

Vysoké učení technické v Brně

Fakulta informačních technologií
Elektronika pro informační technologie
2018 / 2019

Semestrální projekt

Obsah

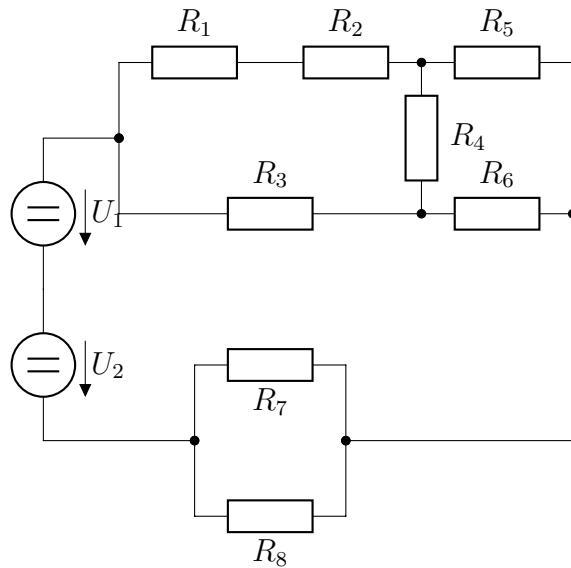
1	Příklad č. 1	2
1.1	Zadání	2
1.2	Řešení	2
2	Příklad č. 2	5
2.1	Zadání	5
2.2	Řešení	5
3	Příklad č. 3	7
3.1	Zadání	7
3.2	Řešení	7
4	Příklad č. 4	10
4.1	Zadání	10
4.2	Řešení	10
5	Příklad č. 5	12
5.1	Zadání	12
5.2	Řešení	12
6	Výsledky	14

1 Příklad č. 1

1.1 Zadání

Stanovte napětí U_{R_3} a proud I_{R_3} . Použijte metodu postupného zjednodušování obvodu.

sk.	U_1 [V]	U_2 [V]	R_1 [Ω]	R_2 [Ω]	R_3 [Ω]	R_4 [Ω]	R_5 [Ω]	R_6 [Ω]	R_7 [Ω]	R_8 [Ω]
G	130	60	380	420	330	440	450	650	410	275



1.2 Řešení

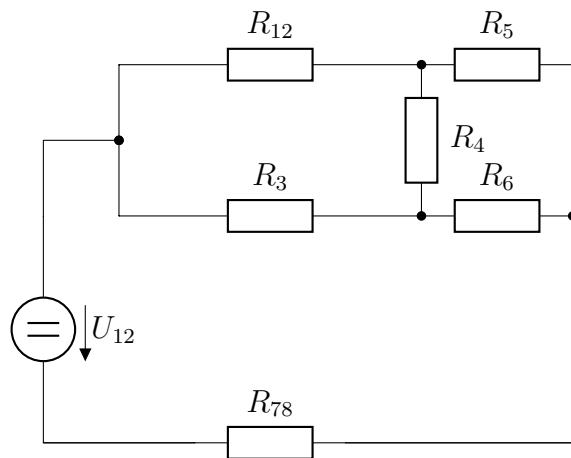
Vypočítame odpory $R_{12} = R_1 + R_2$ a $R_{78} = R_7 \parallel R_8$:

$$R_{12} = R_1 + R_2 = 380 + 420 = 800 \Omega$$

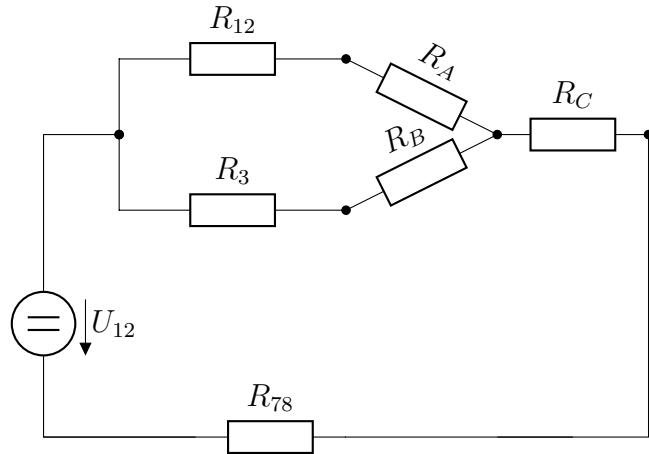
$$R_{78} = \frac{R_7 * R_8}{R_7 + R_8} = \frac{410 * 275}{410 + 275} = \frac{22550}{137} \Omega$$

Spočítame celkové napätie:

$$U_{12} = U_1 + U_2 = 130 + 60 = 190V$$



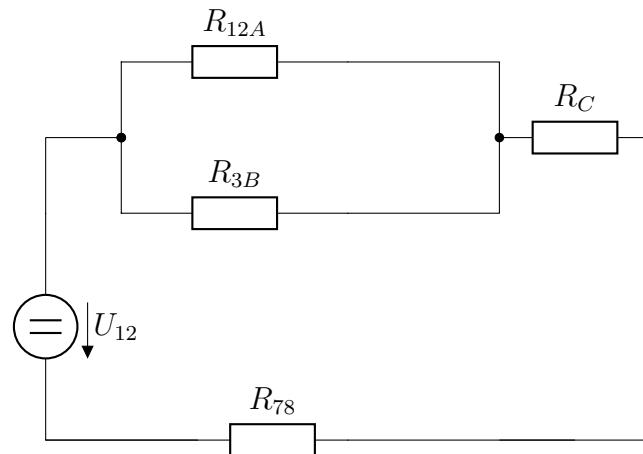
Trojuholník $R_4R_5R_6$ prevedieme na hviezdu:



$$R_A = \frac{R_4 * R_5}{R_4 + R_5 + R_6} \quad R_B = \frac{R_4 * R_6}{R_4 + R_5 + R_6} \quad R_C = \frac{R_5 * R_6}{R_4 + R_5 + R_6}$$

$$R_A = \frac{198000}{1540} \Omega \quad R_B = \frac{286000}{1540} \Omega \quad R_C = \frac{292500}{1540} \Omega$$

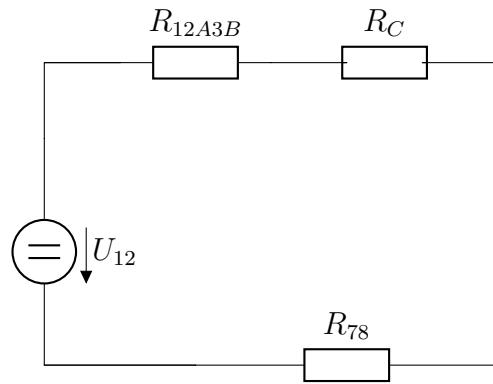
Spočítame odpor $R_{12} + R_A$ a $R_3 + R_B$:



$$R_{12A} = 800 + \frac{198000}{1540} \Omega \quad R_{3B} = 330 + \frac{286000}{1540} \Omega$$

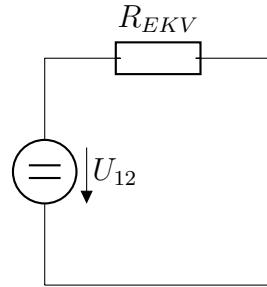
$$R_{12A} = \frac{1430000}{1540} = \frac{6500}{7} \Omega \quad R_{3B} = \frac{794200}{1540} = \frac{3610}{7} \Omega$$

Spočítame odpor $R_{12A} \parallel R_{3B}$:



$$R_{12A3B} = \frac{R_{12A} * R_{3B}}{R_{12A} + R_{3B}} = \frac{\frac{6500}{7} * \frac{3610}{7}}{\frac{6500}{7} + \frac{3610}{7}} = \frac{2346500}{7077} \Omega$$

Spočítame celkový odpor R_{EKV} :



$$R_{EKV} = R_{12A3B} + R_C + R_{78}$$

$$R_{EKV} = \frac{2346500}{7077} + \frac{14625}{77} + \frac{22550}{137} \approx 686.1007 \Omega$$

Prúd vypočítame ako:

$$I = \frac{U_{12}}{R_{EKV}} \approx 0.2769 \text{ A}$$

Následne napätie na R_{12A3B} :

$$U_{R12A3B} = R_{12A3B} * I \approx 91.8200 \text{ V}$$

Prúd na I_{3B} :

$$I_{3B} = \frac{U_{R12A3B}}{R_{3B}} \approx 0.1780 \text{ A}$$

Prúd a napätie na R_3 :

$$I_{R3} = I_{3B} \approx 0.1780 \text{ A}$$

$$U_{R3} = R_3 * I_{R3} \approx 58.7546 \text{ V}$$

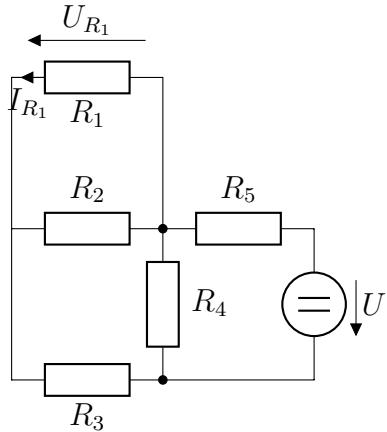
2 Příklad č. 2

2.1 Zadání

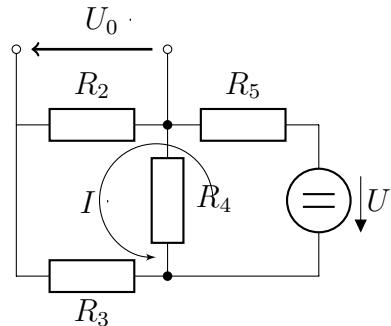
Stanovte napětí U_{R_1} a proud I_{R_1} .

Použijte metodu Théveninovy věty.

sk.	U [V]	R_1 [Ω]	R_2 [Ω]	R_3 [Ω]	R_4 [Ω]	R_5 [Ω]
G	180	250	315	615	180	460



2.2 Řešení



Vypočítame R_i :

$$R_i = \frac{\left(\frac{R_4 * R_5}{R_4 + R_5} + R_3\right) * R_2}{\left(\frac{R_4 * R_5}{R_4 + R_5} + R_3\right) + R_2} = \frac{25011}{113} \Omega$$

Vypočítame celkový odpor R_{cel} :

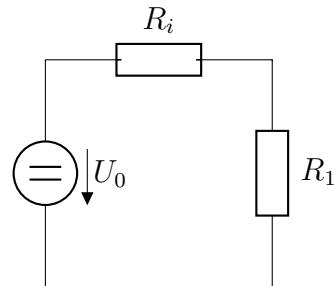
$$R_{cel} = \frac{(R_2 + R_3) * R_4}{R_2 + R_3 + R_4} = \frac{22600}{37} \Omega$$

Průd I v obvode:

$$I = \frac{U}{R_{cel}} = \frac{333}{1130} A$$

Ďalej vypočítame U_0 :

$$U_0 = R_2 * \frac{U - I * R_5}{R_2 + R_3} = \frac{1701}{113} V$$



Prúd a napätie na R_1 :

$$I_{R1} = \frac{U_0}{R_i + R_1} = \frac{1701}{53261} \approx 0.0319 A$$

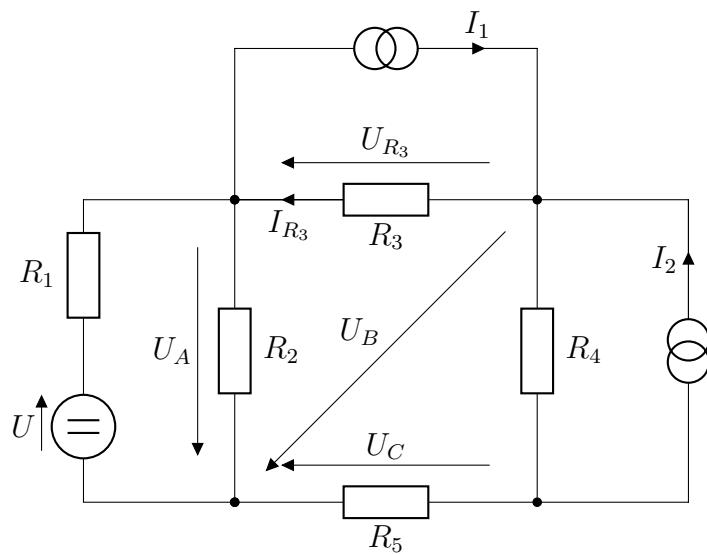
$$U_{R1} = I_{R1} * R_1 = \frac{425250}{53261} \approx 7.9843 V$$

3 Příklad č. 3

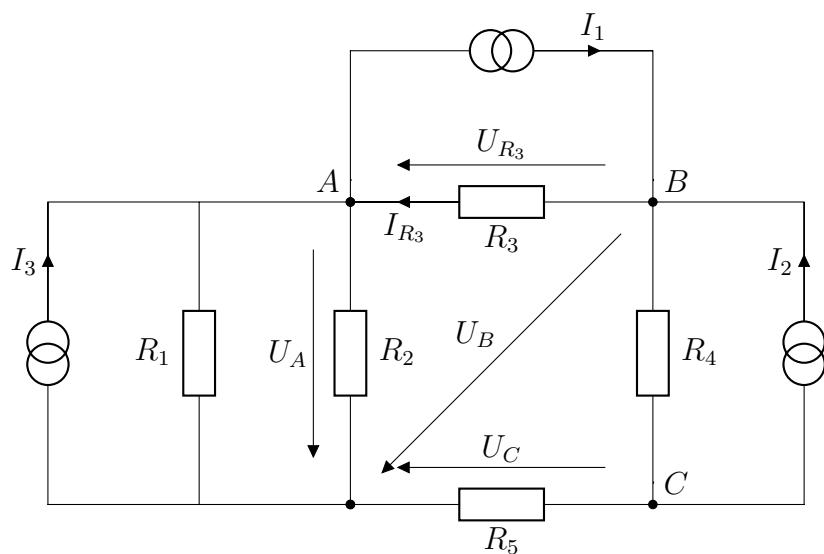
3.1 Zadání

Stanovte napětí U_{R_3} a proud I_{R_3} . Použijte metodu uzlových napětí (U_A , U_B , U_C).

sk.	U [V]	I_1 [A]	I_2 [A]	R_1 [Ω]	R_2 [Ω]	R_3 [Ω]	R_4 [Ω]	R_5 [Ω]
F	145	0.75	0.85	48	44	53	36	25



3.2 Řešení



$$I_3 = \frac{U}{R_1} = \frac{145}{48} A$$

Vodivosti:

$$\begin{aligned}
G_1 &= \frac{1}{R_1} = \frac{1}{48} S \\
G_2 &= \frac{1}{R_2} = \frac{1}{44} S \\
G_3 &= \frac{1}{R_3} = \frac{1}{53} S \\
G_4 &= \frac{1}{R_4} = \frac{1}{36} S \\
G_5 &= \frac{1}{R_5} = \frac{1}{25} S
\end{aligned}$$

Rovnice uzlov:

$$\begin{aligned}
A : -(I_3 - I_{R1}) + I_1 - I_{R3} + I_{R2} &= 0 \\
-I_3 + G_1 U_A + I_1 - G_3(U_B - U_A) + G_2 U_2 &= 0 \\
U_A(G_1 + G_2 + G_3) - U_B(G_3) &= I_3 - I_1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
B : -I_1 - I_2 + I_{R3} + I_{R4} &= 0 \\
-I_1 - I_2 + G_3(U_B - U_A) + G_4(U_B - U_C) &= 0 \\
-U_A(G_3) + U_B(G_3 + G_4) - U_C(G_4) &= I_1 + I_2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C : I_2 + I_{R5} - I_{R4} &= 0 \\
I_2 + G_5 U_C - G_4(U_B - U_C) &= 0 \\
-U_B(G_4) + U_C(G_4 + G_5) &= -I_2
\end{aligned}$$

Prevod na matice:

$$\begin{pmatrix} G_1 + G_2 + G_3 & -G_3 & 0 \\ -G_3 & G_3 + G_4 & -G_4 \\ 0 & -G_4 & G_4 + G_5 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} U_A \\ U_B \\ U_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_3 - I_1 \\ I_1 + I_2 \\ -I_2 \end{pmatrix}$$

Výpočet determinantov:

$$\Delta = \begin{pmatrix} \frac{1747}{27984} & -\frac{1}{53} & 0 \\ \frac{89}{1908} & \frac{89}{1908} & -\frac{1}{36} \\ 0 & -\frac{1}{36} & \frac{61}{900} \end{pmatrix} =$$

$$\left(\frac{1747}{27984} * \frac{89}{1908} * \frac{61}{900} \right) - \left(\frac{-1}{36} * \frac{-1}{36} * \frac{1747}{27984} \right) - \left(\frac{61}{900} * \frac{-1}{53} * \frac{-1}{53} \right) = \frac{7}{55968}$$

$$\Delta A = \begin{pmatrix} I_3 - I_1 & -G_3 & 0 \\ I_1 + I_2 & G_3 + G_4 & -G_4 \\ -I_2 & -G_4 & G_4 + G_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{145}{48} - 0.75 & -\frac{1}{53} & 0 \\ 1.6 & \frac{89}{1908} & -\frac{1}{36} \\ -0.85 & -\frac{1}{36} & \frac{61}{900} \end{pmatrix} =$$

$$\left(\frac{109}{48} * \frac{89}{1908} * \frac{61}{900} \right) + \left(\frac{-1}{53} * \frac{-1}{36} * \frac{-17}{20} \right) - \left(\frac{-1}{36} * \frac{-1}{36} * \frac{109}{48} \right) - \left(\frac{61}{900} * \frac{-1}{53} * \frac{8}{5} \right) = \frac{253}{36000} \approx 0.0070$$

$$\Delta B = \begin{pmatrix} G_1 + G_2 + G_3 & I_3 - I_1 & 0 \\ -G_3 & I_1 + I_2 & -G_4 \\ 0 & -I_2 & G_4 + G_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1747}{27984} & \frac{145}{48} - 0.75 & 0 \\ -\frac{1}{53} & 1.6 & -\frac{1}{36} \\ 0 & -0.85 & \frac{61}{900} \end{pmatrix} =$$

$$= \left(\frac{1747}{27984} * \frac{8}{5} * \frac{61}{900} \right) - \left(\frac{-1}{36} * \frac{-17}{20} * \frac{1747}{27984} \right) - \left(\frac{61}{900} * \frac{109}{48} * \frac{-1}{53} \right) = \frac{77933}{9504000} \approx 0.0082$$

Výpočet napäťí U_A a U_B :

$$U_A = \frac{\Delta A}{\Delta} = \frac{\frac{253}{36000}}{\frac{7}{55968}} = \frac{147499}{2625} \approx 56.1901 V$$

$$U_B = \frac{\Delta B}{\Delta} = \frac{\frac{77933}{9504000}}{\frac{7}{55968}} = \frac{4130449}{63000} \approx 65.5627 V$$

Napätie a prúd na R_3 :

$$U_{R3} = U_B - U_A = \frac{4130449}{63000} - \frac{147499}{2625} = \frac{590473}{63000} \approx 9.3729 V$$

$$I_{R3} = \frac{U_{R3}}{R_3} = \frac{\frac{590473}{63000}}{53} \approx 0.1768 A$$

4 Příklad č. 4

4.1 Zadání

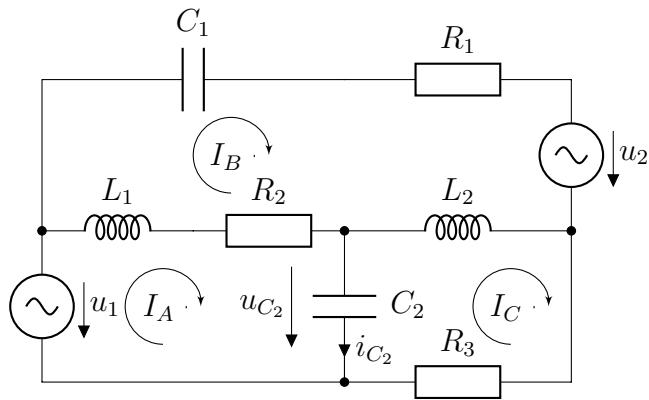
Pro napájecí napětí platí: $u_1 = U_1 \cdot \sin(2\pi ft)$, $u_2 = U_2 \cdot \sin(2\pi ft)$.

Ve vztahu pro napětí $u_{C_2} = U_{C_2} \cdot \sin(2\pi ft + \phi_{C_2})$ určete $|U_{C_2}|$ a φ_{C_2} .

Použijte metodu smyčkových proudů.

Pomocné směry šipek napájecích zprojektujte pro speciální časový okamžik ($t = \frac{\pi}{2\omega}$).

sk.	U_1 [V]	U_2 [V]	R_1 [Ω]	R_2 [Ω]	R_3 [Ω]	L_1 [mH]	L_2 [mH]	C_1 [μF]	C_2 [μF]	f [Hz]
G	55	50	13	12	11	140	60	160	80	60



4.2 Řešení

$$\omega = 2\pi f = 2\pi 60 = 120\pi \approx 376,9911 \text{ rad/s}$$

Impedancie:

$$Z_{L1} = j * \omega * (L_1 * 10^{-3}) = j120\pi * 0,14 \approx j52,7788 \Omega$$

$$Z_{L2} = j * \omega * (L_2 * 10^{-3}) = j120\pi * 0,06 \approx j26,6195 \Omega$$

$$Z_{C1} = \frac{-j}{(C_1 * 10^{-6}) * \omega} = -\frac{j625}{12\pi} \approx -j16,5786 \Omega$$

$$Z_{C2} = \frac{-j}{(C_2 * 10^{-6}) * \omega} = -\frac{j625}{6\pi} \approx -j33,1573 \Omega$$

Rovnice smyčkových prúdov:

$$\text{A : } I_A(Z_{L1} + Z_{C2} + R_2) - I_B(Z_{L1} + R_2) - I_C(Z_{C2}) = u_1$$

$$\text{B : } -I_A(Z_{L1} + R_2) + I_B(Z_{L1} + Z_{L2} + Z_{C1} + R_1 + R_2) - I_C(Z_{L2}) = -u_2$$

$$\text{C : } -I_A(Z_{C2}) - I_B(Z_{L2}) + I_C(Z_{C2} + Z_{L2} + R_3) = 0$$

Prevedenie do matice:

$$\begin{pmatrix} Z_{L1} + Z_{C2} + R_2 & -(Z_{L1} + R_2) & -(Z_{C2}) \\ -(Z_{L1} + R_2) & Z_{L1} + Z_{L2} + Z_{C1} + R_1 + R_2 & -(Z_{L2}) \\ -(Z_{C2}) & -(Z_{L2}) & Z_{C2} + Z_{L2} + R_3 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_1 \\ -u_2 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix}
j19, 6215 + 12 & -(j52, 7788 + 12) & j33, 1573 \\
-(j52, 7788 + 12) & j58, 8196 + 25 & -j22, 6195 \\
j33, 1573 & -j22, 6195 & -j10, 5378 + 11
\end{pmatrix} * \begin{pmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 55 \\ -50 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\left(\begin{array}{ccc|c}
1 & -j0.7521 - 2.2299 & j0.7521 + 1.2299 & -j2.0400 + 1.2476 \\
-(j52, 7788 + 12) & j58, 8196 + 25 & -j22, 6195 & -50 \\
j33, 1573 & -j22, 6195 & -j10, 5378 + 11 & 0
\end{array} \right) =$$

$$\left(\begin{array}{ccc|c}
1 & -j0.7521 - 2.2299 & j0.7521 + 1.2299 & -j2.0400 + 1.2476 \\
0 & 1 & j0.0419 - 0.7324 & j1.0748 - 0.0087 \\
0 & j51.3164 - 24.9391 & -j51.3164 + 35.9391 & -j41.3680 - 67.6419
\end{array} \right) =$$

$$\left(\begin{array}{ccc|c}
1 & 0 & j0.7521 + 1.2299 & j0.3500 + 0.4198 \\
0 & 1 & j0.0419 - 0.7324 & j1.0748 - 0.0087 \\
0 & 0 & 1 & -j0.7961 - 0.1314
\end{array} \right) =$$

$$\left(\begin{array}{ccc}
1 & 0 & 0 \\
0 & 1 & 0 \\
0 & 0 & 1
\end{array} \right)$$

Smyčkové prúdy:

$$I_A = j0.0426 + 0.1280 \text{ A}$$

$$I_B = j0.4972 - 0.1383 \text{ A}$$

$$I_C = -j0.7961 - 0.1314 \text{ A}$$

Prúd, napätie a fáza C_2 :

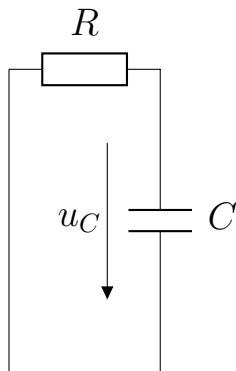
$$\begin{aligned}
I_{C2} &= I_A - I_C = j0,8387 + 0,2593 \text{ A} \\
U_{C2} &= I_{C2} * Z_{C2} = -j8,5977 + 27,8090 \text{ V} \\
|U_{C2}| &= \sqrt{(27,8090)^2 + (-8,5977)^2} = 29,1077 \text{ V} \\
\varphi_{C2} &= \arctg\left(\frac{27,8094}{-8,6003}\right) = \arctg(-3.2345) = 107,1798^\circ
\end{aligned}$$

5 Příklad č. 5

5.1 Zadání

Sestavte diferenciální rovnici popisující chování obvodu na obrázku, dále ji upravte dosazením hodnot parametrů. Vypočítejte analytické řešení $u_C = f(t)$. Proveďte kontrolu výpočtu dosazením do sestavené diferenciální rovnice.

sk.	C [F]	R [Ω]	$u_C(0)$ [V]
G	50	25	3



5.2 Řešení

$$1) i = \frac{U_R}{R} \quad i = i_C = i_R$$

$$2) U_R + u_C = 0$$

$$3) u'_C = \frac{1}{C} * i_C$$

Dosadíme 1) do 3):

$$a) u'_C = \frac{1}{C} * i = \frac{1}{C} * \frac{U_R}{R} = \frac{U_R}{RC}$$

$$b) U_R = -u_C$$

Dosadíme b) do a):

$$u'_C = -\frac{u_C}{RC}$$

$$u'_C + \frac{u_C}{RC} = 0$$

Očakávané riešenie:

$$u_C(t) = k(t) * e^{\lambda t}$$

λ charakteristická rovnica:

$$\begin{aligned} u'_C + \frac{u_C}{RC} &= 0 \\ \lambda + \frac{1}{RC} &= 0 \\ \lambda &= -\frac{1}{RC} \end{aligned}$$

Derivujeme:

$$\begin{aligned} u_C &= K(t) * e^{-\frac{1}{RC}*t} \\ u'_C &= K'(t) * e^{-\frac{t}{RC}} + K(t) * e^{-\frac{t}{RC}} * \left(-\frac{1}{RC}\right) \\ u'_C + \frac{u_C}{RC} &= 0 \\ K'(t) * e^{-\frac{t}{RC}} + K(t) * e^{-\frac{t}{RC}} * \left(-\frac{1}{RC}\right) + \frac{1}{RC} * K(t) * e^{-\frac{1}{RC}*t} &= 0 \\ K'(t) * e^{-\frac{t}{RC}} &= 0 \\ K'(t) &= 0 \end{aligned}$$

Integrujeme:

$$\begin{aligned} K'(t) &= 0 \\ K(t) &= k \end{aligned}$$

Dosadíme do očakávaného vzorca:

$$u_C = k * e^{-\frac{1}{RC}*t}$$

Dosadíme počiatočné napätie:

$$\begin{aligned} u_C(t) &= u_C(0) \\ u_C(0) &= k * e^{-\frac{1}{RC}*t} \\ u_C(0) &= k * e^0 \\ u_C(0) &= k \\ k &= u_C(0) \end{aligned}$$

Riešenie:

$$u_C(t) = 3 * e^{-\frac{t}{1250}}$$

6 Výsledky

Úloha	Skupina	Výsledek
1	G	$U_{R_3} = 58.7546 \text{ V}$ $I_{R_3} = 0.1780 \text{ A}$
2	G	$U_{R_1} = 7.9843 \text{ V}$ $I_{R_1} = 0.0319 \text{ A}$
3	F	$U_{R_3} = 9.3729 \text{ V}$ $I_{R_3} = 0.1768 \text{ A}$
4	G	$ U_{C_2} = 29,1077 \text{ V}$ $\varphi_{C_2} = 107,1798^\circ$
5	G	$u_C(t) = 3 * e^{-\frac{t}{1250}}$