

Lineárne obvody v stacionárnom ustálenom stave 2 (Úloha A-2)

Úloha

Pomocou laboratórneho obvodového modelu experimentálne overte:

A-2.1 princíp superpozície,

A-2.2 poučku o náhradnom aktívnom dvojpóle.

Teoretický úvod

V teórii obvodov sa využívajú rôzne princípy (poučky), ktoré uľahčujú analýzu obvodu. Cieľom tohto laboratórneho cvičenia je meraním overiť princíp superpozície a poučku o náhradnom aktívnom dvojpóle (ďalej len NAD) v lineárnych elektrických obvodoch v stacionárnom ustálenom stave.

Princíp superpozície

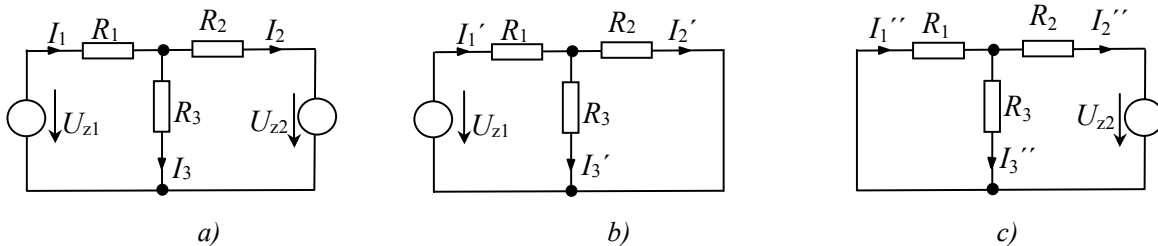
Princíp superpozície platí v lineárnych elektrických obvodoch (ďalej len LO): *Prúd v určitom úseku obvodu pri súčasnom pôsobení všetkých zdrojov možno vypočítať ako superpozíciu (súčet) čiastkových prúdov v danom úseku pri samostatnom pôsobení jednotlivých zdrojov, pričom ostatné zdroje sú vždy nahradené ich vnútorným odporom.* Princíp superpozície je výhodný najmä vtedy, ak určenie čiastkových prúdov od jednotlivých zdrojov je jednoduchšie ako priame určenie prúdov pri súčasnom pôsobení všetkých zdrojov v obvode.

Uvažujme napr. LO podľa obr. 1a. Použitím princípu superpozície prúdy I_1, I_2, I_3 možno vypočítať superpozíciu prúdov v zapojeniach na obr. 1b a 1c.

$$I_1 = I_1' + I_1''$$

$$I_2 = I_2' + I_2'' \quad (1)$$

$$I_3 = I_3' + I_3''$$



Obr. 1

Čiastkové prúdy v obvodoch 1b, resp. 1c možno jednoducho určiť napr. poučkou o prúdoch v sériovoparalelnom obvode:

$$\begin{aligned}
 I_1' &= U_{z1} \frac{R_2 + R_3}{M} & I_2' &= U_{z1} \frac{R_3}{M} & I_3' &= U_{z1} \frac{R_2}{M} \\
 I_1'' &= -U_{z2} \frac{R_3}{M} & I_2'' &= -U_{z2} \frac{R_1 + R_3}{M} & I_3'' &= U_{z2} \frac{R_1}{M}
 \end{aligned} \quad (2)$$

kde $M = R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1$

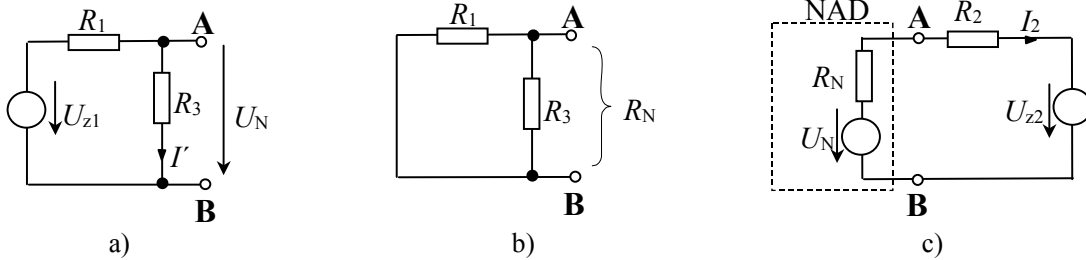
Po určení čiastkových prúdov sa prúdy obvodu vypočítajú zo vzťahov (1).

Poučka o náhradnom aktívnom dvojpóle

Poučka o náhradnom aktívnom dvojpóle platí v LO: Prúd v ľubovoľnom úseku A-B sa nezmení, ak zvyšnú časť obvodu, ku ktorej je úsek A-B pripojený, nahradíme rezistorom R_N a

- sériovo zapojeným ideálnym zdrojom napätia U_N (Théveninova náhrada), alebo
- paralelne zapojeným ideálnym zdrojom prúdu I_N (Nortonova náhrada).

Poučku o NAD je výhodné použiť najmä vtedy, ak nás zaujíma len jeden prúd v obvode. Ak chceme v obvode na obr. 1a určiť poučkou o NAD napr. prúd I_2 použitím Théveninovej náhrady, postup je nasledujúci: Z obvodu vyjmeme úsek A-B s hľadaným prúdom (obr. 2a).



Obr. 2

Napätie U_N je napätie medzi rozpojenými bodmi A-B v zostávajúcej časti obvodu. Je to zároveň napätie na rezistore R_3 v obvode na obr. 2a, teda

$$U_N = I' R_3 = \frac{U_{z1}}{R_1 + R_3} R_3 \quad (3)$$

Odpor R_N sa určí ako odpor medzi bodmi A-B pri odpojení úseku s hľadaným prúdom I_2 a pri nahradení zdrojov vo zvyšnej časti obvodu ich vnútornými odpormi. Vnútorný odpor ideálneho zdroja napätia je nulový, teda R_N sa určí z obr. 2b. Na obr. 2b sú rezistory R_1 a R_3 vzhľadom na body A-B zapojené paralelne, teda odpor NAD je

$$R_N = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} \quad (4)$$

Hľadaný prúd I_2 sa určí aplikáciou 2. Kirchhoffovho zákona v sériovom obvode, ktorý vznikne pripojením NAD k vyňatému úseku (obr. 2c)

$$I_2 = \frac{U_N - U_{z2}}{R_2 + R_N} \quad (5)$$

Použité prístroje a zariadenia

Merací obvod sa realizuje pomocou obvodového modelu, ktorý sa skladá zo zapojovacej dosky a z prvkov elektrického obvodu – násuvných modulov, ktorých kontakty sa zasúvajú do zapojovacej dosky. Pre LO sú k dispozícii tieto typy modulov:

- modul typu VODIČ (kontakty modulu sú navzájom spojené vodičom so zanedbateľným odporom); namiesto viacerých takýchto modulov zapojených do série možno použiť spojovací vodič (zniží sa tým počet kontaktných spojov, ktoré môžu byť zdrojom chýb),
- modul typu REZISTOR (vo vnútri modulu je zabudovaný rezistor; približná hodnota odporu je vyznačená na module),

– modul typu ZDROJ. Tento modul neobsahuje zabudovaný zdroj, slúži len na sprehľadnenie zapojenia, vonkajší zdroj napätia sa pripojí k jeho vrchným kontaktom.

Ako zdroje konštantného napätia sa použijú elektronické stabilizované zdroje. Na meranie napätí sa použije voltmeter (multimeter). Na kontrolu a presnejšie určenie odporu modulov typu rezistor sa použije ohmmeter (ten istý multimeter).

Na realizáciu NAD sa použije pomocná zapojovacia doska, ktorá je opísaná v ďalšom.

Postup pri riešení úloh

Všeobecne (pre obe časti úlohy)

Z vybraných modulov zostavte zvolený elektrický obvod. Ak vedúci cvičenia neurčí inak, zostavte obvod s dvoma jednoduchými slučkami a s dvoma modulmi typu ZDROJ umiestnenými v rôznych úsekoch. Samotné zdroje k modulom zatiaľ nepripojujte.

Odporúčané hodnoty parametrov pasívnych a aktívnych prvkov:

- hodnoty odporov zvolte tak, aby veľkosti prúdov v jednotlivých úsekoch neboli podľa možnosti rádovo rozdielne (zvoľte napr. rádovo rovnaké odpory),
- ak sa rozhodnete vytvoriť úsek len z modulov typu vodič (úsek s nulovým odporom), takýto úsek môže byť maximálne jeden,
- svorkové napätie regulovateľných zdrojov voľte v rozsahu 4 – 12 V.

Pred pripojením zdrojov určite meraním skutočný odpor použitých prvkov typu REZISTOR (pri meraní treba prerušiť úsek s meraným modulom, aby ostatné prvky neovplyvnili meranú hodnotu). V prípade pochybností je účelné meraním skontrolovať, či prechodový odpor kontaktných spojov zostaveného obvodu nie je neprípustne veľký.

Zapojte do obvodu elektronické zdroje napätia a nastavte na nich zvolené hodnoty napätia. Napätie zdrojov nastavujte a merajte v zostavenom obvode (napätie naprázdno zdroja sa môže čiastočne líšiť od napätia v danom pracovnom režime). Napätie zdrojov kontrolujte pri každej uskutočnenej zmene zapojenia.

Napätia na jednotlivých prvkoch, úsekoch a pod. meriame voltmetrom na svorkách modulov, resp. zapojovacej dosky.

Prúdy v jednotlivých úsekoch sa určia meraním napätia na príslušnom module REZISTOR, prúd sa vypočíta pomocou Ohmovho zákona ako podiel nameraného napätia na rezistore a odporu rezistora. Prúd v úseku s nulovým odporom sa určí výpočtom pomocou 1. Kirchhoffovho zákona (pri výpočte pozor na zvolenú orientáciu a znamienko jednotlivých prúdov).

Úloha A-2.1

Zostavte príslušný lineárny obvod. Odmerajte napätia na všetkých prvkoch obvodu a z nameraných napätí vypočítajte všetky prúdy v obvode.

Vo vyšetrovanom obvode nechajte iba zdroj U_{z1} , druhý zdroj nahraďte jeho vnútorným odporom (predpokladáme ideálne zdroje napätia s nulovým vnútorným odporom, teda namiesto modulu ZDROJ použite modul VODIČ). Meraním určite čiastkové prúdy v obvode. Potom postup opakujte v obvode so zapojeným zdrojom U_{z2} a vyradeným zdrojom U_{z1} . Z určených čiastkových prúdov vypočítajte prúdy v obvode použitím vzťahov (1).

Obvod riešte analyticky využitím princípu superpozície. Vypočítané hodnoty prúdov porovnajte s výsledkami určenými meraním (vypočítajte relatívne chyby merania δ). Výsledky zostavte do tabuľky (tab. 1).

Tabuľka 1 Overenie princípu superpozície

Obvod so zdrojmi:	Prúdy určené analýzou obvodu I_{vyp} (A)		Prúdy určené z meraní I_{mer} (A)		Relatívna chyba merania δ (%)
U_{z1}	I_1'		I_1'		
	I_2'		I_2'		
	I_3'		I_3'		
U_{z2}	I_1''		I_1''		
	I_2''		I_2''		
	I_3''		I_3''		
U_{z1}, U_{z2}	I_1		I_1		
	I_2		I_2		
	I_3		I_3		

Použitý vzťah:

$$\delta = \frac{I_{\text{mer}} - I_{\text{vyp}}}{I_{\text{vyp}}} 100 \quad (\%) \quad (6)$$

Úloha A-2.2

V zapojenom obvode zvolte úsek so zdrojom a rezistorom, v ktorom budete určovať prúd poučkou o NAD. Zvolený úsek odpojte a meraním určite U_N a R_N náhradného aktívneho dvojpólu takto: Odmerajte napätie naprázdno U_N medzi bodmi rozpojenia na zostávajúcej časti obvodu. Potom v zostávajúcej časti obvodu nahraďte zdroj napätia modulom typu VODIČ a odmerajte odpor R_N medzi bodmi rozpojenia.

Náhradný aktívny dvojpól zostavte na pomocnej zapojovacej doske. Ohmmeter pripojte k úseku označenému na pomocnej zapojovacej doske symbolom „ R_i “ a nastavte na ňom hodnotu R_N (v zapojovacej doske sú zabudované nastaviteľné odporové prvky). Medzi svorky označené „VYŠETROVANÝ ÚSEK“ pripojte prvky odpojeného úseku. K svorkám označeným „ U_o “ pripojte regulovateľný zdroj napätia a jeho napätie nastavte na hodnotu U_N . Meraním určite prúd v úseku a porovnajte ho s prúdom v pôvodnom zapojení.

Využitím poučky o NAD vypočítajte prúd v danom úseku. Porovnajte prúdy určené meraním a výpočtom. Výsledky zostavte do tabuľky (tab. 2).

Tabuľka 2 Overenie poučky o náhradnom aktívnom dvojpóle

Veličina	Teoretický výpočet	Meranie	Relatívna chyba merania δ (%)
U_N (V)			
R_N (Ω)			
I_x^* (A)			

*Poznámka: x je číslo úseku s hľadaným prúdom.

Chyba δ sa určí analogicky ako v úlohe A-2.1.

Literatúra:

[1] ŠUMICHRASŤ L. A KOL.: Teoretická elektrotechnika. Návody na laboratórne cvičenia z Teórie obvodov. Bratislava, Alfa, 2003, s. 5 – 12

[2] BENDA, O., HANAJÍKOVÁ, D., HEGYI, S.: Základy elektrotechniky. Bratislava, Alfa, 1990