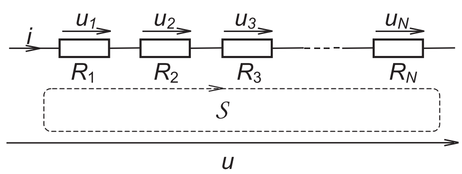
Kapitola 2

Jednoduché rezistívne obvody.

V ďalšom uvedieme základné metódy analýzy jednoduchých rezistívnych elektrických obvodov. Myslíme tým obvody, ktoré sa skladajú z jedného zdroja napätia (prúdu), ktorý napája sústavu ľubovoľného množstva rezistorov. Zameriame sa na typické štruktúry, ktoré je dobré poznať a rutinne s nimi narábať. V praxi elektrických obvodov sa s nimi často stretneme - delič prúdu a napätia, sériovo-paralelný obvod a usporiadania do hviezdy a do trojuholníka. Všeobecnejším metódam analýzy aj zložitejších elektrických sietí sa potom budeme venovať v ďalších kapitolách.

2.1 Sériové spojenie rezistorov. Odporový delič napätia.

Odporový delič napätia je zložený z N rezistorov zapojených do série (obr. 2.1).



Obr. 2.1: Odporový delič napätia.

Uvažujme, že na celej takejto sériovej kombinácii je napätie u. Napíšeme rovnicu 2. Kirchhoffovho zákona pre slučku $\mathcal{S}$

$$-u + u_1 + u_2 + \cdots + u_N = 0 \tag{2.1}$$

Hovoríme, že celkové napätie u sa na rezistoroch delí na napätia $(u_1, u_2, \ldots, u_N)$. Všetkými rezistormi tečie rovnaký prúd i. Napätie na ľubovoľnom rezistore vyjadríme z Ohmovho zákona

$$u_k = R_k.i; \quad k = 1, \ldots, N \tag{2.2}$$

Dosadíme napätie na $k-$tom rezistore z (2.2) do (2.1) a vyjadríme celkové napätie u

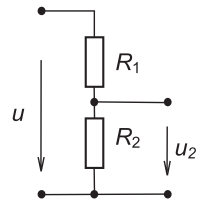
$$u = i.\sum_{k=1}^{N} R_k. \tag{2.3}$$

Do rovnice (2.2) dosadíme za prúd z (2.3) a dostaneme vzťah pre napätie na $k-$tom rezistore

$$u_k = \frac{R_k}{R_1 + R_2 + \cdots + R_N} \cdot u. \tag{2.4}$$

Ak by sme celú sériovú kombináciu jedným nahradili rezistorom R tak, aby pri prúde i bolo na ňom také isté napätie u, ako v prípade sériovej kombinácie rezistorov, jeho odpor by musel byť rovný súčtu odporov sériovo zapojených rezistorov

$$R = \sum_{k=1}^{N} R_k. \tag{2.5}$$



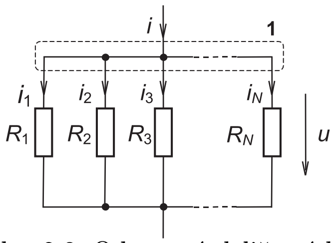
Obr. 2.2: Delič napätia zložený z dvoch rezistorov.

V praxi sa v elektrických obvodoch často stretávame s deličom napätia zloženým z dvoch rezistorov (obr. 2.2). Je preto praktické zapamätať si vzťah pre napätie u_2 na výstupe takéhoto deliča

$$u_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot u \tag{2.6}$$

2.2 Paralelné spojenie rezistorov. Odporový delič prúdu.

Odporový delič prúdu sa skladá z N paralelne zapojených rezistorov (obr. 2.3).



Obr. 2.3: Odporový delič prúdu.

Napíšeme rovnicu 1. Kirchhoffovho zákona pre uzol **1**

$$i = i_1 + i_2 + \cdots + i_N \tag{2.7}$$

Hovoríme, že prúd i sa delí na prúdy $i_1, i_2, \ldots, i_N$. Takúto paralelnú kombináciu rezistorov preto nazývame *odporový delič prúdu.* Na všetkých rezistoroch je rovnaké napätie u. Prúd $k-$tym rezistorom i_k vyjadríme pomocou Ohmovho zákona

$$i_k = \frac{1}{R_k} \cdot u = G_k.u; \quad k = 1, \ldots, N \tag{2.8}$$

a dosadíme do rovnice (2.7). Pre prúd $k-$tym rezistorom platí

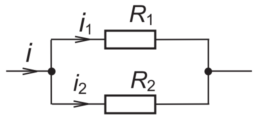
$$i_k = \frac{G_k}{G_1 + G_2 + \cdots + G_N} \cdot i. \tag{2.9}$$

Ak by sme celú paralelnú kombináciu rezistorom nahradili jedným rezistorom R tak, aby pri prúde i bolo na ňom také isté napätie u, jeho vodivosť by musela byť rovná súčtu vodivostí paralelne zapojených rezistorov

$$G = \sum_{k=1}^{N} G_k, \tag{2.10}$$

resp.

$$\frac{1}{R} = \sum_{k=1}^{N} \frac{1}{R_k}. \tag{2.11}$$



Obr. 2.4: Delič prúdu zložený z dvoch rezistorov.

V praxi sa v elektrických obvodoch často stretávame s deličom prúdu zloženým z dvoch rezistorov (obr. 2.4). Je preto praktické zapamätať si vzťah pre výsledný odpor R takejto paralelnej kombinácie dvoch rezistorov

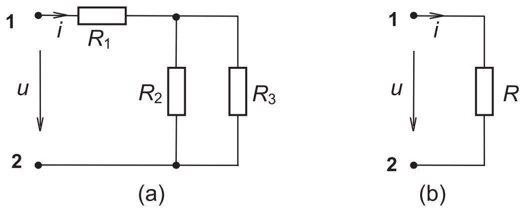
$$R = \frac{R_1.R_2}{R_1 + R_2} \tag{2.12}$$

a taktiež vzťah pre prúd ramenom takéhoto deliča

$$i_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot i, \qquad i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot i. \tag{2.13}$$

2.3 Sériovo–paralelná kombinácia rezistorov.

Viacnásobným kombinovaním sériovo a paralelne spojených skupín rezistorov vytvárame viac, či menej zložité sériovo–paralelné obvody.



Obr. 2.5: Rezistory zapojené sériovo-paralelne (a) a ich náhrada (b).

Na obr. 2.5a je najjednoduchší možný sériovo-paralelne usporiadaných rezistorov. Takúto skupinu rezistorov môžeme vzhľadmo na uzly **1** a **2** považovať za dvojpól. Predstavme si, že takýto dvojpól potrebujeme zjednodušiť - nahradiť jedným rezistorom R (obr. 2.5b). Inými slovami, potrebujeme nájsť celkový odpor R medzi uzlami **1** a **2**. Rezistor s odporom R je vzhľadom na uzly **1** a **2** ekvivalentný pôvodnej sériovoparalelnej kombinácii rezistorov. Pri napätí u ním musí pretekať taký istý prúd i, aký pretekal celou sériovo-paralelnou kombináciou.

Pri zjednodušovaní treba v sériovo–paralelnom obvode vždy nájsť skupinu rezistorov zapojených paralelne alebo sériovo, a nahradiť ju jedným. Tento postup treba opakovať dovtedy, kým sa obvod nezjednoduší na jeden rezistor.

V našom prípade vidno, že rezistory R_2 a R_3 sú zapojené paralelne, preto ich môžeme nahradiť jedným, ktorý označíme R_{23}, pričom

$$R_{23} = \frac{R_2.R_3}{R_2 + R_3} \tag{2.14}$$

Rezistory R_1 a R_{23} sú zapojené do série, teda pre výsledný odpor R platí

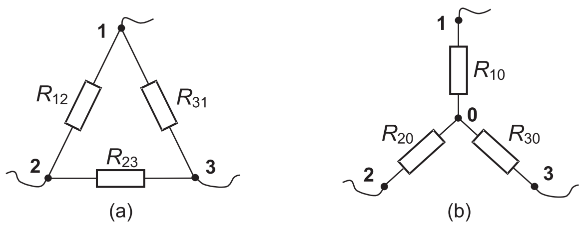
$$R = R_1 + R_{23} \tag{2.15}$$

Po dosadení (2.14) do (2.15) dostaneme pre výsledný odpor R vzťah

$$R = \frac{R_1.R_2 + R_2.R_3 + R_3.R_1}{R_2 + R_3}. \tag{2.16}$$

2.4 Elektrické obvody s odporovou hviezdou a trojuholníkom.

Pri úpravách rezistívnych sietí sa môžeme stretnúť s prípadom, kedy v elektrickom obvode nájdeme skupiny rezistorov, ktoré nie sú zapojené ani do série, ani paralelne. Na základe vyššie uvedených postupov obvod nevieme zjednodušiť.



Obr. 2.6: Odporový trojuholník (a) a odporová hviezda (b).

V takomto prípade v sieti pravdepodobne nájdeme skupiny rezistorov zapojené do trojuholníka, alebo do hviezdy (obr. 2.6).

Takéto trojpóly sa dajú vzájomne nahrádzať, pričom sa vo zvyšku siete mimo nahradzovaného trojpólu nezmenia žiadne napätia, ani prúdy. Hovoríme, že odporový trojuholník sa dá transfigurovať na ekvivalentnú hviezdu, resp. odporová hviezda sa dá transfigurovať na ekvivalentný odporový trojuholník. Hodnoty rezistorov náhradného trojpólu vypočítame pomocou transfiguračných vzťahov (2.17) a (2.18).

2.4.1 Transfigurácia trojuholník–hviezda (Δ-Y).

V tomto prípade poznáme odpory rezistorov trojuholníka R_{12}, R_{23}, R_{31} a potrebujeme vypočítať odpory rezistorov ekvivalentnej hviezdy R_{10}, R_{20}, R_{30}. Pre zámenu platia nasledovné vzťahy:

$$R_{10} = \frac{R_{31}.R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}, \qquad R_{20} = \frac{R_{12}.R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}, \qquad R_{30} = \frac{R_{23}.R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \tag{2.17}$$

Tieto transfiguračné vzťahy sa dajú ľahko zapamätať, ak nakreslíme náhradnú hviezdu do vnútra trojuholníka. Potom vo vzťahoch (2.17) bude v čitateli súčin odporov priľahlých rezistorov a v menovateli súčet odporov všetkých rezistorov trojuholníka.

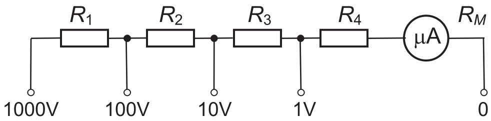
2.4.2 Transfigurácia hviezda–trojuholník (Y-Δ).

V tomto prípade poznáme odpory rezistorov hviezdy R_{10}, R_{20}, R_{30} a potrebujeme vypočítať odpory rezistorov trojuholníka R_{12}, R_{23}, R_{31}. Pre takúto zámenu platia nasledovné vzťahy:

$$R_{12} = R_{10} + R_{20} + \frac{R_{10}.R_{20}}{R_{30}}, \qquad R_{23} = R_{20} + R_{30} + \frac{R_{20}.R_{30}}{R_{10}}, \qquad R_{31} = R_{30} + R_{10} + \frac{R_{30}.R_{10}}{R_{20}} \tag{2.18}$$

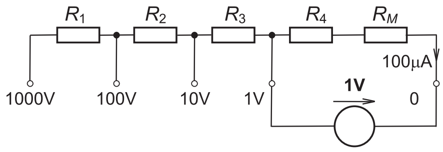
2.5 Príklady.

Príklad 2 Máme k dispozícii deprézsky merací prístroj, z ktorého potrebujeme vyrobiť voltmeter s rozsahmi 1V, 10V, 100V a 1000V (obr. 2.5). Merací prístroj má vnútorný odpor $R_M = 1\mathrm{k}\Omega$ a plnú výchylku pri prúde $I_M = 100\mathrm{mA}$. Úlohou je navrhnúť systém predradených rezistorov.



Obr. 2.5.

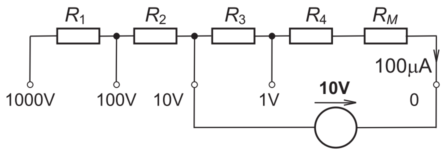
Riešenie



Prístroj musí ukázať plnú výchylku, ak pripojíme napätie 1V medzi svorky a "1V" a "0", teda meracím prístrojom musí tiecť prúd I=100mA. Merací prístroj môžeme pri našich úvahách nahradiť rezistorom R_M. Z Ohmovho zákona vyplýva

$$R_1 + R_M = \frac{1\mathrm{V}}{100\mu\mathrm{A}},$$

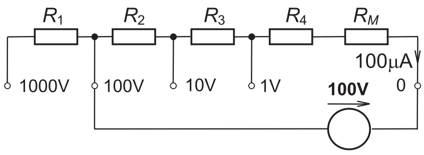
odtiaľ $R_1 = 9\mathrm{k}\Omega$.



Podobne musí prístroj ukázať plnú výchylku, ak pripojíme napätie 10V medzi svorky 10V a 0. Môžeme teda napísať rovnicu

$$R_1 + R_2 + R_M = \frac{10\mathrm{V}}{100\mu\mathrm{A}},$$

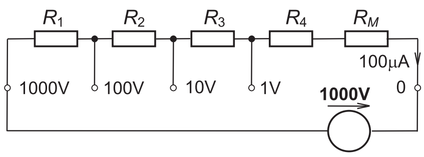
odtiaľ $R_2 = 90\mathrm{k}\Omega$.



Prístroj musí ukázať plnú výchylku, ak pripojíme napätie 100V medzi svorky 100V a 0.

$$R_1 + R_2 + R_3 + R_M = \frac{100\mathrm{V}}{100\mu\mathrm{A}},$$

odtiaľ $R_3 = 900\mathrm{k}\Omega$.



Taktiež musí vyvolať plnú výchylku prístroja napätie 1000V pripojené medzi svorky "1000V" a "0".

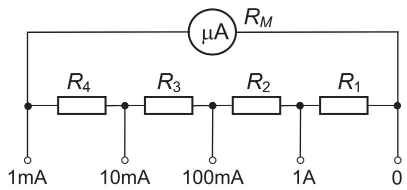
$$R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_M = \frac{1000\mathrm{V}}{100\mu\mathrm{A}},$$

odtiaľ $R_4 = 9\mathrm{M}\Omega$.

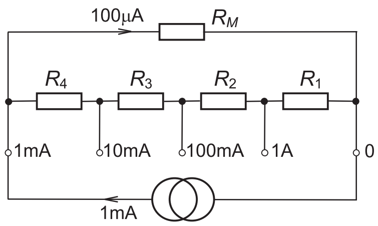
Príklad 3 Máme k dispozícii deprézsky merací prístroj, z ktorého potrebujeme vyrobiť ampérmeter s rozsahmi 1mA, 10mA, 100mA a 1A (obr. 3). Merací prístroj má vnútorný odpor $R_M = 1\mathrm{k}\Omega$ a plnú výchylku pri prúde $I_M = 100\mathrm{mA}$. Úlohou je navrhnúť systém odporových bočníkov.

Riešenie.

Rozsah meracieho prístroja je rozšírime pomocou sústavy rezistorov R_1 až R_4 tvoriacich pre každý rozsah potrebný delič prúdu. Musíme vypočítať odpory týchto rezistorov.



Obr. 3.

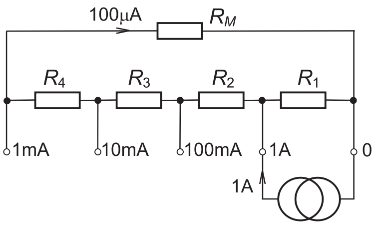


(2.13)

Začnime najnižším rozsahom. Meraný obvod reprezentujme ideálnym zdrojom prúdu I=1mA, ktorý je zapojený medzi svorky "1mA" a "0" (obr.). V takomto prípade musí merací prístroj ukázať plnú výchylku, teda ním musí tiecť prúd $I_M = 100\mu$A. Merací prístroj je v schéme reprezentovaný rezistorom R_M. Časť meraného prúdu ($I_M = 100\mu$A) tečie meracím prístrojom, zvyšok (900μA) tečie sériovou kombináciou rezistorov R_1 až R_4. Pri výpočte vyjdeme z rovnice pre dvojramenný delič prúdu

$$\frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_M} = \frac{100\mu\text{A}}{1\text{mA}}.$$

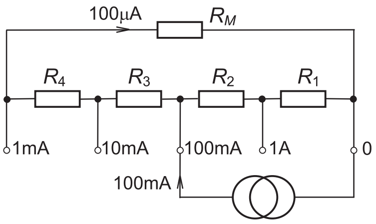
Odtiaľ máme $R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = \frac{1000}{9}\Omega$.



Ak pripojíme meraný obvod s prúdom I = 1A medzi svorky "1A" a "0", merací prístroj musí ukázať plnú výchylku. Znamená to, že cez sériovú kombináciu R_2–R_3–R_4–R_M tečie prúd $I_M = 100\mu$A, zvyšok cez rezistor R_1. Napíšeme vzťah pre delič prúdu

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_M} = \frac{100\mu\text{A}}{1\text{A}}.$$

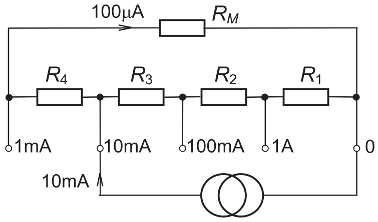
Súčet rezistorov R_1 až R_4 poznáme, teda $R_1 = \frac{1}{9}\Omega$.



Ak pripojíme meraný obvod s prúdom I = 100mA medzi svorky "100mA" a "0", merací prístroj musí ukázať plnú výchylku. Cez sériovú kombináciu teraz R_3–R_4–R_M tečie prúd $I_M = 100\mu$A, zvyšok cez rezistor sériovú kombináciu R_1–R_2. Napíšeme vzťah pre delič prúdu

$$\frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_M} = \frac{100\mu\text{A}}{100\text{mA}},$$

odtiaľ $R_2 = 1\Omega$.

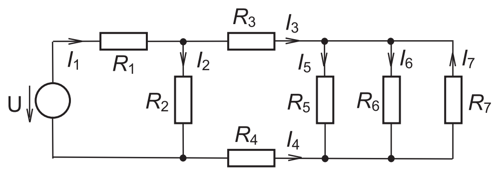


Ak pripojíme meraný obvod s prúdom I = 10mA medzi svorky "10mA" a "0", merací prístroj musí ukázať plnú výchylku. Cez sériovú kombináciu teraz R_4–R_M tečie prúd $I_M = 100\mu$A, zvyšok cez rezistor sériovú kombináciu R_1–R_2–R_3. Napíšeme vzťah pre delič prúdu

$$\frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_M} = \frac{100\mu\text{A}}{10\text{mA}},$$

odtiaľ $R_3 = 10\Omega$.

Príklad 4 V obvode na obr. 4 vypočítajte všetky prúdy a overte platnosť Tellegenovej vety.

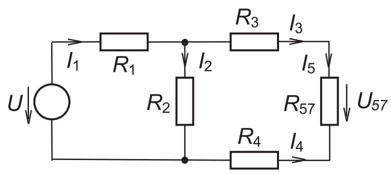


Obr. 4

$U = 24\text{V}$, $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 40\Omega$, $R_3 = 8\Omega$, $R_4 = 20\Omega$, $R_5 = 30\Omega$, $R_6 = 40\Omega$, $R_7 = 40\Omega$.

Riešenie.

Najprv obvod zjednodušíme tak, že celú jeho pasívnu časť postupne zjednodušíme a nakoniec nahradíme jedným ekvivalentným rezistorom vzhľadom na svorky zdroja.



(a)

Rezistory R_5, R_6 a R_7 sú zapojené paralelne, teda ich môžeme nahradiť jedným rezistorom R_{57} (obr. a). Pre jeho odpor platí

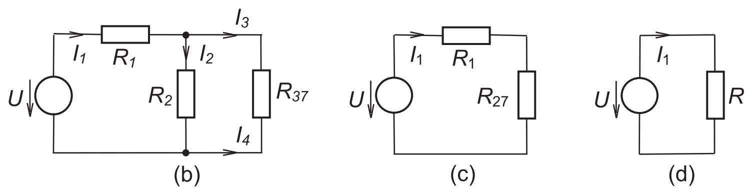
$$\frac{1}{R_{57}} = \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_7},$$

odtiaľ $R_{57} = 12\Omega$.
Rezistory R_3, R_4 a R_{57} sú zapojené do série, nahradíme ich jedným rezistorom, ktorý označíme R_{37} (obr. b)

$$R_{37} = R_3 + R_4 + R_{57} = 40\Omega.$$

Rezistory R_2 a R_{37} sú zapojené paralelne, nahradíme ich jedným rezistorom, ktorý označíme R_{27} (obr. c)

$$R_{27} = \frac{R_2.R_{37}}{R_2 + R_{37}} = 20\Omega.$$



Rezistory R_1 a R_{27} sú zapojené do série, teda pre celkový odpor R rezistívnej siete vzhľadom na svorky zdroja U (obr. d) dostaneme

$$R = R_1 + R_{27} = 30\Omega.$$

Vypočítame prúd I_1

$$I_1 = \frac{U}{R} = 0,8\text{A}.$$

Z obvodu na obr. d už žiadny ďalší prúd vypočítať nevieme. Postupným zjednodušovaním sme strácali prvky pôvodnej siete, teda aj prúdy, ktoré sú v pôvodnom obvode. Musíme sa preto vrátiť späť k obr. b. V tomto obvode už nájdeme prúdy I_2, I_3 a I_4. Môžeme začať napríklad prúdom I_2 –vypočítame ho pomocou vzťahu pre delič prúdu s dvoma paralelnými rezistormi (2.13)

$$I_2 = I_1 \cdot \frac{R_{37}}{R_2 + R_{37}} = 0,4\text{A}$$

Prúdy I_3 a I_4 vypočítame pomocou 1. Kirchhoffovho zákona

$$I_3 = I_1 - I_2 = 0,4\text{A},$$

$$I_4 = -I_3 = -0,4\text{A}.$$

Vrátime sa do pôvodného obvodu, kde vypočítame napätie U_{57}

$$U_{57} = I_3.R_{57} = 4,8\text{V}.$$

Napätie U_{57} je na celej paralelnej kombinácii R_5, R_6 a R_7, teda prúdy týmito rezistormi už môžeme vypočítať pomocou Ohmovho zákona

$$I_5 = \frac{U_{57}}{R_5} = 0,16\text{A}, \quad I_6 = \frac{U_{57}}{R_6} = 0,12\text{A}, \quad I_7 = -\frac{U_{57}}{R_7} = -0,12\text{A}.$$

Nakoniec sa presvedčíme, že v obvode platí Tellegenova veta. Vypočítame výkony všetkých dvojpólov a overíme, že ich súčet je rovný nule. Prúd zdrojom je orientovaný proti smeru jeho napätia, teda jeho výkon vypočítame podľa vzťahu

$$P_U = -U.I_1.$$

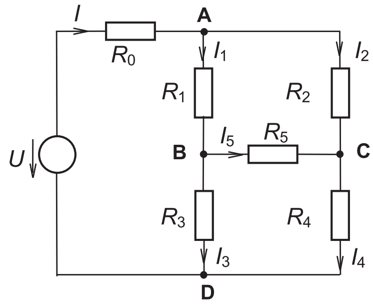
Výkon P_k spotrebovaný k-tym rezistorom vypočítame podľa vzťahu

$$P_k = R_k.I_k^2; \quad k = 1, \ldots, 7.$$

Výsledky sú uvedené v tabuľke.

Prvok	Výkon[W]
U	–19,2
R_1	6,4
R_2	6,4
R_3	1,28
R_4	3,2
R_5	0,768
R_6	0,576
R_7	0,576
$\sum P$	0

Príklad 5 V obvode na obr. 5 vypočítajte všetky prúdy.

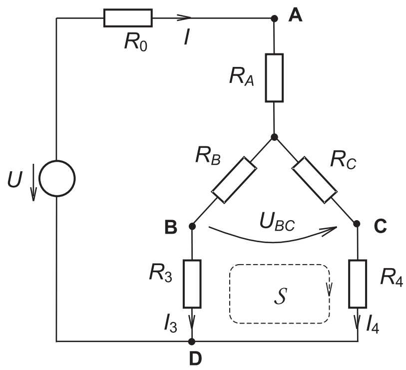


Obr. 5.

$U = 35\text{V}$, $R_0 = 10\Omega$, $R_1 = 25\Omega$, $R_2 = 50\Omega$, $R_3 = 20\Omega$, $R_4 = 10\Omega$, $R_5 = 50\Omega$.

Riešenie.

Žiadne rezistory v zadanej sieti nie sú zapojené navzájom ani sériovo, ani paralelne. Sieť však obsahuje tri odporové hviezdy - $R_0 - R_1 - R_2$, $R_1 - R_3 - R_5$, $R_2 - R_4 - R_5$ a dva odporové trojuholníky $R_1 - R_2 - R_5$ a $R_3 - R_4 - R_5$. Skúsme transfigurovať niektorý trojuholník na hviezdu, napríklad $R_1 - R_2 - R_5$. Obvod po transfigurácii je na obr. a. Pretože sme použili ekvivalentnú hviezdu, ostatné napätia a prúdy vo zvyšku siete (U_{AB}, I, I_3, I_4) sa nezmenili. Prúdy I_1, I_2 a I_5 ale v takejto zmenej sieti nenájdeme, pretože sa v nej nenachádzajú prvky, ktorými tiekli! Výhodou ale je, že máme sériovo-paralelnú odporovú sieť, ktorú už vieme zjednodušiť.



Obr. a.

Rezistory ekvivalentnej hviezdy R_A, R_B a R_C určíme pomocou transfiguračných vzťahov (2.17)

$$R_A = \frac{R_1.R_2}{R_1 + R_2 + R_5} = 10\Omega,$$

$$R_B = \frac{R_5.R_1}{R_1 + R_2 + R_5} = 10\Omega,$$

$$R_C = \frac{R_2.R_5}{R_1 + R_2 + R_5} = 20\Omega.$$

Vypočítame celkový odpor siete R vzhľadom na zdroj napätia

$$R = R_0 + R_A + \frac{(R_B + R_3).(R_C + R_4)}{R_B + R_3 + R_C + R_4} = 35\Omega$$

a celkový prúd I získame pomocou Ohmovho zákona

$$I = \frac{U}{R} = 1\text{A}.$$

Prúd I_3 môžeme vypočítať pomocou vzťahu pre delič prúdu (2.13)

$$I_3 = I \cdot \frac{R_C + R_4}{R_B + R_3 + R_C + R_4} = 0,5\text{A},$$

prúd druhým ramenom deliča I_4 už môžeme určiť pomocou 2. Kirchhoffovho zákona

$$I_4 = I - I_3 = 0,5\text{A}$$

V transfigurovanej vypočítame napätie U_{BC} – napíšeme rovnicu 2. Kirchhoffovho zákona pre slučku $\mathcal{S}$

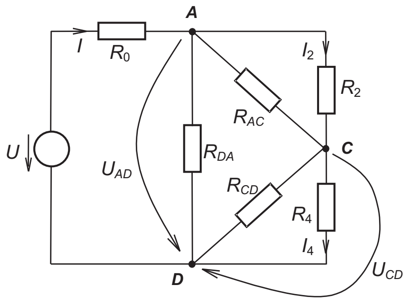
$$U_{BC} = R_3.I_3 - R_4.I_4 = 5\text{V}$$

Zvyšné prúdy vypočítame pomocou 1. Kirchhoffovho zákona pre uzly **B** a **A**

$$I_1 = I_3 + I_5 = 0,6\text{A},$$

$$I_2 = I - I_1 = 0,4\text{A}.$$

Nájdime v obvode riešenie aj iným spôsobom – opačnou transfiguráciou. Skúsime vypočítať prúdy v sieti tak, že nahradíme niektorú odporovú hviezdu trojuholníkom. Transfigurujme napríklad hviezdu R_A–R_C–R_D (obr. b).



Obr. b.

Rezistory ekvivalentného trojuholníka R_{AC}, R_{CD} a R_{DA} určíme pomocou transfiguračných vzťahov (2.18).

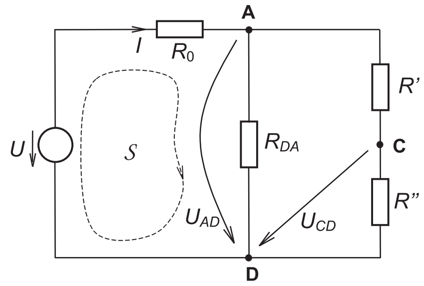
$$R_{AC} = R_5 + R_1 + \frac{R_5.R_1}{R_3} = 137,5\Omega,$$

$$R_{CD} = R_3 + R_5 + \frac{R_3.R_5}{R_1} = 110\Omega,$$

$$R_{DA} = R_1 + R_3 + \frac{R_1.R_3}{R_5} = 55\Omega.$$

Znova sme dostali sériovo-paralelný obvod. Pre vyššiu prehľadnosť zlúčime paralelné dvojice rezistorov R_2–R_{AC} a R_4–R_{CD} (obr. c)

$$R' = \frac{R_{AC}.R_2}{R_{AC} + R_2} = \frac{110}{3}\Omega; \quad R'' = \frac{R_{CD}.R_4}{R_{CD} + R_4} = \frac{55}{6}\Omega.$$



Obr. c.

Vypočítame celkový odpor R siete vzhľadom na zdroj napätia

$$R = R_0 + \frac{R_{DA}.(R' + R'')}{R_{DA} + R' + R''} = 35\Omega$$

a z Ohmovho zákona celkový prúd I

$$I = \frac{U}{R} = 0,5\text{A}.$$

Napíšeme rovnicu 2. Kirchhoffovho zákona pre slučku $\mathcal{S}$

$$U_{AD} - U + R_0.I = 0,$$

odtiaľ

$$U_{AD} = U - R_0.I = 25\text{V}.$$

Pomocou vzťahu pre delič napätia (2.6) získame napätie U_{CD}

$$U_{CD} = \frac{R''}{R' + R''} \cdot U_{AD} = 5\text{V}.$$

To isté napätie U_{CD} je prítomné aj v sieti na obr. b, teda pre prúd I_4 platí

$$I_4 = \frac{U_{CD}}{R_4}$$

Vrátime sa do sieti na obr. b. Pomocou rovnice 2. Kirchhoffovho zákona

$$R_2.I_2 + U_{CD} - U_{AD} = 0$$

získame prúd I_2

$$I_2 = \frac{U_{AD} - U_{CD}}{R_2} = 0,4\text{A}.$$

Ostatné prúdy vypočítame pomocou 1. Kirchhoffovho zákona (obr. b)

$$I_1 = I - I_2 = 0,6\text{A}, \quad I_3 = I - I_4 = 0,5\text{A}, \quad I_5 = I_1 - I_3 = 0,1\text{A}.$$

Vidíme, že v prípade obidvoch transfigurácií sa podarilo pretvoriť sieť na sériovo–paralelnú. Transfigurácia trojuholníka na hviezdu (obr. a) však viedla na jednoduchšiu sieť. Obvod, ktorý sme dostali po úprave, mal menší počet úsekov.