

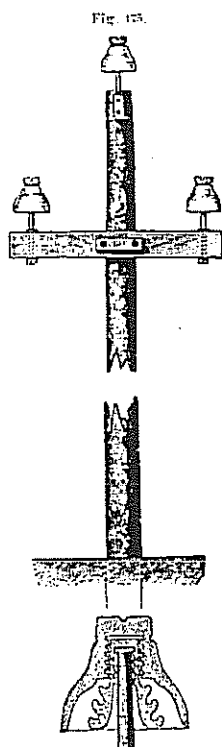
Elektrické stroje

D. Trojfázová soustava

D. 1. Ta trocha historie nikoho nezabije

Trojfázová soustava je základem moderní energetiky. Ferraris a Tesla prokázali, že vícefázové střídavé proudy lze snadno vyrobit i jednoduše využít pro přeměnu na mechanickou práci. Pro praktický rozvoj byl ale nejdůležitější vynález trojfázového generátoru a trojfázového asynchronního motoru ruským inženýrem Dolivo-Dobrovolskim v roce 1890. První stroje na tomto principu vyrobily společně firmy AEG Berlin a Oerlikon v roce 1881.

V roce 1881 bylo také realizováno první 175 km dlouhé trojfázové vysokonapěťové vedení mezi vodní elektrárnou Lauffen nad Mohanem. Ze synchronního generátoru 3,50 V, 1400 A byly krátkými měděnými vodiči průměru 27 mm vedeny tři samostatné obvody do trojfázového olejového transformátoru s převodem 50/14 000 V. Dálkové vysokonapěťové vedení do Frankfurtu mělo celkem 3000 sloupů. Měděnými vodiči o průměru 4 mm protékal proud 4,3 A. Na každém sloupu (obr. 1) byly tři porcelánové izolátory, které měly uvnitř tři prstencové žlábkové naplněné olejem. Na konci vedení byl druhý transformátor s převodem 14 000/100 V.



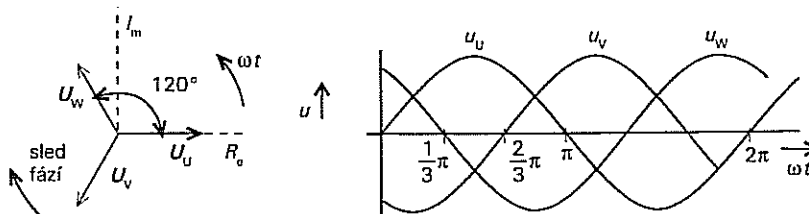
Obr. 1. Stožár prvního dálkového vedení Lauffen-Frankfurt
V detailu je izolátor s vnitřními prstencovými žlábkami na izolační olej

Zajímavá je uváděná energetická bilance. Výkon vodní turbíny byl 197,4 k (tj. asi 145 kW). Účinnost generátoru byla 93,5 %, účinnost prvního transformátoru 96,1, ztráty ve vedení byly 15 %, účinnost druhého transformátoru 95,7 %. Ve Frankfurtu tak byl k dispozici výkon 145,8 k. Celková účinnost výroby a přenosu elektrické energie byla 73,9 %, což bylo hodnoceno jako mimořádný úspěch.

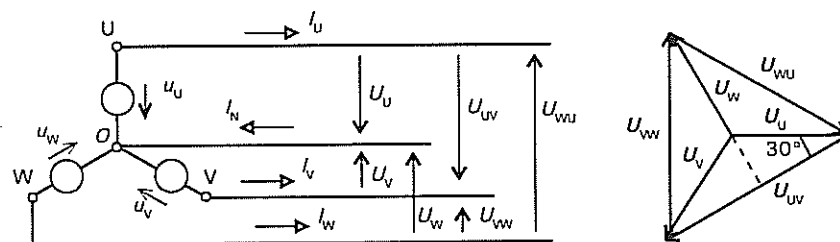
D. 2. Základní vztahy

Trojfázová soustava napětí $u_U(t)$, $u_V(t)$, $u_W(t)$ je souměrná, jestliže všechny napětí mají stejnou efektivní hodnotu $U_U = U_V = U_W = U$ a jestliže jejich vzájemný fázový posun je $2/3 \pi$ (obr. 2). Pro okamžité hodnoty tedy platí

$$\begin{aligned} u_U &= \sqrt{2} U \sin(\omega t) \\ u_V &= \sqrt{2} U \sin(\omega t - 120^\circ) \\ u_W &= \sqrt{2} U \sin(\omega t - 240^\circ) = \\ &= \sqrt{2} U \sin(\omega t + 120^\circ) \end{aligned} \quad (D1)$$



Obr. 2. Fázorový diagram a časový průběh trojfázové symetrické soustavy napětí



Obr. 4. Spojení zdrojů do hvězdy a fázorový diagram napětí sdružených a fázových

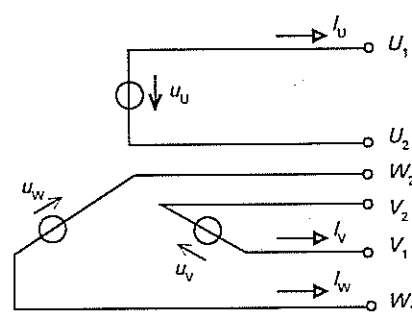
Analytické rovnice (D1) můžeme vyjádřit jednodušeji pomocí fázorů napětí U_U , U_V , U_W , přičemž pro efektivní hodnoty platí

$$\begin{aligned} U_U &= U \\ U_V &= U e^{-j120^\circ} \\ U_W &= U e^{j120^\circ} \end{aligned} \quad (D2)$$

D. 3. Spojování trojfázových zdrojů

Nesdružená (nevázaná) trojfázová soustava je tvořena třemi jednofázovými zdroji napětí se samostatnými dvojitými vodičovými vedeními. Ke spojení se spotřebiči je třeba šestivodičové vedení (obr. 3).

Sdružená (vázaná) trojfázová



Obr. 3. Nesdružená trojfázová soustava

soustava vznikne spojením tří jednofázových soustav do hvězdy nebo do trojúhelníka.

U spojení do hvězdy (písmenové označení Y) jsou zdroje jednou svorkou stejného znaménka spojeny do uzlu, kde vznikne tzv. nulový bod (obr. 4). Ze zbývajících svorek se vedou tři fázové vodiče, z uzlu čtvrtý střední (nulovací) vodič. To umožňuje získat v rozvodné síti dvojí napětí: sdružené a fázové. Pro

sdružená napětí mezi fázovými vodiči platí podle druhého Kirchhoffova zákona

$$\begin{aligned} U_{UV} &= U_U - U_V \\ U_{VW} &= U_V - U_W \\ U_{WU} &= U_W - U_U \\ U_{UV} + U_{VW} + U_{WU} &= 0 \end{aligned} \quad (D3)$$

Mezi napětím sdruženým a fázovým lze snadno odvodit vztah

$$U_{UV} = 2 U_U \cos 30^\circ = \sqrt{3} U_U \quad (D4)$$

V nízkonapěťových rozvodech se používá převážně soustava 380/220, takže je k dispozici fázové napětí 220 V a sdružené napětí $220 \sqrt{3} = 380$ V.

Připojíme-li k trojfázové soustavě zapojené do hvězdy spotřebiče, budou jednotlivými fázovými vodiči protékat proudy I_U, I_V, I_W , středním vodičem pak proud I_N . Pro fázory těchto proudů bude podle prvního Kirchhoffova zákona platit

$$I_V + I_V + I_W = I_N \quad (D5)$$

Pro souměrnou trojfázovou soustavu proudů bude tedy $I_N = 0$

U spojení do trojúhelníka (písmenové označení D) jsou tři jednofázové zdroje spojeny za sebou do uzavřeného trojúhelníka (obr. 5). Spojené lze uskutečnit jen pro vyvážený trojfázový zdroj. Napětí zdrojů je tedy rovno napětím sdruženým. Trojfázová zátěž je připojena třemi vodiči, kterými při zatížení protékají sdružené proudy, přičemž platí

$$\begin{aligned} I_{UV} &= I_V - I_U \\ I_{VW} &= I_W - I_V \\ I_{WU} &= I_U - I_W \\ I_{UV} + I_{VW} + I_{WU} &= 0 \end{aligned} \quad (D6)$$

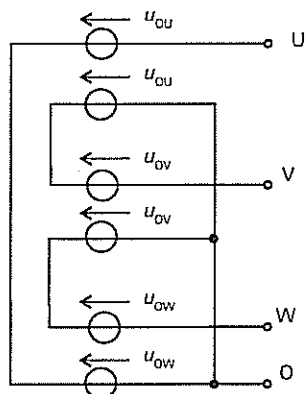
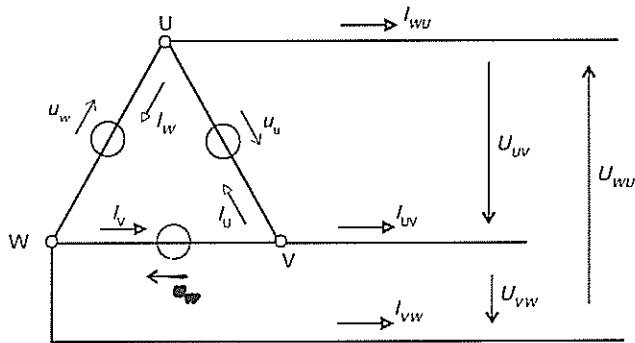
Mezi sdruženými a fázovými proudy platí analogicky k (D4)

$$I_{UV} = \sqrt{3} I_U \quad (D7)$$

U spojení do lomené hvězdy (písmenové označení Z) je zapojeno celkem šest jednofázových zdrojů (obr. 6). Fázová napětí na svorkách jsou dána fázorovým součtem napětí jednotlivých zdrojů

$$\begin{aligned} U_U &= U_{OU} - U_{OW} \\ U_V &= U_{OV} - U_{OU} \\ U_W &= U_{OW} - U_{OV} \end{aligned} \quad (D8)$$

Obr. 5. Spojení zdrojů do trojúhelníka



Toto spojení se používá např. u trojfázových transformátorů nesouměrně zatížených.

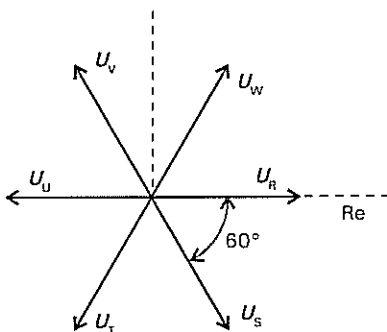
D. 4. Šestifázová soustava

Z mnohafázových soustav se v praxi používají zejména soustavy šestifázové popř. dvanáctifázové. Slouží zpravidla k napájení usměrňovačů, které pak mají výstupní usměrňené napětí podstatně méně zvlněné.

Je-li efektivní hodnota fázového napětí všech zdrojů stejná, platí pro fázory napětí jednotlivých zdrojů souměrné šestifázové soustavy (obr. 7)

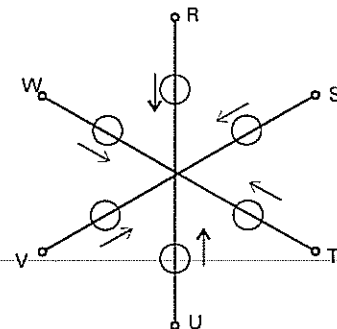
$$\begin{aligned} U_R &= U \\ U_S &= U e^{-j60^\circ} \\ U_T &= U e^{-j120^\circ} \\ U_U &= U e^{-j180^\circ} \\ U_V &= U e^{-j240^\circ} \\ U_W &= U e^{-j300^\circ} \end{aligned} \quad (D9)$$

Šestifázovou souměrnou soustavu lze vytvořit více způsoby:

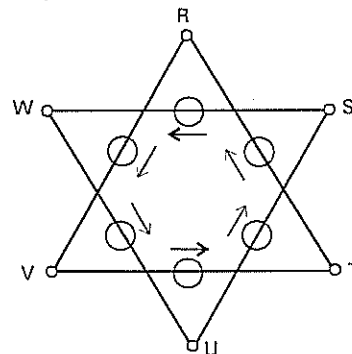


Obr. 7. Fázorový diagram šestifázové souměrné soustavy napětí

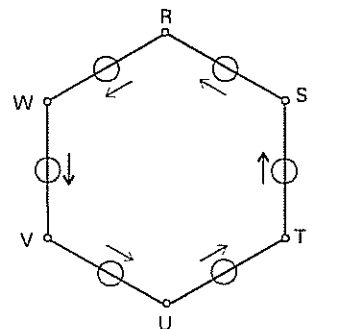
a) ze šesti zdrojů zapojených do šestifázové hvězdy (YY) podle obr. 8, b) ze šesti zdrojů zapojených do dvojitěho trojúhelníka (DD) podle obr. 9, c) ze šesti zdrojů zapojených do pravidelného šestiúhelníka podle obr. 10, d) z devíti zdrojů zapojených do dvojité lomené hvězdy neboli do rozvidlené šestifázové hvězdy (ZZ) podle obr. 11.



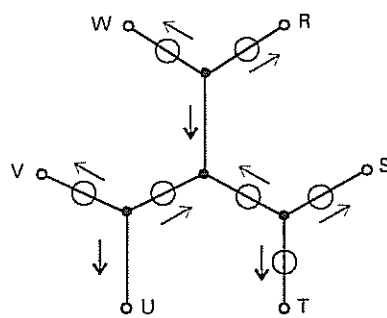
Obr. 8. Spojení zdrojů do šestifázové hvězdy (YY)



Obr. 9. Spojení zdrojů do dvojitěho trojúhelníka (DD)



Obr. 10. Spojení zdrojů do pravidelného šestiúhelníka

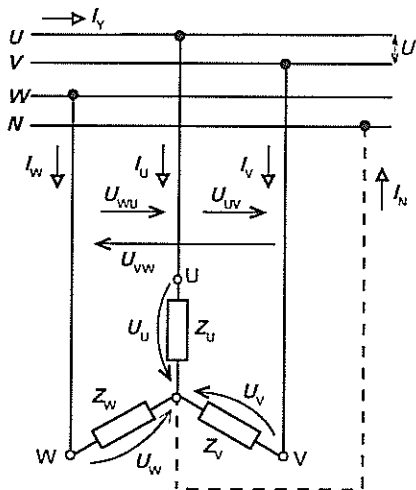


Obr. 11. Spojení devíti zdrojů do dvojité lomené hvězdy (ZZ)

Elektrické stroje

D. 5. Výkon trojfázové soustavy

Budeme uvažovat trojfázovou soustavu v harmonickém ustáleném stavu a trojfázový souměrný zdroj. K tomuto trojfázovému zdroji je připojen trojfázový spotřebič, jehož jednotlivé fáze představují komplexní impedance Z_U, Z_V, Z_W . Platí-li $Z_U = Z_V = Z_W$, jedná se o spotřebič souměrný a souměrný trojfázový obvod, neplatí-li tato rovnost, jedná se o spotřebič nesouměrný a nesouměrný trojfázový obvod. Spotřebič přitom může být zapojen buď do hvězdy nebo do trojúhelníka.

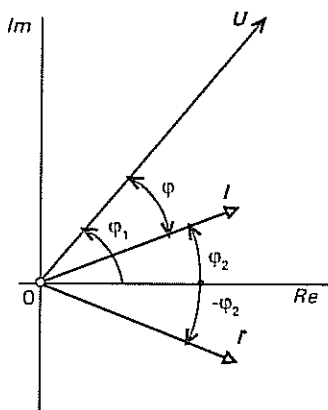


Obr. 12. Trojfázový spotřebič spojený do Y

Při nesouměrném trojfázovém obvodu zapojeném do hvězdy (obr. 12) bude komplexní výkon

$$S = U_U I_U^* + U_V I_V^* + U_W I_W^* \quad (D10)$$

kde fáze I^* jsou fáze proudů komplexně sdružených (obr. 13).



Pro každou fázi totiž platí

$$S_f = U I^* = U e^{j\varphi_1} I e^{-j\varphi_2} = U I e^{j(\varphi_1 - \varphi_2)} = S_f e^{j\varphi}$$

$$S_f = S_f (\cos\varphi + j\sin\varphi) = P + jQ$$

Reálná složka komplexního výkonu definovaného v (D10) představuje výkon činný

$$P = \operatorname{Re}[S] = U_U I_U \cos\varphi_U + U_V I_V \cos\varphi_V + U_W I_W \cos\varphi_W \quad (W; V, A) \quad (D11)$$

Imaginární složka komplexního výkonu představuje výkon jalový

$$Q = \operatorname{Im}[S] = U_U I_U \sin\varphi_U + U_V I_V \sin\varphi_V + U_W I_W \sin\varphi_W \quad (\text{var}; V, A) \quad (D12)$$

Pro zdánlivý výkon platí

$$S = |S| \quad (VA) \quad (D13)$$

Mezi výkony P, Q, S platí stejně jako u jednofázového obvodu

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (D14)$$

Při souměrném trojfázovém obvodu budou fáze proudů i napětí mít stejnou velikost a budou mít i stejný fázový posuv, takže pro fázové hodnoty napětí a proudů platí

$$U_U = U_V = U_W = U_f \\ I_U = I_V = I_W = I_f \quad (D15)$$

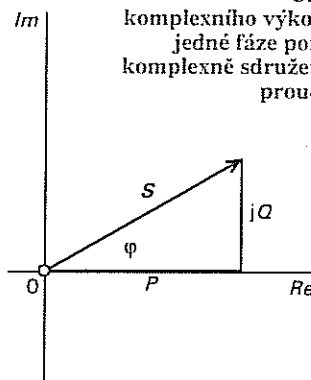
a pro výkon činný, jalový a zdánlivý bude

$$P = 3 U_f I_f \cos\varphi = \sqrt{3} U I \cos\varphi \quad (W; V, A) \\ Q = 3 U_f I_f \sin\varphi = \sqrt{3} U I \sin\varphi \quad (\text{var}; V, A) \\ S = 3 U_f I_f \cos\varphi = \sqrt{3} U I \quad (VA; V, A) \quad (D16)$$

kde U, I jsou hodnoty síťové, pro které ve spojení do hvězdy platí $U_f = U/\sqrt{3}$ a $I_f = I$.

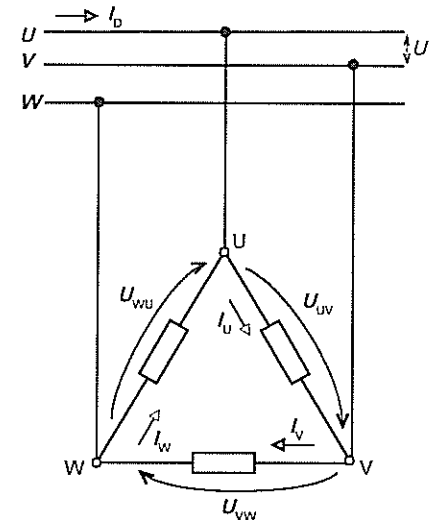
Obr. 13. Určení

komplexního výkonu S jedné fáze pomocí komplexně sdruženého proudu I^*



Při nesouměrném trojfázovém obvodu zapojeném do trojúhelníka (obr. 14) bude komplexní výkon odebíraný spotřebičem

$$S = U_{UV} I_U^* + U_{VW} I_V^* + U_{WU} I_W^* \quad (D17)$$



Obr. 14. Trojfázový spotřebič zapojený do D

Pro činný, jalový a zdánlivý výkon bude opět platit

$$P = \operatorname{Re}[S] = P_U + P_V + P_W$$

$$Q = \operatorname{Im}[S] = Q_U + Q_V + Q_W$$

$$S = |S|$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (D18)$$

kde P_U, P_V, P_W jsou činné výkony jednotlivých fází a Q_U, Q_V, Q_W jalové výkony jednotlivých fází.

Při souměrném trojfázovém obvodu zapojeném do trojúhelníka bude

$$U_{UV} = U_{VW} = U_{WU} = U_f$$

$$I_U = I_V = I_W = I_f \quad (D19)$$

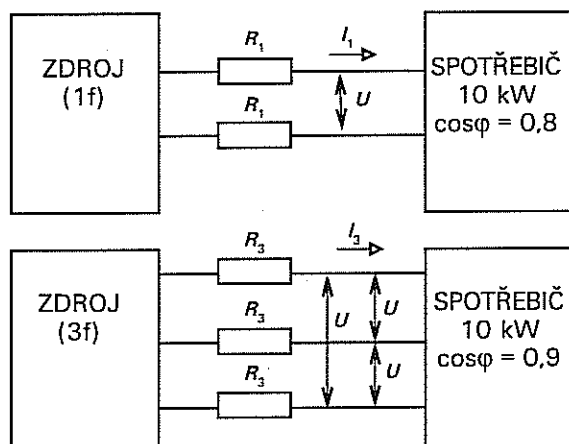
Pro činný, jalový a zdánlivý výkon budou platit vztahy (D16), dosadíme-li za $U_f = U$ a $I_f = I/\sqrt{3}$.

Okamžitý výkon trojfázového spotřebiče v libovolném zapojení bude dán součtem okamžitých výkonů jednotlivých fází

$$p = u_U i_U + u_V i_V + u_W i_W \quad (D20)$$

Střední výkon za dobu jedné periody T bude

$$P_{st} = \frac{1}{T} \int_0^T (p_U + p_V + p_W) dt \quad (D21)$$



Obr. 15. Porovnání
jednofázového
a trojfázového přenosu

1. příklad (obr. 15)

Porovnání ztrát v jednofázovém a trojfázovém rozvodu.

a) Výkon $P = 10 \text{ kW}$, $\cos\varphi = 0,8$ se z jednofázového zdroje přenáší při napětí 380 V jednofázově dvěma vodiči, z nichž každý má odpor $R_1 = 0,2 \Omega$. Určete ztráty ve vedení ΔP_1 při jednofázovém přenosu.

$$I_1 = \frac{P}{U \cos\varphi} = \frac{10\,000}{380 \cdot 0,8} = 32,9 \text{ A}$$

$$\Delta P_1 = 2R_1 I_1^2 = 2 \cdot 0,2 \cdot 32,9^2 = 432,8 \text{ W}$$

b) Výkon $P = 10 \text{ kW}$, $\cos\varphi = 0,8$ je ze souměrného trojfázového zdroje přenášen při napětí $3 \times 380 \text{ V}$ trojfázovým vedením, jehož každý vodič má odpor $R_3 = 0,2 \Omega$. Určete ztráty ve vedení ΔP_3 při trojfázovém přenosu.

$$I_3 = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos\varphi} = \frac{10\,000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,8} = 18,99 \text{ A}$$

$$\Delta P_3 = 3R_3 I_3^2 = 3 \cdot 0,2 \cdot 18,99^2 = 216,41 \text{ W}$$

Poměr ztrát při přenosu trojfázovým a jednofázovým (při $R_1 = R_3$)

$$\frac{\Delta P_3}{\Delta P_1} = \frac{216,4}{432,8} = 0,5$$

Ztráty ve vedení jsou tedy za stejných podmínek při trojfázovém přenosu poloviční nežli při přenosu jednofázovém. Můžete si sami odvodit, že obecně platí

$$\frac{\Delta P_3}{\Delta P_1} = \frac{R_3}{2R_1}$$

2. Příklad (obr. 16)

Na trojfázové vedení $3 \times 380 \text{ V}$ napájené ze souměrného trojfázového zdroje je připojen trojfázový souměrný odporový spotřebič. Odpor každé z fází je $R = 11 \Omega$.

Porovnejte proudy a výkony při zapojení spotřebiče do Y a do D.

a) Spojení Y

Při souměrné trojfázové soustavě platí pro síťové napětí U

$$U = U_{UV} = U_{VW} = U_{WU}$$

Napětí a proudy ve fázích budou

$$U_U = U_V = U_W = U_{UY} = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} \approx 220 \text{ V}$$

$$I_U = I_V = I_W = I_{UY} = \frac{U_{UY}}{R} = \frac{U}{\sqrt{3}R} = \frac{220}{11} = 20 \text{ A}$$

Síťový proud ve spojení Y bude roven proudům fázovému

$$I_Y = I_{UY} = 20 \text{ A}$$

Součet fázových proudů jednotlivých fází bude roven nule

$$I_U + I_V + I_W = I_N = 0$$

Činný výkon spotřebiče ve spojení do Y

$$P_Y = 3 \frac{U_{UY}^2}{R} = \frac{U^2}{R} = \frac{380^2}{11} = 13\,127 \text{ W}$$

b) Spojení D

Opět platí

$$U = U_{UV} = U_{VW} = U_{WU}$$

Napětí a proudy ve fázích budou

$$U_{UD} = U = 380 \text{ V}$$

$$I_D = \frac{U}{R} = \frac{380}{11} = 34,5 \text{ A}$$

Síťový proud ve spojení D bude

$$I_D = \sqrt{3} I_{UD} = \sqrt{3} \cdot 34,5 = 60 \text{ A}$$

Součet jednotlivých fázových proudů je opět roven nule

$$I_{UV} + I_{VW} + I_{WU} = I_N = 0$$

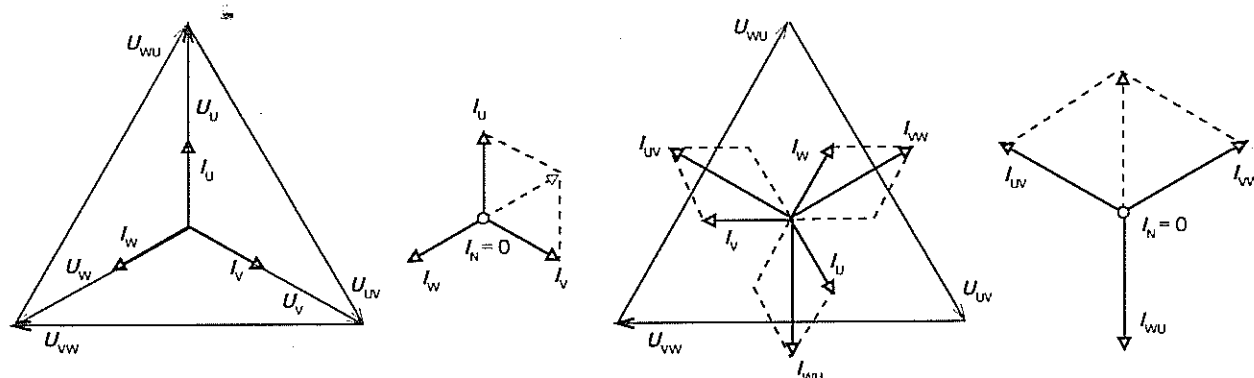
Činný výkon spotřebiče ve spojení do D

$$P_D = 3 \frac{U^2}{R} = 3 \frac{380^2}{11} = 39\,381 \text{ W}$$

Poměr proudů a výkonů ve spojení D a Y

$$\frac{I_D}{I_Y} = \frac{60}{20} = 3; \quad \frac{I_{UD}}{I_{UY}} = \frac{34,5}{20} = \sqrt{3};$$

$$\frac{P_D}{P_Y} = \frac{39\,381}{13\,127} = 3$$



Obr. 16. Fázorový diagram spotřebiče zapojeného do Y a do D

Elektrické stroje

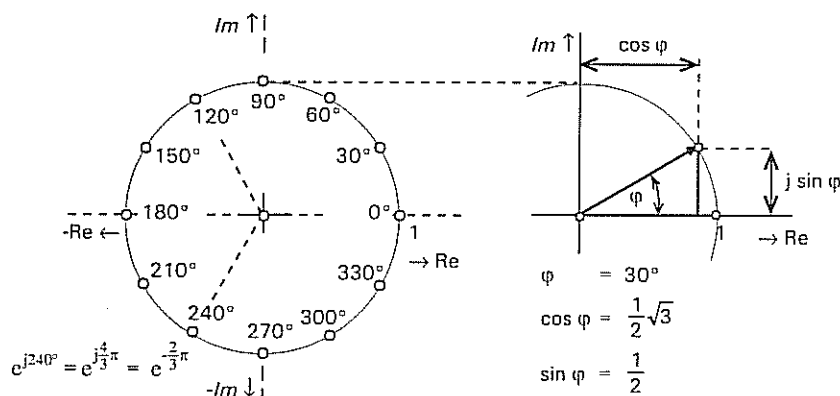
D. 6. Jednoduché trojfázové obvody v ustáleném stavu

Omezíme se na několik jednoduchých trojfázových obvodů v harmonickém ustáleném stavu. Pro jejich analýzu postačí znalost Kirchhoffových zákonů a zákona Ohmova.

Pro rychlou výpočetní orientaci uvádíme v předhledném obr. 17 zobrazení jednotkového napětí $U = 1$ v Gaussově rovině a v následující tab. 1. hodnoty některých goniometrických funkcí.

Tab. 1. Hodnoty některých funkcí pro úhel 0 až 360°

φ°	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	360°
rad	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{2\pi}{3}$	$\frac{5\pi}{6}$	π	$\frac{7\pi}{6}$	$\frac{4\pi}{3}$	$\frac{3\pi}{2}$	$\frac{5\pi}{3}$	$\frac{11\pi}{6}$	2π
$\sin \varphi$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	-1	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0
$\cos \varphi$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	-1	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1



Obr. 17. Zobrazení jednotkového napětí $U = 1$ V v komplexní rovině

Uvažujeme-li např. trojfázovou symetrickou soustavu napětí s fázorem napětí U_U v poloze 0°, U_V v poloze 240° U_W v poloze 120°, bude platit

$$U_U = U$$

$$U_V = e^{j240^\circ} = e^{j\frac{4}{3}\pi} = e^{-j120^\circ} = e^{-j\frac{2}{3}\pi}$$

$$U_W = U e^{j120^\circ} = U e^{j\frac{2}{3}\pi}$$

Z tabulky a názorného zobrazení se pak můžeme rychle orientovat i v jiných polohách fázorů a v hodnotách jednotlivých souřadnic.

Na obr. 18 je naznačen trojfázový nesouměrný zdroj zapojený do hvězdy se zdroji napětí U_{OU} , U_{OV} , U_{OW} , které jsou vzájemně různé ($U_{OU} \neq U_{OV} \neq U_{OW}$). Zdroj je čtyřvodičovým vedením spojen s nesouměrným trojfázovým spo-

třebičem, zapojeným rovněž do hvězdy, pro jeho komplexní fázové impedance tedy platí $Z_U \neq Z_V \neq Z_W$.

V těchto impedancích jsou zahrnuty i komplexní impedance spojovacího vedení. Ve středním vodiči s impedancí Z_N bude protékat proud I_N , pro který z prvního Kirchhoffova zákona platí

$$I_N = I_U + I_V + I_W \quad (D22)$$

ze druhého Kirchhoffova zákona dostáváme vztahy pro napětí

$$U_U = U_{OU} - U_N$$

$$U_V = U_{OV} - U_N$$

$$U_W = U_{OW} - U_N \quad (D23)$$

Z Ohmova zákona určíme napětí na jednotlivých spotřebičích

$$U_U = Z_U I_U$$

$$U_V = Z_V I_V$$

$$U_W = Z_W I_W$$

$$U_N = Z_N I_N \quad (D24)$$

Pro čtyři neznámé proudy I_N , I_U , I_V , I_W a čtyři neznámá napětí U_N , U_U , U_V , U_W máme tedy postačující osm nezávislých rovnic.

Dosadíme-li rovnice (D23) do (D24) dostaneme

$$I_U = (U_{OU} - U_N) Y_U$$

$$I_V = (U_{OV} - U_N) Y_V$$

$$I_W = (U_{OW} - U_N) Y_W$$

$$I_N = U_N Y_N \quad (D25)$$

přičemž jsme komplexní impedanci nahradili komplexními admitancemi

$$(Y = \frac{1}{Z}).$$

Tyto rovnice dosadíme nyní do rovnice (D22) a po úpravě dostaneme konečně výraz pro napěťový úbytek ve středním vedení

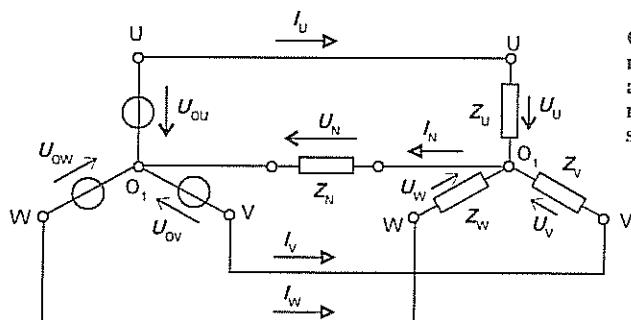
$$U_N = \frac{U_{OU} Y_U + U_{OV} Y_V + U_{OW} Y_W}{Y_N + Y_U + Y_V + Y_W} \quad (D26)$$

Musíme však ještě určit zbývající fázová napětí na spotřebiči a všechny proudy. Výraz (D26) tedy dosadíme do rovnic (D23) a získáme U_U , U_V , U_W . Na závěr z Ohmova zákona podle rovnic (D24) určíme jednotlivé proudy I_U , I_V , I_W a I_N .

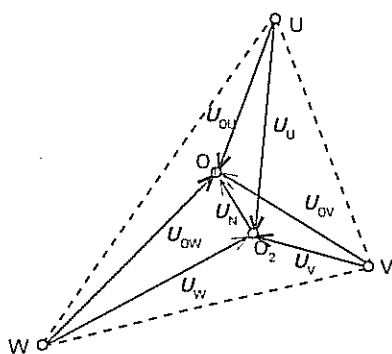
Z názorného diagramu na obr. 19 je zřejmé, že při nesouměrném zdroji a nesouměrném spotřebiči vznikne nesouměrná soustava.

Na každém spotřebiči jednotlivé fáze jsou různá napětí a v nulovacím vodiči teče nežádoucí proud, neboť $U_N \neq 0$.

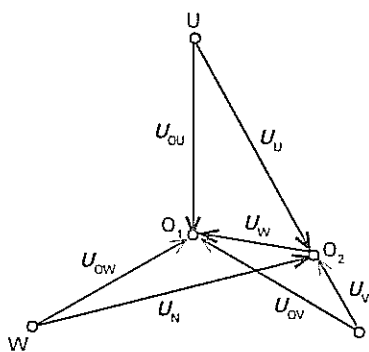
Avšak i při souměrném zdroji U_{OU} , U_{OV} , U_{OW} a nesouměrné zátěži bude soustava napětí U_U , U_V , U_W nesouměrná, jak je zřejmé z diagramu na obr. 20. Nulovacím vodičem



Obr. 18. Trojfázový nesouměrný zdroj a trojfázový nesouměrný spotřebič



Obr. 19. Diagram napětí nesouměrného trojfázového zdroje a nesouměrné trojfázové zátěže podle zapojení v obr. 18



Obr. 20. Diagram napětí souměrného trojfázového zdroje a nesouměrné trojfázové zátěže

teče opět nežádoucí proud, neboť opět $U_N \neq 0$. Takový stav je samozřejmě nežádoucí, protože každý ze spotřebičů má mít jmenovité napětí.

Základním požadavkem tedy vždy je, aby zdroj byl souměrný. Ovšem ani potom není napětí U_N nulové. Z rovnice (D26) vidíme, že U_N může být nulové pouze tehdy, bude-li admitance Y_N nekonečně velká, tedy pro $Y_N \rightarrow \infty$. **Proto u soustav s nulovacím vodičem se nulovací vodič nesmí nikdy přerušit a jeho dimenzování je nutné věnovat maximální pozornost, tak jak to také vyžadují příslušné normy!**

Dalším požadavkem je, aby spotřeba byla rovnoměrně rozložena do jednotlivých fází. Při souměrném zdroji a souměrném spotřebiči je celá soustava souměrná, takže $U_N = 0$ a $I_N = 0$. Řešení souměrného obvodu je pak podstatně jednodušší.

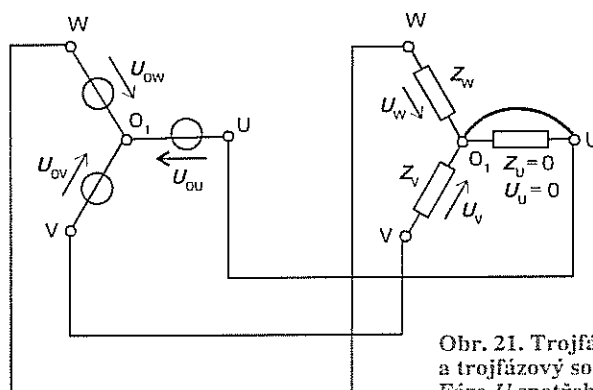
1. příklad

Na obr. 21 je naznačen trojfázový souměrný zdroj napětí, zapojený do hvězdy, pro který platí

$$U_{OU} = U_0$$

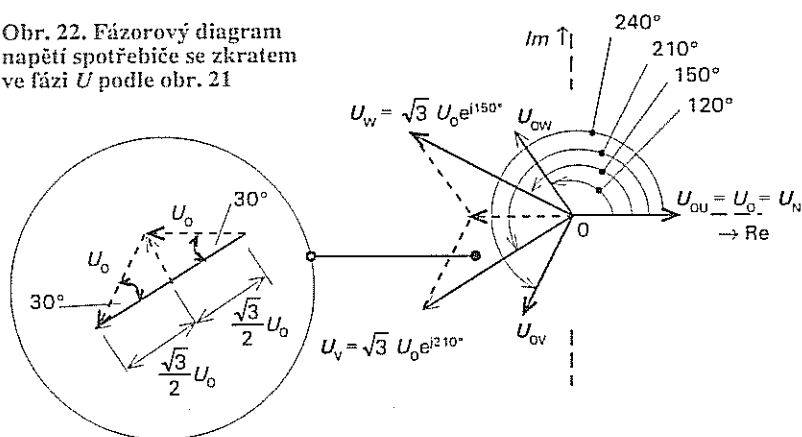
$$U_{OV} = U_0 e^{j120^\circ}$$

$$U_{OW} = U_0 e^{j240^\circ}$$



Obr. 21. Trojfázový souměrný zdroj a trojfázový souměrný spotřebič. Fáze U spotřebiče byla při poruše zkratována

Obr. 22. Fázorový diagram napětí spotřebiče se zkratem ve fázi U podle obr. 21



Ve fázi U souměrného spotřebiče zapojeného do hvězdy došlo ke zkratu! Impedance této větve klesne na nulu: $Z_U = 0$. Rovněž napětí mezi body U a O_2 klesne na nulu: $U_U = 0$. Na zbývajících fázích spotřebiče budou napětí

$$U_V = U_{OV} - U_N = \sqrt{3} U_0 e^{j210^\circ}$$

$$U_W = U_{OW} - U_N = \sqrt{3} U_0 e^{j150^\circ}$$

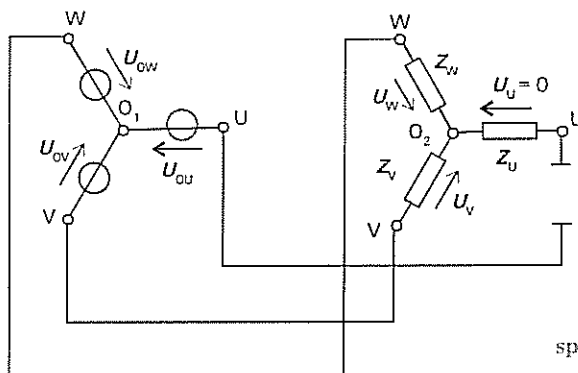
Na neporušených fázích spotřebiče tedy místo napětí U_0 se objeví přepětí

$\sqrt{3} U_0$, jak je názorně vidět i na fázorovém diagramu v obr. 22.

2. příklad

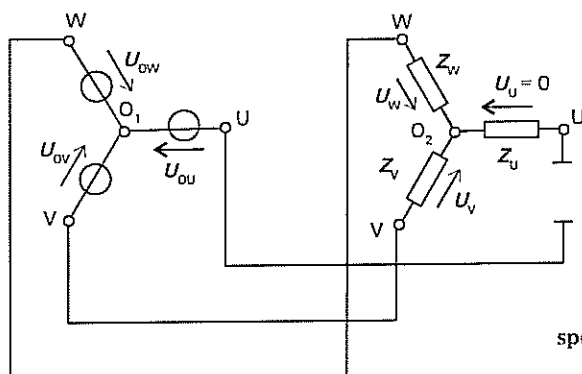
Na obr. 23 je trojfázový souměrný zdroj napětí, zapojený do hvězdy, na který je připojen souměrný trojfázový spotřebič. V důsledku poruchy došlo k přerušení větve U spotřebiče.

(dokončení přítě)



Obr. 23. Trojfázový souměrný zdroj a trojfázový souměrný spotřebič. Fáze U spotřebiče byla při poruše rozpojena

Elektrické stroje



Obr. 23.
Trojfázový
souměrný zdroj
a trojfázový souměrný
spotřebič. Fáze U spotřebiče
byla při poruše rozpojena

2. příklad

Na obr. 23 je trojfázový souměrný zdroj napětí, zapojený do hvězdy, na který je připojen souměrný trojfázový spotřebič. V důsledku poruchy došlo k přerušení větve U spotřebiče.

Ze základních vztahů, odvozených na začátku této kapitoly je zřejmé, že

$$U_{OU} + U_{OV} + U_{OW} = 0.$$

V našem případě bude komplexní admitance rozpojené fáze nulová:

$Y_U = 0$. U souměrného spotřebiče bude $Y_V = Y_W$. Mezi uzly O_1 a O_2 bude podle rovnice (D26) a podle fázorového diagramu na obr. 24 napětí

$$U_N = \frac{1}{2} (U_{OV} + U_{OW}) = -\frac{1}{2} U_{OU}.$$

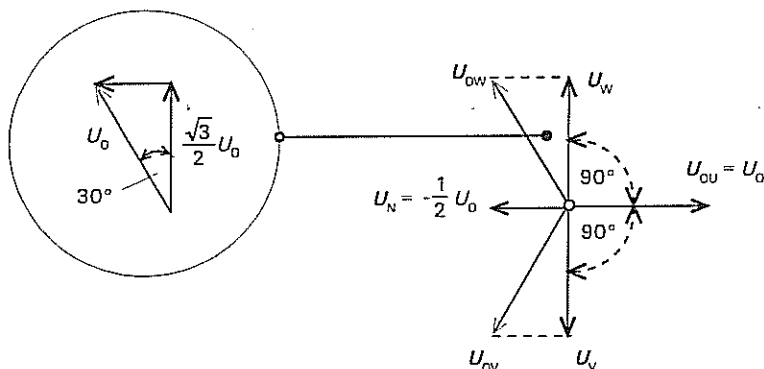
Napěťový úbytek na impedanci Z_U bude jistě nulový: $U_U = 0$. Z rovnice (D23) i fázorového diagramu na obr. 24 snadno určíme zbývající dvě napětí

$$\begin{aligned} U_V &= U_{OV} - U_N = -j \frac{\sqrt{3}}{2} U_O = \\ &= \frac{\sqrt{3}}{2} U_O e^{j270^\circ} = \frac{\sqrt{3}}{2} U_O e^{j90^\circ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_W &= U_{OW} - U_N = j \frac{\sqrt{3}}{2} U_O = \\ &= \frac{\sqrt{3}}{2} U_O e^{j90^\circ} \end{aligned}$$

Na neporušených fázích tedy budou napětí snížena a budou od původního směru fázoru U_{OU} posunuta o -90° resp. $+90^\circ$.

Konec kapitoly D. Trojfázové soustavy.



Obr. 24. Fázorový diagram
napětí spotřebiče
s rozpojenou fází U podle
obr. 23

Máte pocit,
že jste už
vyzkoušeli všechno?

**S NÁMI
URČITĚ NE!**

Firma **ELEKTRO-
MANAGEMENT**
pořádá ve dnech
24. - 25. 1. 1996
v KD INVEST SHOP,
Americká 49, Plzeň
výstavu elektroniky
a elektrotechniky

**ELEKTRO
TEC '96**

Pro první přihlášené firmy
nabízíme zajímavé ceny
výstavních míst a možnost
reklamy v rádiích
**KISS-PROTON a
RÁDIO FM PLUS PLZEŇ**

KONTAKTNÍ ADRESA



Ing. Pavel Hála
ELEKTROMANAGEMENT

Sídlo firmy (platí stále):

Čtvrť 8,
658 49 Brno,
tel./zázn./fax: 05 - 35 38 37

Kancelář (platí do 31. 12. 1995):

Cejl 72, 658 49 Brno,
tel./fax: 05 - 45 21 02 99,
45 21 03 00, 45 32 12 64,
tel. kl. : 114, 115, fax kl. 114