

TROJFÁZOVÁ SOUSTAVA

- základní obrat ve výrobě a užití elektrické energie
- nesporné výhody při výrobě, přenosu a přeměně elektrické energie na mechanickou

Trojfázová symetrická soustava napětí:
tři zdroje **harmonického** napětí

- **shodné amplitudy**
- **shodný kmitočet**
- **fázové posunutí 120°**

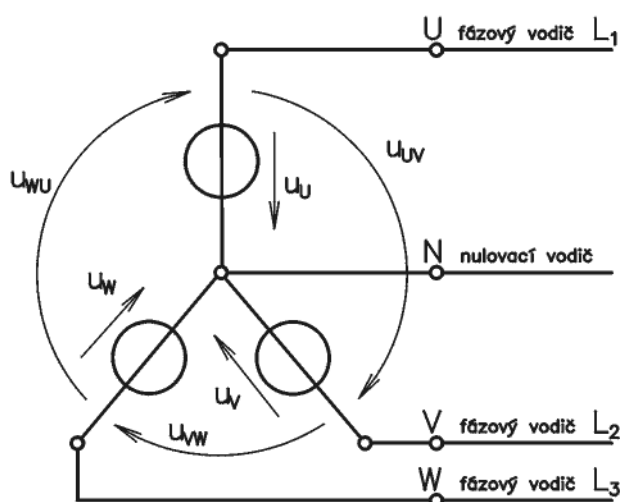
Řešení obvodů:

trojfázová soustava napětí tři zdroje napětí, napájející daný obvod

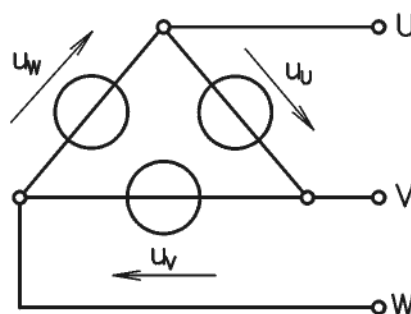
ZÁKLADNÍ POJMY

Sdružená trojfázová soustava napětí

spojení zdrojů do **hvězdy**



do **trojúhelníku**.



vodiče od svorek U, V, W **fázové vodiče**
vodič od svorky N **nulovací vodič**

Pro přenos a přeměnu elektrické energie se zásadně používá

symetrická (souměrná) sdružená trojfázová soustava napětí:

$$U_U = U_V = U_W$$

Popis soustavy:

analyticky :

$$u_U = U_U \cdot \sin \omega t$$

$$u_V = U_V \cdot \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right)$$

$$u_W = U_W \cdot \sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi\right)$$

fázorově:

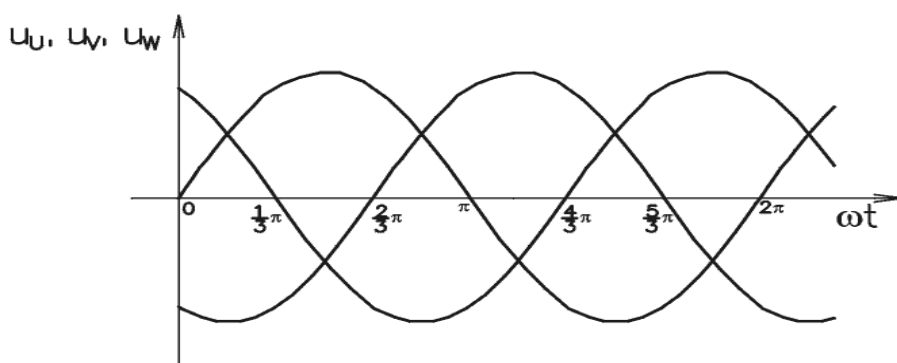
$$\hat{U}_U = U_U$$

$$\hat{U}_V = U_V \cdot e^{-j120^\circ}$$

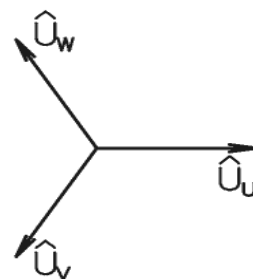
$$\hat{U}_W = U_W \cdot e^{j120^\circ}$$

Časový průběh napětí u_U, u_V, u_W

fázorový diagram napětí $\hat{U}_U, \hat{U}_V, \hat{U}_W$



a)



b)

ZAPOJENÍ ZDROJŮ TROJFÁZOVÉHO NAPĚTÍ

zapojení do hvězdy:

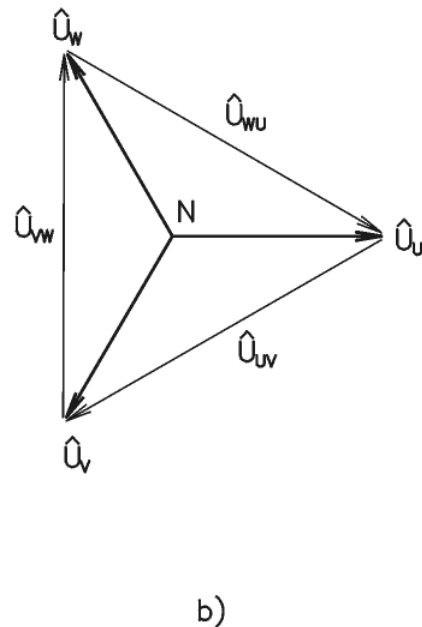
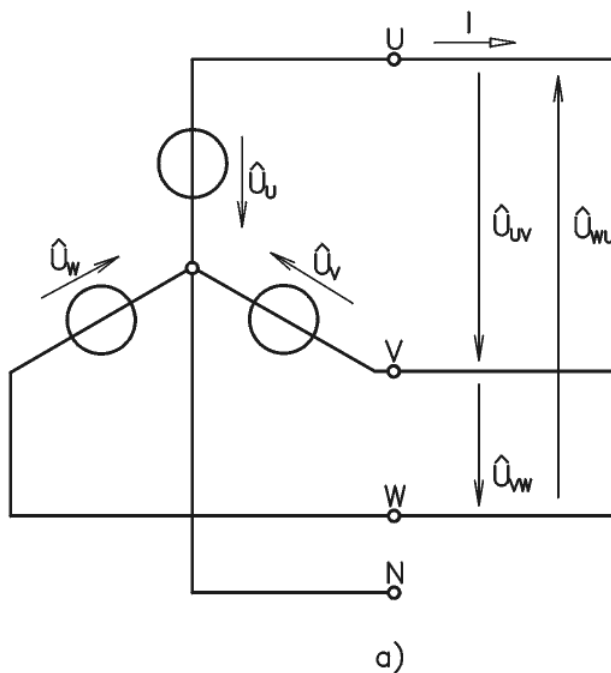
fázové napětí - napětí mezi fázovým vodičem a nulovacím vodičem

$$\hat{U}_U, \hat{U}_V, \hat{U}_W \quad \dots\dots\dots \text{obecně } U_f$$

sdrúžené napětí - napětí mezi fázovými vodiči

$$\hat{U}_{UV} = \hat{U}_U - \hat{U}_V \quad \hat{U}_{VW} = \hat{U}_V - \hat{U}_W \quad \hat{U}_{WU} = \hat{U}_W - \hat{U}_U \quad \dots \text{obecně } U_s$$

Fázorový diagram napětí



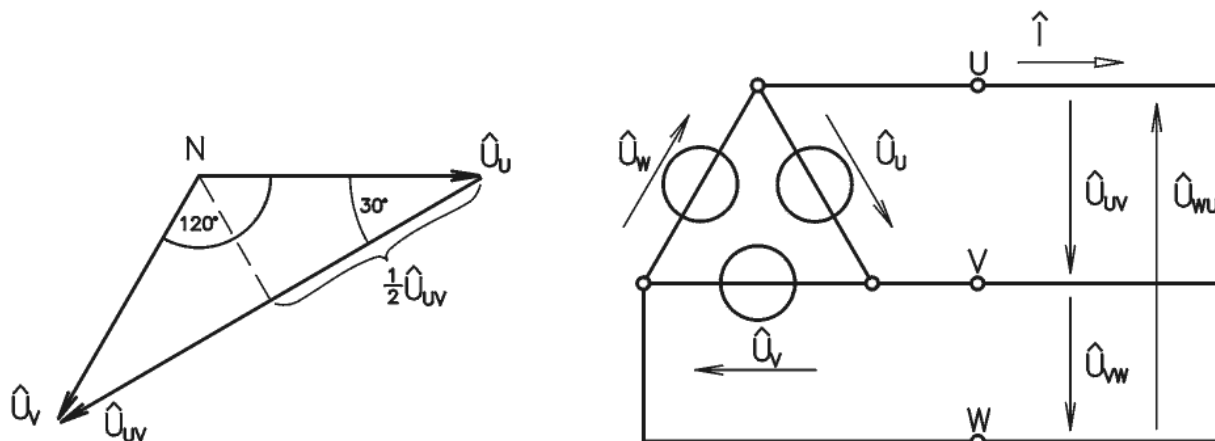
sdrúžená napětí \hat{U}_{UV} , \hat{U}_{VW} , \hat{U}_{WU} mají stejnou velikost, jsou vzájemně posunuta o 120° .

$$\cos 30^\circ = \frac{\frac{1}{2} U_{UV}}{U_U} \Rightarrow U_{UV} = 2 U_U \cdot \cos 30^\circ = \sqrt{3} \cdot U_U$$

$$U_s = \sqrt{3} U_f$$

zapojení do trojúhelníka:

sdrúžené napětí - napětí mezi fázovými vodiči



Abychom **nemuseli rozlišovat**, zda síť je zapojena do hvězdy nebo do trojúhelníku, udává se :

síťové napětí U - napětí mezi dvěma fázovými vodiči

síťový proud I - proud tekoucí fázovým vodičem.

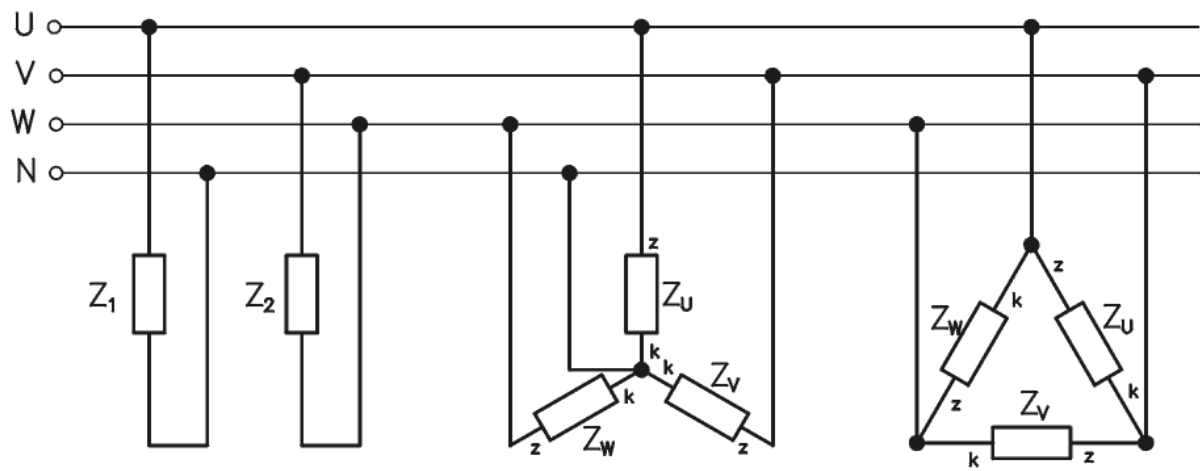
Běžně užívaná rozvodná síť nízkého napětí:

symetrická sdrúžená s vyvedeným nulovacím vodičem

označení: **3x400 V / 230 V, 50 Hz**

- síťové napětí $U = 400 \text{ V}$ (mezi svorkami U, V, W)
- fázové napětí $U_f = 230 \text{ V}$ (mezi svorkou N a svorkami U, V nebo W)
- kmitočet 50 Hz

PŘIPOJENÍ ZÁTĚŽE K TROJFÁZOVÉ SOUSTAVĚ NAPĚTÍ



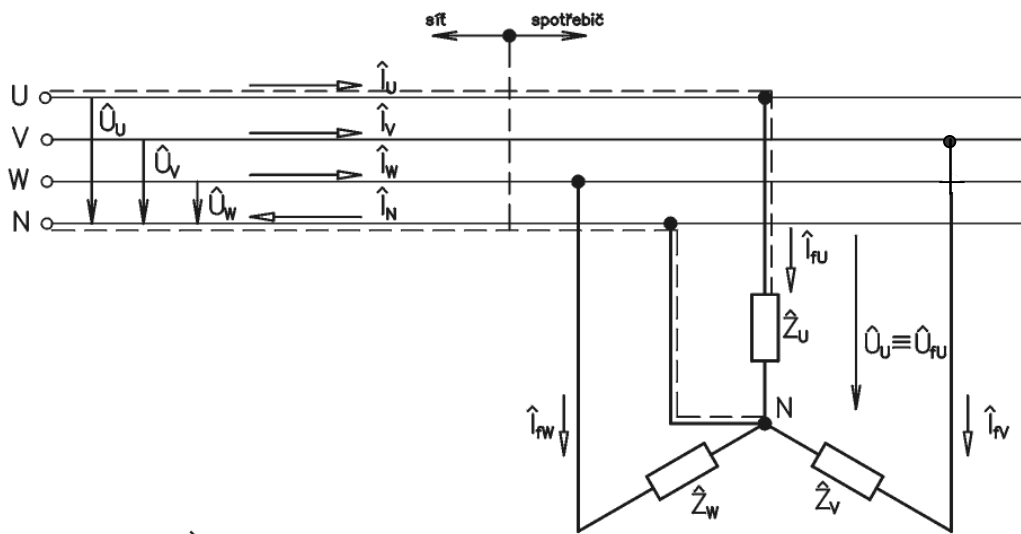
ZÁTĚŽ SPOJENÁ DO HVĚZDY

Nesouměrná zátěž spojená do hvězdy

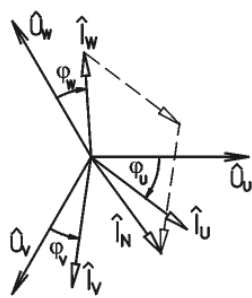
$$\hat{Z}_U \neq \hat{Z}_V \neq \hat{Z}_W$$

Fázové napětí spotřebiče U_f napětí na svorkách spotřebiče

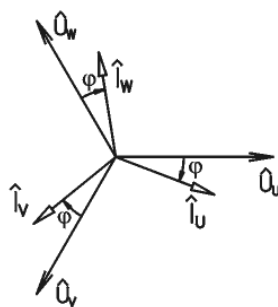
Fázový proud spotřebiče I_f proud tekoucí spotřebičem



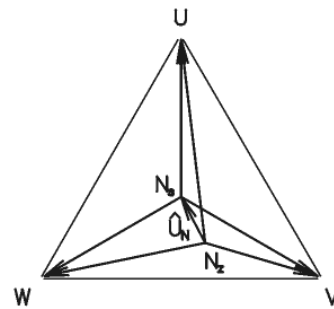
a)



b)



c)



d)

Je-li obecně

$$\hat{Z}_U = Z_U \cdot e^{j\varphi_U} \quad \hat{Z}_V = Z_V \cdot e^{j\varphi_V} \quad \hat{Z}_W = Z_W \cdot e^{j\varphi_W}$$

pak

$$\hat{I}_U = \frac{\hat{U}_U}{\hat{Z}_U} = \frac{\hat{U}_U}{Z_U \cdot e^{j\varphi_U}} = \frac{U_U}{Z_U} \cdot e^{-j\varphi_U} = I_U \cdot e^{-j\varphi_U}$$

a obdobně pro \hat{I}_V , \hat{I}_W , kde

$$\hat{I}_V = \frac{\hat{U}_V}{\hat{Z}_V} = \frac{U_V \cdot e^{j120^\circ}}{Z_V \cdot e^{j\varphi_V}} = \frac{U_V}{Z_V} \cdot e^{-j\varphi_V} \cdot e^{-j120^\circ} = I_V \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_V)}$$

$$\hat{I}_W = \frac{\hat{U}_W}{\hat{Z}_W} = \frac{U_W \cdot e^{j120^\circ}}{Z_W \cdot e^{j\varphi_W}} = \frac{U_W}{Z_W} \cdot e^{-j\varphi_W} \cdot e^{j120^\circ} = I_W \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_W)}$$

Podle 1. Kirchhoffova zákona

$$\hat{I}_N = \hat{I}_U + \hat{I}_V + \hat{I}_W \neq 0$$

Síťové proudy a fázové proudy spotřebiče jsou shodné, pro velikosti proudů platí

$$\hat{I}_U = \hat{I}_{fU}, \hat{I}_V = \hat{I}_{fV}, \hat{I}_W = \hat{I}_{fW} \quad I_{(sítě)} = I_{f(spotřebiče)}$$

a pro velikosti napětí

$$U_{f(sítě)} = U_{f(spotřebiče)} \quad \text{nebo} \quad U_{(sítě)} = \sqrt{3} \cdot U_{f(spotřebiče)}$$

Pro souměrnou zátěž spojenou do hvězdy platí:

$$\hat{Z}_U = \hat{Z}_V = \hat{Z}_W = \hat{Z} = Z \cdot e^{j\varphi}$$

Platí

$$U_U = U_V = U_W \quad \Rightarrow \quad \frac{U_U}{Z} = \frac{U_V}{Z} = \frac{U_W}{Z} = I$$

Všechny proudy jsou stejně veliké, mají stejný fázový posuv vůči fázovým napětím \hat{U}_U , \hat{U}_V , \hat{U}_W .

Proud nulovacím vodičem podle 1. Kirchhoffova zákona:

$$\hat{I}_N = \hat{I} (1 + e^{-j120^\circ} + e^{j120^\circ}) = 0$$

Máme-li souměrnou zátěž, neprotéká nulovacím vodičem žádný proud.

ZÁTĚŽ SPOJENÁ DO TROJÚHELNÍKU

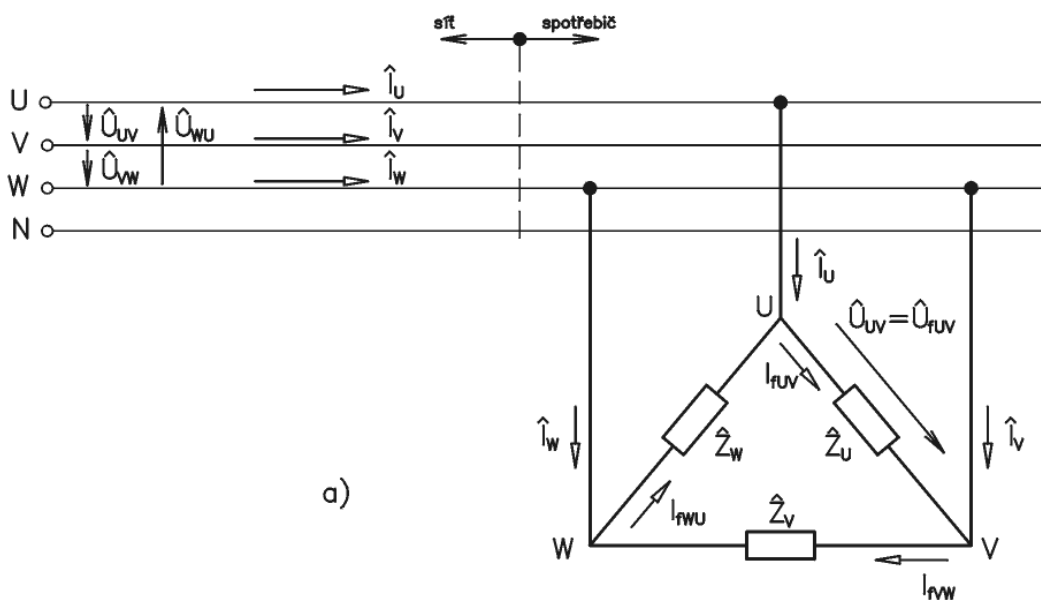
Spotřebiče mohou vytvořit

a) nesouměrnou zátěž

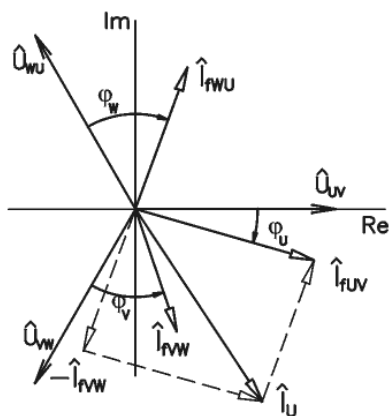
$$\hat{Z}_U \neq \hat{Z}_V \neq \hat{Z}_W$$

b) souměrnou zátěž

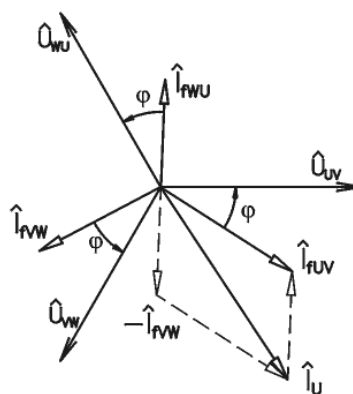
$$\hat{Z}_U = \hat{Z}_V = \hat{Z}_W = \hat{Z}$$



a)



b)



c)

Nesouměrná zátěž zapojená do trojúhelníku

Impedance jednotlivých spotřebičů

$$\hat{Z}_U = Z_U \cdot e^{j\varphi_U} \quad \hat{U}_{UV} = \hat{U}_{fUV}$$

napětí na fázi spotřebiče U_f je rovné síťovému napětí U
napětí \hat{U}_{UV} položíme do reálné osy

Fázové proudy jednotlivými spotřebiči

$$\hat{I}_{fUV} = \frac{\hat{U}_{UV}}{\hat{Z}_U} = \frac{U_{UV}}{Z_U \cdot e^{j\varphi_U}} = \frac{U_{UV}}{Z_U} \cdot e^{-j\varphi_U} = I_{fUV} \cdot e^{-j\varphi_U}$$

obdobně pro \hat{I}_{fVW} a \hat{I}_{fWU} , kde

$$\hat{Z}_V = Z_V \cdot e^{j\varphi_V} \quad a \quad \hat{Z}_W = Z_W \cdot e^{j\varphi_W}$$

$$\hat{I}_{fVW} = \frac{\hat{U}_{VW}}{\hat{Z}_V} = \frac{U_{VW} \cdot e^{-j120^\circ}}{Z_V \cdot e^{j\varphi_V}} = \frac{U_{VW}}{Z_V} \cdot e^{-j\varphi_V} \cdot e^{-j120^\circ} = I_{fVW} \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_V)}$$

$$\hat{I}_{fWU} = \frac{\hat{U}_{WU}}{\hat{Z}_W} = \frac{U_{WU} \cdot e^{j120^\circ}}{Z_W \cdot e^{j\varphi_W}} = \frac{U_{WU}}{Z_W} \cdot e^{-j\varphi_W} \cdot e^{j120^\circ} = I_{fWU} \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_W)}$$

Podle 1. KZ platí pro **síťové proudy**

$$\hat{I}_U - \hat{I}_{fUV} + \hat{I}_{fWU} = 0$$

$$\hat{I}_V - \hat{I}_{fVW} + \hat{I}_{fUV} = 0$$

$$\hat{I}_W - \hat{I}_{fWU} + \hat{I}_{fVW} = 0$$

Pro nakreslení fázorového diagramu předpokládejme, že spotřebiče \hat{Z}_U a \hat{Z}_W jsou induktivního charakteru a \hat{Z}_V kapacitního charakteru.

Souměrná zátěž zapojená do trojúhelníku

$$\hat{Z}_U = \hat{Z}_V = \hat{Z}_W = Z \cdot e^{j\varphi}$$

Protože platí

$$U_{UV} = U_{VW} = U_{WU} - \frac{U_{UV}}{Z} = \frac{U_{VW}}{Z} = \frac{U_{WU}}{Z} = I_f$$

Všechny fázové proudy mají stejnou velikost a stejný fázový posuv vůči fázorům síťových napětí \hat{U}_{UV} , \hat{U}_{VW} , \hat{U}_{WU} .

Všechny síťové proudy mají stejnou velikost a stejný fázový posuv vůči fázorům síťových napětí \hat{U}_{UV} , \hat{U}_{VW} , \hat{U}_{WU} .

Mezi velikostmi síťových proudů I a fázových proudů spotřebičů I_f a platí:

$$I = \sqrt{3} \cdot I_f$$