

Laboratorní úloha č. 2 - Vnitřní odpor zdroje

Úkoly měření:

1. Sestrojte obvod pro určení vnitřního odporu zdroje.
2. Určete elektromotorické napětí zdroje ε a hodnotu vnitřního odporu R_i zdroje včetně nejistoty měření.
3. Určete závislost P (výkonu odevzdaného zdrojem), P_s (výkonu odevzdaného do spotřebiče) a P_z (ztrátového výkonu) v závislosti na proudu I .
4. Určete závislost P (výkonu odevzdaného zdrojem), P_s (výkonu odevzdaného do spotřebiče) a P_z (ztrátového výkonu) v závislosti na odporu spotřebiče R .
5. Určete účinnost přenosu energie ze zdroje do spotřebiče η .
6. Určete závislost výkonu P_s a účinnosti přenosu η na proudu spotřebičem I . Z grafické závislosti stanovte P_{smax} a hodnotu účinnosti $\eta_{P_{smax}}$. Graficky vyhodnoťte vnitřní odpor zdroje R_i .

Použité pomůcky a přístroje:

Voltmetr, ampérmetr, spojovací vodiče, zdroj elektromotorického napětí, proměnný rezistor nebo odporová dekáda.

Teorie:

Zdroj elektromotorického napětí (neboli zdroj EMN) založený na elektromechanickém nebo elektrochemickém principu udržuje jisté napětí mezi svými svorkami. Pokud si toto napětí chce udržet i při odběru proudu (tzn. při zatížení zdroje), musí být schopen konat práci na nosičích náboje tvořících proud I . To znamená, že přenesení energie ze svého vlastního zdroje elektrické energie na tyto nosiče.

Pokud bychom uvažovali o ideálním zdroji elektromotorického napětí (EMN), tak by šlo o zdroj, který by měl nulový vnitřní odpor R_i a napětí na svorkách by se stále rovnalo elektromotorickému napětí ε , bez ohledu na zatížení zdroje.

Ovšem reálný zdroj EMN (např. olovený akumulátor, zinko-uhlíkový resp. zinko-chloridový článek, Ni-Cd článek) má nenulový vnitřní odpor. Napětí na jeho svorkách je rovno elektromotorickému napětí ε pouze v případě, že ze zdroje neodebíráme žádnou elektrickou energii a tedy zdrojem neprochází žádný proud. V případě zatížení reálného zdroje dochází k jeho poklesu. Je to způsobeno disipací energie na jeho vnitřním odporu R_i .

Co je to ta disipace?

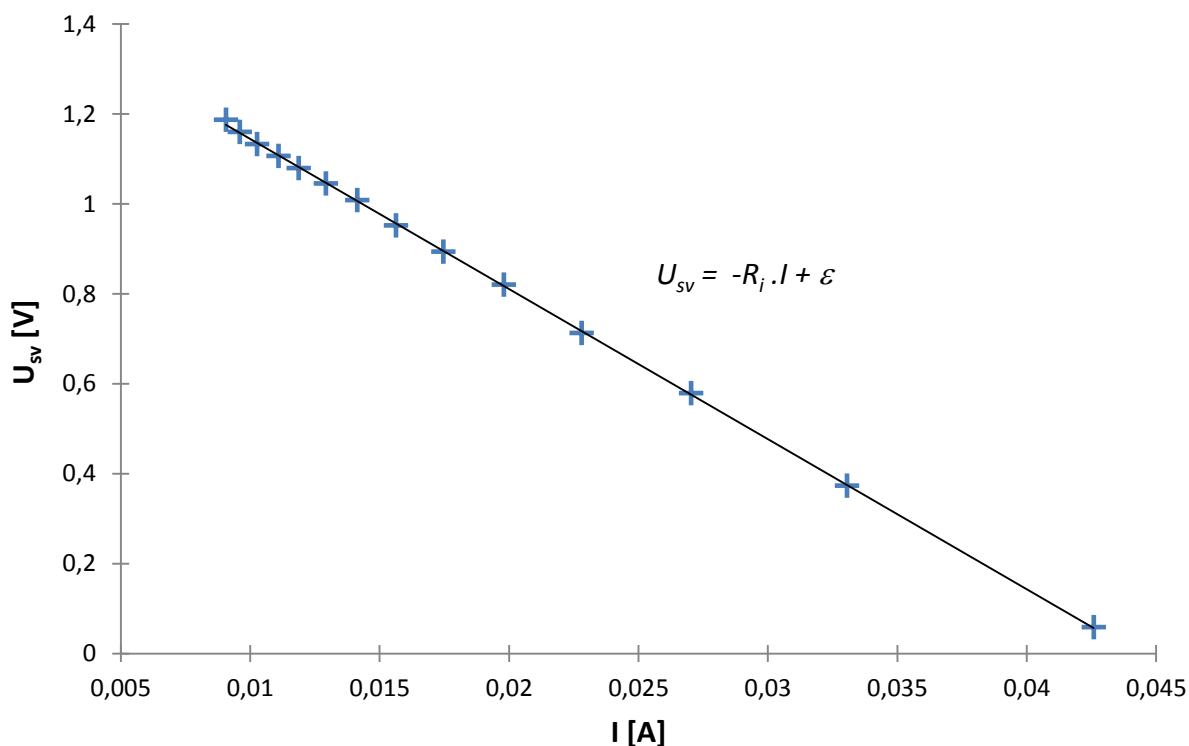
Pokud prochází reálným zdrojem elektrický proud, tak dochází ke srážkám pohybujících se nosičů elektrického náboje s atomy ve zdroji, čímž jim předávají část své pohybové energie. Tedy dochází k celkovému zvyšování vnitřní energie materiálu. Toto se projevuje zvyšováním teploty zdroje a tento se stává zdrojem tepelného toku. Tento proces je nevratný a je nazýván disipací energie.

Pro základní charakterizaci zdroje elektrické energie je vhodné určit jeho vnitřní odpor R_i a jeho elektromotorické napětí ε např. s využitím našeho schématu zapojení prvků do obvodu (obr. 7) a z něj odvozené rovnice (1):

$$U_{sv} = -R_i \cdot I + \varepsilon \quad (1)$$

Z rovnice plyne, že kdybychom ze zdroje neodebírali žádný proud, tak potom napětí na svorkách U_{sv} by se rovnalo elektromotorickému napětí zdroje ε .

Experimentálně změřená závislost svorkového napětí U_{sv} na proudu I pro zinko-uhlíkový primární článek je uvedena na obr. 1.



Obr. 1 Závislost svorkového napětí U_{sv} na proudu I .

Nyní si uvedeme jednu z možností jak určit z grafického záznamu vnitřní odpor zdroje R_i . Pro velikost svorkového napětí U_{sv} při zátěži R , které se rovná vnitřnímu odporu R_i lze odvodit, že $U_{sv} = \varepsilon/2$. Z grafického záznamu $U_{sv} = U_{sv}(I)$ tedy určíme hodnotu svorkového napětí, které odpovídá poloviční velikosti elektromotorického napětí zdroje a příslušnou hodnotu proudu I . Z Ohmova zákona pak vypočítáme výslednou hodnotu vnitřního odporu zdroje $R_i = U_{sv}/I$.

Výkon dodaný zdrojem elektrického napětí do obvodu je vyjádřen rovnicí (2):

$$P = U \cdot I \quad (2)$$

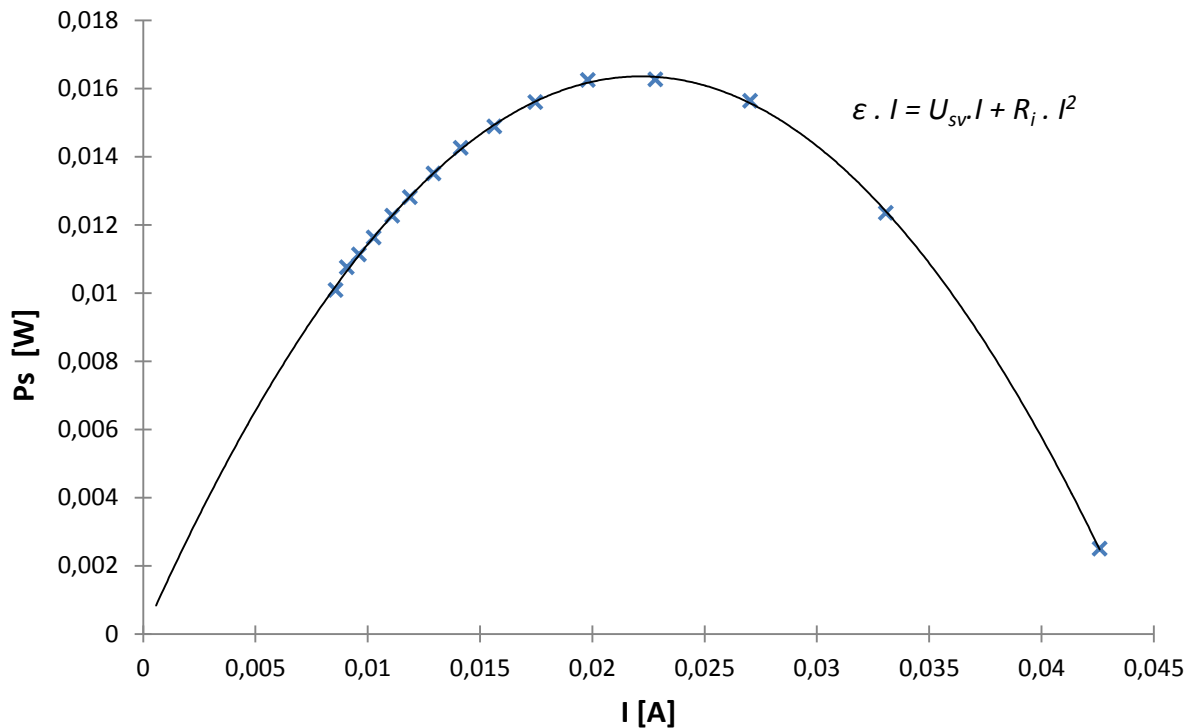
Závislost výkonu přijatého spotřebičem na proudu v obvodu ukazuje obr. 2.

Pokud se podíváme na náš měřicí obvod, tak lze rovnici (2) upravit do tvaru (3):

$$P_s = I \cdot (\varepsilon - I \cdot R_i) = I \cdot \varepsilon - I^2 \cdot R_i \quad (3)$$

neboli:

$$P = P_s + P_z \quad (4)$$



Obr. 2 Závislost výkonu přijatého spotřebičem P_s na proudu v obvodu I .

Přičemž využijeme znalosti toho, že výsledná hodnota elektromotorického napětí zdroje je dána součtem úbytků napětí na jednotlivých komponentech v obvodu, tedy musíme do tohoto součtu samozřejmě zahrnout i zdroj s jeho vnitřním napětím R_i , kde dojde k úbytku napětí o velikosti:

$$P_z = I^2 \cdot R_i \quad (5).$$

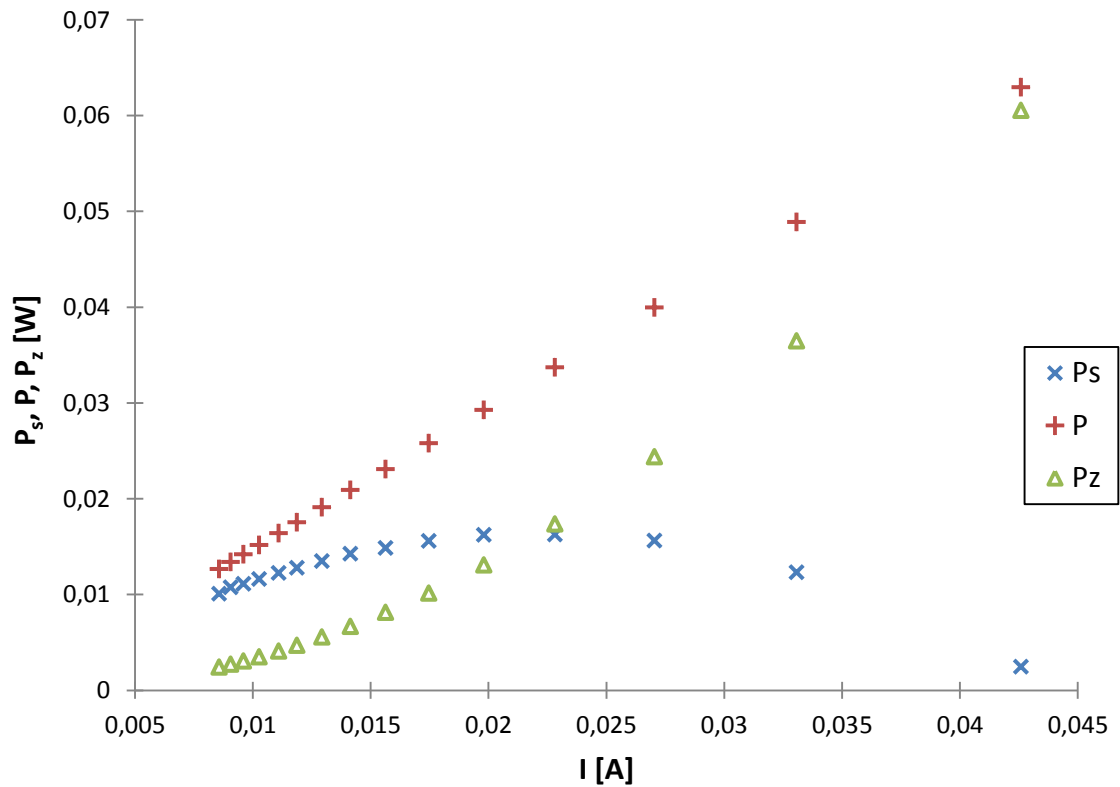
Pokud se zaměříme na rovnici (3), můžeme si podrobněji popsat jednotlivé členy, které se v ní vyskytují.

P_s je zde označen výkon, který je schopen náš zdroj dodat pomocí nosičů do zbytku obvodu, tedy se jedná o výkon přijatý spotřebičem, přičemž $P_s = U_{sv} \cdot I$

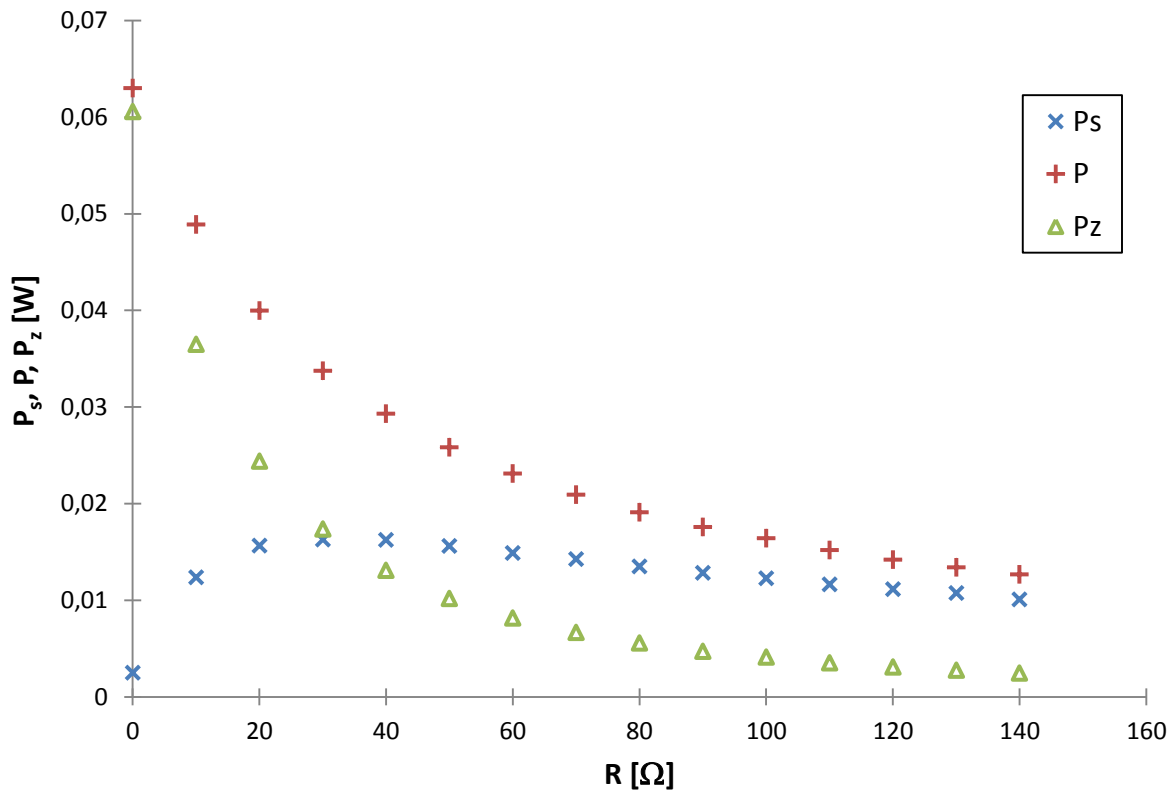
P je člen rovnice, který označuje výkon zdroje EMN, který v případě elektrochemického zdroje je závislý na rychlosti přeměny chemické energie v baterii a platí $P = I \cdot \varepsilon$

P_z označuje výkon disipovaný uvnitř zdroje, tedy ztrátový výkon a lze jej určit jako $P_z = I^2 \cdot R_i$

Jednotlivé průběhy těchto veličin z reálně naměřených hodnot si můžeme ukázat na obr. 3 a obr. 4:



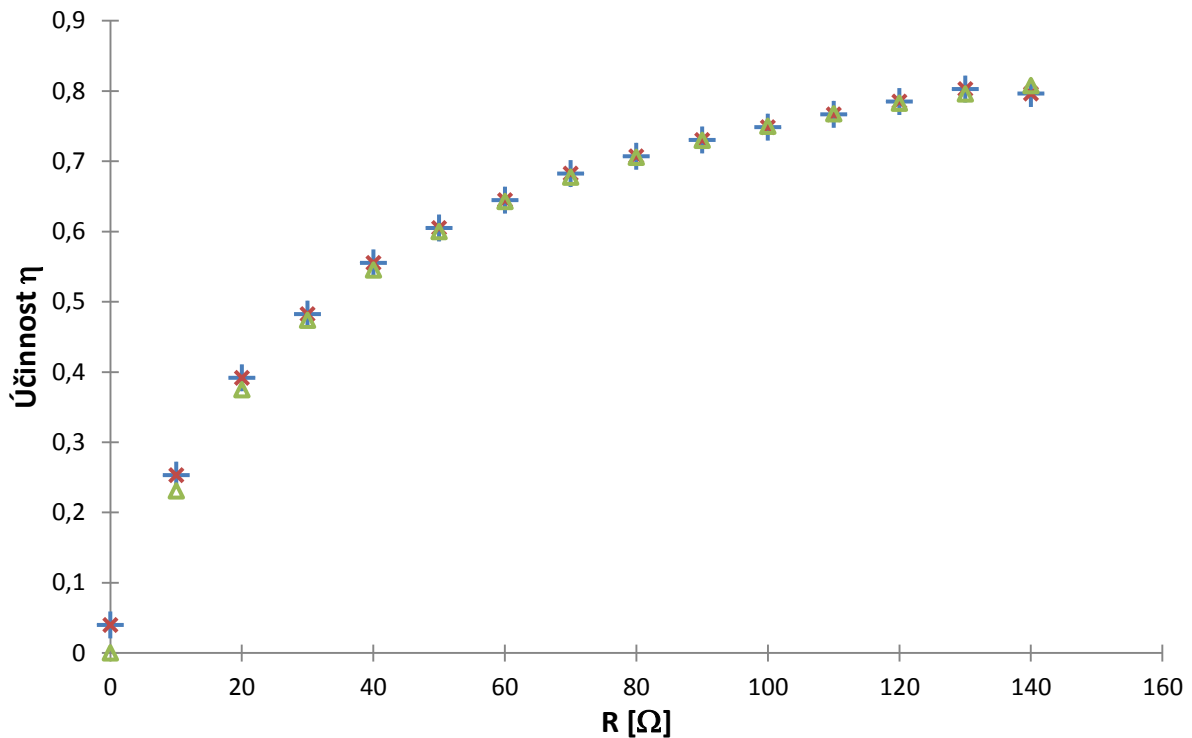
Obr. 3 Závislost celkového výkonu P a jeho složek P_s a P_z na proudu I



Obr. 4 Závislost celkového výkonu P a jeho složek P_s a P_z na odporu R .

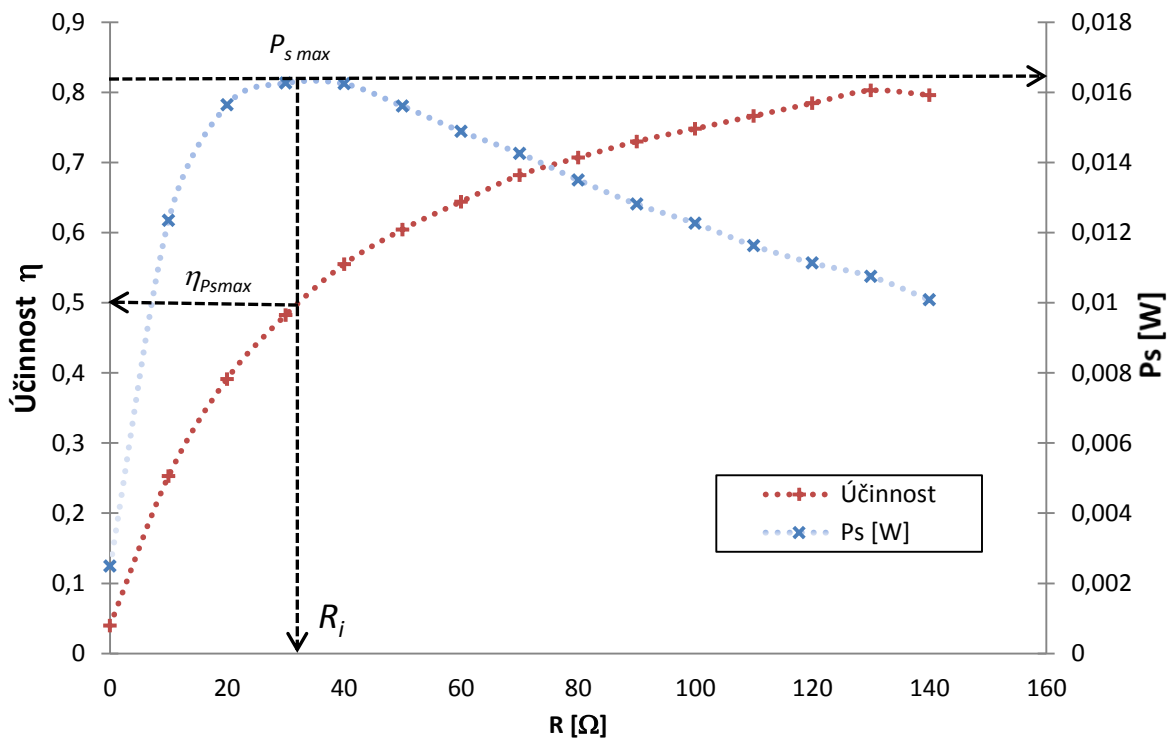
Účinnost zdroje je definována jako poměr výkonu na spotřebiči k celkovému výkonu, který se spotřebuje na spotřebiči a zdroji dohromady.

$$\eta = \frac{P_S}{P} = \frac{P_S}{P_S + P_Z} = \frac{U_{sv}}{\varepsilon} = \frac{R}{R + R_i} \quad (6)$$



Obr. 5 Závislost účinnosti zdroje η na velikosti zátěže R

Účinnost se nejčastěji vyjadřuje v procentech. Její hodnota se blíží k 100 % pro hodnoty zátěže $R \gg R_i$, kdy je tento stav nazýván jako optimální napěťové přizpůsobení. Je tedy zřejmé, že zdroje napětí, ať už se jedná o primární články (zinko-uhlíkový článek), sekundární články (Pb akumulátor) nebo třeba i elektrorozvodná síť, by měly mít malý vnitřní odpor. V případě malého vnitřního odporu je do obvodu zapojený zdroj minimálně tepelně zatěžován a jeho napětí poklesne po připojení, ve vztahu k napětí elektromotorickému, jen minimálně.

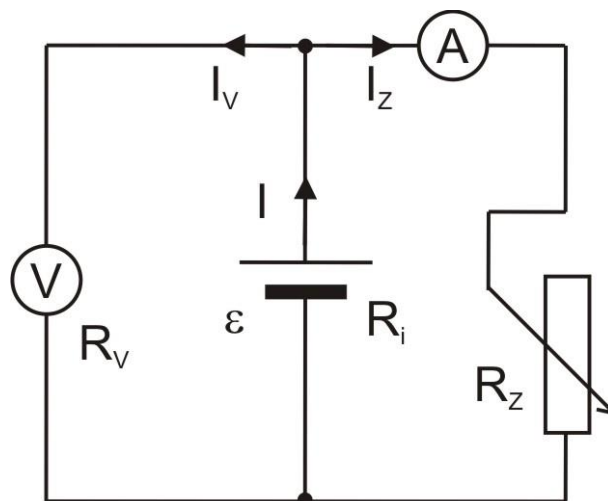


Obr. 6 Modelová ukázka závislosti účinnosti zdroje η a výkonu na spotřebiči P_s na velikosti zátěže R .

Při výkonovém přizpůsobení, kdy zatěžovací odpor odpovídá hodnotě vnitřního odporu zdroje, tedy $R=R_i$, je účinnost zdroje 50% viz obr 6. Toto přizpůsobení se ovšem využívá jen výjimečně. Jedním z důvodů je i to, že zdroj musí mít velmi dobré chlazení.

Pracovní postup:

1. Sestrojte obvod pro určení vnitřního odporu zdroje dle schématu na obr. 7.
2. Nastavte na proměnném rezistoru nejvyšší hodnotu odporu.
3. Dle schématu obvodu na obr. 1 připojte propojovací vodiče a zapojte proměnný odpor, voltmetr a ampérmetr.
4. Nastavte otočením centrálního přepínače na přístrojích příslušné rozsahy.
5. Při nezátíženém zdroji určete hodnotu EMN U_o .
6. Snižujte hodnotu odporu rezistoru a sledujte změny svorkového napětí U_z a proudu I_z .
7. Zapište U_z a I_z pro 20 nastavených hodnot odporu rezistoru.
8. Určete elektromotorické napětí zdroje ε a hodnotu vnitřního odporu R_i zdroje včetně nejistoty měření a to dle rovnice (1) a (3). Pro vlastní určení charakteristik obvodu je nutné zkonstruovat příslušné závislosti, data aproximovat vhodnými spojnicemi trendu a určit jejich rovnice.
9. Určete závislost P (výkonu odevzdaného zdrojem), P_s (výkonu odevzdaného do spotřebiče) a P_z (ztrátového výkonu) v závislosti na proudu I .
10. Určete závislost P (výkonu odevzdaného zdrojem), P_s (výkonu odevzdaného do spotřebiče) a P_z (ztrátového výkonu) v závislosti na odporu spotřebiče R .
11. Určete účinnost přenosu energie ze zdroje do spotřebiče η .
12. Určete závislost výkonu P_s a účinnosti přenosu η na proudu spotřebičem I . Z grafické závislosti stanovte P_{smax} a hodnotu účinnosti η_{Pmax} . Graficky vyhodnoťte vnitřní odpor zdroje R_i .
13. Diskutujte Vámi naměřené hodnoty a vyslovte závěry.



Obr. 7 Způsob zapojení voltmetru a ampérmetru do obvodu

Použitá literatura:

- [1] Halliday D., Resnick R., Walker J.: Fyzika, VUT v Brně, Nakladatelství VUTIUM, (2000).

Příloha: Použitá měřící aparatura

Obr. 8 Multimetry a modul proměnného odporu



Obr. 9 Odporová dekáda