

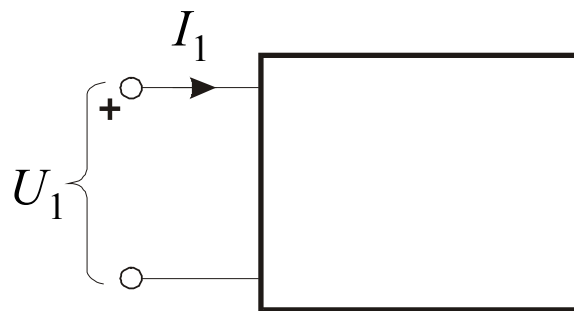
Električni krugovi

Elementi električnih krugova

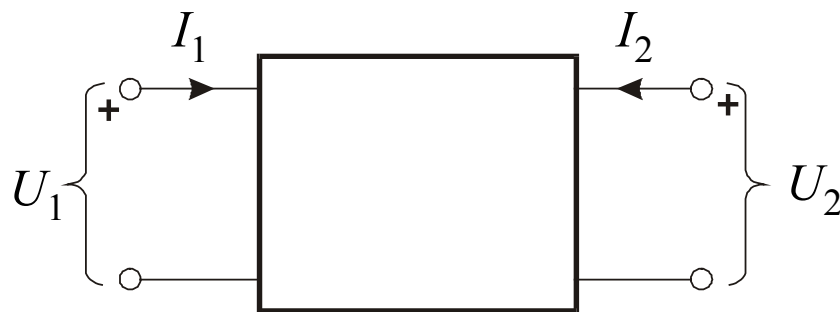
Lit.: V. Naglič: Osnovi teorije mreža, p. 2.1-2.4

Elementi električnih krugova

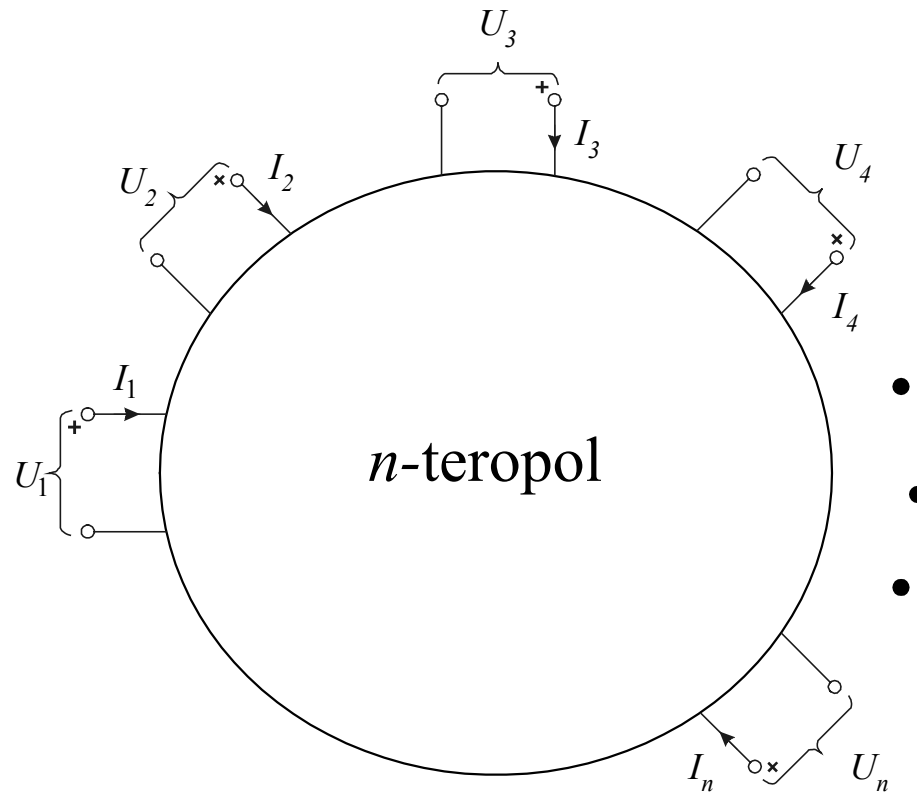
- Elementi električnih krugova mogu biti:
 - jednostavni elementi s dvije priključnice → dvopoli



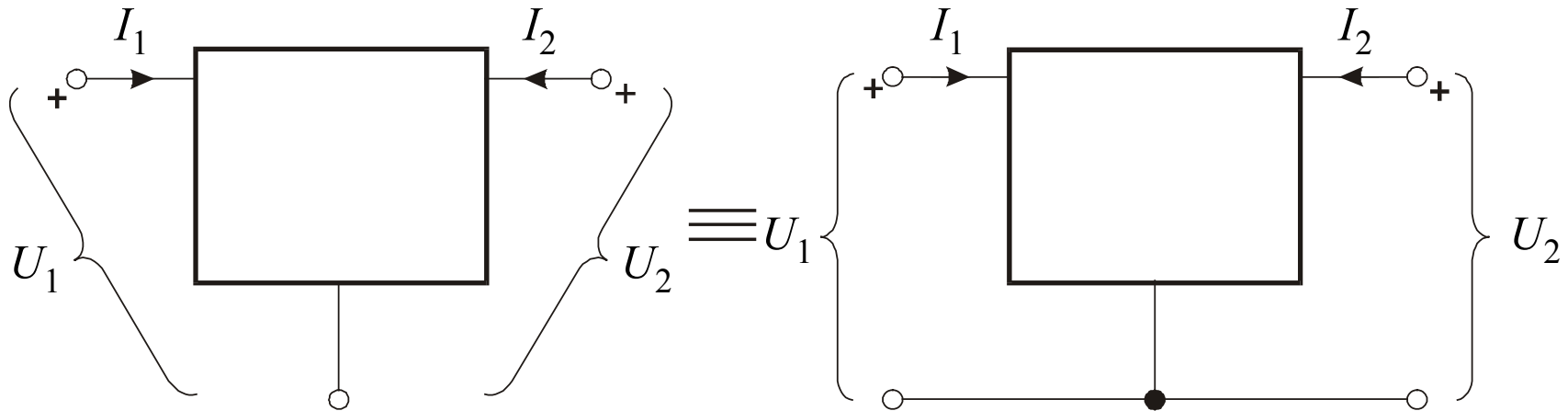
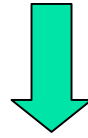
- mreže s 4 priključnice ili četveropoli



- ali i vrlo složeni podsistemi s više priključnica ili polova



- Broj prilaza ne mora biti jednak polovini broja polova.
 - Npr. mreža s 3 priključnice (tropol)

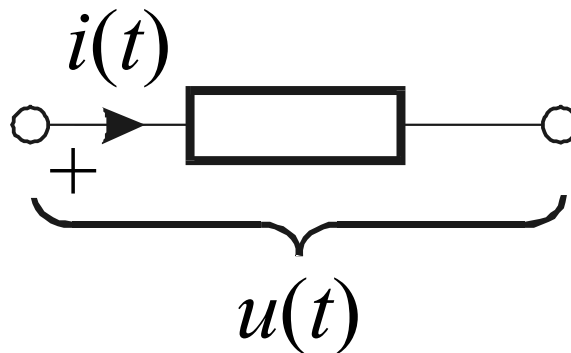


Mreže s dva prilaza.

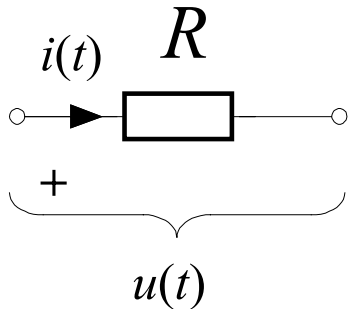
- Jedna od priključnica je zajednička za oba prilaza.

Dvopolni elementi

- Osnovni dvopolni pasivni elementi električnih krugova:
 - otpor R
 - kapacitet C i
 - induktivitet L .
- Njihovi simboli i odnosi između napona $u(t)$ i struje $i(t)$, definirani su za ***združena referentna usmjerenja***.



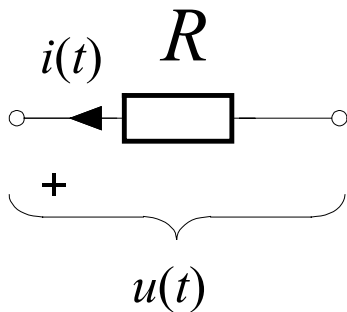
■ OTPOR



$$i(t) = \frac{u(t)}{R}$$

$$u(t) = R \cdot i(t)$$

■ Ako nisu zadovoljena združena referentna usmjerenja

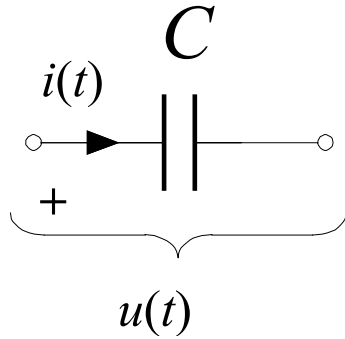


$$i(t) = -\frac{u(t)}{R}$$

$$u(t) = -R \cdot i(t)$$

■ OTPOR je pasivni element jer vrijedi $E(t) > 0$

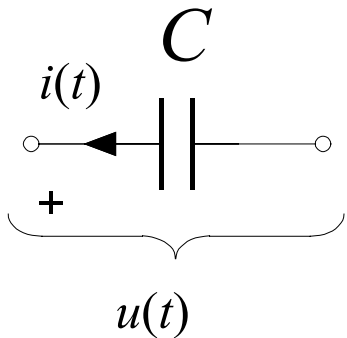
KAPACITET



$$i(t) = C \frac{d u(t)}{d t}$$

$$u(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(\tau) d \tau = u_C(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i(\tau) d \tau$$

Ako nisu zadovoljena združena referentna usmjerenja

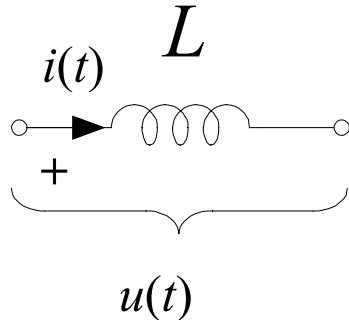


$$i(t) = -C \frac{d u(t)}{d t}$$

$$u(t) = -\frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(\tau) d \tau = -u_C(0) - \frac{1}{C} \int_0^t i(\tau) d \tau$$

KAPACITET je pasivni element jer vrijedi $E(t) = C \frac{u^2}{2} \geq 0$

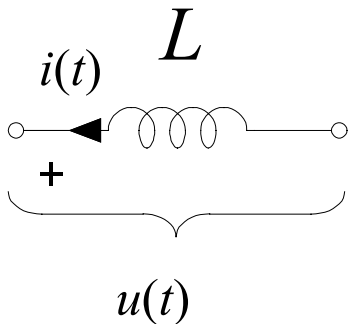
■ INDUKTIVITET



$$i(t) = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u(\tau) d\tau = i_L(0) + \frac{1}{L} \int_0^t u(\tau) d\tau$$

$$u(t) = L \frac{d i(t)}{d t}$$

■ Ako nisu zadovoljena združena referentna usmjerenja



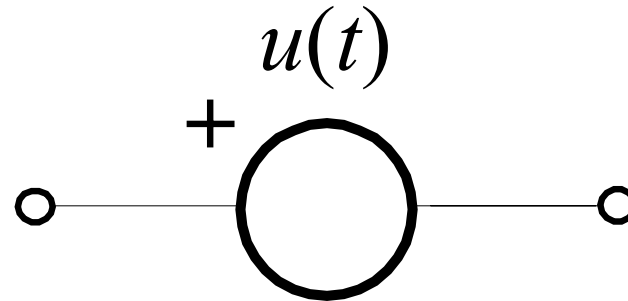
$$i(t) = -\frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u(\tau) d\tau = -i_L(0) - \frac{1}{L} \int_0^t u(\tau) d\tau$$

$$u(t) = -L \frac{d i(t)}{d t}$$

■ Induktivitet je pasivni element jer vrijedi

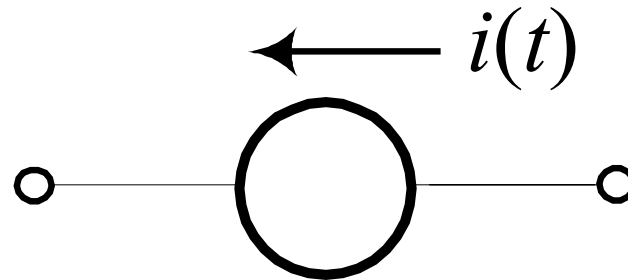
$$E(t) = \frac{1}{2} L \cdot i^2(t) \geq 0$$

- Aktivni dvopoli \rightarrow izvori funkcija pobude:
 - ***NAPONSKI*** i ***STRUJNI IZVOR***.
- ***Naponski izvor*** \rightarrow element na čijim priključnicama djeluje napon iznosa $u(t)$, bez obzira na iznos struje.



Naponski izvor

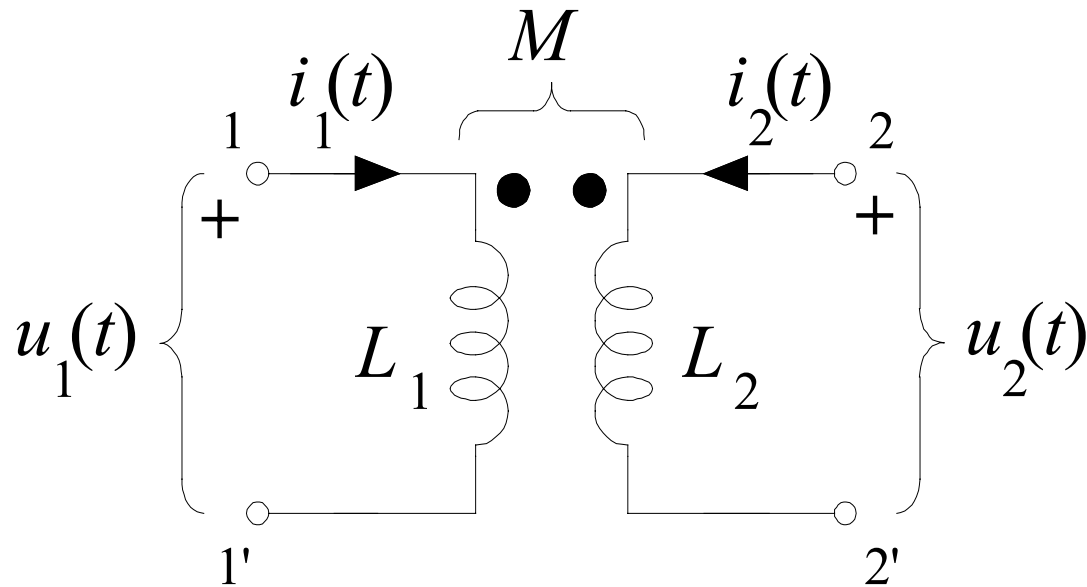
- ***Strujni izvor*** → element, koji definiira struju grane $i(t)$, bez obzira na napon između njenih čvorišta.



Strujni izvor

Četveropolni elementi

- ***Transformator*** → dva induktiviteta koji su međuinduktivno vezani



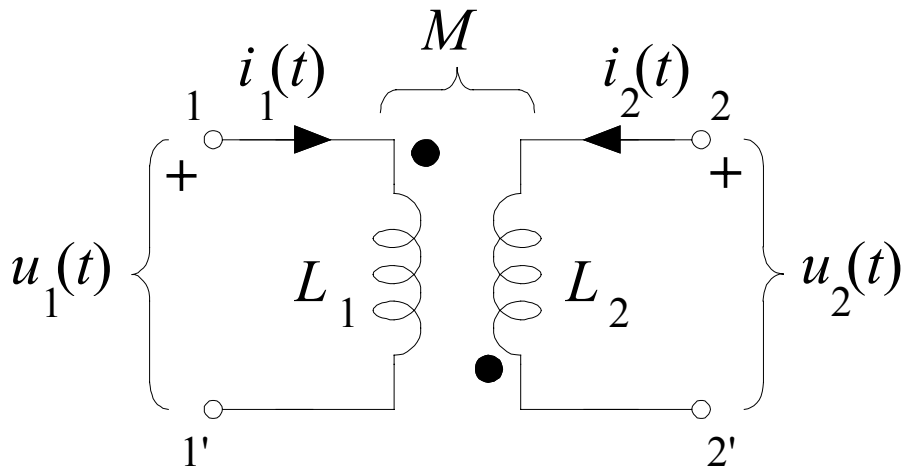
- Veze među naponima i strujama na njegovim prilazima određene su izrazima

$$u_1(t) = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}$$

$$u_2(t) = +M \frac{di_1}{dt} + L_2 \frac{di_2}{dt}$$

- L_1 i L_2 → induktiviteti
- M → međui induktivitet.

- Međuinduktivitet M može imati + ili – predznak.
- Pozitivni predznak \rightarrow ako se smjer struje i položaj točke nalaze u istom odnosu na oba prilaza četveropola.
- U suprotnom, predznak međuinduktiviteta je negativan.
- Za slučaj prema slici



vrijedi

$$u_1(t) = L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt}$$

$$u_2(t) = -M \frac{di_1}{dt} + L_2 \frac{di_2}{dt}$$

- Ponekad umjesto međuinuktiviteta \rightarrow koeficijent veze:

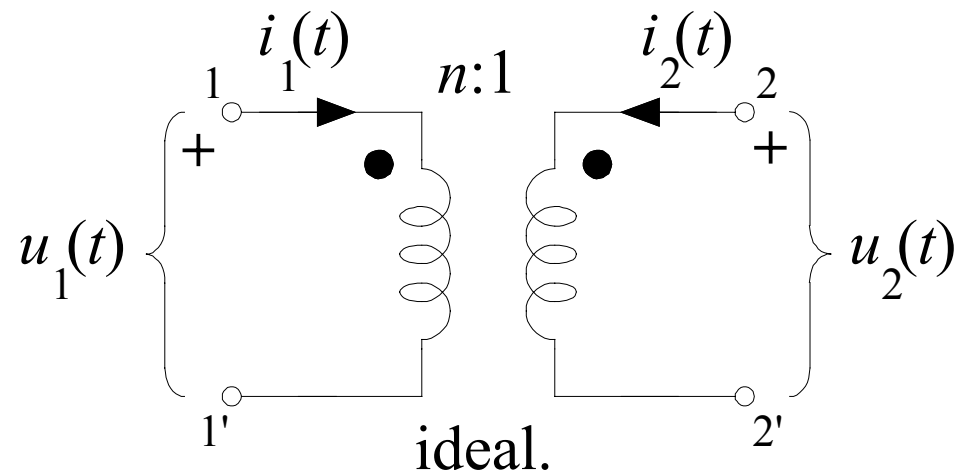
$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

- k je po apsolutnome iznosu uvijek manji od jedinice

$$0 < |k| < 1$$

- Transformator s $k=1$ naziva \rightarrow **perfektni transformator**
- U praksi ne postoji transformator sa $k=1$, ali postoje slučajevi kada je k vrlo blizu jedinice.

■ Idealni transformator



- po nazivu, a i po simbolu sličan transformatoru
- u potpunosti definiran bezdimenzionalnim parametrom n .
- $n \rightarrow$ *omjer transformacije* \rightarrow realan i pozitivan broj

Definicijske jednačbe idealnog transformatora

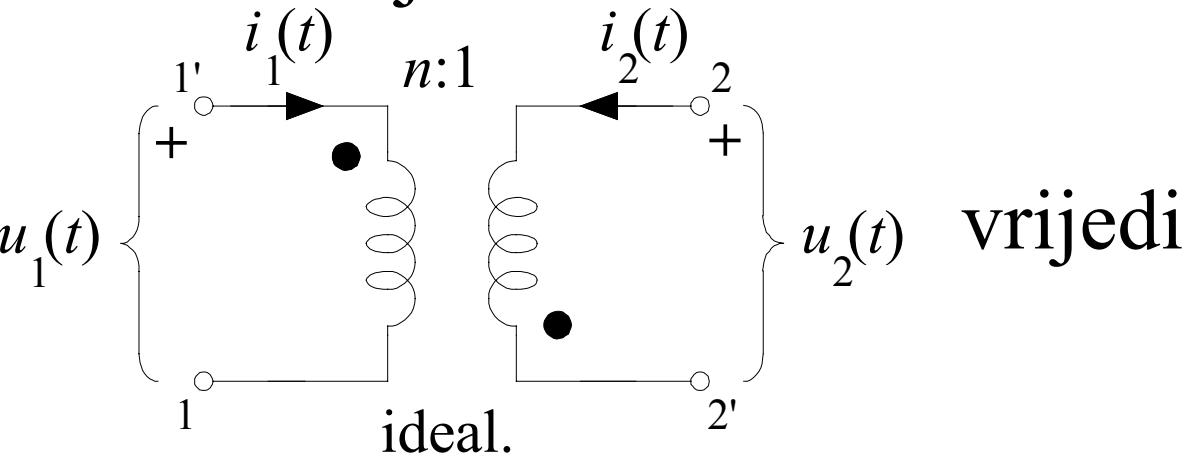
$$u_1(t) = n \cdot u_2(t)$$

$$i_1(t) = -\frac{1}{n} \cdot i_2(t)$$

■ Idealni transformator

- Predznak parametra n određuje odnos položaja točaka i smjerova struja primara i sekundara

- Za slučaj na slici

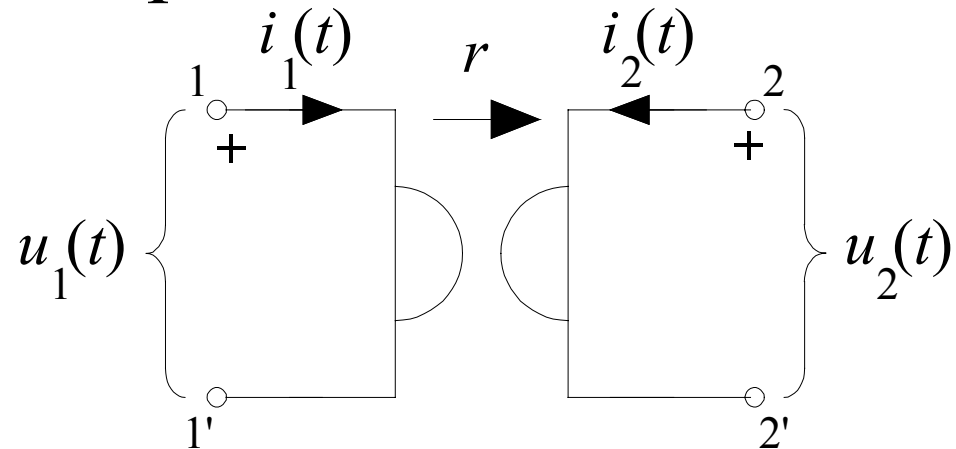


$$u_1(t) = -n \cdot u_2(t)$$

$$i_1(t) = \frac{1}{n} \cdot i_2(t)$$

- Idealni transformator \rightarrow pasivni četveropol bez gubitaka.
- $E(t)=0$ za svaki t , \rightarrow nije u stanju ni spremiti energiju.

- **Girator** je četveropol određen simbolom



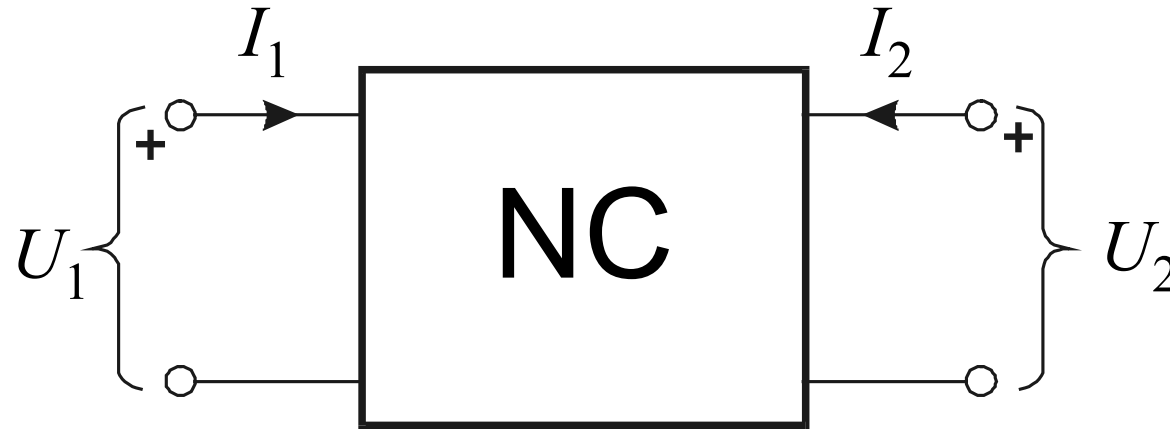
i definicijskim izrazima

$$u_1(t) = r \cdot i_2(t)$$

$$u_2(t) = -r \cdot i_1(t)$$

- $r \rightarrow$ pozitivna i realna konstanta, koja ima dimenziju Ω .
- Girator \rightarrow pasivni četveropol bez gubitaka
- $E(t)=0$ za svaki $t \rightarrow$ nije u stanju ni spremiti energiju.

- **Negativni konvertor** je četveropolni element definiran općim simbolom na slici



i izrazima

$$u_1(t) = k_1 \cdot u_2(t)$$

$$i_2(t) = k_2 \cdot i_1(t)$$

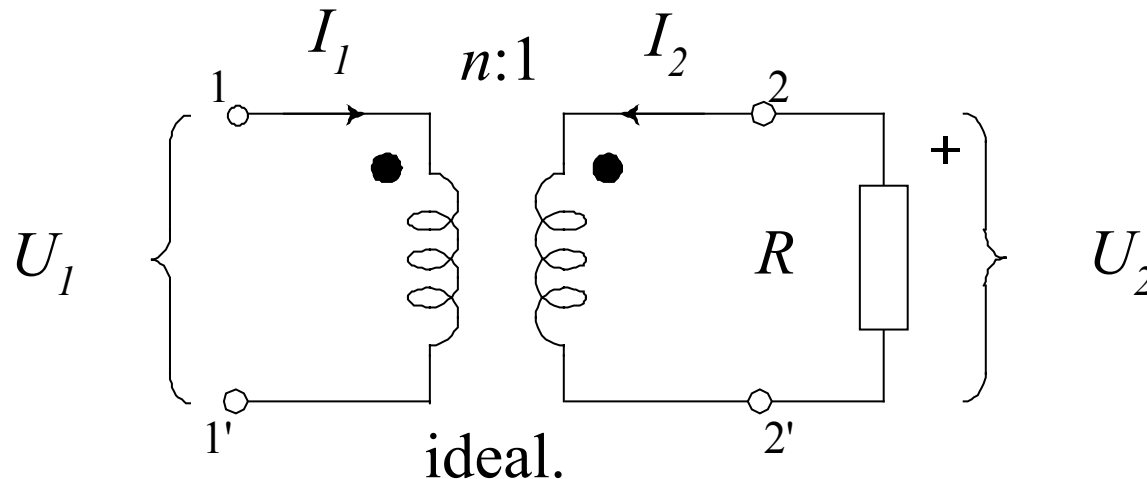
$$k = k_1 \cdot k_2$$

$k \rightarrow$ omjer konverzije \rightarrow realna konstanta

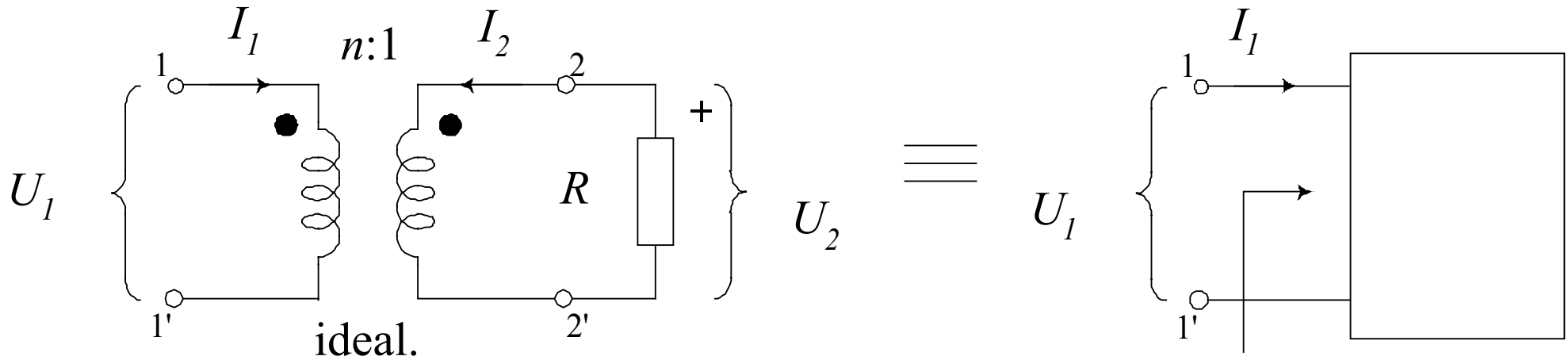
- Važno svojstvo idealnog transformatora, giratora i negativnoga konvertera jest

transformacija otpora (impedancije).

- Ako npr. se na priključnice 2-2' idealnoga transformatora spoji otpor R , dobiva se mreža



- Cijelu mrežu moguće je razmatrati kao dvopol s priključnicama 1-1'.

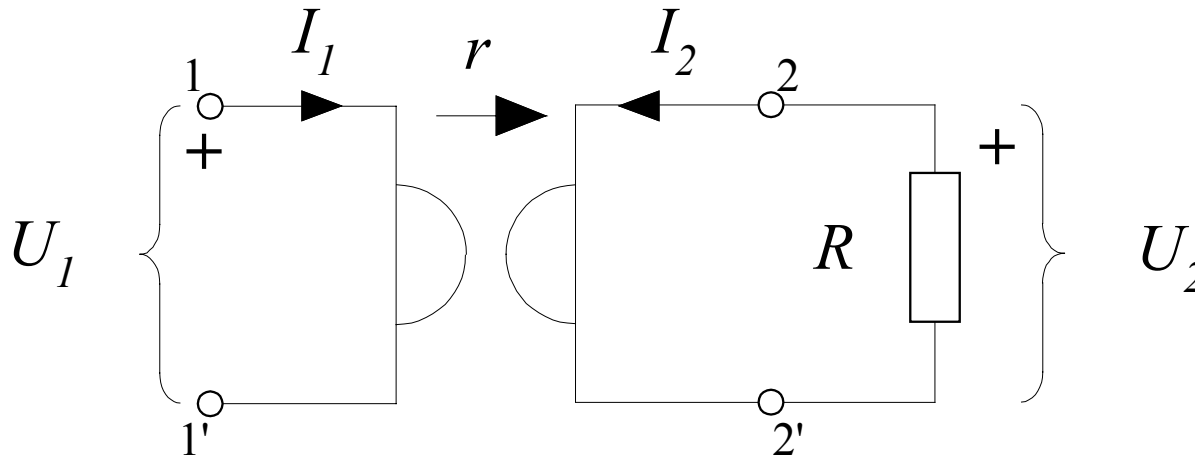


- Otpor R_{ulT} gledan sa priključnica 1-1' jednak je R_{ulT}

$$R_{ulT} = \frac{U_1}{I_1} = -n^2 \frac{U_2}{I_2} = n^2 R$$

- Zaključak: Idealnim transformatorom je moguće promijeniti vrijednost otpora.

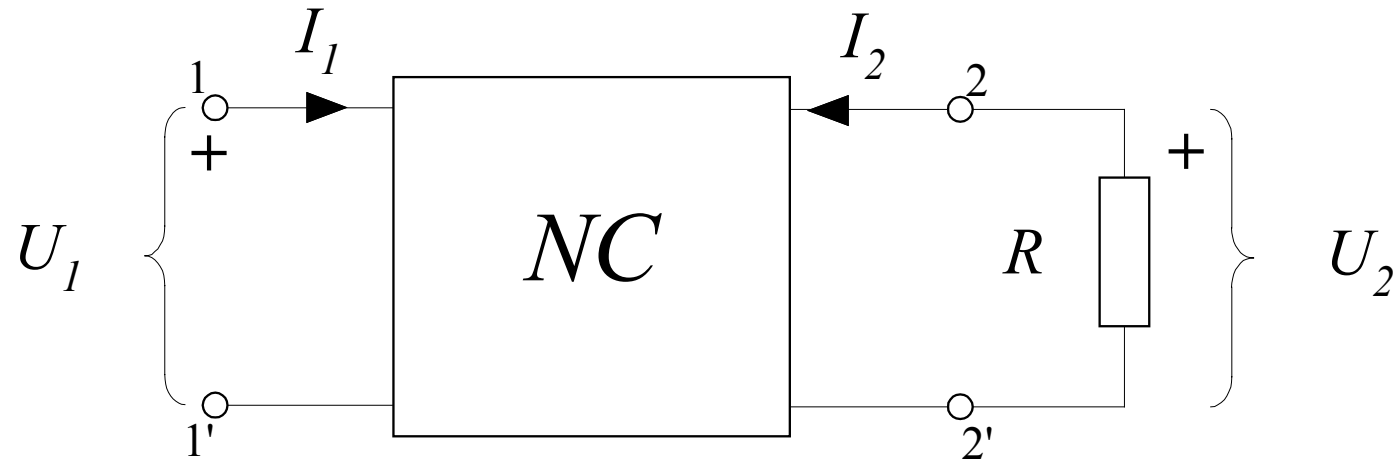
- Ako se isti postupak primjeni na girator



$$R_{ul_G} = \frac{U_1}{I_1} = -r^2 \frac{I_2}{U_2} = \frac{r^2}{R}$$

→ **transformator** mijenja vrijednost otpora
 → **girator** je invertira.

- Ako se na priključnice 2-2' negativnog konvertora spoji otpor R

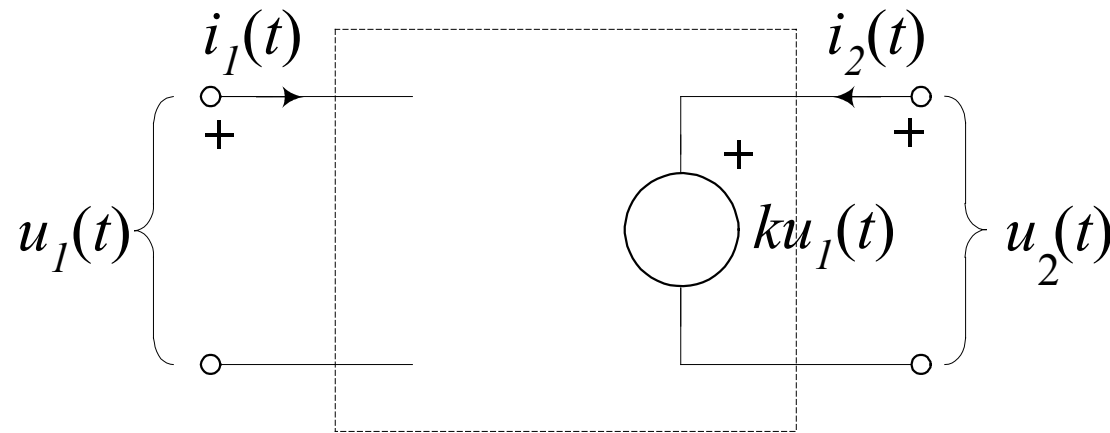


tada je otpor R_{ul} gledan sa 1-1' $R_{ul_{NK}} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{k_1 \cdot U_2}{k_2^{-1} \cdot I_2} = -k_1 k_2 R$

- Ulazni otpor **negativnog konvertora** proporcionalan je negativnome iznosu otpora priključenog na njegov izlaz.
- Funkcija **negativnog konvertora** je **promjena predznaka** ootporu R .

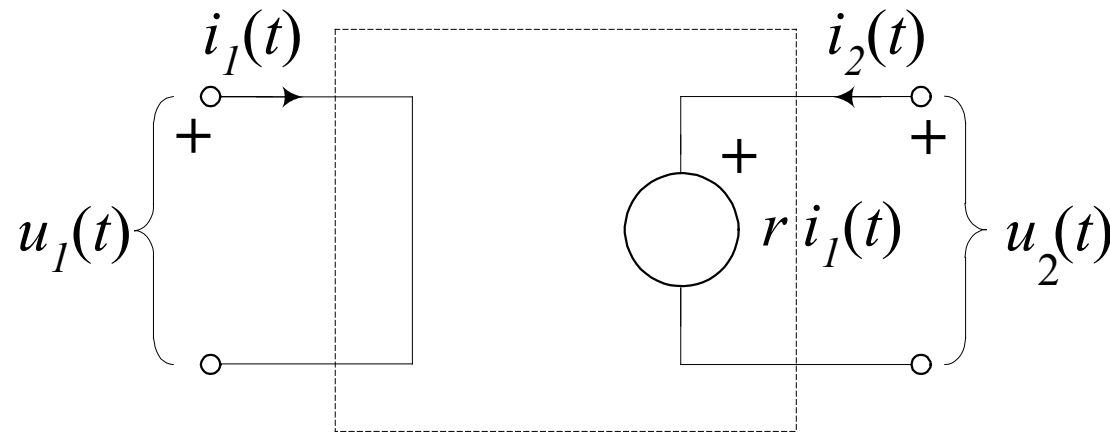
- **Ovisni izvori**
- **Ovisni izvori** su aktivni četveropoli, koji sadrže strujni ili naponski izvor ovisan o nekoj struji ili naponu u mreži.
- Postoje četiri vrste ovisnih izvora.

- **Naponski ovisni naponski izvor (NONI) →** aktivni četveropol, koji sadrži naponski izvor ovisan o nekome naponu u mreži



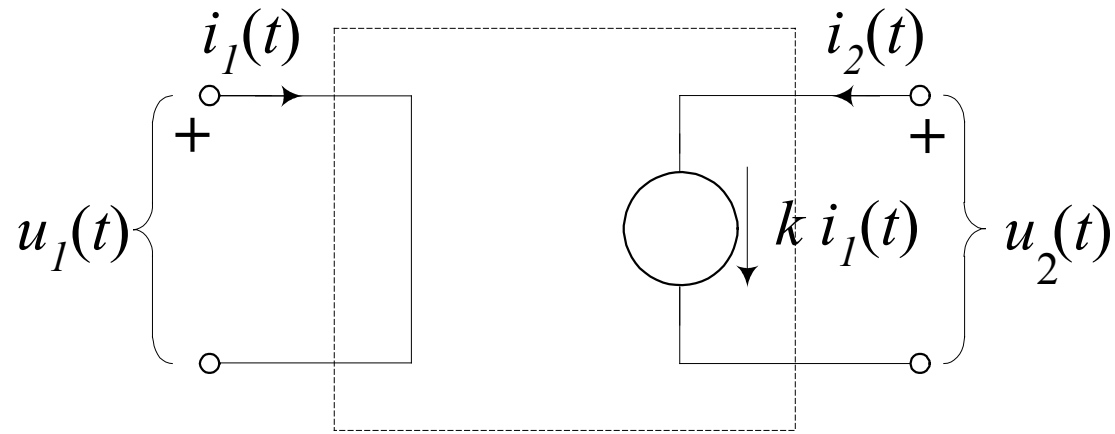
$$u_2 = ku_1 \quad ; \quad i_1 = 0$$

- **Strujno ovisni naponski izvor (SONI)** → aktivni četveropol, koji sadrži naponski izvor ovisan o nekoj struji u mreži,



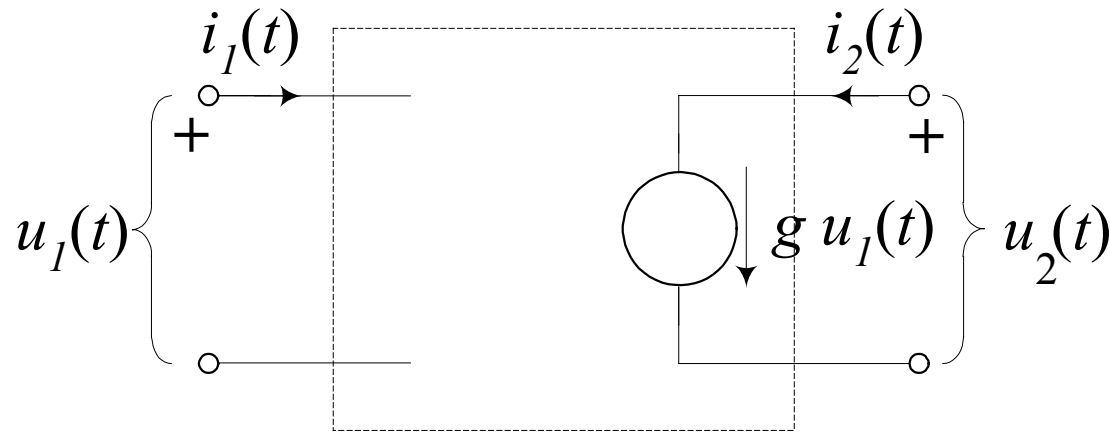
$$u_2 = r \cdot i_1 \quad ; \quad u_1 = 0$$

- **Strujno ovisni strujni izvor (SOSI) →** aktivni četveropol, koji sadrži strujni izvor ovisan o nekoj struji u mreži,



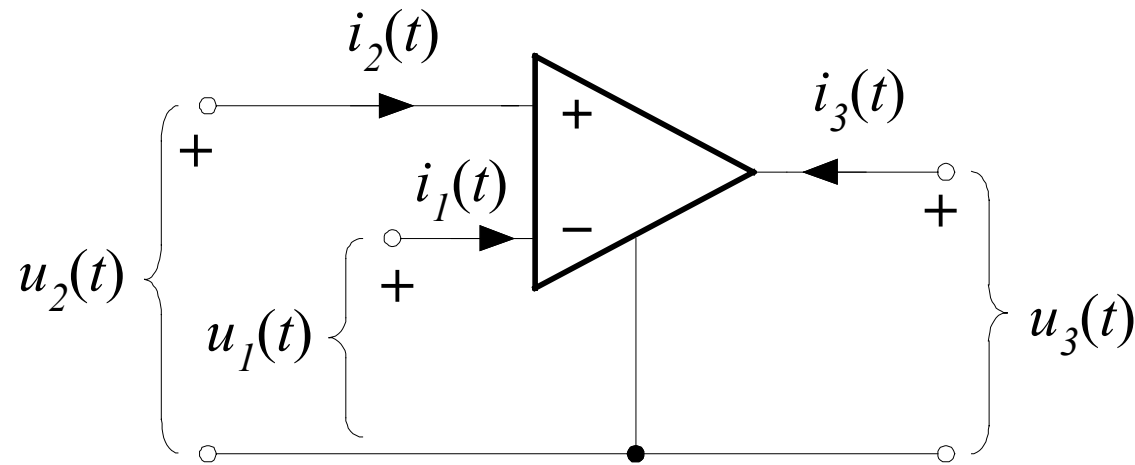
$$i_2 = k \cdot i_1 \quad ; \quad u_1 = 0$$

- **Naponski ovisni strujni izvor (NOSI) →** aktivni četveropol, koji sadrži strujni izvor ovisan o nekome naponu u mreži,



$$i_2 = g \cdot u_1 \quad ; \quad i_1 = 0$$

- **Operacijsko pojačalo** → element sa 3 prilaza.



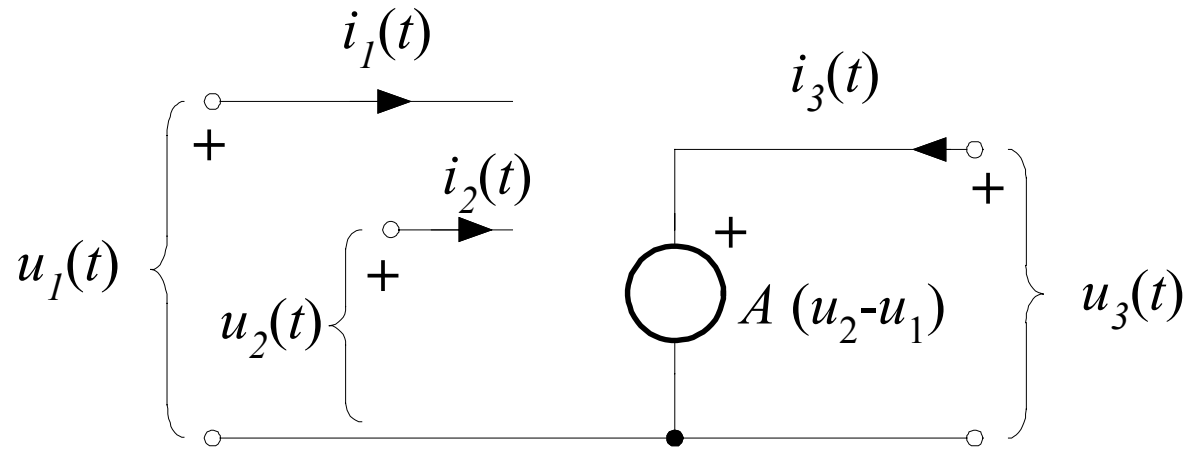
- Dva prilaza → ulazi
- treći prilaz → izlaz operacijskog pojačala
- Sva tri prilaza imaju jednu zajedničku priključnicu.

■ Definiicijske jednačbe

$$u_3 = A \cdot (u_2 - u_1) \quad ; \quad i_2 = i_1 = 0$$

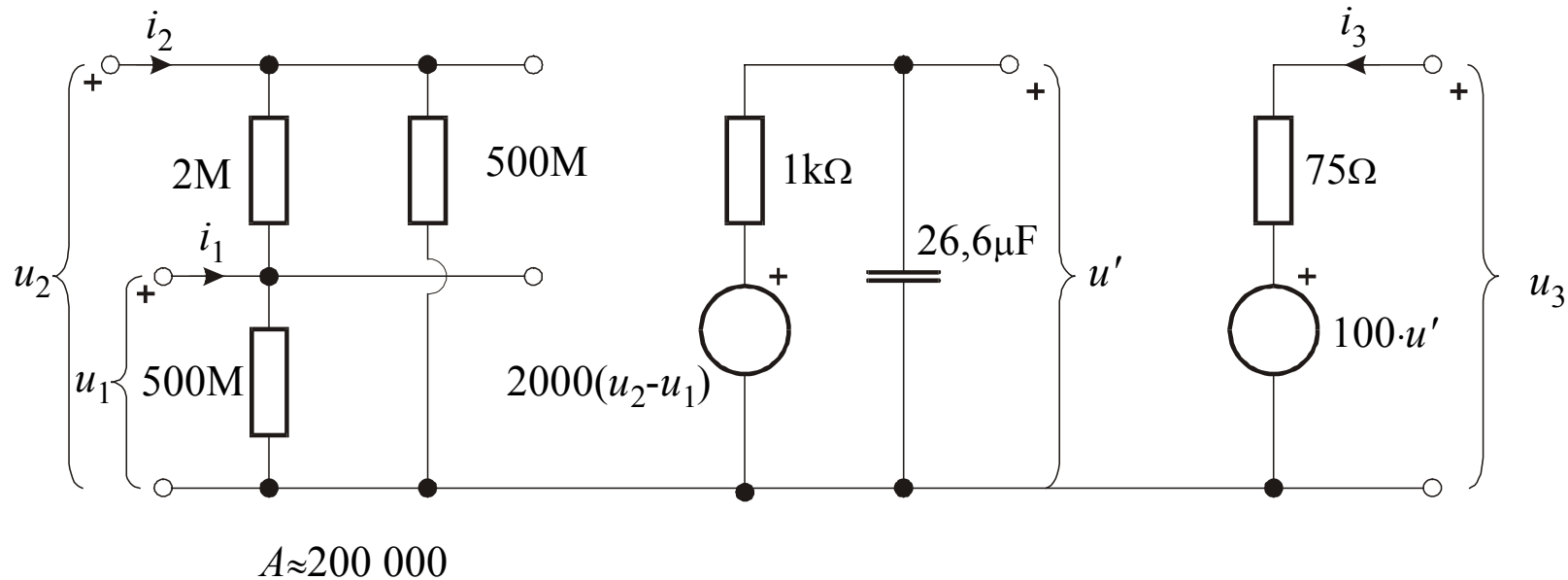
$$A \rightarrow \infty$$

■ Operacijsko pojačalo je moguće prikazati modelom s ovisnim naponskim izvorom



- Model prikazuje idealiziranu koncepciju tog elementa.
- U praksi \rightarrow samo približna verzija te koncepcije.
- Tipično operacijsko pojačalo u realnim uvjetima ima:
 - konačno naponsko pojačanje A reda veličine 10^4
 - pojačanje A nije konstantno već je frekvencijski ovisno
 - ulazne struje i_1 i i_2 nisu jednake nuli \rightarrow konačan ulazni otpor
 - tipičan ulazni otpor je reda veličine $5 \cdot 10^5 \Omega$
 - izlazni otpor je reda 300Ω .

- Model koji uzima u obzir realne osobine operacijskoga pojačala



Realni model operacijskoga pojačala

- **Princip prividnog kratkog spoja**
- Pojednostavnjuje analizu krugova s operacijskim pojačalima
- Iz definicijskih izraza \rightarrow izlazni napon u_3 je beskonačno mnogo puta veći od razlike napona na ulazima ($u_2 - u_1$).
- Napon u_3 je konačan. Ako $A \rightarrow \infty \rightarrow$, razlika napona na ulazima je jednaka nuli

$$u_2 - u_1 = \frac{u_3}{A} \rightarrow 0$$

- Ulazne stezaljke su na istome potencijalu.
- To je **prividni ili virtualni kratki spoj**, jer su struje i_1 i i_2 jednake nuli.