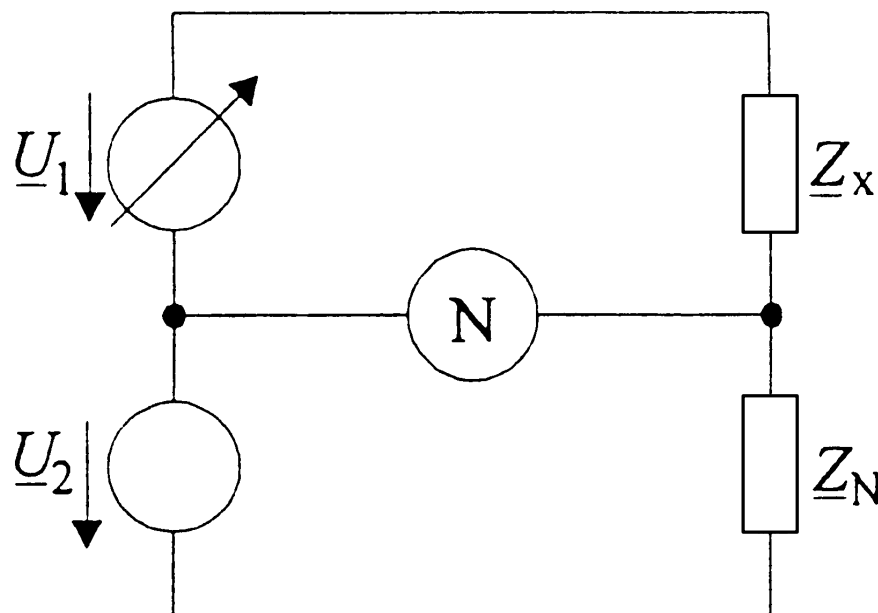
Mostič z dvema napetostnima viroma

Če padce napetosti na impedancah \underline{Z}_1 in \underline{Z}_2

$$\underline{U}_1 - \underline{I}_3 \underline{Z}_3 = 0, \quad \underline{I}_1 = \underline{I}_2,$$

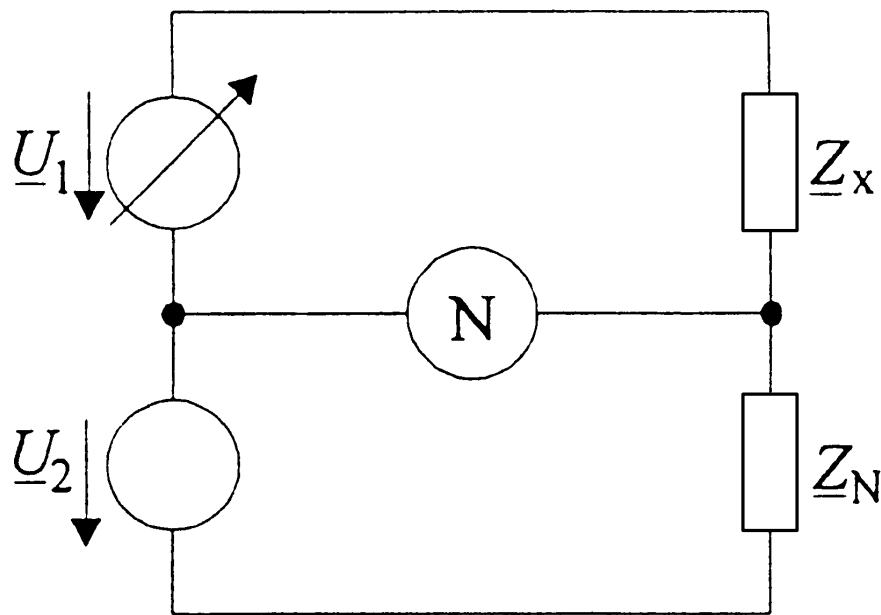
$$\underline{U}_2 - \underline{I}_4 \underline{Z}_4 = 0, \quad \underline{I}_3 = \underline{I}_4,$$

zamenjamo z napetostnimi generatorji \underline{U}_1 in \underline{U}_2 , dobimo mostič z dvema napetostnima viroma:



$$\underline{Z}_3 = \underline{Z}_4 \frac{\underline{U}_1 (= \underline{I}_1 \underline{Z}_1)}{\underline{U}_2 (= \underline{I}_2 \underline{Z}_2)}$$





Znana impedanca \underline{Z}_N **je stalna**,

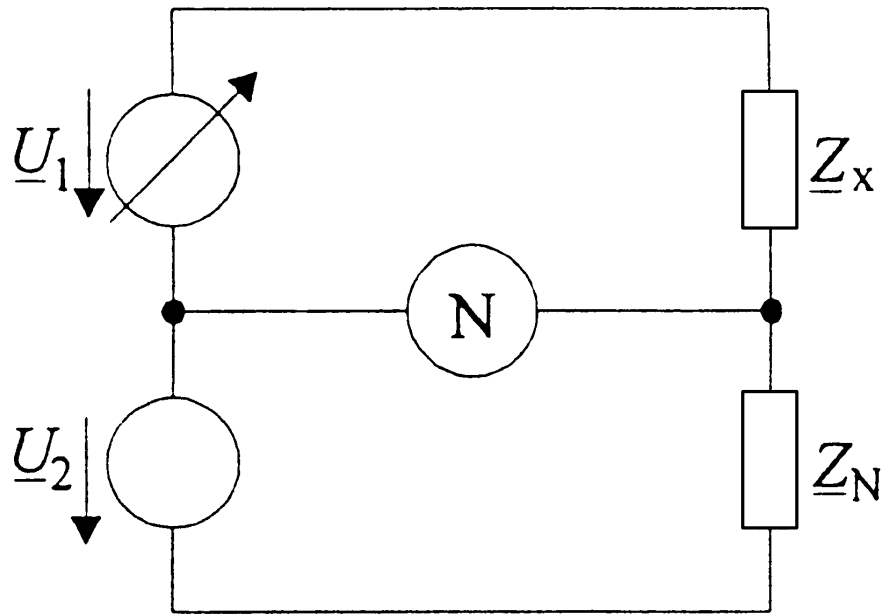
- ohmska upornost: $\underline{Z}_N = R_N$

- **spreminjamo** napetost enega vira **po amplitudi in fazi**,

- **v ravnovesju** ($I_N \rightarrow 0$): $\underline{Z}_x = \underline{Z}_N \frac{U_1}{U_2}$

- **v eksponentni obliki:** $\underline{Z}_x = R_N \frac{U_1}{U_2} e^{j(\varphi_1 - \varphi_2)} = R_N \frac{U_1}{U_2} e^{j\varphi}$





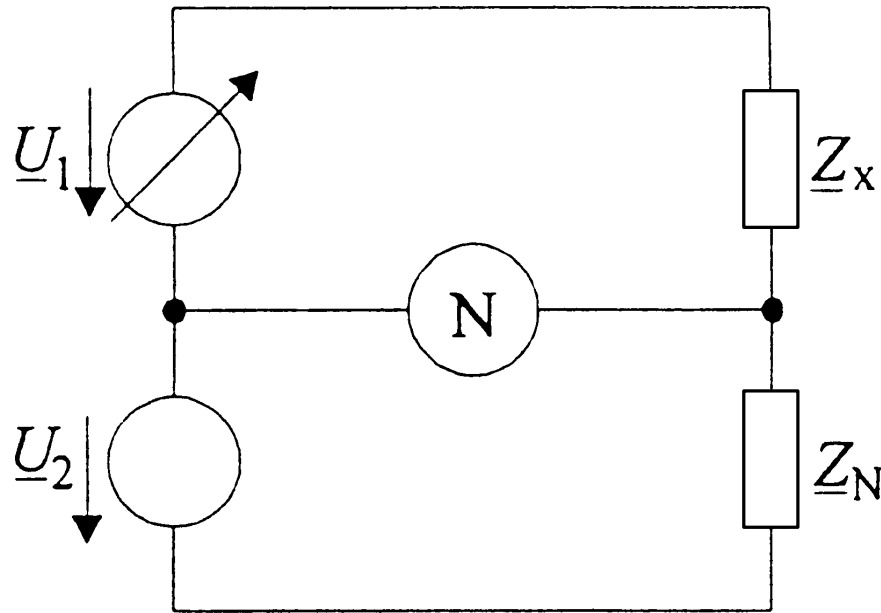
Fazni kot φ med napetostima mora biti **pozitiven pri merjenju induktivnosti:**

$$\underline{Z}_x = R_x + j\omega L_x = R_N \frac{U_1}{U_2} \cos \varphi + jR_N \frac{U_1}{U_2} \sin \varphi$$

in **pri merjenju kapacitivnosti negativnen:**

$$\underline{Z}_x = R_x - \frac{j}{\omega C_x} = R_N \frac{U_1}{U_2} \cos \varphi + jR_N \frac{U_1}{U_2} \sin \varphi$$





Notranja **upornost virov se prišteva** k \underline{Z}_x oz. \underline{Z}_N !

Z uporabo Digitalno–Analognih pretvornikov **avtomatiziramo meritev.**

- velika točnost in ponovljivost merjenj.

Merimo lahko vse tri osnovne pasivne električne veličine **R , L , C .**

