

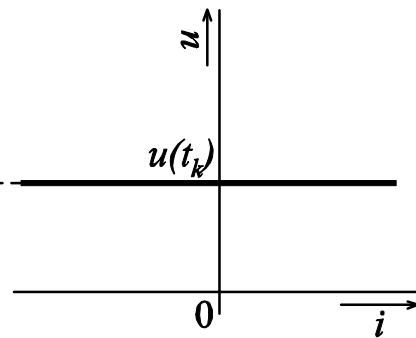
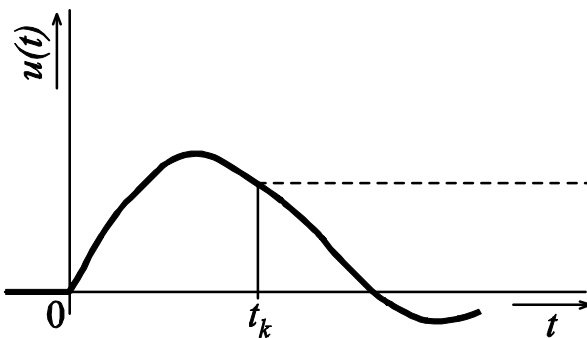
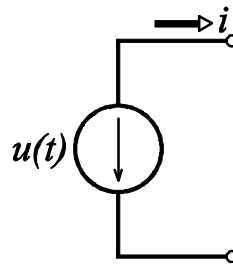
ELEMENTÁRNÍ ANALÝZA ODPOROVÝCH OBVODŮ

Nezávislý zdroj napětí

Ideální zdroj:

- § Udrží na svých svorkách napětí s daným časovým průběhem
- § Je schopen dodat libovolný proud, i nekonečně velký, tak, aby v závislosti na zátěži zachoval na svých svorkách konstantní napětí
- § Je schopen dodat nekonečný výkon

Symbol:



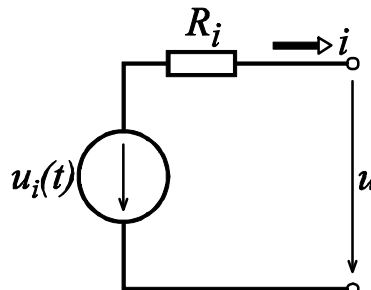
Příklad časového průběhu napětí

Zatěžovací charakteristika v čase t_k

Skutečný zdroj napětí:

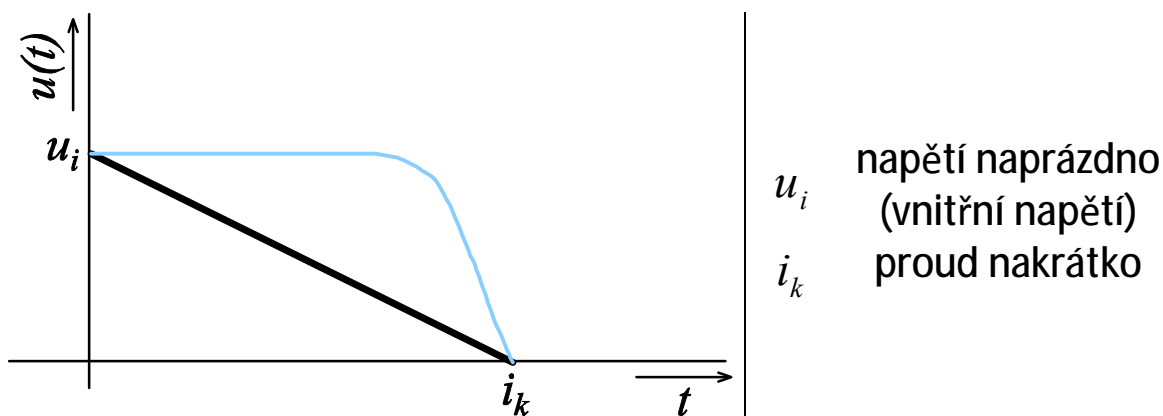
- § Výkon, který je schopen dodat, je omezený
- § Maximální proud, který je schopen dodat, je omezený

Symbol:



Zatěžovací charakteristika: $u(t) = u_i(t) - f[i(t)]$

$$u(t) = u_i(t) - R_i i(t)$$



Zatěžovací charakteristika lineárního (silná černá přímka) a nelineárního (tenká modrá křivka) zdroje napětí

Výkon, dodaný zdrojem napětí: $P_u = U \cdot I_u$

kde I_u je proud, protékající zdrojem napětí (kladné znaménko má proud vytékající z kladné svorky)

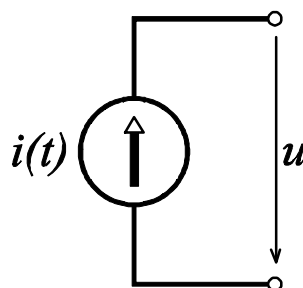
→ může být záporný (spotřebovává výkon, např. akumulátor v nabíječce)

Nezávislý zdroj proudu

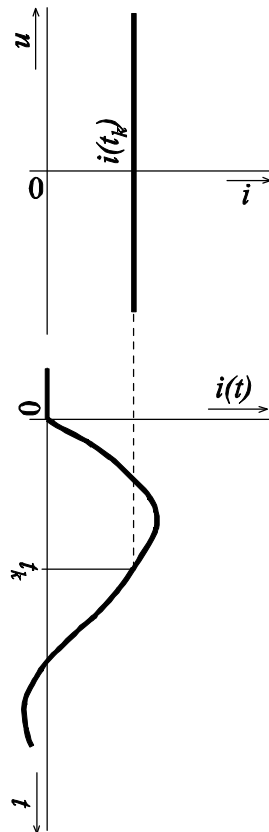
Ideální zdroj:

- § Udrží mezi svými svorkami konstantní proud daného časového průběhu
- § Na svých svorkách může mít nekonečné napětí, které je dáno zátěží, tak, aby proud tekoucí mezi svorkami byl konstantní
- § Je schopen dodat nekonečný výkon

Symbol:



Zatěžovací charakteristika v časovém okamžiku t_k

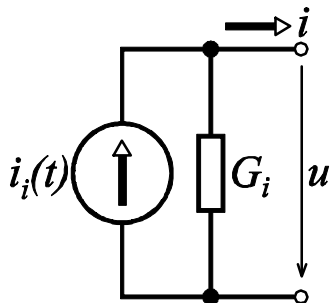


Příklad časového průběhu proudu

Skutečný zdroj proudu:

- § Výkon, který je schopen dodat, je omezený
- § Maximální svorkové napětí je omezené

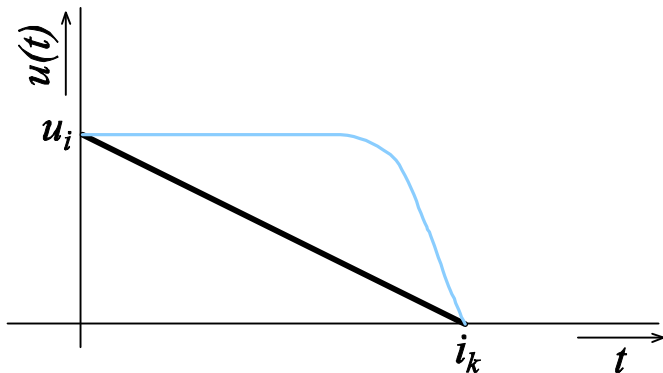
Symbol:



Zatěžovací charakteristika:

$$i(t) = i_i(t) - g[u(t)]$$

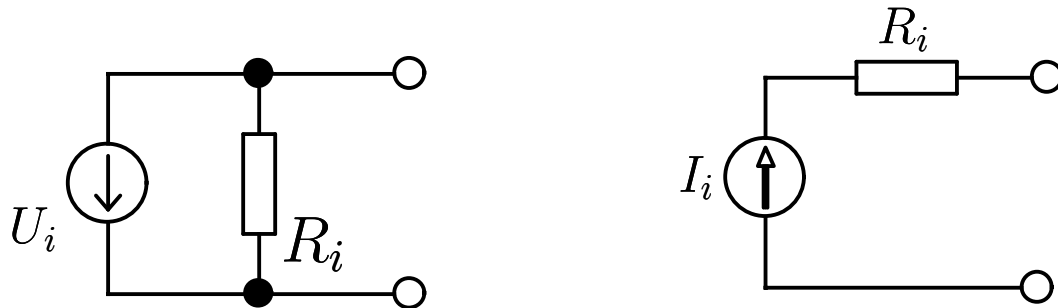
$$i(t) = i_i(t) - G_i u(t)$$



u_i napětí naprázdno
(vnitřní napětí zdroje)
 i_k proud nakrátko

Zatěžovací charakteristika lineárního (silná černá úsečka) a nelineárního (tenká modrá křivka) zdroje proudu

!!! Pozor !!! – následující kombinace se z hlediska připojeného obvodu stále chovají jako ideální zdroje



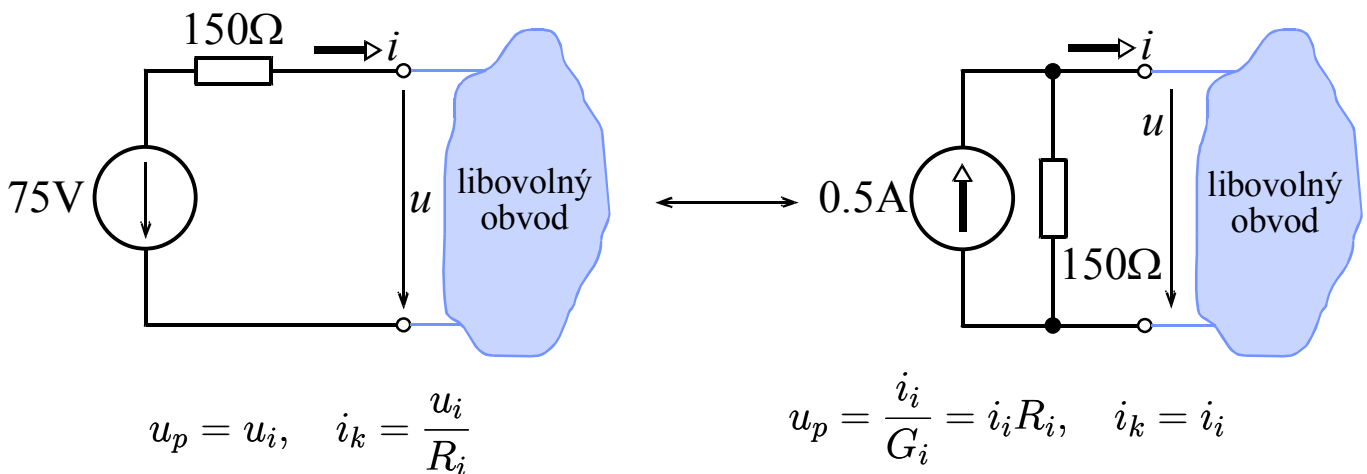
Výkon, dodaný zdrojem proudu: $P_i = U_i \cdot I$

kde U_i je napětí na zdroji proudu (kladné znaménko napětí je na svorce, ze které vytéká proud)

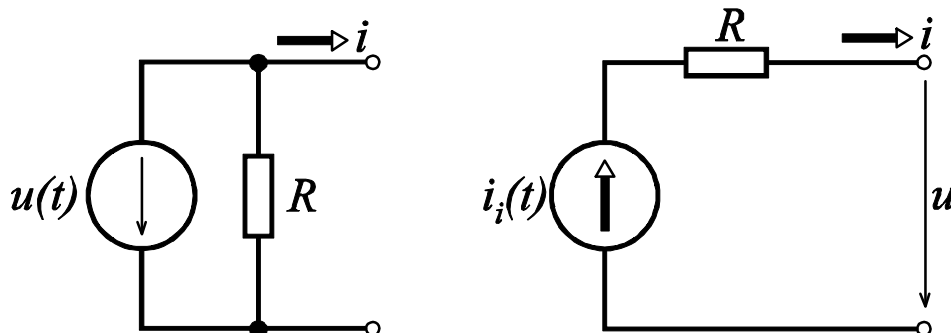
➔ může být záporný (spotřebovává výkon)

Zaměnitelnost zdrojů

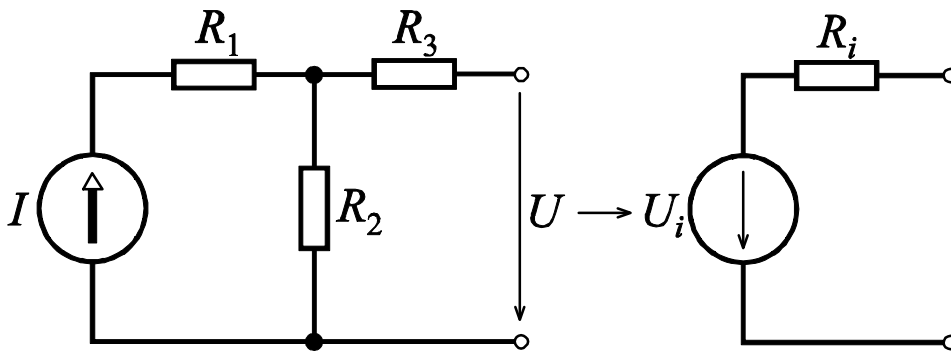
pokud jsou zatěžovací charakteristiky stejné, není možné z hlediska svorek (měřením) určit, zda se jedná o reálný zdroj napětí, nebo proudu ➔ reálné zdroje lze libovolně zaměnit



Následující zdroje není možné zaměnit – jsou to ideální zdroje!



Příklad:



$$I = 1 \text{ A}, R_1 = 100 \ \Omega, R_2 = 200 \ \Omega, \\ R_3 = 300 \ \Omega$$

$$U_i = IR_2 = 200 \text{ V} \\ R_i = R_2 + R_3 = 500 \ \Omega$$

Théveninův teorém

- § Libovolný lineární aktivní dvojpól („černá krabička“, která obsahuje libovolný počet obvodových prvků – zdrojů, rezistorů, induktorů, kapacitorů, ...) může být nahrazen sériovým spojením zdroje napětí a pasivního dvojpólu (rezistoru, nebo kombinace rezistorů, kapacitorů a induktorů)
- § Výsledný odpor (impedance) pasivního dvojpólu je celkový odpor (impedance) celého aktivního dvojpólu po vyjmutí zdrojů, z pohledu svorek
- § Vyjmutí zdroje napětí: zdroj je zkratován (ideální zdroj napětí má nulový vnitřní odpor)
- § Vyjmutí zdroje proudu: zdroj je rozpojen (ideální zdroj proudu má nekonečně velký vnitřní odpor / a *nezatížený nekonečně velké napětí!*)
- § Řízené zdroje nelze z obvodu vyjmout!
- § Celkový odpor (impedance) je směrnicí úsečky zatěžovací charakteristiky, i když obvod obsahuje řízené zdroje ➔ jediná možnost, pokud obvod obsahuje řízené zdroje

$$R_i = \frac{U_p}{I_k}$$

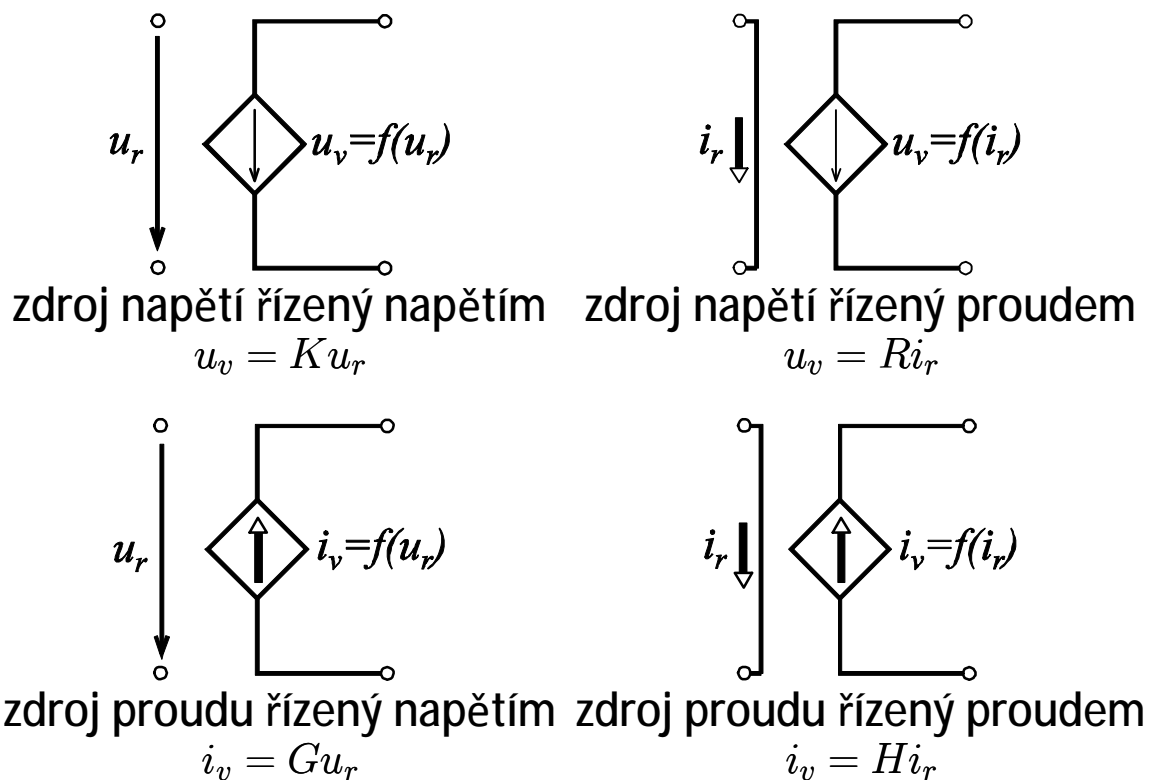
- § Nelze použít pro výpočet celkového výkonu obvodu (jiné proudové poměry) – výkon není lineární funkce!

Nortonův teorém

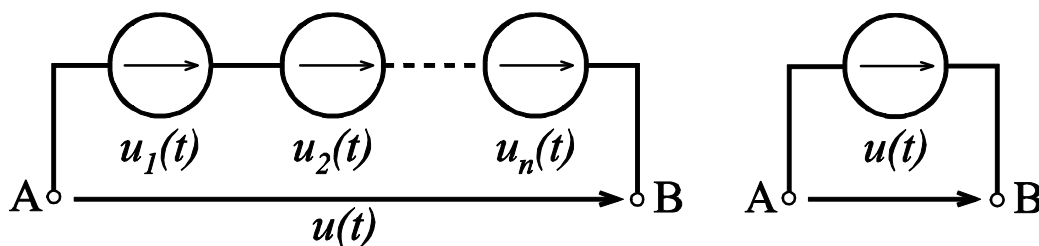
- § Libovolný lineární aktivní dvojpól může být nahrazen paralelním spojením ideálního zdroje proudu a pasivního dvojpólu
- § Výsledný odpor (impedance) pasivního dvojpólu je celkový odpor (impedance) celého aktivního dvojpólu po vyjmutí zdrojů, z pohledu svorek

Řízené zdroje

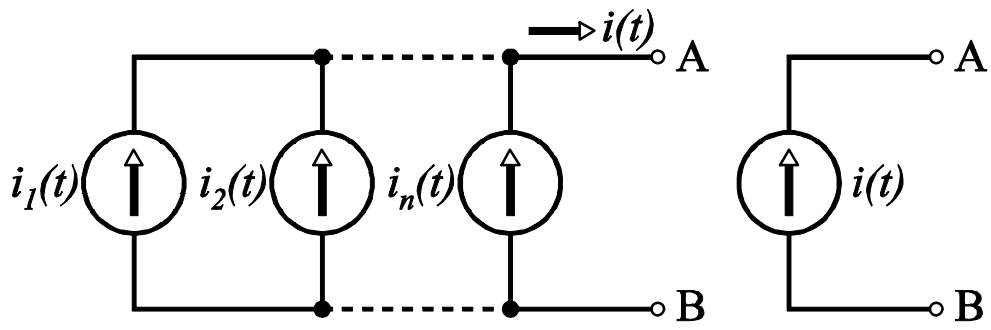
- § napětí (proud) je funkcí jiné obvodové veličiny (napětí nebo proudu)
- § reálné příklady řízených zdrojů – tranzistor, operační zesilovač



Ekvivalence aktivních dvojpólů



$$u(t) = \sum_{k=1}^n u_k(t)$$

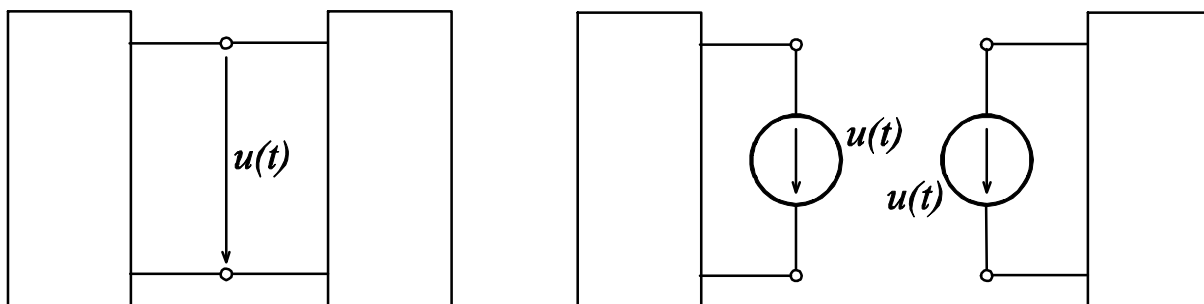


Paralelní spojení zdrojů proudu

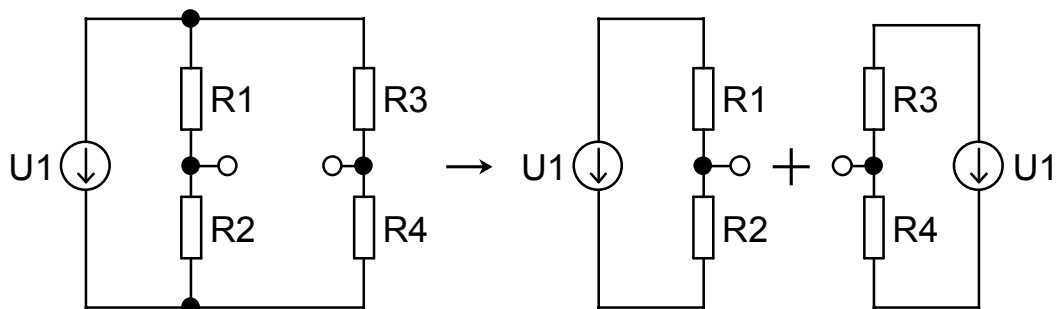
$$i(t) = \sum_{k=1}^n i_k(t)$$

Přemístění zdroje napětí:	Přemístění zdroje proudu:

Rozdělení obvodu:



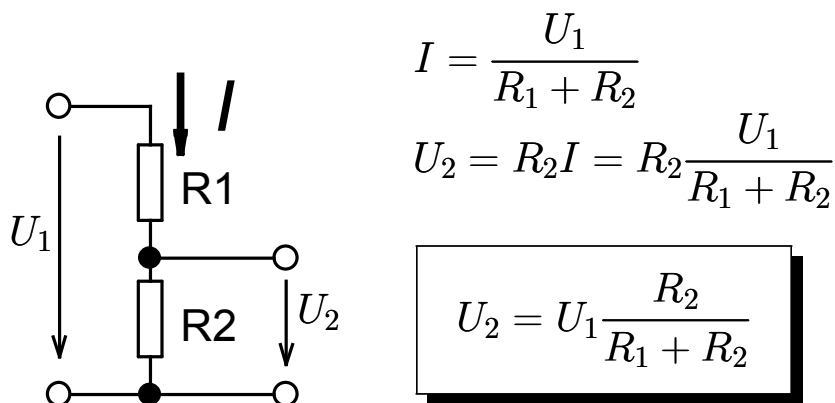
Příklad rozdělení obvodu:



Elementární obvody

- dělič napětí

- 2 nebo více obvodových prvků zapojených sériově
- společná obvodová veličina – proud

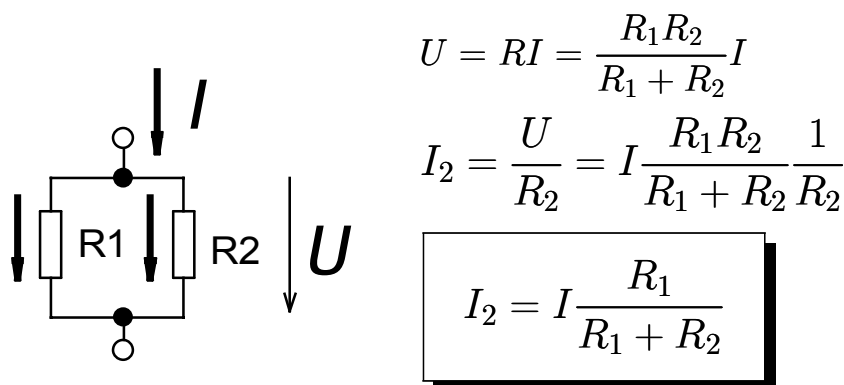


Snadno lze rozšířit pro N rezistorů:

$$U_j = U_1 \frac{R_j}{\sum_{i=1}^N R_i}$$

- dělič proudu

- 2 nebo více prvků zapojených paralelně
- společná obvodová veličina – napětí

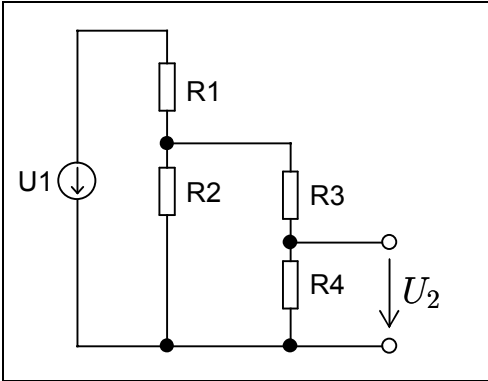
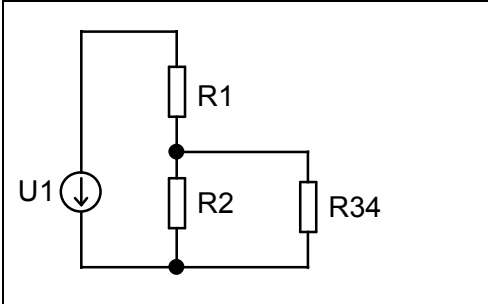
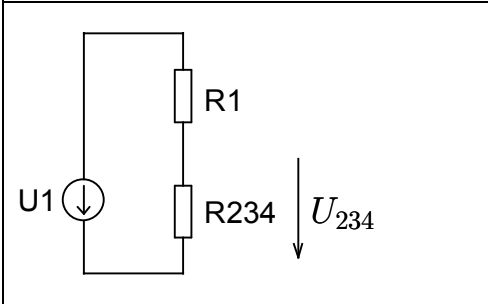
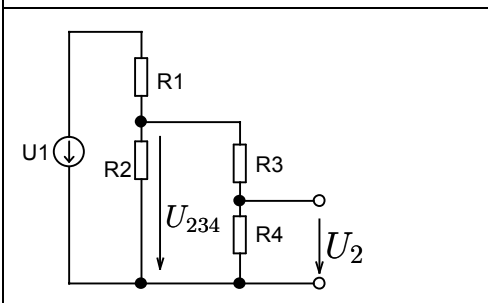


Rozšíření pro N rezistorů komplikovanější – pro 3

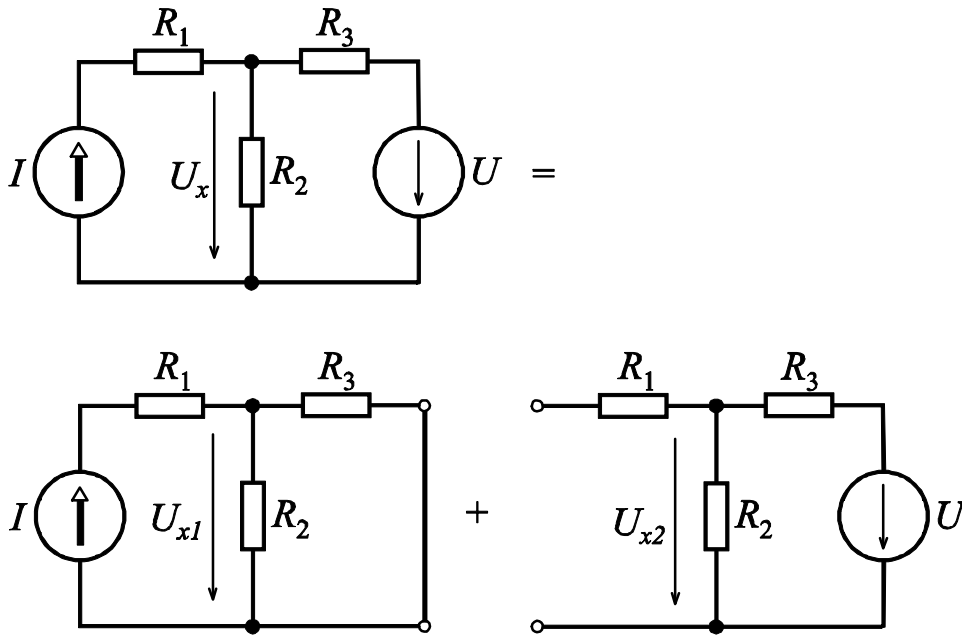
$$R = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)^{-1} = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$$

Metoda postupného zjednodušování

- v obvodu hledám sériové a paralelní kombinace pasivních prvků, které mohu nahradit celkovým odporem (impedancí)
- postupuji od konce obvodu směrem ke zdroji; postupně tak dostávám ze složitějšího stále jednodušší obvod, až po elementární obvod, u kterého mohu pomocí elementárních metod vypočítat napětí a proudy na zbývajících prvcích
- nyní se vracím zpět k původnímu obvodu – vypočítané napětí (proudy) rozdělují mezi jednotlivé prvky obvodu, dokud se nevrátím k původnímu obvodu

	<p>Původní řešený obvod</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hledám napětí U_2
	<p>Krok 1 Sloučím rezistory R_3 a R_4, které jsou zapojeny sériově</p> $R_{34} = R_3 + R_4$
	<p>Krok 2 Sloučím paralelní kombinaci rezistorů R_1 a R_{34}; rezistory R_1 a R_{234} spolu tvoří jednoduchý dělič napětí, které mohu vyjádřit</p> $R_{234} = \frac{R_2 \cdot R_{34}}{R_2 + R_{34}}, \quad U_{234} = U_1 \frac{R_{234}}{R_1 + R_{234}}$
	<p>Krok 3 – zpět k původnímu obvodu Nyní znám napětí na rezistorech R_3 a R_4, které mohu rozdělit opět vzorcem pro dělič napětí</p> $U_2 = U_{234} \frac{R_4}{R_3 + R_4}$

Princip superpozice



- § Z obvodu, který je napájen N nezávislými zdroji napětí nebo proudu vyjmu $N - 1$ zdrojů, dílčí obvod bude napájen vždy pouze jedním zdrojem
- § Hledaná obvodová veličina je součtem N příspěvků od jednotlivých zdrojů
- § NELZE použít pro nelineární obvody!
- § NELZE vyjmout řízené zdroje!
- § NELZE sčítat dílčí příspěvky k výkonu na rezistorech od jednotlivých zdrojů, vždy musí být nejdříve vyjádřen celkový proud, nebo napětí (výkon není lineární, $P = RI^2$)

Příklad – obvod výše, $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 300 \Omega$, $R_3 = 200 \Omega$, $U = 250 \text{ V}$, $I = 1 \text{ A}$

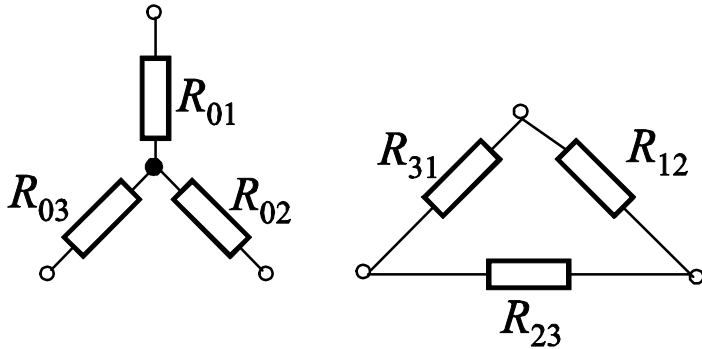
$$U_x = U_{x1} + U_{x2} = I \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} + U \frac{R_2}{R_2 + R_3} = 120 + 150 = 270 \text{ V}$$

$$P_{R_2} \neq P'_{R_2} + P''_{R_2} = \frac{120^2}{300} + \frac{150^2}{300} = 123 \text{ W}, \quad P_{R_2} = \frac{270^2}{300} \stackrel{!}{=} 243 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} P_U &= U I_U = U \left(\frac{U}{R_2 + R_3} - I \frac{R_2}{R_2 + R_3} \right) = \\ &= 250 \cdot \left(\frac{250}{500} - 1 \cdot \frac{300}{500} \right) = 250 \cdot (-0.1) = -25 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_I &= U_I \cdot I = \left[I \cdot \left(R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \right) + U_{x2} \right] I = \\ &= [1 \cdot (100 + 120) + 150] \cdot 1 = 370 \text{ W} \end{aligned}$$

Transfigurace hvězda - trojúhelník



§ Vlastnosti všech párů svorek musí být stejné jak v zapojení do trojúhelníka (Δ), tak do hvězdy (Y)

§ Pro rezistory musí platit:

$$R_{01} + R_{02} = \frac{R_{12}(R_{23} + R_{31})}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

$$R_{02} + R_{03} = \frac{R_{23}(R_{31} + R_{12})}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

$$R_{01} + R_{03} = \frac{R_{31}(R_{12} + R_{23})}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

§ Potom, transfigurace Δ - Y (náhrada zapojení Δ ekvivalentním zapojením Y)

$$R_{01} = \frac{R_{12}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

$$R_{02} = \frac{R_{12}R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

$$R_{03} = \frac{R_{23}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

§ transfigurace Y- Δ (náhrada zapojení Y ekvivalentním zapojením Δ)

a) Pro vodivosti musí platit:

$$G_{31} + G_{23} = \frac{G_{03}(G_{01} + G_{02})}{G_{01} + G_{02} + G_{03}}$$

$$G_{12} + G_{23} = \frac{G_{02}(G_{01} + G_{03})}{G_{01} + G_{02} + G_{03}}$$

$$G_{12} + G_{31} = \frac{G_{01}(G_{02} + G_{03})}{G_{01} + G_{02} + G_{03}}$$

b)

$$G_{12} = \frac{G_{01}G_{02}}{G_{01} + G_{02} + G_{03}}$$

$$G_{31} = \frac{G_{01}G_{03}}{G_{01} + G_{02} + G_{03}}$$

$$G_{23} = \frac{G_{02}G_{03}}{G_{01} + G_{02} + G_{03}}$$

c)

$$R_{12} = R_{01} + R_{02} + \frac{R_{01}R_{02}}{R_{03}}$$

$$R_{23} = R_{02} + R_{03} + \frac{R_{02}R_{03}}{R_{01}}$$

$$R_{31} = R_{03} + R_{01} + \frac{R_{03}R_{01}}{R_{02}}$$