

Řešení elektronických obvodů Autor: Josef Sedlák

1. Zdroje elektrické energie

- a) Zdroje z hlediska průběhu zatěžovací charakteristiky
- b) Charakter zdroje
- c) Přenos výkonu ze zdroje do zátěže

2. Řešení lineárních obvodů

- a) Věty o náhradním obvodu lineárního zdroje

1. Theveninova věta

2. Northonova věta

- b) Kirchhofovy zákony

1. Metoda smyčkových proudů

2. Metoda uzlových napětí

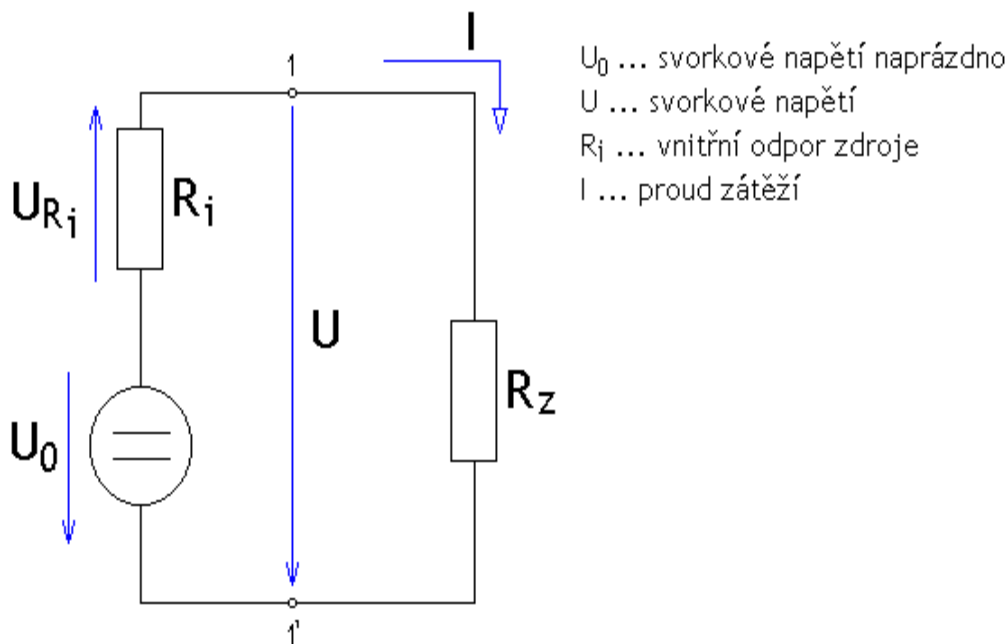
- c) Využití principu lineární superpozice

3. Řešení nelineárních obvodů

- a) Řešení sériového řazení součástek

- b) Řešení paralelního řazení součástek

- c) Určení pracovního bodu nelineární součástky



1. Zdroje elektrické energie

El. energie se ze zdroje dodává do spotřebiče ve formě el. napětí a el. proudu.

Důležité parametry zdroje:

- * 1. svorkové napětí naprázdno U_0
- * 2. vnitřní odpor zdroje R_i

Závislost svorkového napětí zdroje U na velikosti proudu I (odebíraného spotřebičem) je tzv. zatěžovací charakteristika zdroje.

Kreslí se v tzv. zdrojových orientacích.

a) Zdroje z hlediska průběhu zatěžovací charakteristiky

Lineární zdroj

Lineární zdroj má lineární zatěžovací charakteristiku.

Vnitřní statický odpor značíme R_i

$R_i = R_{ss} = R_d$ pro všechny body

Známe-li R_i , pak sestojíme zatěžovací charakteristiku tak, že:

- * 1. Vyneseme bod U_0
- * 2. Na proudovou osu vyneseme proud nakrátko I_K
- * 3. Spojíme body I_K a U_0 a tím získáme zatěžovací charakteristiku lineárního zdroje.

I_K je takový proud, který protéká obvodem při spojení zdroje nakrátko, tzv. proud nakrátko nebo zkratový proud

Každý bod zatěžovací charakteristiky je udán příslušným proudem I_1, I_2 atd. a příslušným svorkovým napětím U_1, U_2 atd. Tato napětí jsou svorkové napětí na zdroji a samozřejmě i na zátěži.

Stav při zatížení:	Stav naprázdno:	Stav nakrátko:
★ $R_Z = R_{Z1}$	★ $R_Z = \infty$	★ $R_Z = 0$
★ $I = I_1$	★ $I = 0$	★ $I = I_K$
★ $U = U_1$	★ $U = U_0$	★ $U = 0$

Na vnitřním odporu R_i vzniká při průchodu proudu úbytek napětí U_{Ri} .

U lineárního zdroje platí, že statický vnitřní odpor zdroje R_i je konstantní pro kterýkoli pracovní bod zatěžovací charakteristiky.

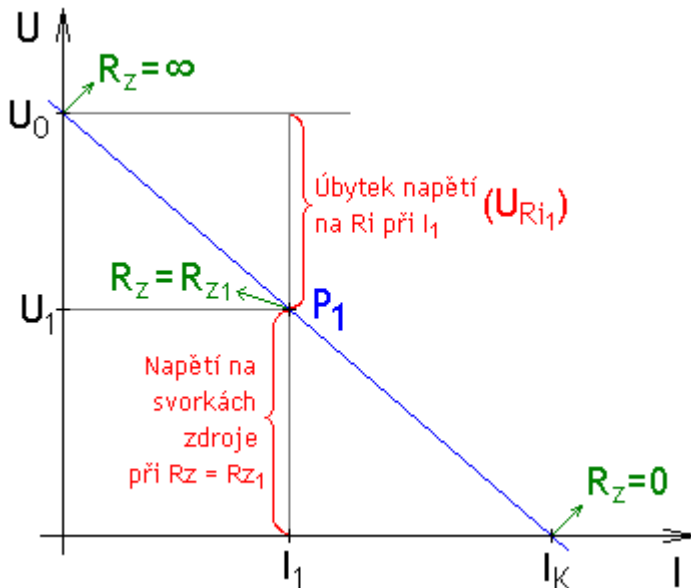
Z grafu je vidět, že změnou hodnoty R_Z se mění i proud obvodem I .

Platí:

☞ Čím je R_Z menší, tím je větší proud a tím větší je i úbytek napětí U_{Ri} .

☞ Čím menší je R_Z , tím menší je i svorkové napětí U .

Zatěžovací charakteristika lineárního zdroje:



$$I=I_1, U_0=U_1+U_{Ri1}$$

$$I=I_K, U_0=0+I_K \cdot R_i = 0+U_{Ri}$$

$$I=0, U_0=U+0$$

Poznámka: neznáme-li R_i , pak si ho můžeme pomocí Ohmova zákona vypočítat:

$$U_o = U + R_i \cdot I$$

$$R_i = \frac{U_o - U}{I}$$

Statický a dynamický odpor zdroje:

Protože se jedná o lineární zdroj, je tečna v každém pracovním bodě tou samou přímkou.

Dynamický odpor se pro lineární zdroj neudává, protože $R_D = R_{SS} = R_i$.

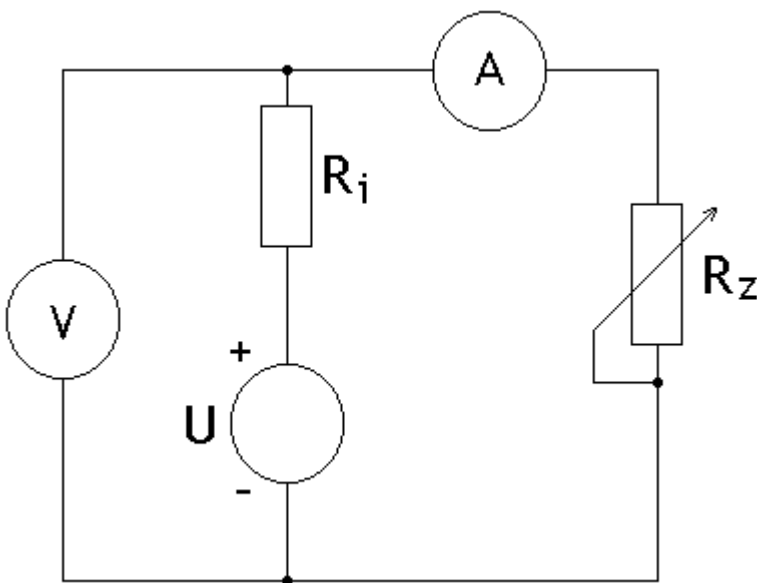
Nelineární zdroj:

U nelineárního zdroje zjišťujeme zatěžovací charakteristiku bod po bodě (min. 5 až 6 bodů).

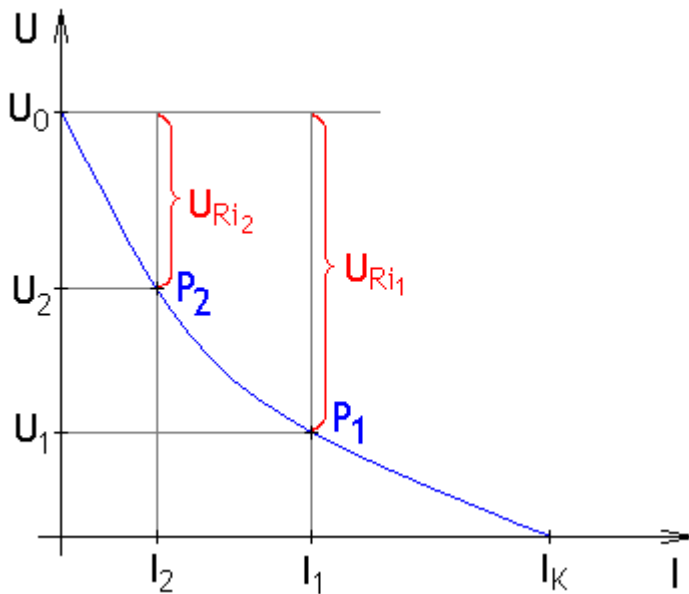
Zjišťujeme:

- ★ 1. Do el. obvodu dosazujeme min. 5 až 6 hodnot R_z
- ★ 2. Při jednotlivých zátěžích měříme příslušné proudy obvodem a odpovídající svorková napětí na zdroji
- ★ 3. Pracovní body vhodně propojíme a získáme zatěžovací charakteristiku nelineárního zdroje

Zapojení pro měření nelineárního zdroje:



Zatěžovací charakteristika nelineárního zdroje:



Vnitřní statický a dynamický odpor zdroje:

$$R_{ss} = \frac{U_0 - U_1}{I_1}$$

$$R_D = -\frac{\Delta U}{\Delta I}$$

b) Charakter zdroje

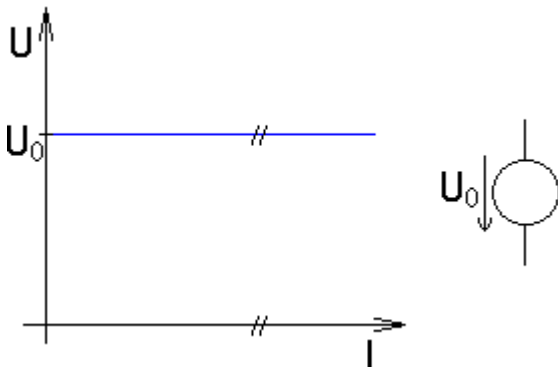
1. Ideální zdroje:

Ideální zdroj ve skutečnosti neexistuje.

a) Ideální zdroj napětí:

Ideální zdroj napětí má na výstupních svorkách stálé napětí U_0 bez ohledu na velikost odebíraného proudu. Vnitřní odpor R_i je nulový a proud nakrátko I_K se blíží k nekonečnu. Zatěžovací charakteristika je rovnoběžná s proudovou osou.

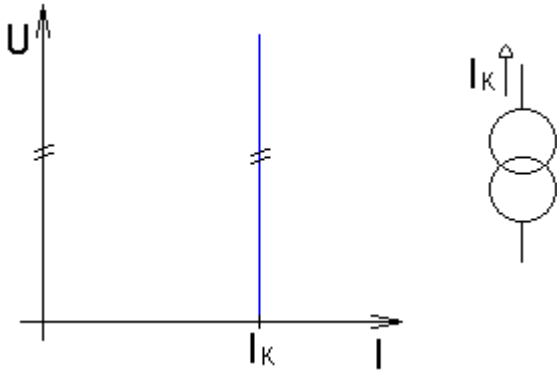
Zatěžovací charakteristika ideálního zdroje napětí a jeho schématická značka:



b) Ideální zdroj proudu

Výstupními svorkami ideálního zdroje proudu vychází stálý proud I_K bez ohledu na zátěži. Vnitřní odpor R_i je nekonečný a napětí U_0 se blíží k nekonečnu. Zatěžovací charakteristika je rovnoběžka s napětíovou osou.

Zatěžovací charakteristika ideálního zdroje proudu a jeho schématická značka:

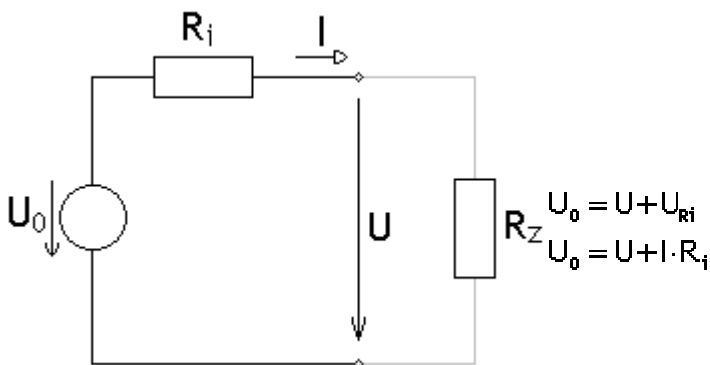


2. Skutečné zdroje

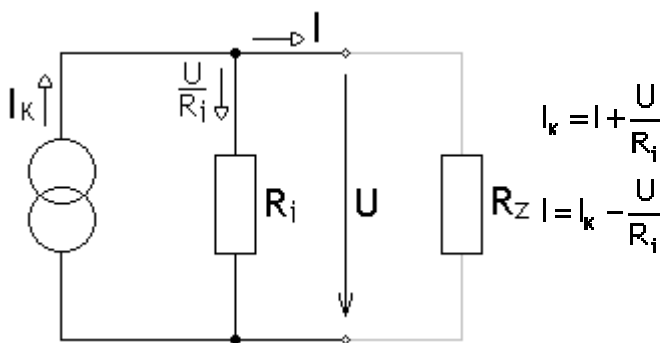
Skutečné zdroje nemají zatěžovací charakteristiku rovnoběžnou s žádnou osou a zakreslují se pomocí náhradního zdroje.

Zakreslení skutečného zdroje:

1. Sériová kombinace ideálního zdroje napětí a vnitřního odporu skutečného zdroje:



2. Paralelní kombinace ideálního zdroje proudu a vnitřního odporu skutečného zdroje:



Tyto dvě náhrady jsou naprosto rovnocenné.

$$U_0 = I_k \cdot R_i$$

Skutečné zdroje, které se svými vlastnostmi blíží Ideálnímu zdroji napětí, nazýváme napěťově tvrdé zdroje.

Mají malý vnitřní odpor R_i ve srovnání s odporem zátěže R_z .

I při velkých změnách zatěžovacího proudu se výstupní napětí mění jen velmi málo.

Skutečné zdroje, které se svými vlastnostmi blíží Ideálnímu zdroji proudu, nazýváme napěťově měkké zdroje.

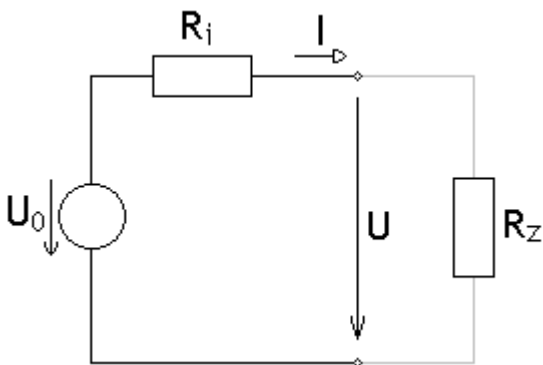
Mají vnitřní odpor R_i mnohokrát větší, než odpor zátěže R_z . Výstupní napětí se velmi mění i při malých změnách zatěžovacího proudu.

c) Přenos výkonu ze zdroje do zátěže

Celkový výkon zdroje P_c je výkon, který dodává zdroj do celého obvodu.

Celkový výkon je rozdělen na činný výkon P na zátěži R_z a na ztrátový výkon P_{zT} na vnitřním odporu zdroje R_i . Platí tedy:

$$P_c = P + P_{zT}$$



$$P = U \cdot I = R_z \cdot I \cdot I = R_z \cdot I^2$$

$$I = \frac{U_0}{R_z + R_i}$$

$$P = R_z \cdot \left(\frac{U_0}{R_z + R_i} \right)^2 = U_0 \cdot U_0 \cdot \frac{R_z}{(R_z + R_i)^2} = U_0 \cdot U_0 \cdot \frac{R_z \cdot \frac{1}{R_i^2}}{(R_z + R_i)^2 \cdot \frac{1}{R_i^2}} =$$

$$= U_0 \cdot \frac{U_0}{R_i} \cdot \frac{R_z \cdot \frac{1}{R_i}}{(R_i + R_z)^2 \cdot \frac{1}{R_i^2}} = U_0 \cdot I_k \cdot \frac{\frac{R_z}{R_i}}{(R_i^2 + 2R_i R_z + R_z^2) \cdot \frac{1}{R_i^2}} = U_0 \cdot I_k \cdot \frac{\frac{R_z}{R_i}}{1 + 2 \cdot \frac{R_z}{R_i} + \frac{R_z^2}{R_i^2}} \Rightarrow$$

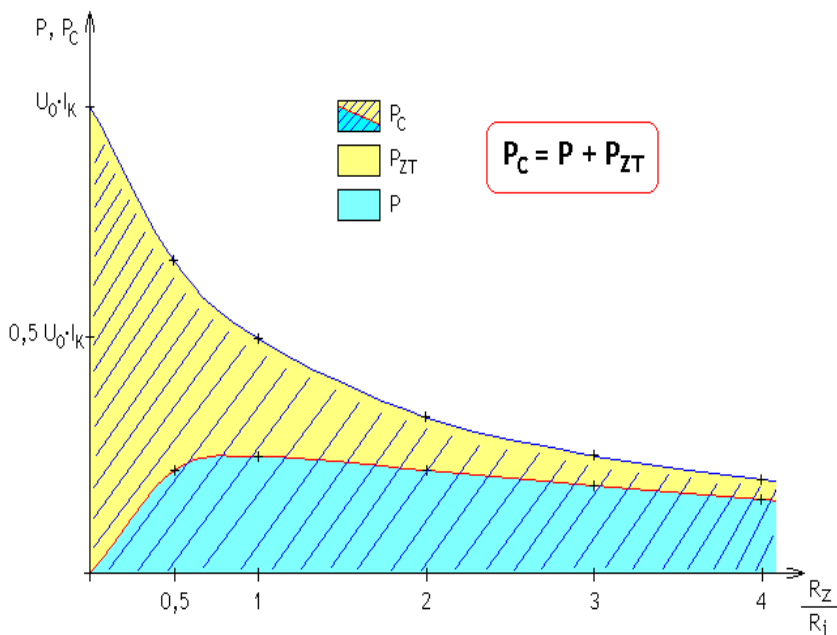
$$P = U_0 \cdot I_k \cdot \frac{\frac{R_z}{R_i}}{\left(1 + \frac{R_z}{R_i} \right)^2} \quad \dots \text{výkon odevzdaný do zátěže}$$

Tento užitečný - činný výkon závisí na poměru R_z/R_i . Tento výkon je nejvyšší tehdy, je-li $R_z = R_i$. To je tehdy, je-li zátěž přizpůsobena zdroji. V tomto případě je užitečný výkon roven:

$$P = U_0 \cdot I_k \cdot \frac{1}{4}$$

Poznámka: Napětí naprázdno U_0 a proud nakrátko jsou charakteristické veličiny zdroje.

$$P = U_0 \cdot I_k \cdot \frac{\frac{R_z}{R_i}}{\left(1 + \frac{R_z}{R_i}\right)^2}$$



Závěr:

- ★ 1. Při $R_z/R_i = 0$ (tj. při zkratování zdroje); $R_z = 0$; veškerý výkon se mění ve vnitřním odporu R_i na teplo - zdroj se silně zahřívá a činnost v tomto stavu je pro zdroj ničivá.
- ★ 2. Při $R_z/R_i > 1$ se velká část výkonu přemění v R_i na teplo a pouze malá část se předá zátěži. Poměr užitečného výkonu ke ztrátovému výkonu je velmi malý - v praxi se nevyužívá.
- ★ 3. Při $R_z/R_i = 1$ ($R_z = R_i$) je zátěž přizpůsobena zdroji. V tomto případě je největší část výkonu předávána do zátěže. Tento výkon je největší, jaký může být do zátěže dodáván - užitečný výkon je roven ztrátovému.
- ★ 4. Při $R_z/R_i < 1$ je výkon dodávaný do zátěže větší než výkon ztrátový a při vzrůstajícím poměru klesá.

Závěr závěrů:

Snažíme se pracovat tak, aby se $R_z = R_i$ a nebo aby R_z byl o něco vyšší než R_i .

2. Řešení lineárních obvodů

Lineární obvody jsou obvody složené pouze z lineárních součástek.

Řešení provádíme:

1. Věťmi o náhradním obvodu lineárního zdroje:

★ a) Theveninova věta

★ b) Nortonova věta

2. Využití Kirchhoffových zákonů:

★ a) Metoda smyčkových proudů

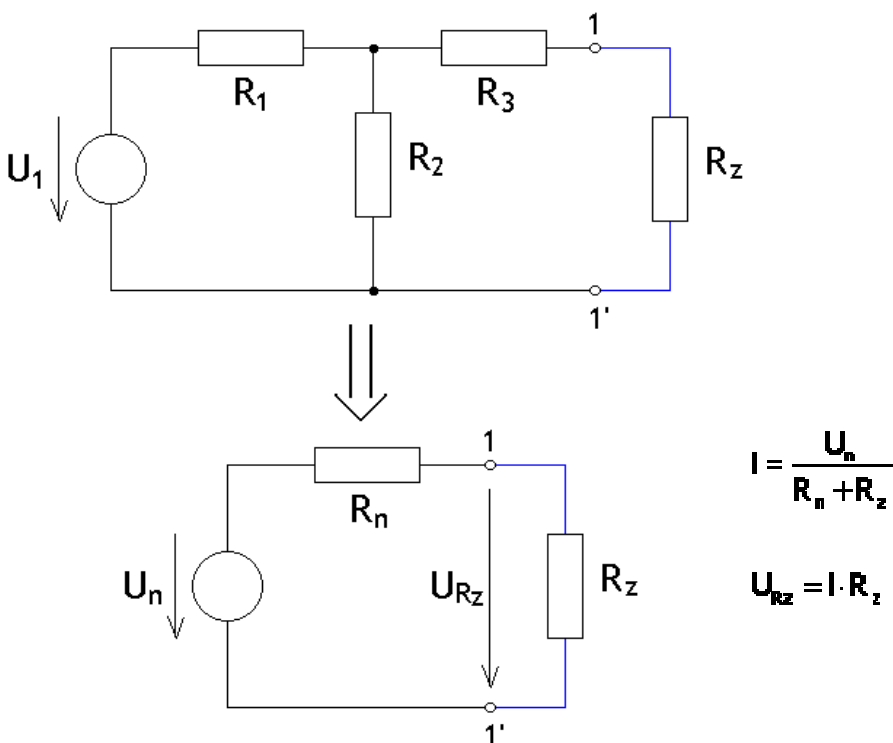
★ b) Metoda uzlových napětí

3. Využití principu superpozice

1. Věty o náhradním obvodu lineárního zdroje

Obvody řešíme tak, že je zjednodušujeme, přitom obvod původní a náhradní mají z hlediska zátěže stejné vlastnosti. Tyto způsob používáme tehdy, máme-li zjistit proud v každé větvi.

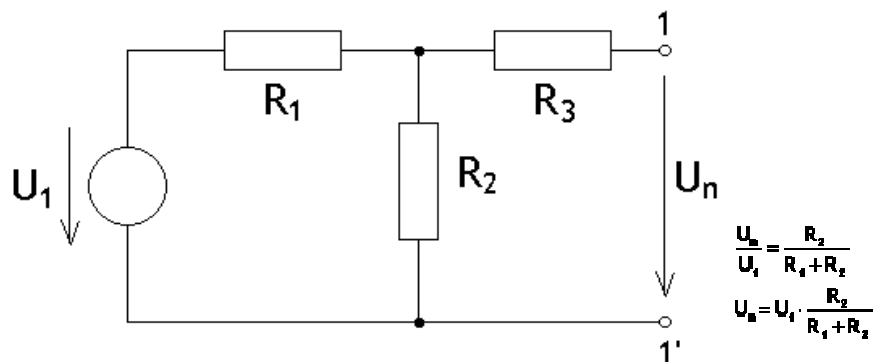
a) Řešení dle Theveninovy věty



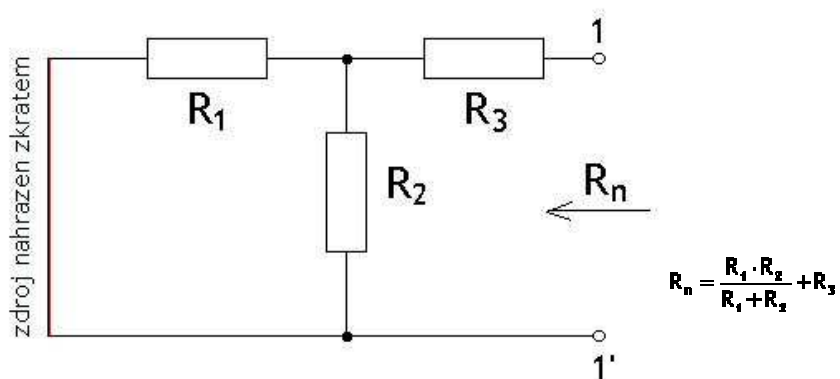
Jakýkoliv lineární obvod je možné z hlediska výstupních svorek 1 a 1' nahradit sériovým zapojením U_n (napětí naprázdno na svorkách původního zdroje) a odporu R_n (náhradní odpor původního obvodu), přičemž výstupní svorky 1 a 1' jsou rozpojeny a všechny ideální zdroje napětí jsou nakresleny zkratem a všechny ideální zdroje proudu jsou rozpojeny.

Řešení provádíme takto:

1. Nakreslíme obrázek pro určení U_n (napětí náhradního zdroje):



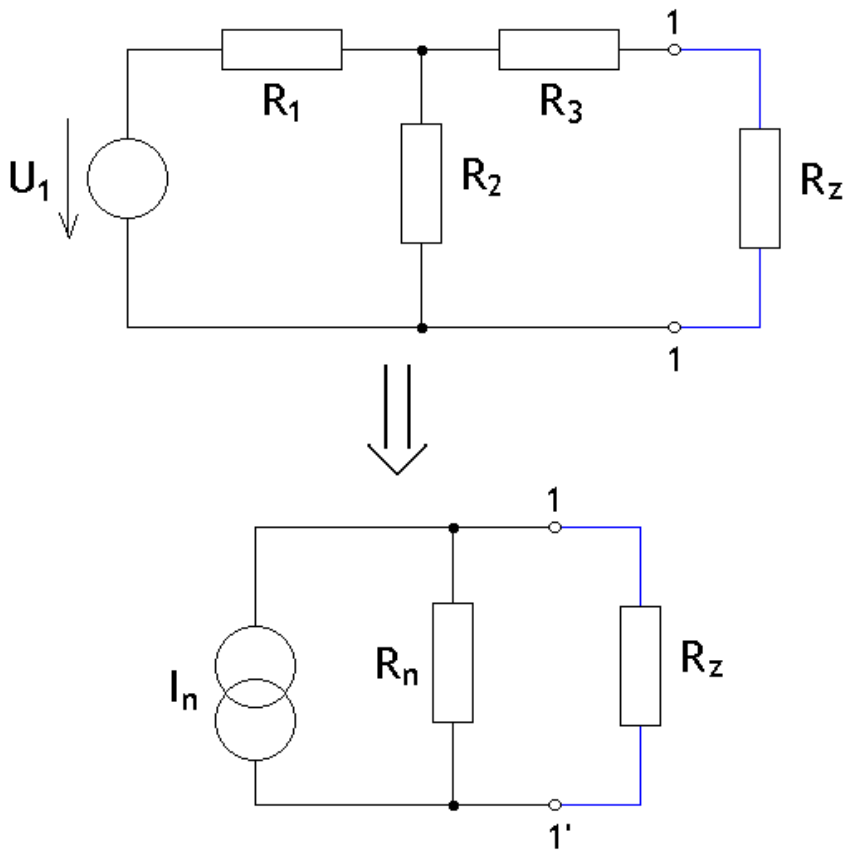
2. Nakreslíme obrázek pro určení R_n (odpor náhradního zdroje):



b) Řešení dle Northonovy věty

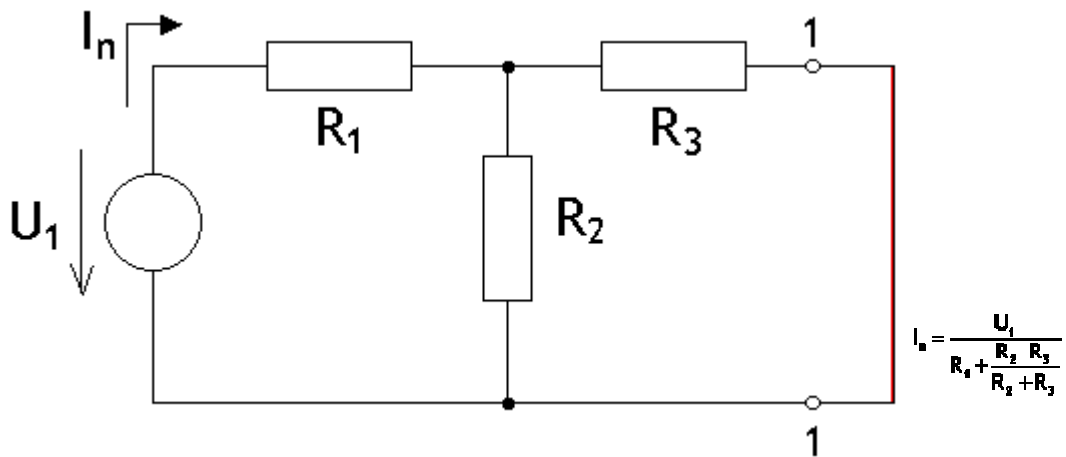
Jakýkoliv (aktivní) lineární jednobran lze nahradit ideálním zdrojem proudu I_n zapojeným paralelně k vnitřnímu odporu původní jednobranu. Náhradní proud I_n se rovná proudu, který prochází výstupními svorkami původního jednobranu při jejich spoji nakráť. Při výpočtu náhradního odporu R_n nahradíme všechny zdroje el. energie jejich vlastními vnitřními odpory. Ideální zdroj napětí nahradíme zkratem a ideální zdroj proudu odpojíme.

Z výše uvedeného vyplývá (pro obvod):

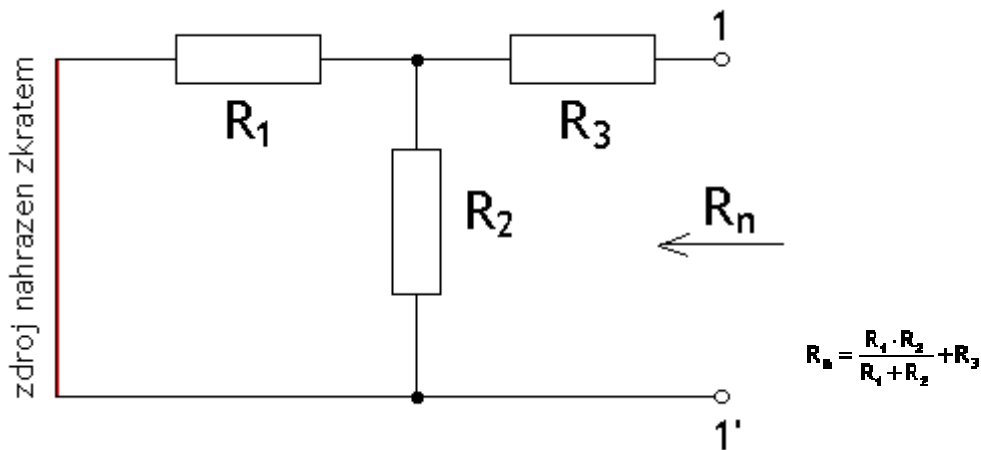


Řešení provádíme takto:

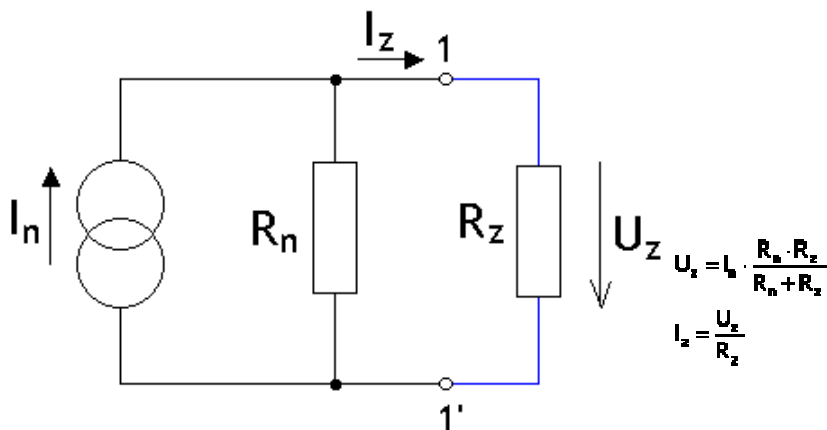
1. Nakreslíme obrázek pro řešení I_n :



2. Nakreslíme obrázek pro určení R_n (odpor náhradního zdroje):



3. Nakreslíme obrázek pro určení U_n (napětí náhradního zdroje):



Northonovu větu používáme, máme-li počítat proud jednou větví, resp. úbytek napětí na jedné součástce.

2. Kirchhoffovy zákony

Metody smyčkových proudů a uzlových napětí používáme, máme-li spočítat proudy ve více větvích, resp. úbytky napětí na větší počtu součástek.

a) Metoda smyčkových proudů

Vychází z II. Kirchhoffova zákona, který zní: Součet všech napětí a úbytků napětí ve smyčce se rovná nule.

Při řešení se postupuje:

- ★ 1) Je-li to vhodné, upravíme obvod.
- ★ 2) Libovolně označíme směry tzv. smyčkových proudů v jednotlivých smyčkách (ve všech stejně).
- ★ 3) Pro každou smyčku sestavíme rovnici.
- ★ 4) Řešíme rovnice.

ad 3: Rovnice sestavujeme tak, že postupujeme ve směru šipky smyčkového proudu a hodnoty rezistorů násobíme proudem procházející smyčkou. Prochází-li jedním rezistorem dva smyčkové proudy, potom odpor násobíme rozdílem proudů.

b) Metody uzlových napětí

Vychází z I. Kirchhoffova zákona, který zní: Součet všech proudů do uzlu vstupujících se rovná součtu proudů z uzlu vystupujících

Při řešení se postupuje:

- 1) Je-li to vhodné, upravíme obvod.
- 2) Jeden z uzlů zvolíme za uzel vztažný (referenční).
- 3) Ostatní uzly označíme a označíme i napětí těchto uzlů proti uzlu vztažnému.
- 4) Naznačíme proudy vstupující i vystupující z uzlů.
- 5) Sestavíme rovnice dle I. Kirchhoffova zákona pro jednotlivé uzly.
- 6) Řešíme rovnice.

3. Princip lineární superpozice

Při této metodě řešíme obvod postupně, vždy jen s jedním zdrojem (většinou ideálním zdrojem napětí). Ostatní zdroje nahradíme jejich vnitřními odpory. Při vlastním řešení pak používáme nejčastěji metody smyčkových proudů či uzlových napětí. Princip lineární superpozice se používá, je-li v obvodu více zdrojů.

Při řešení se postupuje:

- 1) Je-li to vhodné, upravíme obvod.
- 2) V obvodu necháme zapojen pouze jeden zdroj, ostatní nahradíme jejich vnitřními odpory.
- 3) Sestavíme rovnice pro zapojení.
- 4) Řešíme rovnice a vypočteme dílčí výsledky.
- 5) Body 2), 3) a 4) opakujeme i pro všechny dílčí zdroje.
- 6) Výsledné napětí mezi libovolnými místy obvodu a proudy libovolnými větvemi obvodu při působení všech zdrojů určíme jako součet napětí (vypočtených pro jednotlivé zdroje) a součet proudů při působení jednotlivých proudů.

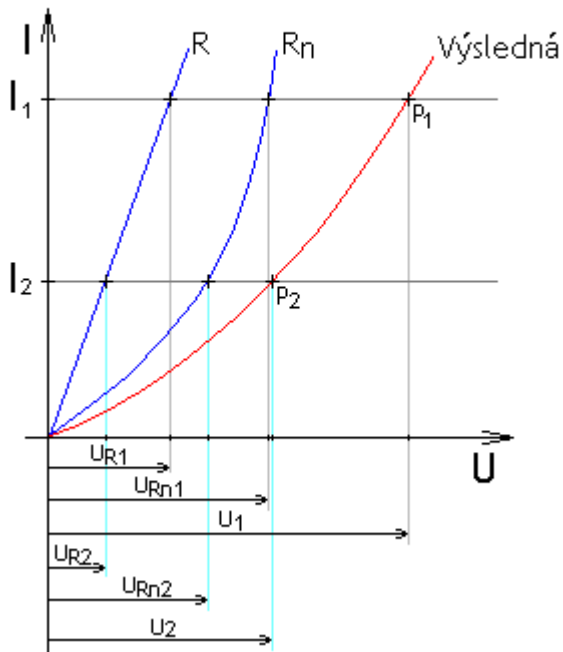
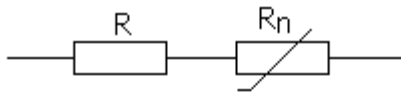
3. Řešení nelineárních obvodů

Při řešení nelineárních obvodů používáme řešení grafické, resp. graficko-početní. Potřebné údaje získáme z V-A charakteristik (měřením, z katalogů). Takovýmto řešením získáme výsledky byť přibližné, ale v praxi dostačující. Postup je přehledný a rychlý.

a) Řešení sériového řazení součástek

Výsledným řešením je zkonstruování výsledné V-A charakteristiky sériově řazených součástek. Do jednoho obrázku kreslíme obě charakteristiky. Provádíme řešení sériového lineárního odporu R a nelineárního odporu R_n.

Platí: $U_1 = UR_1 + UR_{n1}$ a $U_2 = UR_2 + UR_{n2}$

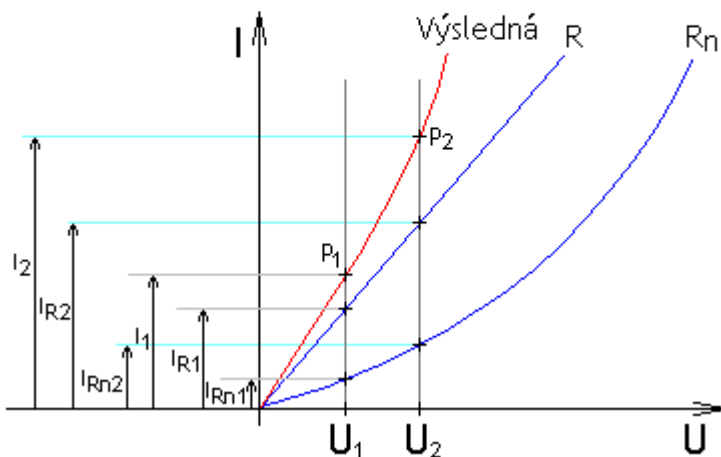
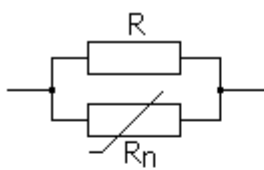


b) Řešení paralelního řazení součástek

Řešením je opět zkonstruování výsledné V-A charakteristiky paralelních součástek. Nejprve nakreslíme do obrázku V-A charakteristiky obou rezistorů. Pak budeme volit $U_1, U_2 \dots$

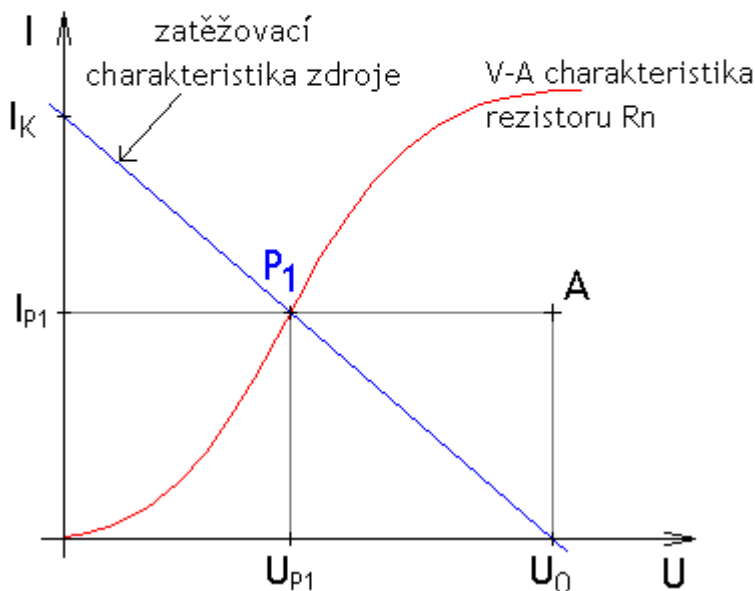
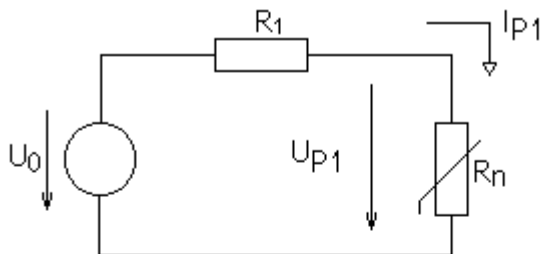
Protože v paralelním obvodu je na obou součástkách stejné napětí, získáme výsledné body výsledné V-A charakteristiky součtem proudů na rezistorech při zvoleném napětí.

Platí: $I_1 = I_{R1} + I_{Rn1}$ a $I_2 = I_{R2} + I_{Rn2}$



c) Určení pracovního bodu nelineární součástky graficko-početní metodou

Pracovní bod je bodem V-A charakteristiky. Volbou statického (klidového) pracovního bodu volíme i určité pracovní podmínky činnosti součástky. Pracovní bod je určen stejnosměrným pracovním napětím U_{P1} a procházejícím stejnosměrným proudem I_{P1} . Nastavit požadovaný pracovní bod $P1$ znamená přivést do (na) součástky(u) odpovídající veličiny z napájecího zdroje.



Chceme, aby součástka R_n pracovala v pracovním bodě $P1$, který jsme si zvolili pro požadovanou funkci obvodu, chceme tedy z proud součástkou I_{P1} a napětí U_{P1} na svorkách rezistoru R_n .

$$I_K = \frac{U_0}{R_1}$$

V podstatě jde tedy o to, určit odpor rezistoru $R1$, který je v sérii s rezistorem R_n , přičemž bude procházet proud I_{P1} a na svorkách R_n bude napětí U_{P1} .

Při řešení postupujeme:

- ★ 1. Nakreslíme V-A charakteristiku rezistoru R_n .
- ★ 2. Na vodorovné ose napětí zakreslíme napětí U_0 .
- ★ 3. V grafu V-A charakteristiky rezistoru R_n zakreslíme požadovaný pracovní bod $P1$. Tím můžeme určit potřebný proud I_{P1} napětí U_{P1} .
- ★ 4. Body $U_0, P1$ proložíme přímkou, která protne proudovou osu v bodě I_K (proud I_K v obvodu, je-li rezistor R_n zkratován).

Proud I_k se přitom rovná U_0 lomeno R_1 .

$$I_k = \frac{U_0}{R_1} \quad R_1 = \frac{U_0}{I_k}$$

⚡ Výkon, který dodává do obvodu napájecí zdroj se pro tento bod P1 rovná součinu U_0 a I_{P1} . Graficky se tento výkon rovná plc obdelníku 0, U_0 , A, I_{P1} .

⚡ Výkon, kterým je zabezpečována součástka R_n se rovná součinu U_{P1} a I_{P1} . Graficky je tento výkon dán plochou obdelníku 0, U_{P1} , P1, I_{P1} .

⚡ Výkon, kterým je zatěžován rezistor R_1 se rovná součinu napětí $U_0 - U_{P1}$ a proudu I_{P1} . Graficky je dán plochou obdelníku UP U_0 , A, P1.

$$P_C = U_0 \cdot I_{P1}$$

$$P_{R_n} = U_{P1} \cdot I_{P1}$$

$$P_{R_1} = (U_0 - U_{P1}) \cdot I_{P1}$$

$$P_C = P_{R_n} + P_{R_1}$$