



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
Fakulta informačních technologií

ELEKTRONIKA PRO INFORMAČNÍ  
TECHNOLOGIE

2019/2020

**Semestrální projekt**

Pavel Šesták (xsesta07)

Brno, 2. února 2020

# Obsah

1	První příklad	3
2	Druhý příklad	8
3	Třetí příklad	11
4	Čtvrtý příklad	14
5	Pátý příklad	16

## Zadání projektu

Zadání semestrálního projektu IEL 2019/20 Vypracujte protokol, který bude obsahovat postup výpočtu, výsledky, Vaše jméno a login. V závěru protokolu uveďte přehlednou tabulku s čísly úloh, Vašimi variantami zadání a výsledky (za chybějící tabulku bude BODOVÁ SRÁŽKA!!!). Tento protokol se odevzdává ve formátu PDF a zdrojový soubor v TEXu (zabalený v zipu, pojmenovaný podle loginu, např. xnovak00.zip). Odevzdání zdrojového programu v TEXu není povinné, ale bude garantovi předmětu sloužit při případném rozhodování o korekci výsledného hodnocení. Veškeré výpočty provádějte v obecném tvaru a číselné hodnoty dosad'te až do výsledných vzorců. Z vypracovaného projektu musí být zřejmý obecný postup výpočtu. Výsledky uvádějte na 4 platná desetinná místa. Dbejte na správný převod jednotek úhlů (radiány na stupně - pozor na kvadrant u komplexního čísla!!!). Za protokol je možné získat max. 12 bodů v závislosti na věcné správnosti postupu výpočtu a estetických kvalitách protokolu (9 bodů za správné řešení a 3 body za zpracování). Pro získání zápočtu v předmětu IEL je zapotřebí získat ze semestrálního projektu MINIMALNĚ 3 BODY!!! Protokol odevzdejte do 21. 12. 2019 prostřednictvím IS FIT (maximální velikost souboru je nastavena na 2MB). Projekty odevzdané po tomto termínu nebudou hodnoceny. Důležité upozornění: Projekty do předmětu IEL má plně v kompetenci pouze a jedině Dr. Václav Sátek (satek@fit.vut.cz). Neobtěžujte svými dotazy na projekt jiné vyučující.

# 1 První příklad

## Zadání

Stanovte napětí  $U_{R5}$  a proud  $I_{R5}$ .

Použijte metodu postupného zjednodušování obvodu.

### Hodnoty pro variantu F

$$U_1 = 125 \text{ V}$$

$$U_2 = 65 \text{ V}$$

$$R_1 = 510 \text{ } \Omega$$

$$R_2 = 500 \text{ } \Omega$$

$$R_3 = 550 \text{ } \Omega$$

$$R_4 = 250 \text{ } \Omega$$

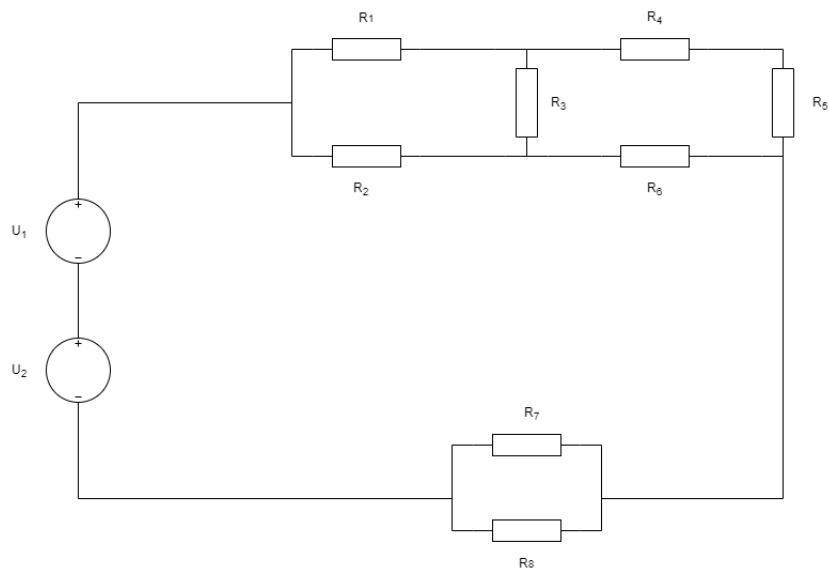
$$R_5 = 300 \text{ } \Omega$$

$$R_6 = 800 \text{ } \Omega$$

$$R_7 = 330 \text{ } \Omega$$

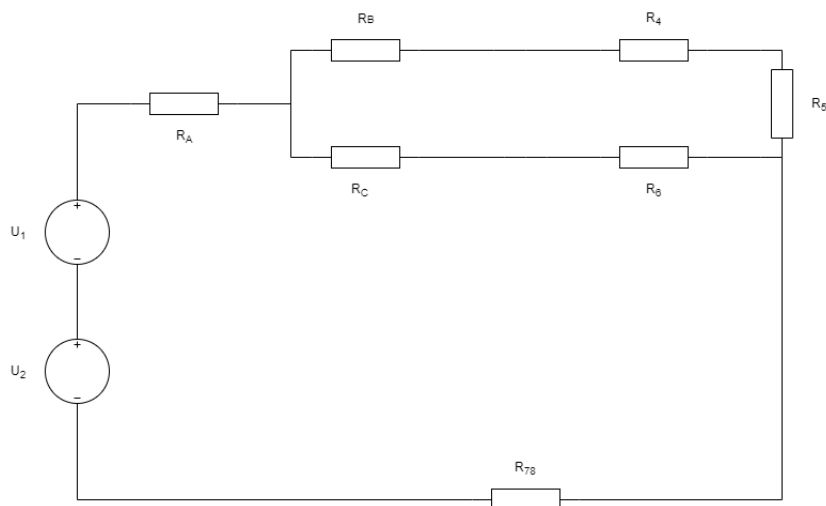
$$R_8 = 250 \text{ } \Omega$$

### Schéma



### Řešení pomocí zjednodušování obvodu

1. Zavedeme z důvodu převedení trojúhelníkového zapojení na hvězdu odpory  $R_A$ ,  $R_B$  a  $R_C$ , které vychází z odporů  $R_1$ ,  $R_2$  a  $R_3$ . Zároveň můžeme zavést  $R_{78}$ , který vypočítáme pomocí vzorce pro celkový odpor u rezistorů s paralelním zapojením.



$$R_A = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_B = \frac{R_1 * R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_C = \frac{R_2 * R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_{78} = \frac{R_7 * R_8}{R_7 + R_8}$$

Po dosazení:

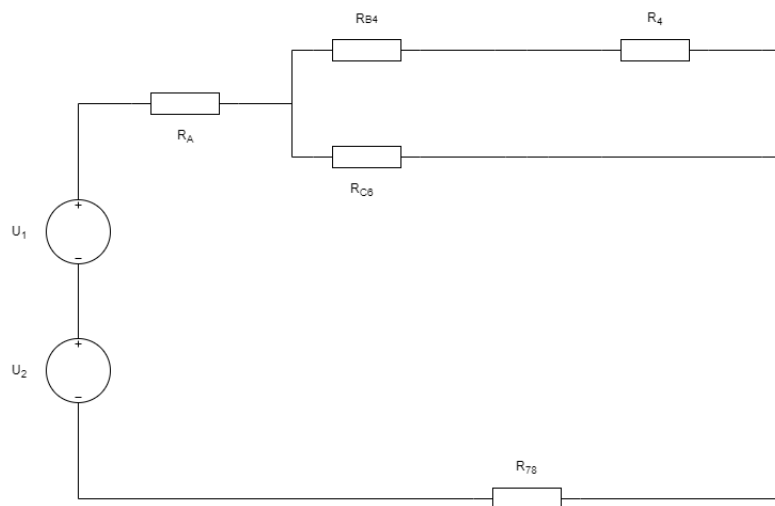
$$R_A = \frac{510 * 500}{510 + 500 + 550} = 163.4615 \Omega$$

$$R_B = \frac{510 * 550}{510 + 500 + 550} = 179.8077 \Omega$$

$$R_C = \frac{500 * 550}{510 + 500 + 550} = 176.2821 \Omega$$

$$R_{78} = \frac{330 * 250}{330 + 250} = 142.2414 \Omega$$

2. Zavedeme  $R_{B4}$  s ekvivalentním odporem k součtu odporů  $R_B$  a  $R_4$ .  
Následně zavedeme  $R_{C6}$  s ekvivalentním odporem k součtu odporů  $R_C$  a  $R_6$ .



$$R_{B4} = R_B + R_4$$

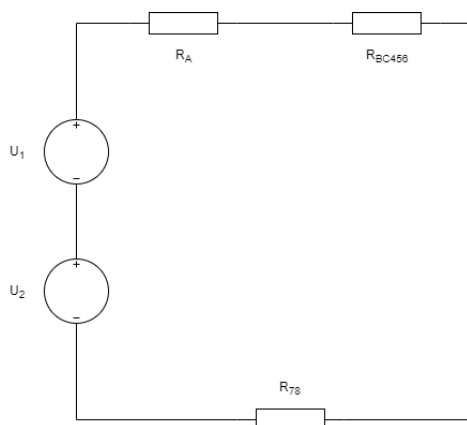
$$R_{C6} = R_C + R_6$$

Po dosazení:

$$R_{B4} = 179.8077 + 250 = 429.8077 \, \Omega$$

$$R_{C6} = 176.2821 + 800 = 976.2821 \, \Omega$$

3. Zavedeme  $R_{BC456}$ , který vypočítáme pomocí vzorce pro výpočet celkového odporu v paralelním zapojení.



$$R_{B45} = R_{B4} + R_5$$

$$R_{BC456} = \frac{R_{B45} * R_{C6}}{R_{B45} + R_{C6}}$$

po dosazení:

$$R_{B45} = 429.8077 + 300 = 729.8077$$

$$R_{BC456} = \frac{729.8077 * 976.2821}{729.8077 + 976.2821} = 417.6206 \Omega$$

4. Zavedeme  $R_{ekv}$ , který bude ekvivalentní k odporu celého obvodu. Následně můžeme zjednodušit zdroje.



$$R_{ekv} = R_A + R_{BC456} + R_{78}$$

$$U = U_1 + U_2$$

po dosazení:

$$U = 125 + 65 = 190 \text{ V}$$

$$R_{ekv} = 163.4615 + 417.6206 + 142.2414 = 723.3235 \Omega$$

5. Z celkového odporu můžeme vyjádřit celkový proud. Podle II. Kirchhoffova zákona se na sériově zapojených odporech dělí napětí a proud je ekvivalentní pro oba odpory.

$$I = \frac{U}{R}$$

**Po dosazení:**

$$I = \frac{190}{723.3235} = 0.2627 A$$

6. Výpočet napětí pro  $R_{BC456}$

$$U_{R_{BC456}} = R_{BC456} * I$$

Po dosazení

$$U_{R_{BC456}} = 417.6206 * 0.2627 = 109.7089 V$$

7. Výpočet napětí a proudu pro  $R_5$

$$\frac{U_{R5}}{R5} = \frac{U_{RB4}}{R5}$$

$$I_{R5} = \frac{U_{R5}}{R5}$$

Po dosazení:

$$\frac{429.8077}{300} = \frac{U_{RB4}}{R5}$$

$$U_{R5} = \frac{109.7089}{429.8077+300} = \frac{109.7089}{729.8077} = 45.0977 V$$

$$I_{R5} = \frac{45.0977}{300} = 0.1503257 A$$

Výsledek:

Výsledné napětí na odporu  $R_5$  je rovno 45.0977 voltu a proud je roven 150.3257 mA.

Simulace obvodu: <http://tinyurl.com/y33ewdw4>



## 2 Druhý příklad

### Zadání

Stanovte napětí  $U_{R6}$  a proud  $I_{R6}$ . Použijte metodu Théveninovy věty.

#### Hodnoty pro variantu D

$$U = 150\text{V}$$

$$R_1 = 200\Omega$$

$$R_2 = 200\Omega$$

$$R_3 = 660\Omega$$

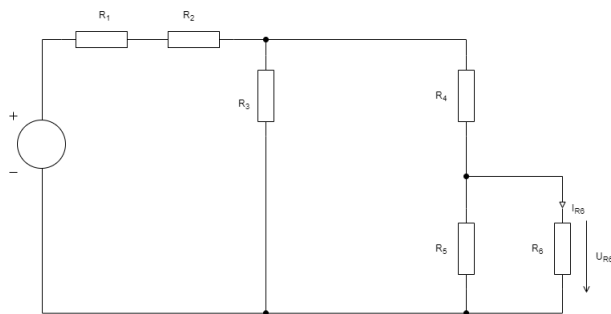
$$R_4 = 200\Omega$$

$$R_5 = 550\Omega$$

$$R_6 = 400\Omega$$

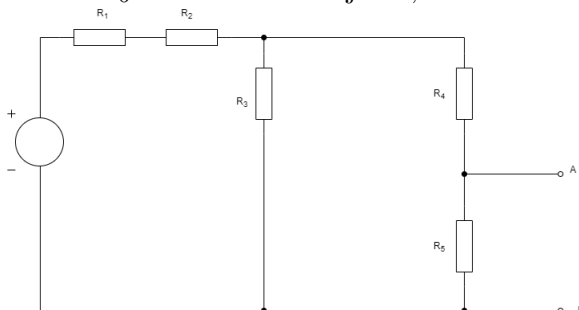
$$I_B = x\text{A}$$

#### Schéma



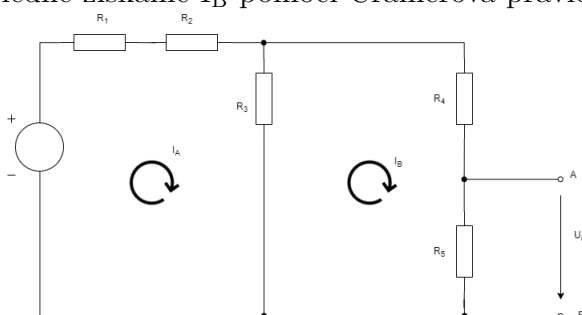
### Řešení pomocí Theveninova teorému

1. Odpojíme z obvodu  $R_6$  a obvod zkratujeme, tím získáme  $R_i$



$$R_i \equiv R_{AB} = \frac{((R_1+R_2)R_3 + R_4)R_5}{((R_1+R_2)R_3 + R_4) + R_5} = \frac{((200+200)660 + 200)550}{((200+200)660 + 200) + 550} = \frac{261800}{1059} \doteq 247.2144\Omega$$

2. Zapojíme obvod naprázdno a vypočítáme napětí mezi svorkami AB, na to budeme potřebovat vypočíst  $I_B$ . Budeme řešit soustavu rovnic sarusovým pravidlem a následně získáme  $I_B$  pomocí Cramerova pravidla.



$$\begin{bmatrix} R_1 + R_2 + R_3 & -R_3 \\ -R_3 & R_3 + R_4 + R_5 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1060 & -660 \\ -660 & 1410 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 150 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Nyní vypočítáme determinanty  $|D|$  a  $|D_{I_B}|$

$$|D| = \begin{vmatrix} 1060 & -660 \\ -660 & 1410 \end{vmatrix} = 1.059.000$$

$$|D_{I_B}| = \begin{vmatrix} 1060 & 150 \\ -660 & 0 \end{vmatrix} = 99.000$$

Nyní můžeme vypočítat  $I_B$

$$I_B = \frac{|D_{I_B}|}{|D|} = \frac{99.000}{1.059.000} = \frac{33}{353} \doteq 0.0935A$$

$$U_i \equiv U_{R5} = I_B R_5 = \frac{33}{353} 550 = \frac{18150}{353} \doteq 51.4164V$$

Nakonec dopočítáme  $I_{R6}$  a  $U_{R6}$  pomocí  $U_i$

$$I_{R6} = \frac{U_i}{R_i + R_6} = \frac{\frac{18150}{353}}{\frac{261800}{1059} + 400} = \frac{1089}{13708} \doteq 79.4427mA$$

$$U_{R6} = I_{R6} R_6 = \frac{1089}{13708} * 400 = \frac{108900}{3427} \doteq 31.7771V$$

Simulace obvodu: <http://tinyurl.com/ye4rcxhb>

### 3 Třetí příklad

#### Zadání

Stanovte napětí  $U_{R4}$  a proud  $I_{R4}$ . Použijte metodu uzlových napětí ( $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$ ).

#### Hodnoty pro variantu B

$$U = 150 \text{ V}$$

$$I_1 = 0.7 \text{ A}$$

$$I_2 = 0.8 \text{ A}$$

$$R_1 = 49 \, \Omega$$

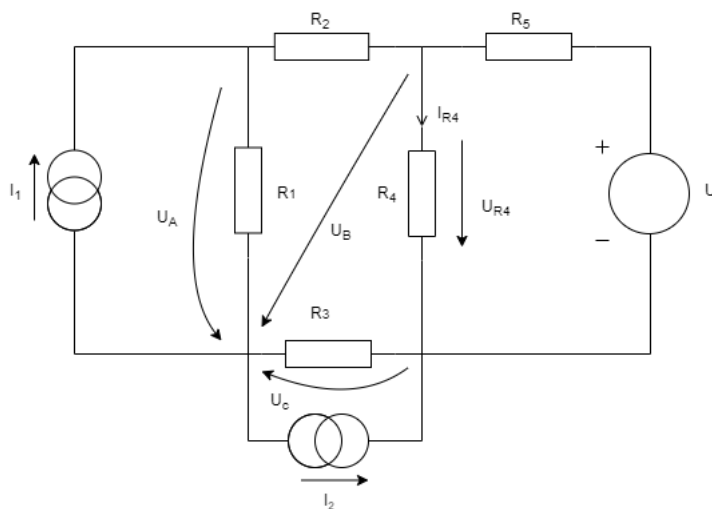
$$R_2 = 45 \, \Omega$$

$$R_3 = 61 \, \Omega$$

$$R_4 = 34 \, \Omega$$

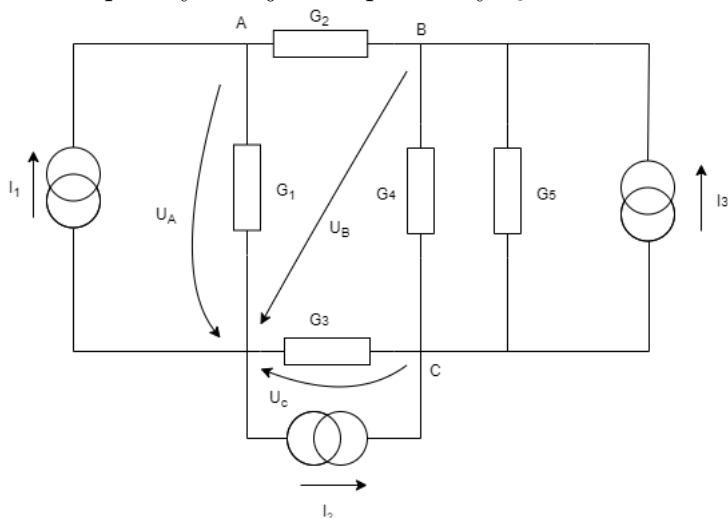
$$R_5 = 34 \, \Omega$$

#### Schéma



### Řešení pomocí metody uzlových napětí

1. Přepočítáme napěťový zdroj  $U$  na proudový  $I_3$  a označíme nezávislé uzly



$$G_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{49} S$$

$$G_2 = \frac{1}{R_2} = \frac{1}{45} S$$

$$G_3 = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{61} S$$

$$G_4 = \frac{1}{R_4} = \frac{1}{34} S$$

$$G_5 = \frac{1}{R_5} = \frac{1}{34} S$$

$$I_3 = \frac{U}{R_5} = \frac{150}{34} = \frac{75}{17} \doteq 4.4118 A$$

2. Sestavíme rovnice pro nezávislé uzly

$$A : I_1 + G_2(U_A - U_B) - G_1 U_A = 0$$

$$B : -I_3 - G_2(U_A - U_B) + G_4(U_B - U_C) + G_5(U_B - U_C) = 0$$

$$C : I_2 + G_4(U_B - U_C) + G_5(U_B - U_C) - G_3 U_C - I_3 = 0$$

3. Vyjádříme proudy z rovnic

$$A : I_1 = U_A(G_1 + G_2) - G_2 U_B$$

$$B : I_3 = U_A(-G_2) + U_B(G_2 + G_4 + G_5) + U_C(-G_4 - G_5)$$

$$C : I_2 - I_3 = U_C(G_3 + G_4 + G_5) + U_B(-G_4 - G_5)$$

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

$$\begin{bmatrix} \frac{94}{2205} & -\frac{1}{45} & 0 \\ -\frac{1}{45} & \frac{62}{765} & -\frac{1}{17} \\ 0 & -\frac{1}{17} & \frac{78}{1037} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_A \\ U_B \\ U_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{7}{10} \\ \frac{75}{17} \\ \frac{8}{10} - \frac{75}{17} \end{bmatrix}$$

$$U_A = \frac{102851}{1720}$$

$$U_B = \frac{71563}{860}$$

$$U_C = \frac{29341}{1720}$$

Nakonec dopočítáme  $I_{R4}$  a  $U_{R4}$  pomocí  $U_B$  a  $U_C$

$$U_{R4} = U_B - U_C = \frac{71563}{860} - \frac{29341}{1720} = \frac{22757}{344} \doteq 66.1541V$$

$$I_{R4} = \frac{U_{R4}}{R_4} = \frac{\frac{22757}{344}}{34} = \frac{22757}{11696} \doteq 1.9457A$$

Simulace obvodu: <http://tinyurl.com/yjoyy2kz>

## 4 Čtvrtý příklad

### 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  $u_{C_2} = U_{C_2} \cdot \sin(2\pi ft + \varphi_{C_2})$  určete  $|U_{C_2}|$  a  $\varphi_{C_2}$ .

**Hodnoty pro variantu F**

$$U_1 = 20 \text{ V}$$

$$U_2 = 35 \text{ V}$$

$$R_1 = 12 \text{ } \Omega$$

$$R_2 = 10 \text{ } \Omega$$

$$L_1 = 170 \text{ mH}$$

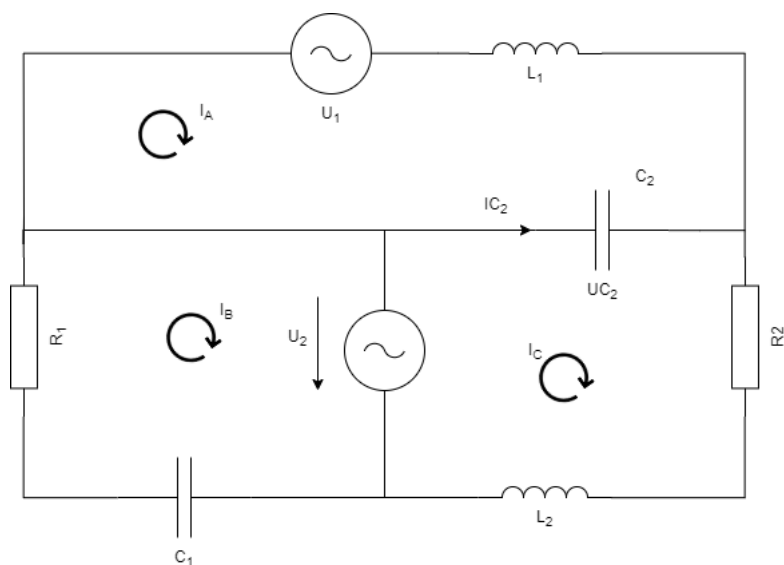
$$L_2 = 80 \text{ mH}$$

$$C_1 = 150 \text{ } \mu\text{F}$$

$$C_2 = 90 \text{ } \mu\text{F}$$

$$f = 65 \text{ Hz}$$

Použijte metodu smyčkových proudů



Výpočet úhlové frekvence  $\omega$ :

$$\omega = 2\pi f = 2\pi 65 = 130\pi \text{ rad/s}$$

Smyčka  $I_B$  neovlivňuje hodnoty  $C_2$ , protože ve smyčce  $I_B$  není  $C_2$  zahrnut.

$$\begin{bmatrix} L_1 + C_2 & -C_2 \\ -C_2 & C_2 + R_2 + L_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_A \\ I_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_1 \\ -U_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \omega L_1 j - \frac{j}{\omega C_2} & \frac{j}{\omega C_2} \\ \frac{j}{\omega C_2} & -\frac{j}{\omega C_2} + R_2 + \omega L_2 j \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_A \\ I_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_1 \\ -U_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 42.2232j & 27.2060j \\ 27.2060j & 10 + 59.8785j \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_A \\ I_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 20 \\ -35 \end{bmatrix}$$

$$I_A = 1.2567 + 1.0423j$$

$$I_C = 1.9504 + 2.3528j$$

$$I_{C_2} = I_C - I_A = (1.9504 + 2.3528j) - (1.2567 + 1.0423j) = 0.6937 + 1.3105jA$$

Výpočet napětí  $U_{C_2}$

$$X_{C_2} = -\frac{1}{\omega C_2}j = -\frac{1}{130\pi \cdot 0.00009}j \doteq -27.2060j\Omega$$

$$U_{C_2} = I_{C_2} \cdot X_{C_2} = (0.6937 + 1.3105j) \cdot -27.2060j \doteq 35.6535 - 18.8728jV$$

Výpočet  $|U_{C_2}|$  a  $\varphi_{C_2}$

$$|U_{C_2}| = \sqrt{\text{Re}(U_{C_2})^2 + \text{Im}(U_{C_2})^2} = \sqrt{(35.6535)^2 + (-18.8728)^2} = 40.3405V$$

$$\varphi_{C_2} = \arctan \frac{\text{Im}(U_{C_2})}{\text{Re}(U_{C_2})} = \arctan \frac{-18.8728}{35.6535} \doteq -0.4868\text{rad} \doteq -27.89^\circ$$

Nacházíme se ve 4tém kvadrantu, je nutné přičíst  $\pi(180^\circ)$

$$\varphi_{C_2} = -27.89^\circ + 180^\circ = 152.11^\circ$$

Simulace obvodu <http://tinyurl.com/su6h47q>



## 5 Pátý příklad

### Zadání

V obvodu na obrázku níže v čase  $t = 0[s]$  sepne spínač S. Sestavte diferenciální rovnici popisující chování obvodu na obrázku, dále ji upravte dosazením hodnot parametrů. Vypočítejte analytické řešení  $u_C = f(t)$ . Proved'te kontrolu výpočtu dosazením do sestavené diferenciální rovnice.

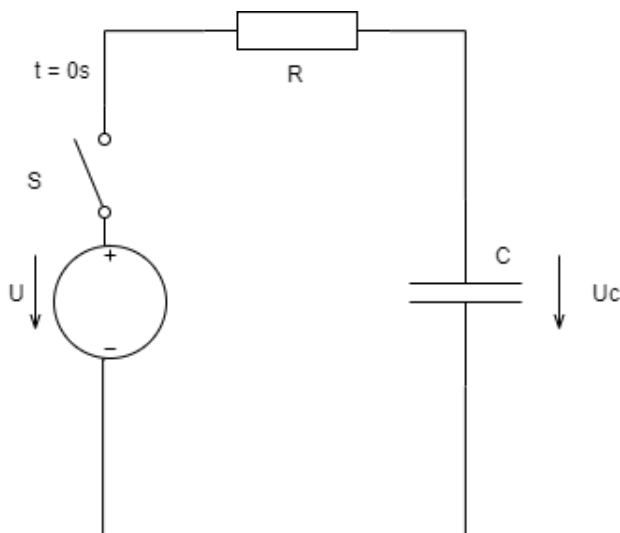
#### Hodnoty pro variantu D

$$U = 25V$$

$$C = 5F$$

$$R = 25\Omega$$

$$u_C(0) = 12$$



Výpočet  $U_c$  v čase  $t$

$$u_c = U_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

Výpočet počátečního stavu  $U_C$

$$\tau = RC = 25 * 5 = 125$$

$$U_C(t_n) = 12 :$$

$$12 = 25(1 - e^{-\frac{t_n}{125}})$$

$$12 = 25 - 25e^{-\frac{t_n}{125}}$$

$$\frac{13}{25} = e^{-\frac{t_n}{125}}$$

$$t_n = -\frac{\log(\frac{13}{25})}{\log(e)} * 125$$

$$t_n = -125 \ln(\frac{13}{25}) \doteq 81.7408s$$

Výsledná rovnice pro  $U_C$

$$U_C = U_0(1 - e^{-\frac{t+t_n}{RC}})$$

## Závěr

Příklad 1 (F)	Příklad 2 (D)	Příklad 3 (B)	Příklad 4 (F)	Příklad 5 (D)
$U_{R5} \doteq 45.0977 \text{ V}$	$U_{R6} \doteq 31.7771 \text{ V}$	$U_{R4} \doteq 66.1541 \text{ V}$	$\varphi_{C2} = 152.11^\circ$	$U_C = U_0(1 - e^{-\frac{t+t_n}{RC}})$
$I_{R5} \doteq 150.3257 \text{ mA}$	$I_{R6} \doteq 79.4427 \text{ mA}$	$I_{R4} \doteq 1.9457 \text{ A}$	$ U_{C2}  = 40.3405 \text{ V}$	$t_n \doteq 81.7408 \text{ s}$