

# Poznámky k přednáškám ZECT, J. Sadil

Tento dokument pomáhá zvládnout distanční formu výuky tím, že k prezentacím předmětu, které jsou ke stažení na webových stránkách, doplňuje vybrané vysvětlující poznámky, komentáře apod.

Dokument je členěn pomocí dat, kdy měla být látka probrána a čísel přednášek z webu.

Dokument bude postupně aktualizován podle situace s COVID-19 a na základě zpětné vazby studentů.

Pozn.: Příklady si počítejte sami na papír, nestačí pouze si postup „přečíst“.

## 1 Přednáška 16. 3. 2020

### 1.1 Přednáška č. 4 (Stejnoseměrné obvody), snímky 24-38

#### 1.1.1 Snímek 24

Minule jsme se naučili postup metodou uzlových napětí (MUN) v obvodech, kde byly jako aktivní prvky pouze zdroje proudu. Co se zdroji napětí – nevíme, jaký z nich poteče proud (viz snímek 20 přednášky č. 3), ale víme jaký je na svorkách zdroje napětí rozdíl potenciálů (napětí) kladné a záporné svorky zdroje

#### 1.1.2 Snímek 25

K bodu 2.:

dbáme na směr proudů/napětí. Je-li v obvodu zdroj napětí, nesestavujeme rovnici ani pro uzel odpovídající svorce zdroje napětí.

Rovnici nesestavujeme ze 2 důvodů:

1. Nevycházel by počet rovnic a neznámých (uzlové napětí zdroje napětí je známé)
2. Rovnice mají rozměr proudu, nevěděli bychom, jaký proud bude odtékat z uzlu zdroje napětí do zdroje napětí (může téci jakýkoliv, opět viz snímek 20 přednášky č. 3)

#### 1.1.3 Příklady 4\_1, 4\_4, 4\_6

Byly řešeny na tabuli na minulé přednášce v rámci výkladu metod analýzy obvodů.

#### 1.1.4 Příklad 4\_2

Metoda postupného zjednodušování.

$R_1, R_2, R_3$  v sérii  $\Rightarrow R_{\text{celk}} = R_1 + R_2 + R_3 = 15 \Omega$



$$I = \frac{U}{R_{\text{celk}}} = \frac{30}{15} = 2 \text{ A}$$

$R_1, R_2, R_3$  v sérii  $\Rightarrow I = I_1 = I_2 = I_3$

Dopočteme napětí  $U_1 = R_1 I_1 = 4 \text{ V}$

$$U_2 = R_2 I_2 = 6 \text{ V}$$

$$U_3 = R_3 I_3 = 20 \text{ V}$$

Odpovídi:  $U_{R2} = U_2 = 6 \text{ V}$

$U_A = U_2 + U_3 = 26 \text{ V}$  (napětí mezi A proti zápornému pólu zdroje)

#### 1.1.5 Příklad 4\_3

Dělitel proudů (počítat můžete i met. postupného zjednodušování)

$$I_1 = I \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 5 \cdot \frac{3}{2+3} = 3 \text{ mA}$$

$$I_2 = I \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 2 \text{ mA} \quad \left( \text{nebo } I_2 = I - I_1 \right) \quad \checkmark \text{ 1. Kirchhoffův zákon}$$

$$U_1 = R_1 \cdot I_1 = 2 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 6 \text{ V}$$

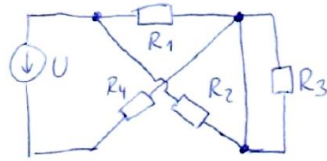
$$U_2 = R_2 \cdot I_2 = 3 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 6 \text{ V} \quad (\text{nebo } U_2 = U_1, \text{ jsou paralelní})$$

### 1.1.6 Příklad 4\_5

*Metoda postupného zjednodušování*

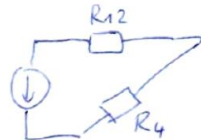
*Pror - kráčí vodící "nad R2 a R4, nemá "přechod" => vodič se modeluje jako, jsou izolované*

*Převodní obvod po  
vyřazení L a C*



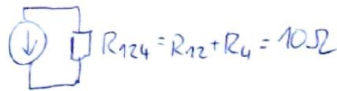
*R3 lze vyřadit také, je paralelní ke zkratku =>  $U_3 = 0V \Rightarrow I_3 = \frac{U_3}{R_3} = 0A$*

*Jedinou dvojici resistorů  
v sérii/paralelně je  
R1 a R2 paralelně*



$$R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 24 \Omega$$

*R12 a R4 v sérii*



$$R_{124} = R_{12} + R_4 = 10 \Omega$$

POSTUP

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = 0,18 A$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = 0,12 A$$

$$U_{12} = U_1 = U_2 \text{ (byly paralelně)}$$

$$U_{12} = R_{12} I_{12} = 0,72 V, \quad U_4 = R_4 I_4 = 2,28 V$$

$$I_{124} = I_{12} = I_4 \text{ (byly v sérii)}$$

$$\text{Dopočteme } I_{124} = \frac{U}{R_{124}} = 0,3 A$$

### 1.1.7 Příklad 4\_7

Nelze počítat metodou postupného zjednodušování. Příklad možno vynechat, bude se ještě počítat v rámci laboratorního měření č.5. Kdo chce, spočítá si metodou uzlových napětí, sestaví se 2 rovnice pro 2 neznámé.

Výsledky:

- $U_5 = 0,1 V$  ve směru doleva (plus vpravo),  $I_5 = 1 mA$  doleva
- $U_5 = 0V$ ,  $I_5 = 0A$

## 1.2 Přednáška č. 5 (Harmonické střídavé obvody)

### 1.2.1 Video k přednášce č. 5:

Sinusovka, fázor, převody komplexních čísel

<https://www.youtube.com/watch?v=xUMZ6EC1RX4>

Video na symbolicko komplexní metodu – řešení příklad

<https://www.youtube.com/watch?v=lKpecnEIqlA&t=318s>

### 1.2.2 Doplnující videa k přednášce č. 5:

Fázorový diagram

<https://www.youtube.com/watch?v=XDmAG5MFk0I>

### 1.2.3 Nyní již k prezentaci - Snímek č. 2 a 3

Převody komplexních čísel si zkuste najít na svých kalkulačkách (obvykle symboly  $R \rightarrow P$  nebo  $R\theta$ ,  $r\theta$  apod., najděte si to v návodu ke svojí kalkulačce).

Abyste pochopili komplexní čísla v exponenciálním tvaru, stačí (ale je to nutné) se naučit jedinou věc: násobením komplexního čísla  $\hat{z}$  výrazem  $e^{j\varphi}$  dostaneme komplexní číslo, které je v komplexní rovině umístěno tak, že původní číslo  $\hat{z}$  otočíme v komplexní rovině po kružnici o úhel  $\varphi$  v kladném směru.

- $e = 2.718281828 \dots$  Eulerovo číslo

- $j = \sqrt{-1}$  ... imaginární jednotka (jednotka svislé imaginární osy)
- $\varphi$  ... orientovaný úhel, kladný je proti směru hodinových ručiček

#### 1.2.4 Snímek č. 6

Stříška nad označením veličiny napovídá, že jde o komplexní číslo.

Pozor, úhel  $\varphi$  je v radiánech, nastavte si také na kalkulačkách.

#### 1.2.5 Snímek č. 8

Pozn.: vyznačený úhel  $\Delta\varphi$  je fázový posun od proudu k napětí, tj. přesně úhel  $\varphi$ , který se dosazuje do vztahu pro činný výkon ( $UI \cos \varphi$ ) a pro jalový výkon ( $UI \sin \varphi$ ).

#### 1.2.6 Snímek č. 10

$\hat{Z}$  je *komplexní impedance*, je to komplexní číslo, které vznikne podílem dvou komplexních čísel, a to fázorů napětí a proudu

$Z = |\hat{Z}|$  je *impedance*, tj. velikost komplexní impedance, samotná impedance je číslo reálné a to je to číslo, které nás zajímalo v rámci předmětu EK v grafu impedancí lidského těla v závislosti na přiloženém napětí (předmět EK, předn. 3, snímek 8). Tam šlo o velikost, na fázi z hlediska bezpečnosti nezáleží.

#### 1.2.7 Snímek č. 13

*Je výsledkem řešení příkladu:*

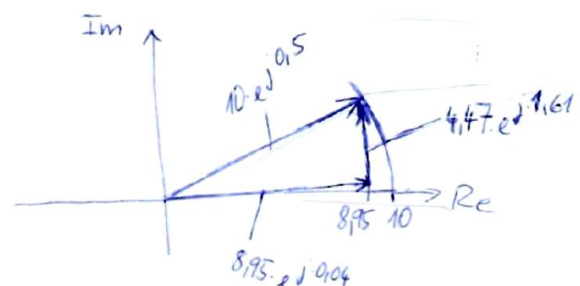
*Ověření platnosti 2. Kirchhoffova zákona (2.K.Z.):  $\hat{U}_m = \hat{U}_{Rm} + \hat{U}_{Lm}$*

*dopočítáme si ještě  $\hat{U}_{Rm} = \frac{\hat{Z}_R}{\hat{Z}_R + \hat{Z}_L} \cdot \hat{U}_m = 8,95 \cdot e^{j \cdot 0,04}$*

*2 K.Z. neplatí pro velikosti (amplitudy) napětí:  $10 \neq 8,95 + 4,47$*

*2.K.Z. platí pro fázory:  $10 e^{j 0,5} = 8,95 \cdot e^{j 0,04} + 4,47 \cdot e^{j 1,61}$*

*Je to hezky vidět ve fázorovém diagramu, tj. když se fázory vynesou do komplexní roviny  $\rightarrow$*



### 1.2.8 Snímky č. 14 až 16

Dopřítčení výkonů v řešeném příkladu: Fáze proudů zdroje:  $\hat{I}_m = \frac{\hat{U}_m}{Z_R + jZ_L} = 1,79 \cdot e^{j0,04} \text{ A}$

Fázorový diagram napětí a proudů zdroje:

Určení výkonů zdroje:

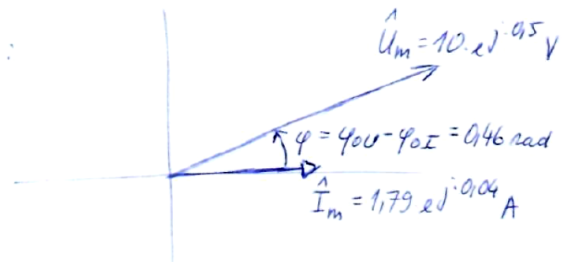
$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = \frac{10}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1,79}{\sqrt{2}} \cdot \cos 0,46 \approx 8 \text{ W}$$

efektivní hodnoty!

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \approx 4 \text{ VAR}$$

$$S = U \cdot I \approx 9 \text{ VA}$$

Komplexní výkon (viz násled. snímek):  $\hat{S} = 9 \cdot e^{j0,46} \text{ VA}$



### 1.2.9 Příklad 5\_1

Symbolická komplexní metoda (SKM)

1. ano, jde o H.U.S., všechny zdroje a obvody sinusové o shodné frekvenci  $f$ .

2. Převod do oblasti fázorů:  $\hat{U}_m = 325 \cdot e^{j0} = 325 \text{ V}$  představte si  $u_u = 325 \sin(2\pi f t + 0)$   
 $\hat{U}_{Vm} = 325 \cdot e^{-j\frac{2\pi}{3}}$

3. Vyřešení obvodu:  $\hat{U}_{UVm} = \hat{U}_m - \hat{U}_{Vm} = 325 - 325 \cdot e^{-j\frac{2\pi}{3}} = 325 - (-162,5 - 281,46j) =$   
 $= 487,5 + 281,46j = 562,92 \cdot e^{j0,52} \text{ V}$   
 (přesně  $325 \cdot \sqrt{3} \cdot e^{j\frac{\pi}{6}}$ )

4. Převod do oblasti časů:

$$u_{UV} = 562,92 \sin(2\pi f t + 0,52) \text{ V}$$

$$(\text{přesně } u_{UV} = 325 \cdot \sqrt{3} \sin(2\pi f t + \frac{\pi}{6}) \text{ V})$$

pozn.  $325 \text{ V}$  je amplituda fázového napětí sítě:  $\frac{325}{\sqrt{2}} = 230 \text{ V}$

$$563 \text{ V} \text{ ---||--- sdruženého ---||--- : } \frac{563}{\sqrt{2}} = 398 \approx 400 \text{ V}$$

# 1.2.10 Příklad 5\_2

SKM

1. ano

2.  $\hat{U}_m = 10 \text{ e}^{j0} = 10 \text{ V}$

$Z_R = 400 \Omega$ ,  $\hat{Z}_L = j \cdot \omega \cdot L = j \cdot 100 \cdot 1 = 100j \Omega$  (číslo jednotka),  $\hat{Z}_C = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j \cdot 100 \cdot 20 \cdot 10^{-6}} = \frac{500}{j} \cdot \frac{j}{j} = -500j \Omega$  (rozšíření zlomku,  $j^2 = -1$ )

3.  $\hat{Z}_L$  a  $\hat{Z}_C$  paralelně:  $\hat{Z}_{LC} = \frac{\hat{Z}_L \cdot \hat{Z}_C}{\hat{Z}_L + \hat{Z}_C} = \frac{100j \cdot (-500j)}{100j - 500j} = \frac{-50000j^2}{-400j} \cdot \frac{j}{j} = \frac{50000j}{400} = 125j \Omega$



$Z_R$  a  $\hat{Z}_{LC}$  v sérii:  $\hat{Z}_{celk} = Z_R + \hat{Z}_{LC} = 400 + 125j \Omega$  (číslo jednotka)

$\hat{U}_m$  a  $\hat{Z}_{celk}$  Dopředně  $\hat{I}_{celkm} = \frac{\hat{U}_m}{\hat{Z}_{celk}} = \frac{10}{400 + 125j} = \frac{10}{419.2j^{0.3}} = 0.0239 \cdot e^{-j0.3} \text{ A}$

$\hat{I}_{celkm} = \hat{I}_{LC}$ , dopředně  $\hat{U}_{LC} = \hat{Z}_{LC} \cdot \hat{I}_{LC} = 125j \cdot 0.0239 \cdot e^{-j0.3} = 125 \cdot e^{j1.57} \cdot 0.0239 \cdot e^{-j0.3} = 2.98 \cdot e^{j1.27} \text{ V}$  (převod do exponenciálního (polárního) tvaru, číslo j je vlastně jednotka složená o úhel  $\frac{\pi}{2} = 1.57 \text{ rad}$ )

$\hat{U}_{LC} = \hat{U}_C$ , dopředně  $\hat{I}_C = \frac{\hat{U}_C}{\hat{Z}_C} = \frac{2.98 \cdot e^{j1.27}}{-500j} = \frac{2.98 \cdot e^{j1.27}}{500 \cdot e^{-j1.57}} = 0.00597 \cdot e^{j2.84} \text{ A}$

4.  $i_C = 0.00597 \sin(100t + 2.84) \text{ A} = 5.97 \sin(100t + 2.84) \text{ mA}$

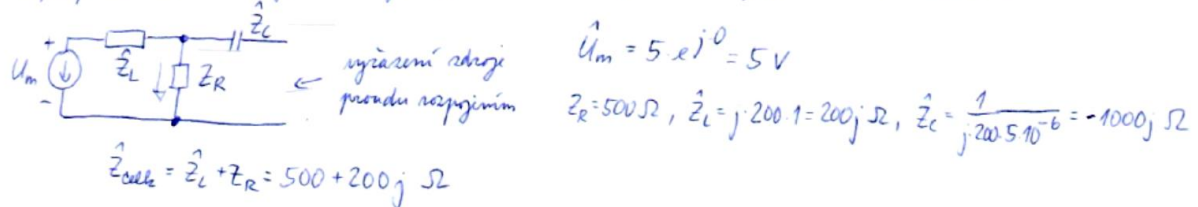


### 1.2.11 Příklad 5\_3

SKM

1. Obvod není v H.V.S., každý zdroj má jinou frekvenci  $\Rightarrow$  musíme řešit metodou superpozice. Dílčí obvody s 1 zdrojem již v H.V.S. jsou. Počítáme  $i_R = ?$ .

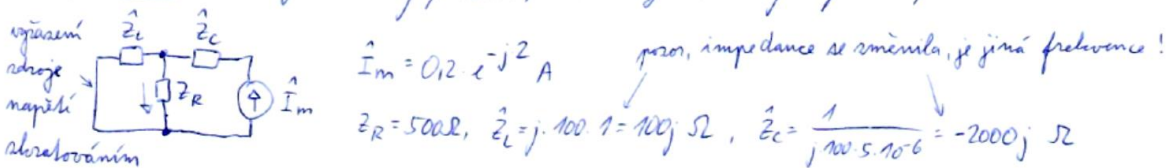
Superpozice 1.: Uvažujeme zdroj napětí, neuvvažujeme zdroj proudu, řešíme SKM



$$\hat{I}_{\text{celk},m} = \frac{\hat{U}_m}{\hat{Z}_{\text{celk}}} = \frac{5}{500 + 200j} = \frac{5}{538,5 \cdot e^{j \cdot 0,38}} = 0,00928 \cdot e^{-j \cdot 0,38} \text{ A}$$

příspěvek proudu  
i<sub>R</sub> od zdroje napětí  $\rightarrow i_{R,1}(t) = 0,00928 \sin(200t - 0,38) \text{ A}$ , směr proudu ↓

Superpozice 2.: Uvažujeme zdroj proudu, neuvvažujeme zdroj napětí, počítáme SKM



Pro vyřešení obvodu použijeme např. vztah pro dílčí proudu:

$$I_{R,m} = I_m \cdot \frac{\hat{Z}_L}{\hat{Z}_L + \hat{Z}_R} = 0,2 \cdot e^{-j \cdot 2} \cdot \frac{100j}{500 + 100j} = \frac{0,2 \cdot e^{-j \cdot 2} \cdot 100 \cdot e^{j \cdot 1,57}}{509,9 \cdot e^{j \cdot 0,20}} = 0,0392 \cdot e^{-j \cdot 0,63} \text{ A}$$

příspěvek proudu  
i<sub>R</sub> od zdroje proudu  $\rightarrow i_{R,2}(t) = 0,0392 \sin(100t - 0,63) \text{ A}$ , směr proudu ↓

Superpozice - součet příspěvků (nebo sčítat jako fázory, každý zdroj má jinou frekvenci)

celkový (skutečný) proud rezistorem  $i_R(t) = 0,00928 \sin(200t - 0,38) + 0,0392 \sin(100t - 0,63) \text{ A}$   
sčítá se, příspěvky obou zdrojů mají shodný směr

Nyní snadno dopočítáme napětí  $u_R(t) = R \cdot i(t) = 4,64 \sin(200t - 0,38) + 19,6 \sin(100t - 0,63) \text{ V}$

## 2 Přednáška 23. 3. 2020

### 2.1 Přednáška č. 6 (Další příklady)

#### 2.1.1 Příklad 6\_1

Přečtěte si:

- Kolegový obvod dělíkuje volnost/obsazenost kolegového úseku (KV). KV je izolovaný.  
 Příklad: Na jedné straně KV je napájecí (vysílací) - v obvodu zdroj napětí +  $R_1$ .  
 Na druhé straně KV je přijímač - v obvodu rezistor  $R_2$ .  
 a) Je-li KV volný, napětí zdroj se s malými ztrátami dostane na přijímač.  
 b) Je-li KV obsazen, napájecí zdroj se s malými ztrátami dostane na přijímač.  
 c) Je-li KV přerušen (tam kde je KV), napětí zdroj se nedostane na přijímač.

Dále počítejte sami, měli byste umět, správný postup je pro kontrolu

Příklad - metoda postupného zjednodušování.

a)  $R_5 = R_6 = \frac{1}{\frac{1}{65} + \frac{1}{60}} = 3,3 \Omega$

**POSTUP**

-  $R_2$  a  $R_5$  paralelní:  $R_{25} = \frac{R_2 \cdot R_5}{R_2 + R_5} = 3,3322 \Omega$   
 $U_{25} = U_2 = U_5 \Rightarrow U_2 = 13,38 V$   
 $U_{25} = R_{25} \cdot I_{25} = 13,38 V$

-  $R_3, R_{25}, R_4$  v sérii:  $I_{2345} = I_3 = I_4 = I_{25}$   
 $R_{2345} = R_3 + R_{25} + R_4 = 6,5322 \Omega$   
 $I_{2345} = \frac{U_{2345}}{R_{2345}} = 4,016 A$

-  $R_{2345}$  a  $R_6$  paralelní:  $U_{23456} = U_6 = U_{2345}$   
 $R_{23456} = \frac{R_{2345} \cdot R_6}{R_{2345} + R_6} = 2,2071 \Omega$   
 $U_{23456} = R_{23456} \cdot I_{23456} = 26,231 V$

-  $R_{23456}$  a  $R_1$  v sérii:  $I_{all} = I_1 = I_{23456}$   
 $R_{all} = R_1 + R_{23456} = 4,2071 \Omega$   
 $I_{all} = \frac{U}{R_{all}} = \frac{50}{4,2071} = 11,885 A$

b) sinusový stav  
 Postup a počítání shodný s a) volný stav

$R_{25} = 3,3322 \Omega$   
 $R_{2345} = 6,5322 \Omega$   
 $R_{23456} = 2,2071 \Omega$

**POSTUP**

-  $U_2 = 1,1643 V$  - hledané napětí na přijímači je o řád nižší než v obsazeném stavu oproti volnému stavu  
 $U_{25} = R_{25} \cdot I_{25} = 1,1643 V$   
 $I_{2345} = I_{25}$   
 $I_{2345} = \frac{U_{2345}}{R_{2345}} = 0,3494 A$   
 $U_{23456} = U_{2345}$

- dále se postup líší:  
 $R_{23456}$  a  $R_m$  paralelní:  $U_{23456m} = U_{23456}$   
 $R_{23456m} = \frac{R_{23456} \cdot R_m}{R_{23456} + R_m} = 0,0957 \Omega$   
 $U_{23456m} = R_{23456m} \cdot I_{23456m} = 2,2824 V$

-  $R_1$  a  $R_{23456m}$  v sérii:  $I_{all} = I_{23456m}$   
 $R_{all} = R_1 + R_{23456m} = 2,0957 \Omega$   
 $I_{all} = \frac{U}{R_{all}} = 23,858 A$



c) havarijný stav

$$\text{do } R_2 \text{ nemůže téci proud} \Rightarrow I_{R2} = 0 \text{ A} \Rightarrow \underline{\underline{U_{R2} = R_2 \cdot I_{R2} = 0 \text{ V}}}$$

## 2.1.2 Příklad 6\_2

(DAQ...data acquisition, EUT...Equipment under test).

Pokuste se pochopit postup:

Máme navrhnout dělič napětí, který smíší napětí rozstři až 120 V na napětí měřidla max. 5 V.

$$\text{Dělicí poměr děliče: } \frac{5}{120} = \frac{1}{24}$$

$$\text{Vztah pro dělič: } \frac{U_{DAQin}}{U_{EUT}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1}{24}, \quad \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{23}{24} ;$$

$$\text{Nepřesnost max. 0,1\%: } \frac{R_{EUT} \cdot R_{\text{dělič}}}{R_{EUT} + R_{\text{dělič}}} \stackrel{\text{celý dělič } R_1 + R_2}{=} 0,999 R_{EUT}$$

paralelní kombinace  $R_{EUT}$  a  $R_{\text{dělič}}$  má menší odpor než původní samostatný  $R_{EUT}$

$$R_{\text{dělič}} = 0,999 R_{EUT} + 0,999 R_{\text{dělič}}$$

$$R_{\text{dělič}} = \frac{0,999 R_{EUT}}{1 - 0,999} = 999 R_{EUT} = 1\,148\,800 \, \Omega (= R_1 + R_2)$$

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1}{24} \Rightarrow R_2 = \frac{1}{24} R_{\text{dělič}} = 49\,950 \, \Omega - \text{ zvolíme nejbližší}$$

měří (abychom nepřekročili rozsah měřidla) a řády E12 (viz google)

$$\leadsto \underline{\underline{R_2 = 47 \text{ k}\Omega}}$$

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{23}{24} \Rightarrow R_1 = \frac{23}{24} R_{\text{dělič}} = 1\,148\,800 \, \Omega - \text{ zvolíme nejbližší}$$

vyšší (abychom nezkreslili měřené napětí o více než 0,1\%) a řády E12

$$\leadsto \underline{\underline{R_1 = 1,2 \text{ M}\Omega}}$$

Kontrola výsledného děliče: dělicí poměr je  $\frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0,03769$ ,

$$\text{tj. } 120 \text{ V} \rightarrow 4,522855 \text{ V} \dots \text{ O.K.}$$

$$\text{Nepřesnost zprůsobená děličem: } \frac{1200 \cdot 1247000}{1200 + 1247000} = 1198,84 \, \Omega = 99,904\% \\ \text{[6-3]} \Rightarrow \text{nepřesnost } 0,096\% \dots \text{ O.K.}$$

### 2.1.3 Příklad 6\_3

Počítejte sami, měli byste umět, správný postup je pro kontrolu

*Symbolická komplexní metoda*

a)

1. Ano, jde o H.V.S.

2.  $\hat{U}_m = 1 \text{ V}$

$$Z_R = 159 \Omega$$

$$\hat{Z}_C = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = -1590j \Omega$$



$$\hat{Z}_{RC} = Z_R + \hat{Z}_C = 159 - 1590j \Omega$$

$$\hat{I}_{\text{celkem}} = \frac{\hat{U}_m}{\hat{Z}_{RC}} = \frac{1}{159 - 1590j} = \frac{1}{1599,5 \cdot e^{-j \cdot 1,47}} = 0,625 \cdot e^{j \cdot 1,47} \text{ mA}$$

$$\hat{I}_{\text{celkem}} = \hat{I}_R = \hat{I}_C = 1590 e^{-j \cdot 1,57} \cdot \frac{\pi}{2}$$

$$\hat{U}_C = \hat{Z}_C \cdot \hat{I}_C = (-1590j) \cdot 0,625 \cdot 10^{-3} e^{j \cdot 1,47} = 0,995 \cdot e^{-j \cdot 0,1} \text{ V}$$

4.  $u_C(t) = 0,995 \cdot \sin(2\pi \cdot 10 \cdot t - 0,1) \text{ V}$

b) 1. Ano

2.  $\hat{U}_m = 1 \text{ V}$

$$Z_R = 159 \Omega$$

$$\hat{Z}_C = -15,9j \Omega$$

3.  $\hat{Z}_{RC} = 159 - 15,9j \Omega$

$$\hat{I}_{\text{celkem}} = \frac{1}{159 - 15,9j} = \frac{1}{159,8 \cdot e^{-j \cdot 0,1}} = 6,25 \cdot e^{j \cdot 0,1} \text{ mA} = \hat{I}_C$$

$$\hat{U}_C = 15,9 \cdot e^{j \cdot 1,57} \cdot 6,25 \cdot 10^{-3} \cdot e^{j \cdot 0,1} = 0,0996 \cdot e^{-j \cdot 1,47} \text{ V}$$

4.  $u_C(t) = 0,0996 \cdot \sin(2\pi \cdot 1000 \cdot t - 1,47) \text{ V}$

## 2.1.4 Příklad 6\_4

Příklad navazuje na předcházející příklad 6\_3. Jde o pochopení vlivu frekvence na výstupní napětí na kapacitoru (jako v obvodu 6\_3). Impedance kapacitoru je nepřímo úměrná frekvenci. S vyšší frekvencí kapacita klesá a tím se mění poměr napěťového děliče RC. Pokuste se projít, příp. přeskočte.

$$\hat{P} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{j\omega RC + 1}$$

$$2\pi f_0 RC = 1 \rightarrow f_0 = \frac{1}{RC 2\pi}$$

(dovíme si z přík. 6\_3  $\rightarrow f_0 \approx 100 \text{ Hz}$ )

Ad pří. 6\_3:  $R = 159 \Omega$ ,  $C = 10 \mu\text{F}$   
 $2\pi RC = 0,01$

$f = 10 \text{ Hz}$ :  $P = \frac{1}{j \cdot 0,01 \cdot 10 + 1} = 0,995 e^{-0,1j} \approx 1$   $P_{dB} = 20 \log 1 = 0$  dovíme  $f = \frac{f_0}{10}$

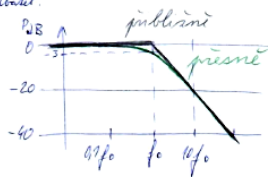
načtená hodnota

$f = 100 \text{ Hz}$ :  $P = \frac{1}{j \cdot 0,1 \cdot 10 + 1} = 0,707 e^{-0,707j}$   $P_{dB} = 20 \log 0,707 = -3 \text{ dB}$   $f = f_0$

stejná velikost členu

$f = 1000 \text{ Hz}$ :  $P = \frac{1}{j \cdot 1,01 \cdot 100 + 1} = 0,0995 e^{-1,47j} \approx 0,1 e^{-1,47j}$   $P_{dB} = -20 \text{ dB}$   $f = 10 f_0$

načtená hodnota



## 2.1.5 Příklad 6\_5

Počítejte sami, měli byste umět, správný postup je pro kontrolu

*Symbolická komplexní metoda*

Postup jako u přík. 6-3, počítejte sami, čísla pro kontrolu:

a)  $\hat{Z}_{RC} = 159 - 1590j = 1599,5 e^{-j^1,47}$

$\hat{U}_{Rm} = 0,094 e^{j^1,47} \text{ V}$

$u_R(t) = 0,094 \sin(2\pi 10 t + 1,47) \text{ V}$

b)  $\hat{Z}_{RC} = 159 - 15,9j = 159,8 e^{-j^0,1}$

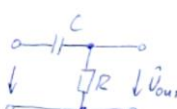
$\hat{U}_{Rm} = 0,995 e^{j^0,1} \text{ V}$

$u_R(t) = 0,995 \sin(2\pi 1000 t + 0,1) \text{ V}$

*neodpovědi*

*jako u příkladu*

*6-4*



*filtr, tzv. horní propust  
(propouští vyšší frekvence)*

## 2.1.6 Příklad 6\_6

Projděte si postup:

Symbolická komplexní metoda (ade není třeba krok 4.)

Průběhy v efektivních hodnotách (výhodné pro výpočty výkonu)

1. Ano, H.V.S.

2.  $\hat{U} = 230 \text{ V}$

$Z_{R_{\text{mot}}} = 80 \Omega$

$Z_{L_{\text{mot}}} = j\omega L = j 2\pi 50 \cdot 191 \cdot 10^{-3} = 60j \Omega$

3.  $\hat{Z}_{RL} = Z_{R_{\text{mot}}} + \hat{Z}_{L_{\text{mot}}} = 80 + 60j = 100 \cdot e^{j0.64} \Omega$

$$\hat{I}_{RL} = \frac{\hat{U}}{\hat{Z}_{RL}} = \frac{230}{100 \cdot e^{j0.64}} = 2.3 \cdot e^{-j0.64} \text{ A} = I_{Z_{R_{\text{mot}}}} = I_{Z_{L_{\text{mot}}}}$$

$$\hat{U}_{R_{\text{mot}}} = Z_{R_{\text{mot}}} \cdot \hat{I}_{R_{\text{mot}}} = 184 \cdot e^{-j0.64} \text{ V}$$

$$\hat{U}_{L_{\text{mot}}} = \hat{Z}_{L_{\text{mot}}} \cdot \hat{I}_{L_{\text{mot}}} = 138 \cdot e^{j0.93} \text{ V} \quad \text{*komplexně sdružený (opačný uhol)}$$

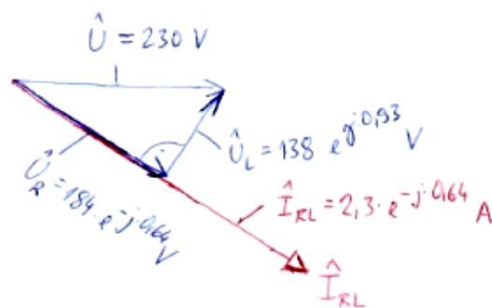
komplexní výkon sdruží  $\hat{S} = \hat{U} \cdot \hat{I}^* = 230 \cdot 2.3 \cdot e^{j0.64} = 529 \cdot e^{j0.64} = 423 + 317j \text{ VA}$

$P = \text{Re}\{\hat{S}\} = 423 \text{ W}$  — realná časť — watts — jednotka činného výkonu

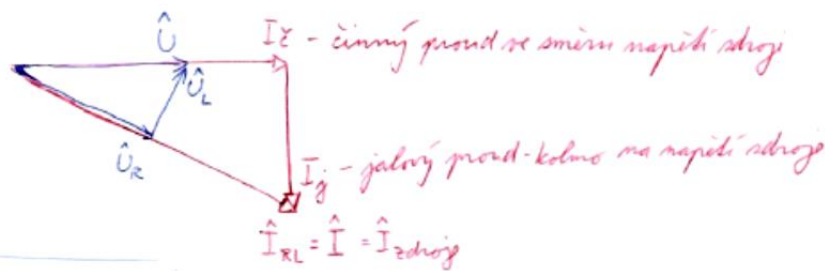
$Q = \text{Im}\{\hat{S}\} = 317 \text{ VAR}$  — voltampéry reaktanční — jednotka jalového výkonu

$(S = |\hat{S}| = 529 \text{ VA} — voltampéry — jednotka sdruženého výkonu)$

Fázorový diagram:



Rozklad  $\hat{I}_{RL}$  na činný a jalový proud:



Kompensace jalového systému = snížení jalového proudu

Přirodní účinník  $\cos \varphi = \cos 0,64 \text{ rad} = 0,8$

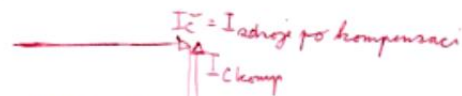
úhel v radiánech od proudu k napětí

Božadovaný účinník  $\cos \varphi = 1 \Rightarrow$  nepripouštíme žádný jalový proud

Zařazením kapacitors  $C_{\text{komp}}$  paralelně ke zdroji napětí poskyt do  $C_{\text{komp}}$  proud  $I_{C_{\text{komp}}}$ , potřebujeme, aby jeho fázor byl roven přesně proudu  $-\hat{I}_j$ .

$$I_j = |\hat{I}_{RL}| \cdot \sin \varphi = 2,3 \cdot \sin(0,64 \text{ rad}) = 1,38 \text{ A}$$

Proto musí být  $\hat{I}_{C_{\text{komp}}} = 1,38 \text{ e}^{j \cdot 1,57} \text{ A}$



Takže jeho impedance bude  $\hat{Z}_{C_{\text{komp}}} = \frac{\hat{U}_{C_{\text{komp}}}}{I_{C_{\text{komp}}}} = \frac{230}{1,38 \text{ e}^{j \cdot 1,57}} = -166,7 \text{ j } \Omega$

a jeho kapacita:  $\hat{Z}_C = \frac{1}{j\omega C} \Rightarrow C_{\text{komp}} = \frac{1}{j\omega \hat{Z}_C} = \frac{1}{j \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot (-166,7 \text{ j})} = \frac{1}{(-j^2) \cdot 19 \cdot 10^{-6}} = \frac{1}{19 \cdot 10^{-6}} = 19 \mu\text{F}$

Pro kontrolu obvod po kompenzaci

pročtejte sami obvod



Čísla pro kontrolu:

$$Z_R = 80 \Omega$$

$$\hat{Z}_L = 60 \text{ j } \Omega$$

$$\hat{Z}_C = -166,7 \text{ j } \Omega$$

$$\hat{Z}_{RL} = 80 + 60 \text{ j } \Omega = 100 \cdot \text{e}^{j \cdot 0,64} \Omega$$

$$\hat{Z}_{RLC} = \hat{Z}_{\text{celk}} = 125 \Omega$$

$$\hat{I}_{\text{celk}} = 1,84 \text{ A}$$

$$\hat{I}_C = 1,38 \cdot \text{e}^{j \cdot 1,57} \text{ A}$$

$$\hat{I}_{RL} = 1,84 - 1,38 \text{ j} = 2,3 \cdot \text{e}^{j \cdot 0,64}$$

$$\hat{U}_C = 230 \text{ V}$$

$$\hat{U}_R = 184 \cdot \text{e}^{j \cdot 0,64} \text{ V}$$

$$\hat{U}_L = 138 \cdot \text{e}^{j \cdot 1,93} \text{ V}$$

$$\hat{S} = 423 \text{ VA}, P = 423 \text{ W}, Q = 0 \text{ VAR}$$