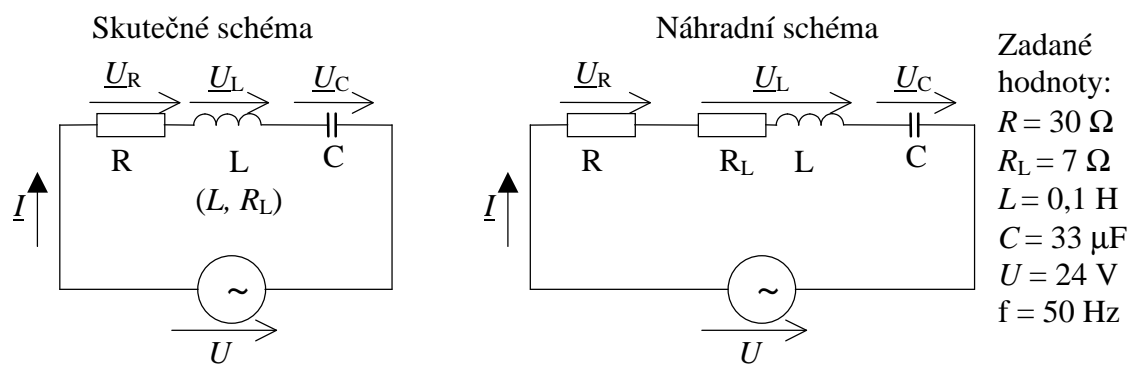


# Určeno pro posluchače bakalářských studijních programů FS

## 3. STŘÍDAVÉ JEDNOFÁZOVÉ OBVODY

### Příklad 3.1:

V obvodě sestávajícím ze sériové kombinace rezistoru, reálné cívky a kondenzátoru vypočítejte požadované veličiny, určete také charakter obvodu a nakreslete fázorový diagram proudů a napětí označených ve schématu. Parametry reálné cívky vyjádříme pomocí indukčnosti a odporu.



Určit:  $I$ ,  $\underline{U}_R$ ,  $\underline{U}_L$ ,  $\underline{U}_C$ ,  $P$ ,  $Q$ ,  $S$ .

Řešení:

Potřebujeme znát úhlovou frekvenci:  $\omega = 2\pi \cdot f = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314,15 \, \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$

Výsledný odpor sérioparalelní kombinace tří rezistorů v obvodě:

Induktivní reaktance cívky L:  $X_L = \omega \cdot L_1 = 314,15 \cdot 0,1 = 31,42 \, \Omega$

Kapacitní reaktance kondenzátoru C:  $X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{314,15 \cdot 33 \cdot 10^{-6}} = 96,46 \, \Omega$

Z reaktancí vypočítáme impedance jednotlivých prvků, které budeme později potřebovat pro výpočty napětí na prvcích,

velikost impedance rezistoru se rovná jeho odporu a má reálný charakter (fázový posuv je  $0^\circ$ ):

$$\underline{Z}_R = R \angle 0^\circ = 15 \, \Omega \angle 0^\circ,$$

impedance reálné cívky:

$$\underline{Z}_L = R_L + j X_L = (7 + j 31,42) \, \Omega = 32,2 \, \Omega \angle 77,4^\circ,$$

velikost impedance ideálního kondenzátoru je rovna jeho reaktanci a má imaginární charakter, (fázový posuv  $-90^\circ$ ).

$$\underline{Z}_C = -j X_C = -j 96,46 \, \Omega = 96,46 \, \Omega \angle 90^\circ.$$

Dále vypočítáme výslednou impedanci spojení všech prvků:

$$\underline{Z} = R + R_L + j \cdot (X_L - X_C) = 15 + 7 + j \cdot (31,42 - 96,46) = (22 - j 65,04) \, \Omega$$

Impedanci převedeme ze složkového tvaru na exponenciální:

$$\underline{Z} = \sqrt{\text{Re}\{\underline{Z}\}^2 + \text{Im}\{\underline{Z}\}^2} = \sqrt{22^2 + 65,04^2} = 68,66 \, \Omega$$

$$\psi_Z = \arctg \frac{\text{Im}\{\underline{Z}\}}{\text{Re}\{\underline{Z}\}} = \arctg \frac{-65,04}{22} = -71,31^\circ$$

$$\underline{Z} = 68,66 \, \Omega \angle -71,31^\circ$$

Vypočítáme proud (nejdříve jeho velikost, absolutní hodnotu):

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{24}{68,66} = 0,3495 \text{ A}, \text{ pro jednoduchost výpočtu si zvolíme, že počáteční fázový posuv}$$

proudu je  $0^\circ$ :  $\underline{I} = 0,3495 \text{ A} \angle 0^\circ$

Vypočítáme jednotlivá napětí (pro konečnou kontrolu výsledků i ve složkovém tvaru):

$$\underline{U}_R = \underline{Z}_R \cdot \underline{I} = 15 \angle 0^\circ \cdot 0,3495 \angle 90^\circ = 5,24 \text{ V} \angle (0+0)^\circ = 5,24 \text{ V} \angle 0^\circ = 5,24 \text{ V}$$

$$\underline{U}_L = \underline{Z}_L \cdot \underline{I} = 32,2 \angle 77,4^\circ \cdot 0,3495 \angle 0^\circ = 32,2 \cdot 0,3495 \angle (77,4+0)^\circ = 11,25 \text{ V} \angle 77,4^\circ = (2,45 + j 10,98) \text{ V}$$

$$\underline{U}_C = \underline{Z}_C \cdot \underline{I} = 96,46 \angle -90^\circ \cdot 0,3495 \angle 0^\circ = 96,46 \cdot 0,3495 \angle (-90+0)^\circ = 33,71 \text{ V} \angle -90^\circ = -j 33,71 \text{ V}$$

$$\text{Celkové napětí } \underline{U} = \underline{Z} \cdot \underline{I} = 68,66 \angle -71,31^\circ \cdot 0,3495 \angle 0^\circ = 24 \angle -71,31^\circ \text{ V}$$

Kontrola vypočítaných napětí podle druhého Kirchhoffova zákona, součet napětí na jednotlivých prvcích se musí rovnat napětí zdroje:

$$\underline{U} = \underline{U}_R + \underline{U}_L + \underline{U}_C = 5,24 + 2,45 + j 10,98 - j 33,71 = (7,69 - j 22,73) \text{ V} = 24 \angle -71,31^\circ \text{ V}$$

Kontrola vyšla, výsledky jsou správně.

Vypočítáme celkový fázový posuv v obvodě, v tomto případě se rovná fázovému úhlu výsledné impedance:

$$\varphi = \psi_Z = -71,4^\circ$$

Kdybychom neznali fázový posuv výsledné impedance, mohli bychom vypočítat fázový posuv z rozdílu fázového úhlu napětí a proudu:

$$\varphi = \psi_U - \psi_I = -77,4 - 0 = -71,4^\circ$$

Vypočítáme činný, jalový a zdánlivý výkon:

$$P = U \cdot I \cdot \cos(\varphi) = 24 \cdot 0,3495 \cdot \cos(-71,4^\circ) = 2,68 \text{ W}$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin(\varphi) = 24 \cdot 0,3495 \cdot \sin(-71,4^\circ) = -7,95 \text{ var}$$

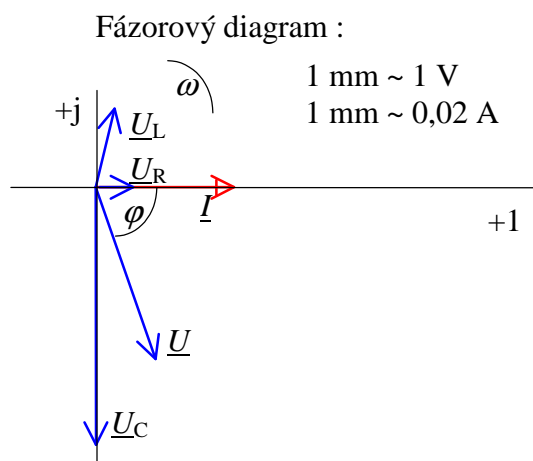
$$S = U \cdot I = 24 \cdot 0,3495 = 8,388 \text{ VA}$$

Určíme výsledný charakter obvodu.

Obvod má odporově kapacitní charakter, protože:

- výsledný fázový posuv je záporný, menší než  $0^\circ$  a větší než  $-90^\circ$ ,
- v obvodě je činný výkon větší než nula a záporný jalový výkon.

Pro určení charakteru obvodu by nám stačila i jen jedna z těchto podmínek.



### Příklad 3.2:

Následující obrázek znázorňuje náhradní schéma transformátoru s převodem  $p=1$ .

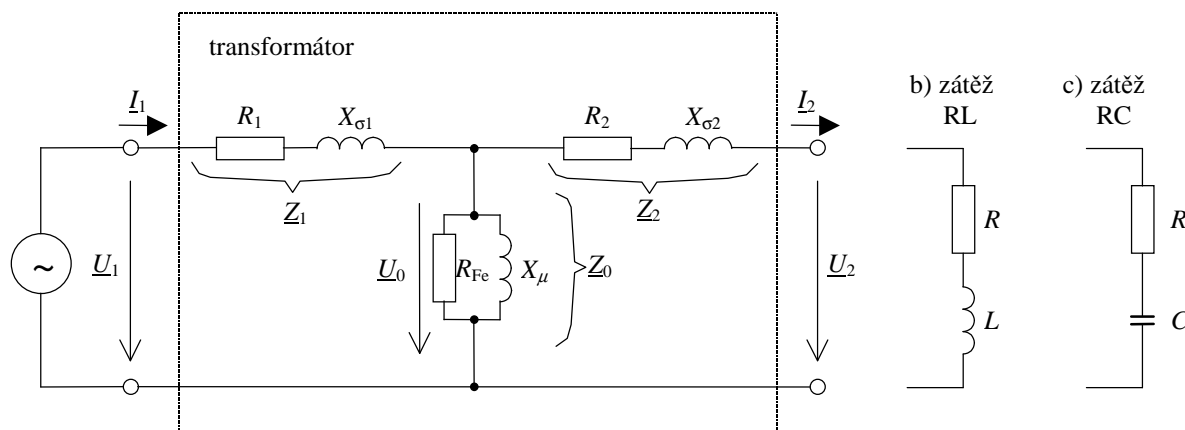
Předpokládáme, že transformátor pracuje nejdříve naprázdno, pak s odporově-induktivní zátěží, pak s odporově-kapacitní zátěží.

Zadané hodnoty:	$U_1 = 230 \text{ V},$	$f = 50 \text{ Hz},$
	$R_1 = R_2 = 0,92 \Omega,$	$X_{\sigma 1} = X_{\sigma 2} = 1,45 \Omega,$
	$R_{Fe} = 577 \Omega,$	$X_\mu = 254 \Omega,$
	$R = 27 \Omega,$	$L = 0,1 \text{ H},$

$$C = 100 \mu\text{F}.$$

- Určit: a)  $U_2, I_1, I_2$  při chodu naprázdno (bez zátěže), nakreslit fázorový diagram  $U_1, U_2, I_1$ ,  
 b)  $U_2, I_1, I_2$  s odporově induktivní zátěží, nakreslit fázorový diagram  $U_1, U_2, I_1, I_2$ ,  
 c)  $U_2, I_1, I_2$  s odporově kapacitní zátěží, nakreslit fázorový diagram  $U_1, U_2, I_1, I_2$ .  
 d)  $U_2, I_2$  s odporově induktivní zátěží zjednodušenou metodou, (se zanedbáním příčné větve transformátoru.)  
 e)  $U_2, I_2$  s odporově kapacitní zátěží zjednodušenou metodou.

Schéma:



Řešení:

Jednotlivé impedance v obvodě:

$$\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = R_1 + jX_{\sigma 1} = (0,92 + j1,45) \Omega = 1,717 \Omega \angle 57,6^\circ$$

$$\underline{Z}_0 = \frac{1}{\frac{1}{\underline{Z}_{RFe}} + \frac{1}{\underline{Z}_{X\mu}}} = \frac{1}{\frac{1|0^\circ}{R_{Fe}|0^\circ} + \frac{1|0^\circ}{X_\mu|90^\circ}} = \frac{1}{\frac{1|0^\circ}{577|0^\circ} + \frac{1|0^\circ}{254|90^\circ}}$$

$$\underline{Z}_0 = \frac{1}{0,001733|0^\circ + 0,003937|0^\circ} = \frac{1}{0,001733 - j0,003937} = \frac{1|0^\circ}{0,004302|66,24^\circ}$$

$$\underline{Z}_0 = 232,45 \Omega \angle 66,24^\circ = (93,65 + j212,75) \Omega$$

Impedance zátěže v případě b)

$$\omega = 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot 50 = 314,15 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$X_L = \omega \cdot L = 314,15 \cdot 0,1 = 31,42 \Omega$$

$$\underline{Z}_b = R + jX_L = (27 + j31,42) \Omega = 41,42 \Omega \angle 57,6^\circ$$

Impedance zátěže v případě c)

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{314,15 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = 31,83 \Omega$$

$$\underline{Z}_c = R - jX_C = (27 - j31,83) \Omega = 41,74 \Omega \angle -49,69^\circ$$

Řešení pro případ a)

K transformátoru není připojena žádná zátěž, proud  $I_2 = 0$ .

Proto na impedanci  $\underline{Z}_2$  není žádný úbytek napětí a  $\underline{U}_2 = \underline{U}_0$

Výsledná impedance transformátoru vzhledem ke svorkám zdroje bude:

$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_0 = 0,92 + j1,45 + 93,65 + j212,75 = (94,57 + j214,2) \Omega = 234,15 \Omega \angle 66,18^\circ$$

Pro jednoduchost výpočtu se zvolíme, že počáteční fázový úhel napětí  $\underline{U}_1$  je nula.

Potom vypočítáme proud tekoucí obvodem:

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_0 = \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}} = \frac{230 \angle 0^\circ}{234,15 \angle 66,18^\circ} = 0,9823 \text{ A} \angle -66,18^\circ$$

Napětí na výstupu transformátoru  $\underline{U}_2$  je v tomto případě rovno  $\underline{U}_0$ :

$$\underline{U}_2 = \underline{U}_0 = \underline{Z}_0 \cdot \underline{I}_0 = 232,45 \angle 66,24^\circ \cdot 0,9823 \angle -66,18^\circ = 228,34 \angle 0,06^\circ \text{ V}$$

Výsledky pro případ a), absolutní hodnoty proudů a napětí:

$$I_1 = 0,9824 \text{ A}, \quad I_2 = 0 \text{ A}, \quad U_2 = 228,34 \text{ V}.$$

Řešení pro případ b)

Impedance  $\underline{Z}_2$  a impedance zátěže  $\underline{Z}_b$  jsou řazeny do série, jejich výsledná impedance bude:

$$\underline{Z}_{2b} = \underline{Z}_2 + \underline{Z}_b = 0,92 + j1,45 + 27 + j31,42 = (27,92 + j32,87) \Omega = 43,13 \angle 49,66^\circ \Omega$$

Impedance  $\underline{Z}_0$  a  $\underline{Z}_{2b}$  jsou řazeny paralelně, jejich výsledná impedance bude:

$$\underline{Z}_{2b0} = \frac{1}{\frac{1}{\underline{Z}_{2b}} + \frac{1}{\underline{Z}_0}} = \frac{1 \angle 0^\circ}{\frac{1 \angle 0^\circ}{43,13 \angle 49,66^\circ} + \frac{1 \angle 0^\circ}{232,45 \angle 66,24^\circ}} = \frac{1 \angle 0^\circ}{0,023186 \angle -49,66^\circ + 0,004302 \angle -66,24^\circ}$$

$$\underline{Z}_{2b0} = \frac{1 \angle 0^\circ}{0,015009 - j0,017673 + 0,001733 - j0,003937} = \frac{1 \angle 0^\circ}{0,016742 - j0,02162} = \frac{1 \angle 0^\circ}{0,027344 \angle -52,24^\circ}$$

$$\underline{Z}_{2b0} = 36,57 \Omega \angle 52,24^\circ = (22,39 + j28,91) \Omega$$

Výsledná impedance vzhledem ke svorkám zdroje bude:

$$\underline{Z} = \underline{Z}_{2b0} + \underline{Z}_1 = 22,39 + j28,91 + 0,92 + j1,45 = (23,31 + j30,36) \Omega = 38,27 \angle 52,48^\circ \Omega$$

Proud tekoucí ze zdroje  $\underline{I}_1$  potom bude:

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}} = \frac{230 \angle 0^\circ}{38,27 \angle 52,48^\circ} = 6,01 \angle -52,48^\circ \text{ A}$$

Tento proud protéká impedancí  $\underline{Z}_{2b0}$  na níž vytváří napětí  $\underline{U}_0$ :

$$\underline{U}_0 = \underline{I}_1 \cdot \underline{Z}_{2b0} = 6,01 \angle -52,48^\circ \cdot 36,57 \angle 52,24^\circ = 219,79 \text{ V} \angle -0,24^\circ$$

Toto napětí je přivedeno na impedanci  $\underline{Z}_{2b}$  a vyvolává v ní proud  $\underline{I}_2$ :

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_0}{\underline{Z}_{2b}} = \frac{219,79 \angle -0,24^\circ}{43,13 \angle 49,66^\circ} = 5,096 \text{ A} \angle -49,9^\circ$$

Tento proud vytvoří na impedanci zátěže  $\underline{Z}_b$  napětí  $\underline{U}_2$ :

$$\underline{U}_2 = \underline{I}_2 \cdot \underline{Z}_b = 5,096 \angle -49,9^\circ \cdot 41,42 \angle 49,33^\circ = 211,08 \text{ V} \angle 0,57^\circ$$

Výsledky pro případ b), absolutní hodnoty proudů a napětí:

$$I_1 = 6,01 \text{ A}, \quad I_2 = 5,096 \text{ A}, \quad U_2 = 211,08 \text{ V}.$$

Řešení pro případ c)

Výsledná impedance spojení  $\underline{Z}_2$  a  $\underline{Z}_c$  bude:

$$\underline{Z}_{2c} = \underline{Z}_2 + \underline{Z}_c = 0,92 + j1,45 + 27 - j31,83 = (27,92 - j30,38) \Omega = 41,26 \Omega \angle 47,42^\circ$$

$$\underline{Z}_{2c0} = \frac{1}{\frac{1}{\underline{Z}_{2c}} + \frac{1}{\underline{Z}_0}} = \frac{1 \angle 0^\circ}{\frac{1 \angle 0^\circ}{41,26 \angle -47,42^\circ} + \frac{1 \angle 0^\circ}{232,45 \angle 66,24^\circ}} = \frac{1 \angle 0^\circ}{0,024237 \angle 47,42^\circ + 0,004302 \angle -66,24^\circ}$$

$$\underline{Z}_{2c0} = \frac{1 \angle 0^\circ}{0,016399 + j0,01784651 + 0,001733 - j0,003937} = \frac{1 \angle 0^\circ}{0,018132 + j0,013909} = \frac{1 \angle 0^\circ}{0,022852 \angle 37,49^\circ}$$

$$\underline{Z}_{2c0} = 43,76 \Omega \angle -37,49^\circ = (34,72 - j26,63) \Omega$$

Výsledná impedance vzhledem ke svorkám zdroje bude:

$$\underline{Z} = \underline{Z}_{2c0} + \underline{Z}_1 = 34,72 - j26,63 + 0,92 + j1,45 = (35,64 - j25,18) \Omega = 43,63 \angle -35,24^\circ \Omega$$

Proud tekoucí ze zdroje  $\underline{I}_1$  potom bude:

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}} = \frac{230 \cdot e^{j0}}{43,63 \angle -35,24^\circ} = 5,27 \text{ A} \angle 35,24^\circ$$

Tento proud protéká impedancí  $\underline{Z}_{2c0}$  na níž vytváří napětí  $\underline{U}_0$ :

$$\underline{U}_0 = \underline{I}_1 \cdot \underline{Z}_{2c0} = 5,27 \angle 35,24^\circ \cdot 43,76 \angle -37,49^\circ = 230,62 \text{ V} \angle 2,25^\circ$$

Toto napětí je přivedeno na impedanci  $\underline{Z}_{2c}$  a vyvolává v ní proud  $\underline{I}_2$ :

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_0}{\underline{Z}_{2c}} = \frac{230,62 \angle 2,25^\circ}{41,26 \angle -47,42^\circ} = 5,59 \text{ A} \angle 45,17^\circ$$

Tento proud vytvoří na impedanci zátěže  $\underline{Z}_c$  napětí  $\underline{U}_2$ :

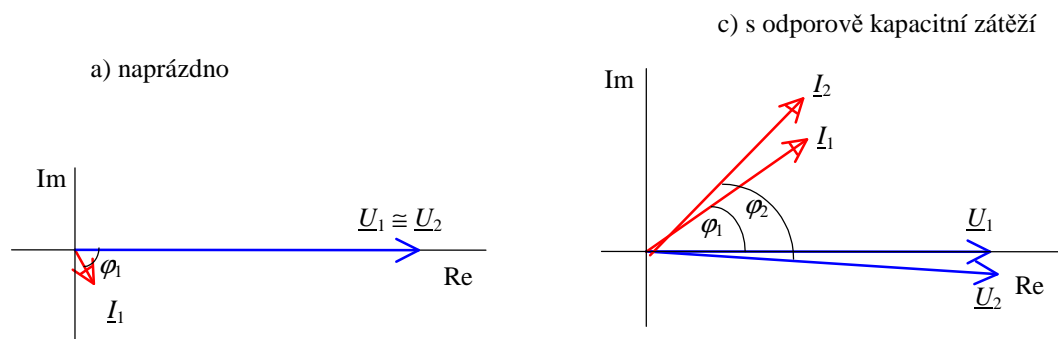
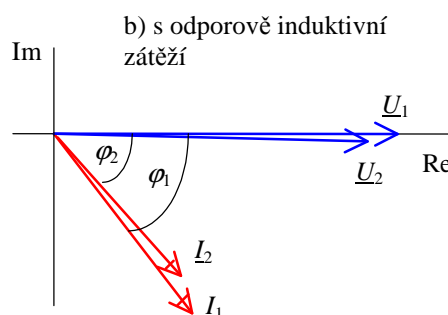
$$\underline{U}_2 = \underline{I}_2 \cdot \underline{Z}_c = 5,59 \angle 45,17^\circ \cdot 41,74 \angle -49,69^\circ = 233,33 \text{ V} \angle -4,52^\circ$$

Výsledky pro případ b), absolutní hodnoty proudů a napětí:

$$I_1 = 5,27 \text{ A}, \quad I_2 = 5,59 \text{ A}, \quad U_2 = 233,33 \text{ V}.$$

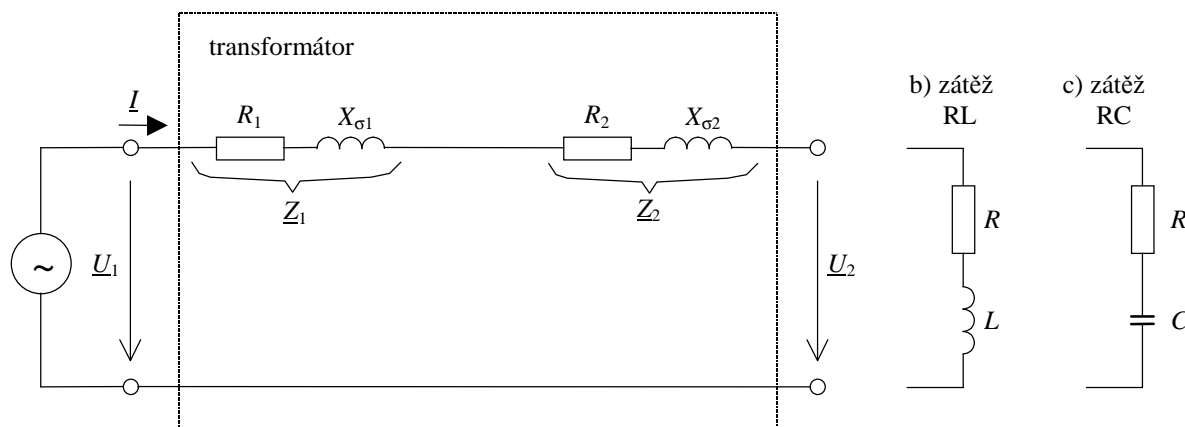
Fázorové diagramy

1 mm ~ 5 V  
1 mm ~ 0,2 A



d) V tomto případě zanedbáme příčnou větev transformátoru, při výpočtech poměrů na transformátoru ve stavu při zatížení se toto zjednodušení často používá. Obvod se nám podstatně zjednoduší, jak ukazuje následující obrázek:

Náhradní schéma:



V obvodě máme pouze jeden proud a všechny impedance jsou zapojeny do série.

Celková impedance v případě b):  $\underline{Z} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_b =$

$$= 0,92 + j1,45 + 0,92 + j1,45 + 27 + j31,42 = (28,84 + j34,32) \Omega = 44,82 \Omega \angle 50^\circ$$

$$\text{Proud } \underline{I} = \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}} = \frac{230 \angle 0^\circ}{44,82 \angle 50^\circ} = 5,13 \text{ A} \angle -50^\circ$$

Napětí na výstupu transformátoru  $\underline{U}_2$ :

$$\underline{U}_2 = \underline{Z}_b \cdot \underline{I} = 41,42 \angle 49,33^\circ \cdot 5,13 \angle -50^\circ = 212,48 \text{ V} \angle -0,67^\circ$$

e) V tomto případě je výpočet podobný jako v případě d).  $\underline{Z} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_b =$

$$= 0,92 + j1,45 + 0,92 + j1,45 + 27 - j31,83 = (28,84 - j28,93) \Omega = 40,85 \Omega \angle -45,1^\circ$$

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}} = \frac{230 \angle 0^\circ}{40,85 \angle -45,1^\circ} = 5,63 \text{ A} \angle 50,1^\circ$$

$$\underline{U}_2 = \underline{Z}_c \cdot \underline{I} = 41,74 \angle -49,69^\circ \cdot 5,63 \angle 50,1^\circ = 235 \text{ V} \angle -0,41^\circ$$

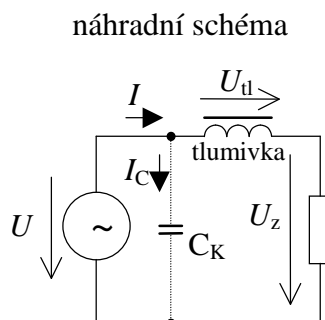
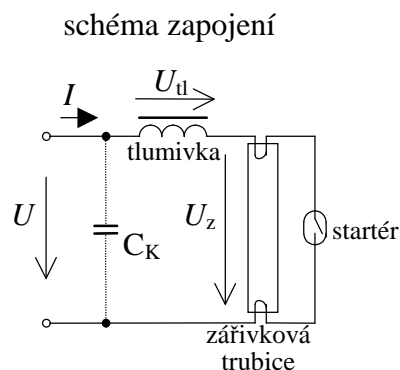
Z výsledků je patrné, že v případě b) je napětí na výstupu transformátoru menší než na vstupu, v případě c) je naopak na výstupu napětí vyšší, přestože transformátor má převod  $p=1$  a vstupní i výstupní napětí by mělo být stejné. Je to způsobeno úbytky napětí na impedancích transformátoru.

V případě c) (protože transformátor představuje určitou indukčnost) dochází vlivem kapacitní zátěže dokonce ke zvýšení napětí na zátěži, protože napětí na indukčnostech transformátoru a kapacitě zátěže jsou v protifázi.

Srovnáním výsledků přesného výpočtu v bodech b) a c) a zjednodušeného výpočtu v bodech d) a e) je vidět, že chyba při zjednodušeném výpočtu není velká. Odchyłky velikosti napětí  $U_2$  jsou do 2 V, což při velikosti napětí přes 200 V představuje méně než 1 %.

### Příklad 3.3.

Máme zářivkové svítidlo zapojené podle následujícího schématu, v němž byly naměřeny uvedené hodnoty napětí a proudu. Předpokládejme, že tlumivka (cívka s železným jádrem) je ideální indukčnost a zářivková trubice se chová jako ideální odpor. Určete účinník zářivkového svítidla a navrhnete kapacitu kompenzačního kondenzátoru pro kompenzaci na účinník 1 a vypočítejte proud odebíraný po kompenzaci.



poznámka:

- V původním zapojení není kompenzační kondenzátor.

- Startér funguje jako spínač, který spíná pouze na krátkou dobu při zapnutí.

Při chodu zářivky je rozepnutý, takže se v náhradním schématu neuplatní.

Zadané hodnoty:  $U =$

219 V,  $f = 50$  Hz,

$I = 0,51$  A,  $U_{tl} = 192$  V,

$U_z = 105$  V.

Určit:  $\varphi$  zářivkového svítidla bez kompenzace,

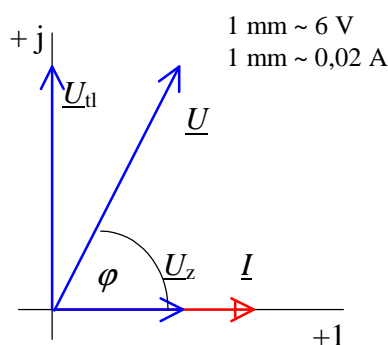
$C_K$  pro kompenzaci na  $\cos \varphi_K = 1$ .

$I_{\text{kompenzované}}$  proud odebíraný svítidlem po kompenzaci

Řešení:

Pro určení fázového posuvu mezi proudem a napětím nekompenzovaného svítidla vyjdeme z fázorového diagramu. Protože celým obvodem (bez kompenzačního kondenzátoru) prochází stejný proud, zvolíme si, že fázor proudu bude ležet v reálné ose.

Fázorový diagram napětí a proudu v zářivkovém svítidle bez kompenzace.  
(Pro určení  $\cos(\varphi)$  z naměřených hodnot proudu a napětí)



Z fázorového diagramu vidíme, že

$$\cos \varphi = \frac{U_z}{U} \Rightarrow$$

$$\varphi = \arccos \frac{U_z}{U} = \arccos \frac{105}{219} = 61,35^\circ$$

Pro potřebný jalový výkon kompenzačního kondenzátoru platí:

$$Q_C = P \cdot (\tan \varphi - \tan \varphi_K) = S \cdot (\sin \varphi - \sin \varphi_K)$$

kde:  $\varphi$  je fázový posuv před kompenzací

$\varphi_K$  je požadovaný fázový posuv po kompenzaci

$$Q_C = U \cdot I \cdot (\sin \varphi - \sin \varphi_K) = 219 \cdot 0,51 \cdot \{\sin(61,35^\circ) - \sin(0^\circ)\} = 98,02 \text{ var}$$

Z toho vypočítáme potřebnou kapacitu kompenzačního kondenzátoru:

$Q_C = U \cdot I_C \cdot \sin \varphi_C$  přičemž  $\varphi_C = 90^\circ$ , zcela korektně  $-90^\circ$ , ale pro tento výpočet záporné znaménko zanedbáme.

Potom:

$$I_C = \frac{Q_C}{U \cdot \sin \varphi_C} = \frac{98,02}{219 \cdot 1} = 0,4476 \text{ A, z toho potom } X_C = \frac{U}{I_C} = \frac{219}{0,4476} = 489,3 \Omega$$

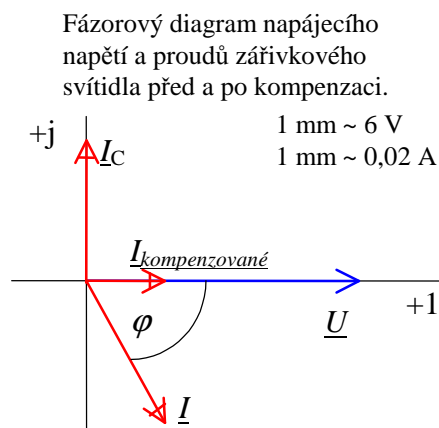
$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} \Rightarrow C = \frac{1}{\omega \cdot X_C} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_C} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 489,3} = 6,5 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 6,5 \mu\text{F}$$

Výpočet proudu po kompenzaci můžeme vypočítat například z napájecího napětí a činného výkonu, protože tyto veličiny se kompenzací nezmění:

$$P = U \cdot I \cdot \cos(\varphi) = U \cdot I_{\text{kompenz.}} \cdot \cos(\varphi_k) \Rightarrow$$

$$I_{\text{kompenz.}} = I \cdot \frac{\cos(\varphi)}{\cos(\varphi_k)} = 0,51 \cdot \frac{\cos(61,35^\circ)}{1} = 0,24 \text{ A}$$

Poměry v obvodě před a po kompenzaci znázorňuje fázorový diagram. Jak je vidět z výpočtu i z fázorového diagramu, proud odebíraný ze sítě se kompenzací podstatně zmenší.



### Příklad 3.4.

Máme jednofázové vedení délky  $l$ , na jehož konci je odporově induktivní zátěž, viz. schéma. Vypočítejte napětí na konci vedení a činný výkon zátěže.

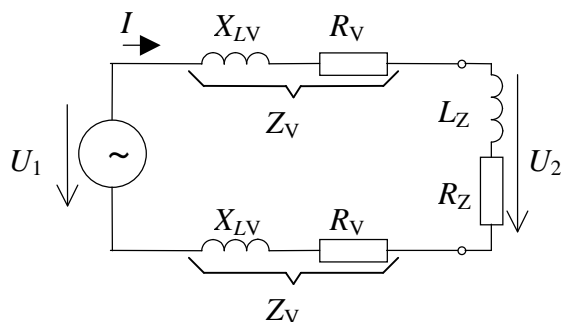
Zadané hodnoty:

$U_1 = 240 \text{ V}$ ;  $f = 50 \text{ Hz}$ ;  $X_k = 0,3 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$  (induktivní reaktance kilometru vedení)

$S = 50 \text{ mm}^2$  (průřez vodiče vedení);  $\rho = 2,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$  (měrný odpor vodiče-hliník)

$l = 2,8 \text{ km}$  (délka vedení);  $R_Z = 8 \Omega$ ;  $L_Z = 24 \text{ mH}$

Určit:  $U_2, P_2$



Pro určité typy elektrického vedení (průřez a vzdálenost vodičů) se v tabulkách udává jejich induktivní reaktance na jeden kilometr délky, pro kmitočet 50 Hz celková induktivní reaktance se určí:  $X_{LV} = l \cdot X_k = 2,8 \cdot 0,3 = 0,84 \Omega$

Odpor jednoho vodiče vedení bude:

$$R_V = \rho \cdot \frac{1000 \cdot l}{S} = 2,7 \cdot 10^{-8} \frac{1000 \cdot 2,8}{50 \cdot 10^{-6}} = 1,512 \Omega$$

(1000 je tam kvůli přepočtu kilometrů na metry)

Úhlová rychlost  $\omega = 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot 50 = 314,15 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$

Induktivní reaktance zátěže  $X_{LZ} = \omega \cdot L_Z = 314,15 \cdot 0,024 = 7,53 \Omega$ .

Impedance zátěže  $Z_Z = \sqrt{X_{LZ}^2 + R_Z^2} = \sqrt{7,53^2 + 8^2} = 10,99 \Omega$

Celková impedance:

$$Z = \sqrt{(2 \cdot X_{LV} + X_{LZ})^2 + (2 \cdot R_V + R_Z)^2} = \sqrt{(2 \cdot 0,84 + 7,53)^2 + (2 \cdot 1,512 + 8)^2} = 14,36 \Omega$$

Proud protékající vedením:  $I = \frac{U_1}{Z} = \frac{240}{14,36} = 16,71 \text{ A}$

Napětí na konci vedení:  $U_2 = I \cdot Z_Z = 16,71 \cdot 10,99 = 183,64 \text{ V}$

Výkon na zátěži  $P_2 = R_Z \cdot I^2 = 8 \cdot 16,71^2 = 2234 \text{ W}$

### Příklad 3.5.

Pro jednofázový spotřebič odporově induktivního charakteru s činným výkonem  $P$  a účinníkem  $\cos \varphi$  navrhnete kompenzační kondenzátor pro kompenzaci na  $\cos \varphi_k$ . Napětí napájecí sítě je  $U$ . Vypočítejte další požadované parametry kompenzačního kondenzátoru.



Zadáno:  $P = 10 \text{ kW}$   $\cos \varphi = 0,75$   
 $U = 230 \text{ V}$   $f = 50 \text{ Hz}$   
 $\cos \varphi_k = 0,95$

Určete: jalový výkon kompenzačního kondenzátoru  $Q_C$ ,  
kapacitu kompenzačního kondenzátoru  $C$ ,  
maximální hodnotu napětí na kterou musí být kondenzátor dimenzován  $U_{\max}$ ,  
proud procházející kondenzátorem  $I_C$ .

Řešení:

$$\varphi = \arccos(\cos \varphi) = \arccos(0,75) = 41,41^\circ$$

$$\varphi_k = \arccos(\cos \varphi_k) = \arccos(0,95) = 18,19^\circ$$

Potřebný jalový výkon kompenzačního kondenzátoru vypočítáme ze vztahu:

$$Q_C = P \cdot [\operatorname{tg}(\varphi) - \operatorname{tg}(\varphi_k)] = 10000 \cdot [\operatorname{tg}(41,41^\circ) - \operatorname{tg}(18,19^\circ)] = 5533,3 \text{ var}$$

Z následujícího obecného vztahu pro jalový výkon určíme proud procházející kompenzačním kondenzátorem. (Pozn. fázový posuv u kondenzátoru je  $90^\circ$ ,  $\sin \varphi_C = 1$ ).

$$Q_C = U \cdot I_C \cdot \sin(\varphi_C) \Rightarrow I_C = \frac{Q_C}{U \cdot \sin(\varphi_C)} = \frac{5533,3}{230 \cdot 1} = 24,06 \text{ A}$$

Určíme potřebnou kapacitní reaktanci kondenzátoru:

$$X_C = \frac{U}{I_C} = \frac{230}{24,06} = 9,56$$

Úhlová rychlost napájecího napětí:

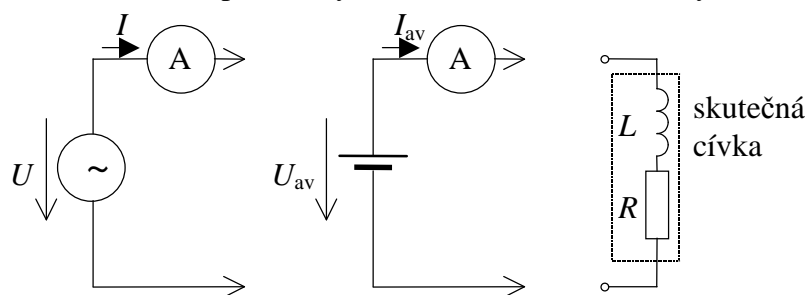
$$\omega = 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot 50 = 314,15 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

Z reaktance určíme kapacitu kondenzátoru:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} \Rightarrow C = \frac{1}{\omega \cdot X_C} = \frac{1}{314,15 \cdot 9,56} = 3,32 \cdot 10^{-4} \text{ F} = 33,2 \mu\text{F}$$

### Příklad 3.6.

Máme skutečnou cívku, jejíž náhradní schéma si můžeme představit jako sériovou kombinaci odporu a indukčnosti. K cívce byl nejprve připojen stejnosměrný zdroj s napětím  $U_{av}$  a v obvodu byl naměřen proud  $I_{av}$ , pak střídavý zdroj s napětím  $U$  a byl naměřen proud  $I$ , viz obrázek. Určete parametry náhradního schématu cívky.



Zadáno:  
 $U_{av} = 12 \text{ V}; \quad I_{av} = 1,3 \text{ A};$   
 $U = 220 \text{ V}; \quad I = 5,2 \text{ A};$   
 $f = 50 \text{ Hz}$

Určete:  
 $R, L$

Řešení:

Při stejnosměrném napájení se v ustáleném stavu uplatní pouze činný odpor cívky:

$$R = \frac{U_{av}}{I_{av}} = \frac{12}{1,3} = 9,23$$

Z napětí a proudu při střídavém napájení vypočítáme impedanci cívky:

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{220}{5,2} = 42,31 \Omega$$

Dále platí:  $Z = \sqrt{X_L^2 + R^2} \Rightarrow X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{42,31^2 - 9,23^2} = 41,29$

Vypočítáme úhlovou frekvenci:  $\omega = 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot 50 = 314,15 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$

Ze známé indukční reaktance cívky vypočítáme její indukčnost:

$$X_L = \omega \cdot L \Rightarrow L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{41,29}{314,15} = 0,131 \text{ H}$$