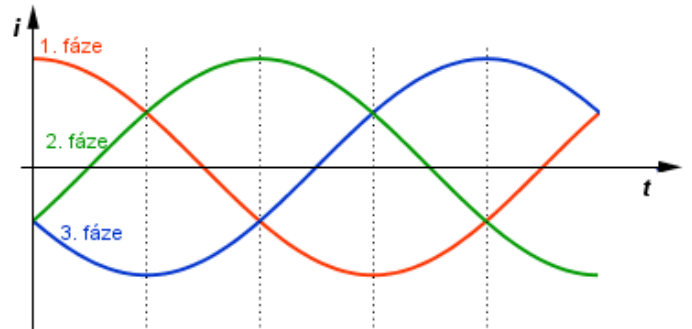
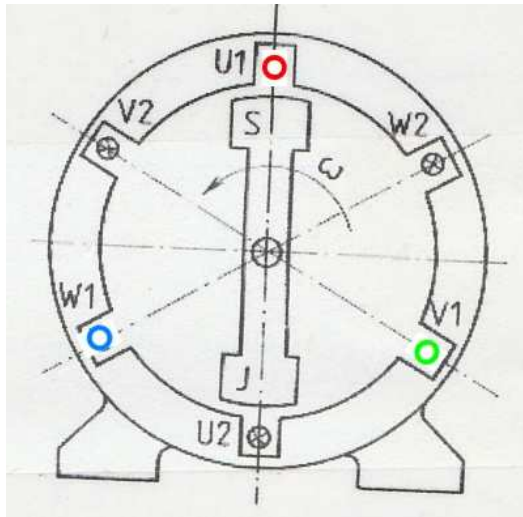


3. Trojfázová soustava

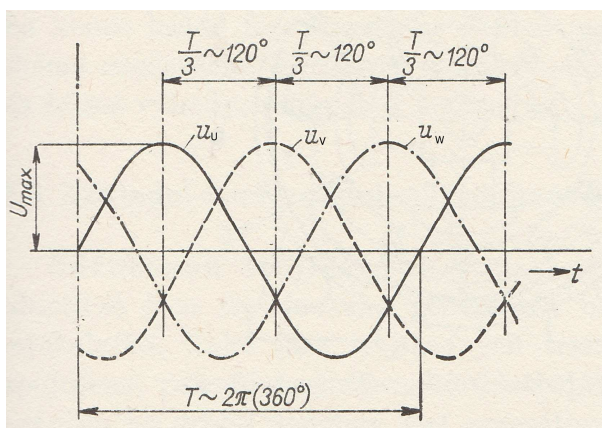
Je zavedena z důvodu úspory materiálu, menší ztráty Joulovým teplem. Třífázový proud se vyrábí ve střídavém generátoru – alternátoru. Jeho uspořádání:



Stator – pevná část stroje, v jeho drážkách je uloženo vinutí jednotlivých fází, fáze jsou posunuty o 120° a označujeme je U, V, W, začátek cívky je označen 1, konec 2.

Rotor – pohybující se magnet, u malých strojů permanentní, u velkých elektromagnet.

Časový průběh třífázového napětí:



rovnice okamžitých hodnot napětí jednotlivých fází:

$$u_U = U_{\max} \cdot \sin \omega t$$

$$u_W = U_{\max} \cdot \sin(\omega t - 240) \quad \text{ve stupních} \quad -\frac{2\pi}{3} \quad \text{v radiánech}$$

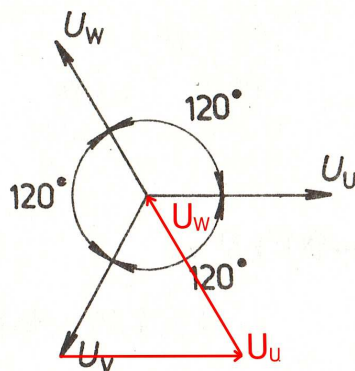
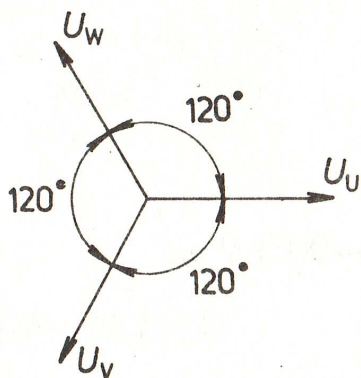
$$u_V = U_{\max} \cdot \sin(\omega t - 120) \quad -\frac{4\pi}{3}$$

Pro okamžité hodnoty jednotlivých fází platí, že jejich součet se rovná nule:

$$u_U + u_V + u_W = 0$$

Totéž platí pro fázory:

$$\overline{U}_U + \overline{U}_V + \overline{U}_W = 0$$

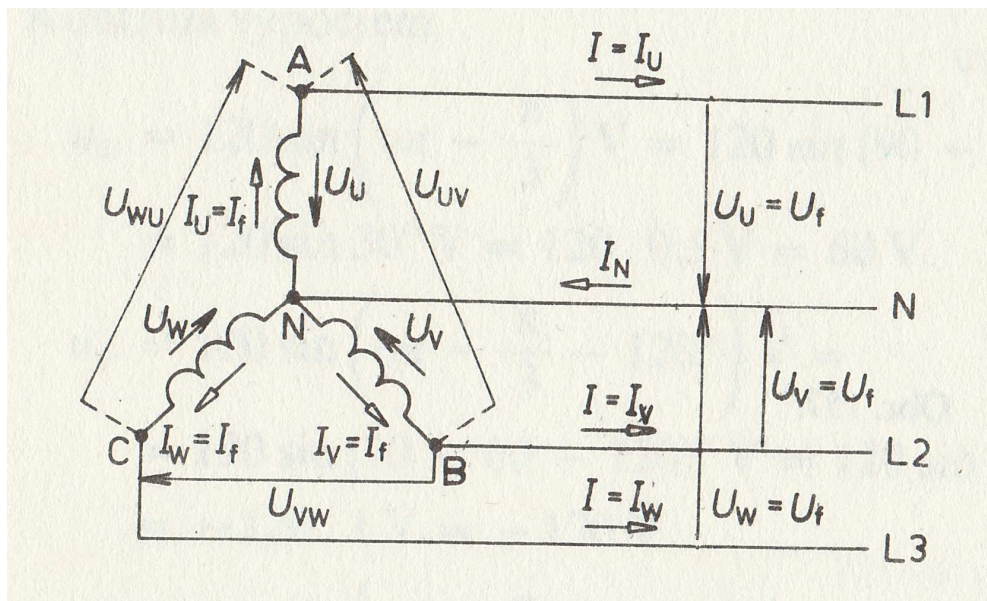


3.1 Zapojení třífázové soustavy

Trojfázová soustava vznikne spojením alternátoru a spotřebiče. Alternátor může být spojen do hvězdy, nebo do trojúhelníka. Spotřebič bez ohledu na zapojení alternátoru může být také zapojen do hvězdy, nebo trojúhelníka.

Zapojení alternátoru do hvězdy (Y)

zapojení může být se středním vodičem, nebo bez něj



U, V, W.....označení fází alternátoru
L1, L2, L3.....označení fází vedení

U_U, U_V, U_W napětí fázové, mezi fází a středním vodičem, obecně značíme U_f
 U_{UV}, U_{VW}, U_{WU} napětí sdružené, mezi fázemi, obecně značíme U_s

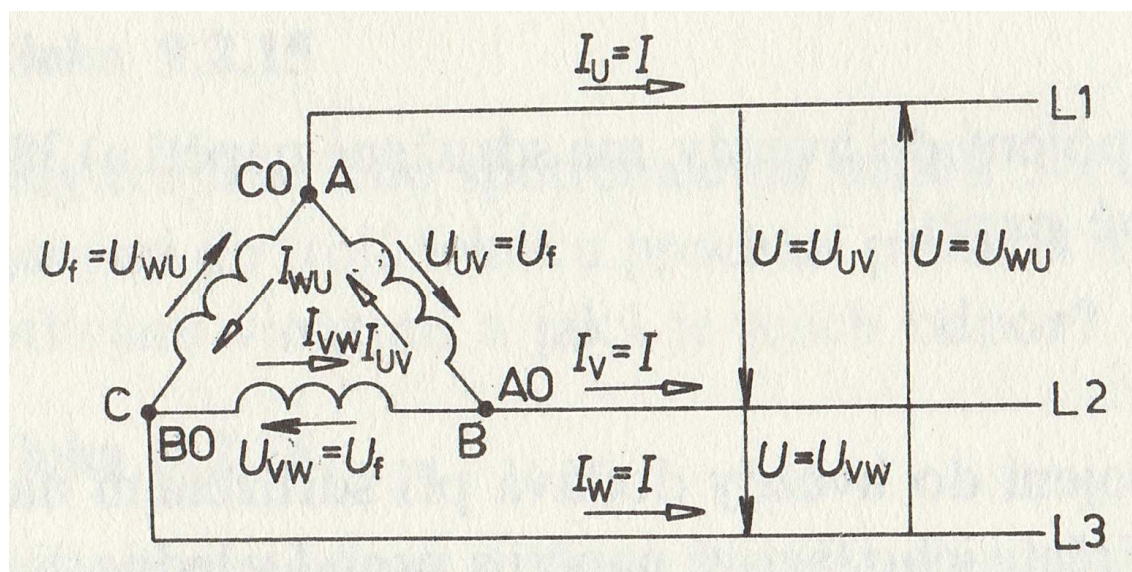
Přepočet mezi fázovým a sdruženým napětím je: $U_s = \sqrt{3} \cdot U_f$

Příklad: ve spotřebitelské síti máme 230/400V, což je označení pro U_f/U_s

$$400 = \sqrt{3} \cdot 230$$

Proudy v zapojení do hvězdy máme jenom fázové! Proto platí: $I_s = I_f = I$

Zapojení alternátoru do trojúhelníka (D)



I_U, I_V, I_W proud fázový, protéká danou fází, obecně značíme I_f
 I_{UV}, I_{VW}, I_{WU} proud sdružený, protéká mezi fázemi, obecně značíme I_s

Přepočet mezi fázovým a sdruženým proudem je: $I_s = \sqrt{3} \cdot I_f$

Napětí v zapojení do trojúhelníka určujeme jenom sdružené! Proto platí:

$$U_s = U_f = U$$

3.2 Výkon a práce třífázové soustavy

Činný výkon třífázového proudu je dán součtem výkonů v jednotlivých fázích:

$$P_U + P_V + P_W = P$$

Budeme-li předpokládat souměrné zatížení, pak se výkony ve fázích sobě rovnají:

$$P_U = P_V = P_W = P_f \implies P = 3 \cdot P_f = 3 \cdot U_f \cdot I_f$$

Máme – li v trojfázové soustavě zadané sdružené hodnoty, pak je podle zapojení Y nebo D přepočteme dle daných vzorců na fázové hodnoty napětí a proudu a výsledný vztah bude:

Y: $U_s = \sqrt{3} \cdot U_f$ $I_s = I_f = I$

$$P = 3 \cdot P_f = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi = 3 \cdot \frac{U_s}{\sqrt{3}} \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_s \cdot \cos \varphi$$

D: $I_s = \sqrt{3} \cdot I_f$ $U_s = U_f = U$

$$P = 3 \cdot P_f = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi = 3 \cdot U \cdot \frac{I_s}{\sqrt{3}} \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_s \cdot \cos \varphi$$

Z výše uvedených vztahů je zřejmé, že při výpočtu hodnoty výkonu trojfázové soustavy bez ohledu na zapojení, platí stejný vztah:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_s \cdot \cos \varphi \quad [W]$$

Obdobně tak můžeme spočítat i ostatní výkony:

jalový: $Q = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_s \cdot \sin \varphi \quad [VAr]$

zdánlivý: $S = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_s \quad [VA]$

Pro práci známe z fyziky vztah:

$$A = P \cdot t$$

Pro třífázovou práci to pak bude:

$$A_c = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_s \cdot \cos \varphi \cdot t$$

$$A_j = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_s \cdot \sin \varphi \cdot t$$

$$A = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_s \cdot t$$

3.3 Kompenzace účinníku

Fázové posuny φ jsou v soustavě způsobeny především magnetizačními proudy, které mají indukční (L) charakter (jedná se o veškeré vinutí strojů). Elektrárna tedy musí kromě činného výkonu dodávat do sítě i výkon jalový. Tím rostou nároky na celkové (zdánlivé) výkony elektráren a vznikají větší ztráty, proto se snažíme jalovou složku výkonu omezit na minimum, které je pro spolehlivou práci sítě potřeba (jalový výkon totiž vytváří elektromagnetické pole, které je pro provoz nutné). Tohoto omezení dosáhneme tzv. kompenzací účinníku.

Kompenzace účinníku využívá toho, že při paralelním spojení cívky a kondenzátoru jsou magnetizační proudy cívek a kapacitní proudy kondenzátoru v protifázi. To znamená, že do místa s velkou spotřebou magnetizačního proudu (motory), zapojíme kondenzátory.

Jalový výkon zdroje pak bude:

$$Q = Q_L - Q_C$$

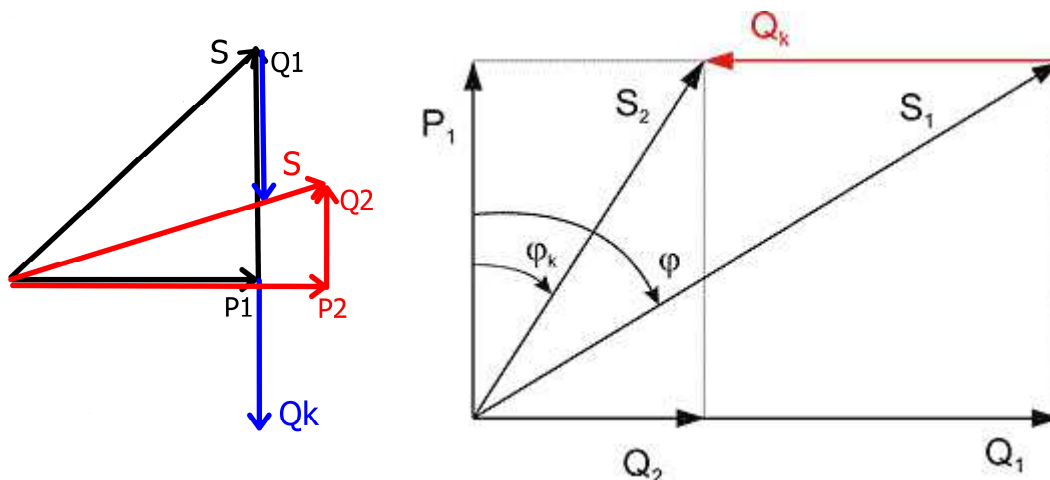
Pokud by $Q_L = Q_C$, pak by $Q = 0$ a to znamená, že zdroj (elektrárna) by byl plně odlehčen od jalového výkonu (což nelze, protože potřebujeme k provozu elektromagnetické pole), v tom případě by nastala paralelní rezonance, což není žádoucí. Proto se kompenzuje na $\cos \varphi = 0,9$.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

S.....výkonový rozsah sítě

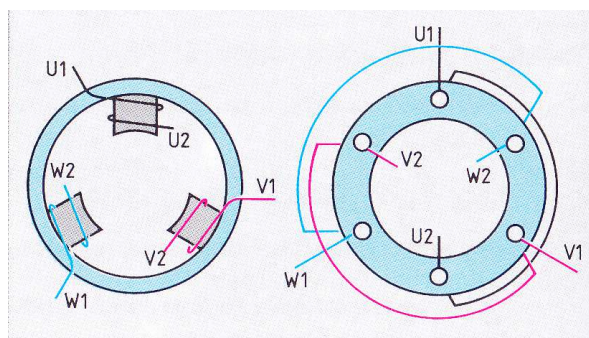
P.....činný výkon sítě

Q.....elektromagnetické pole sítě + ztráty



3.4 Vznik točivého magnetického pole

Točivé magnetické pole vzniká při třífázovém napájení kruhově uspořádaného třífázového vinutí. Každé vinutí jedné fáze vytváří střídavé magnetické pole, které se skládá společně s poli ostatních fází do výsledného točivého magnetického pole.



V případě třífázového napájení tří cívek (se začátky vinutí U_1 , V_1 , W_1 a konci vinutí U_2 , V_2 , W_2) vzájemně natočených o 120° vzniká točivé dvoupólové magnetické pole, které se otočí během jedné periody třífázového proudu o jednu otáčku. Dvoupólové magnetické pole = jedna pólová dvojice ($p=1$).

(jedna fáze = jedna cívka = dva póly = 1 pólová dvojice = točivé dvoupólové magnetické pole)

V případě šesti cívek vzájemně natočených o 60° vzniká točivé čtyřpólové magnetické pole, které se otočí během jedné periody třífázového proudu o půl otáčky. Čtyřpólové magnetické pole = dvě pólové dvojice ($p=2$).

(jedna fáze = dvě cívky = čtyři póly = 2 pólové dvojice = točivé čtyřpólové magnetické pole)

Otáčky točivého magnetického pole n_s (synchronní) jsou určeny frekvencí elektrické sítě f a počtem pólů trojfázového vinutí (pólových dvojic p):

$$n_s = \frac{f}{p} \quad [\text{ot/s, Hz, -}]$$

v technické praxi se používá:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad [\text{ot/min, Hz, -}]$$

Tabulka: Otáčky točivého pole při $f = 50$ Hz

p	n v otáčkách/minutu
1	3000
2	1500
3	1000
4	750
5	600

