

4.7.1 Třífázová soustava střídavého napětí

Předpoklady: 4509, 4601, 4607

Pomůcky: papírky s časovým průběhem tří fázových napětí, školní trojfázový alternátor, modely cívek

Opakování: Naprostá většina elektrické energie se vyrábí pomocí elektromagnetické indukce, v magnetickém poli magnetu (stator) jsme otáčeli cívkou (rotor) \Rightarrow měnil se magnetický indukční tok v cívce \Rightarrow indukovalo se napětí, které jsme odebírali pomocí kartáčků z osy.

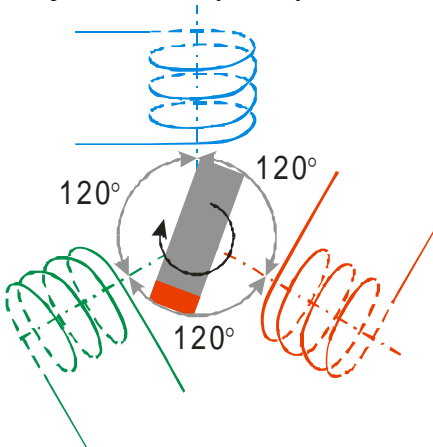
Alternátor v elektrárně se podstatně liší ve dvou ohledech:

- neotáčíme cívkou ale elektromagnetem \Rightarrow cívka, ve které se indukují proudy je umístěna ve statoru
- stator alternátoru jsou tři stejné cívky místo jedné

Př. 1: Navrhni důvody, které by mohly vést k umístění cívek do statoru namísto do rotoru.

V alternátoru tečou velké proudy (chceme vyrobit hodně energie), pokud by se cívka, kde se proudy indukují, otáčela, museli bychom vyrobený proud přenášet přes kartáčky \Rightarrow velké ztráty.

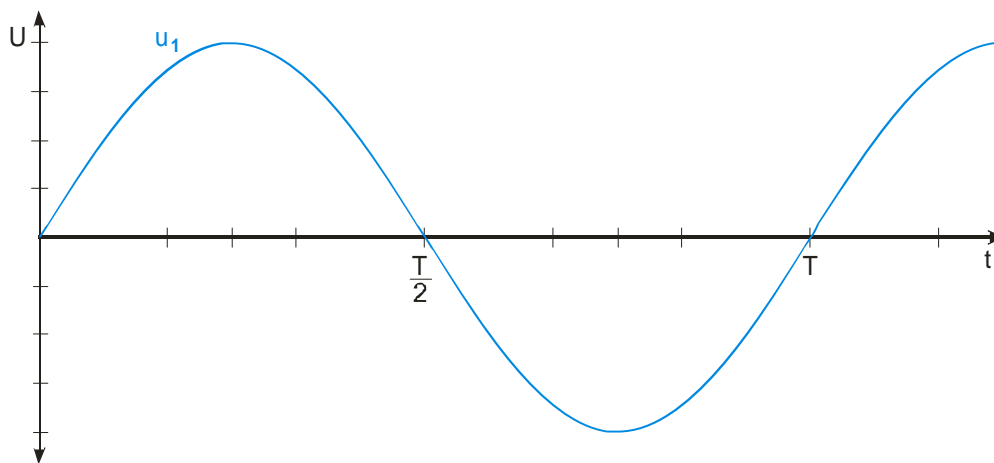
Jak jsou umístěny cívky ve statoru?



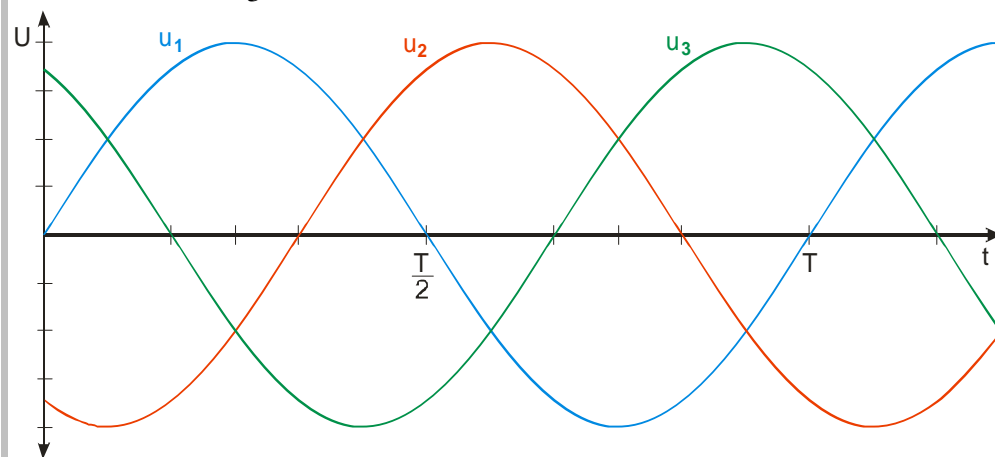
Jsou umístěny ve stejné poloze vůči rotoru, pouze jsou pootočený o úhel 120° .

Pedagogická poznámka: Předchozí obrázek si žáci kreslí do sešitu. Je třeba aby jim zabíral tak třetinu šířky stránky a zbytek zůstal volný.

Př. 2: Na obrázku je nakreslen průběh napětí v modré cívce. Dokresli do obrázku průběh napětí na zbývajících cívkách.

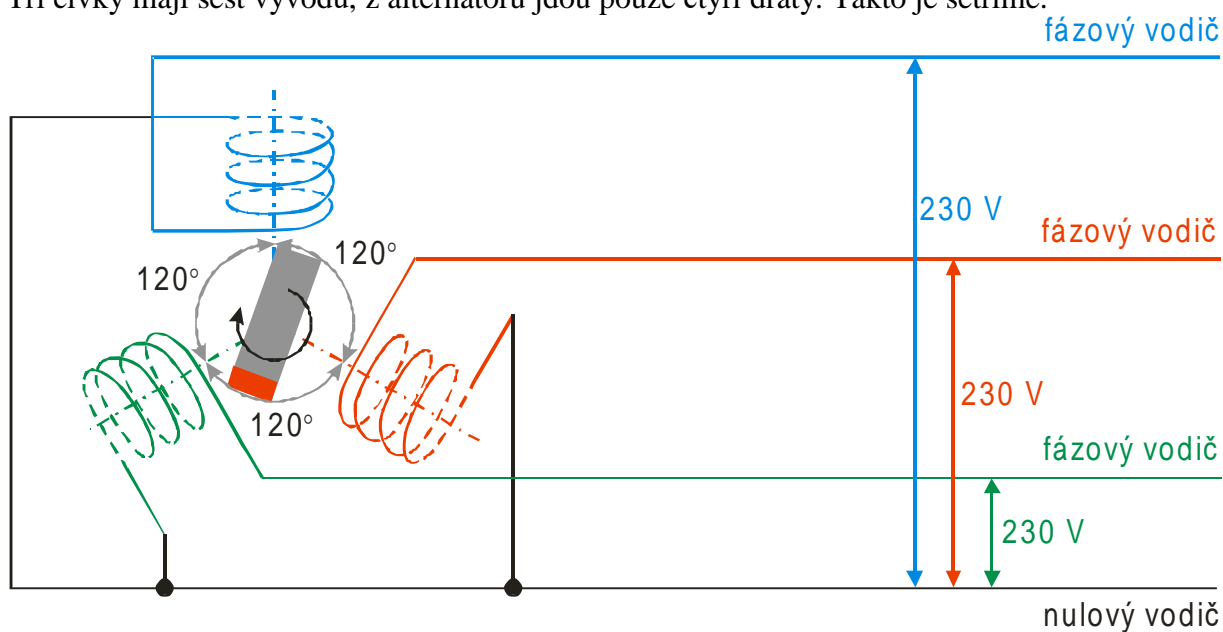


Všechny cívky jsou stejné a jsou umístěny okolo stejného magnetu \Rightarrow průběh napětí bude na všech cívkách stejný, ale bude se lišit v posunutí v čase, průběhy budou vůči době zpožděné. Rozdíl mezi cívkami je třetina otáčky (120°) \Rightarrow magnet bude potřebovat třetinu periody T , aby se otočil od jedné cívky k druhé \Rightarrow průběhy budou navzájem posunuté o třetinu periody ($\frac{2}{3}\pi$)



K čemu je to dobré?

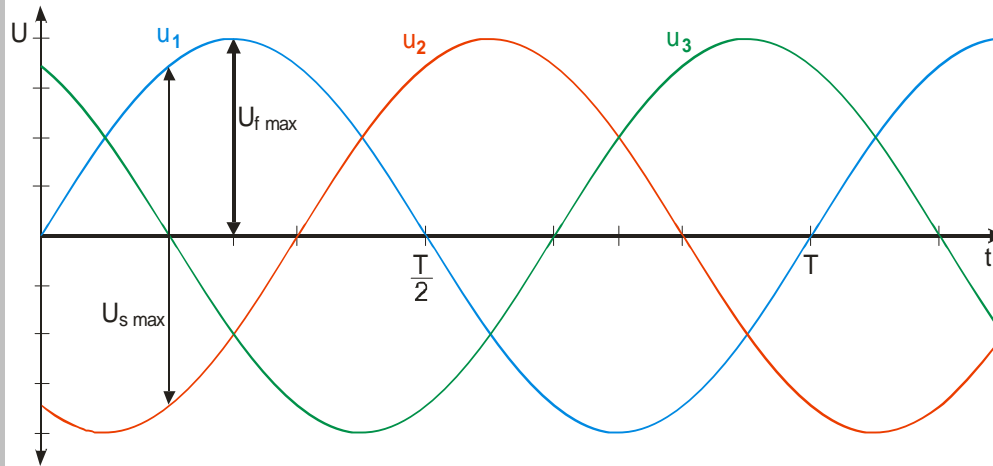
Tři cívky mají šest vývodů, z alternátoru jdou pouze čtyři dráty. Takto je šetříme:



Pedagogická poznámka: Na řešení následujícího příkladu dostávají žáci vytištěné papírky s řešením příkladu 2 (zakresleným průběhem všech tří fázových napětí).

Př. 3: Sinusový průběh má nejen napětí indukované na jednotlivých cívkách (tedy napětí mezi fázovým a nulovým vodičem = **fázové napětí**), ale i napětí mezi dvěma fázovými vodiči (součet napětí na dvou indukovaných na dvou cívkách = **sdružené napětí**). Urči přibližně jeho efektivní hodnotu pokud efektivní hodnota fázového napětí je 230 V.

Například měřením můžeme zjistit, že amplituda (a tedy i efektivní hodnota) sdruženého napětí je přibližně 1,7 krát větší než amplituda jednotlivých fázových napětí (poprvé ji můžeme odečíst z grafu mezi modrou a červenou křivkou v čase $\frac{T}{6}$).



Přesným výpočtem bychom zjistili, že platí $U_s = \sqrt{3} U_f = \sqrt{3} 230 \text{ V} = 398 \text{ V}$

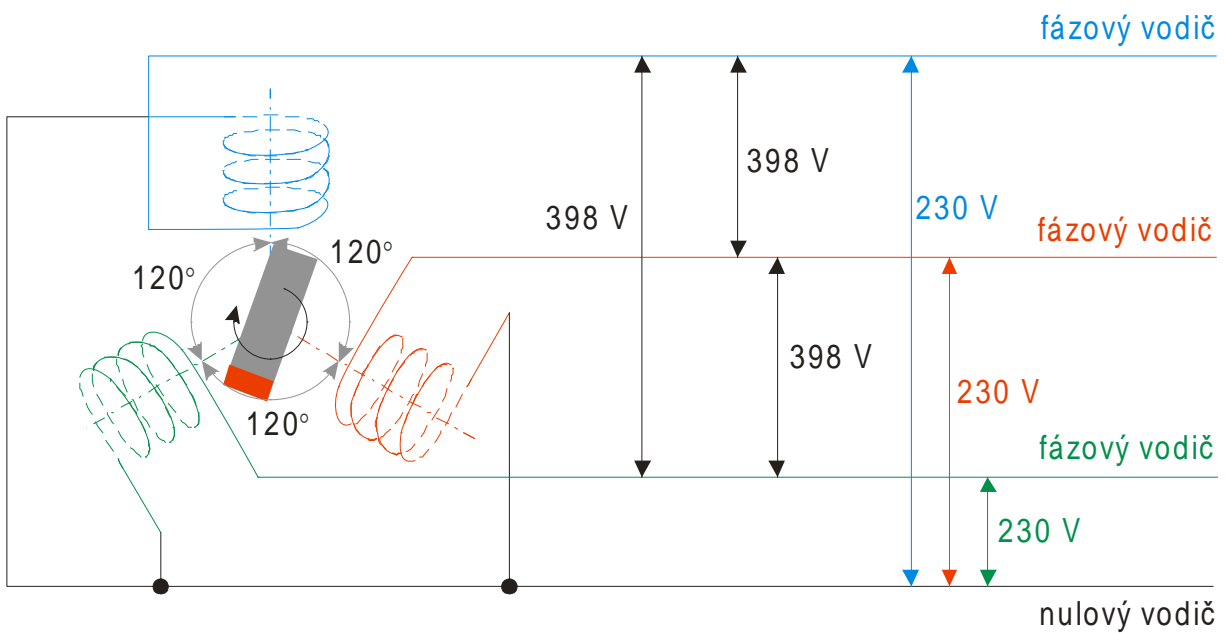
Dodatek: Přesný rozdíl mezi modrou křivkou $\sin x$ a červenou $\sin(x - \frac{2}{3}\pi)$ můžeme zapsat

jako rozdíl obou funkcí $\sin x - \sin(x - \frac{2}{3}\pi) = 2 \cos\left(\frac{x + x - \frac{2}{3}\pi}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{x - x + \frac{2}{3}\pi}{2}\right)$ (použijí

vzorce pro součet goniometrických funkcí). Dále upravujeme.

$\sin x - \sin(x - \frac{2}{3}\pi) = 2 \cos\left(x - \frac{\pi}{3}\right) \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = 2 \cos\left(x - \frac{\pi}{3}\right) \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} \cos\left(x - \frac{\pi}{3}\right)$. Z toho již vidíme, že rozdíl obou napětí má sinusový průběh a velikost amplitudy $\sqrt{3}$ krát větší než je amplituda obou původních napětí.

Obrázek zapojení alternátoru můžeme doplnit o další hodnoty napětí:

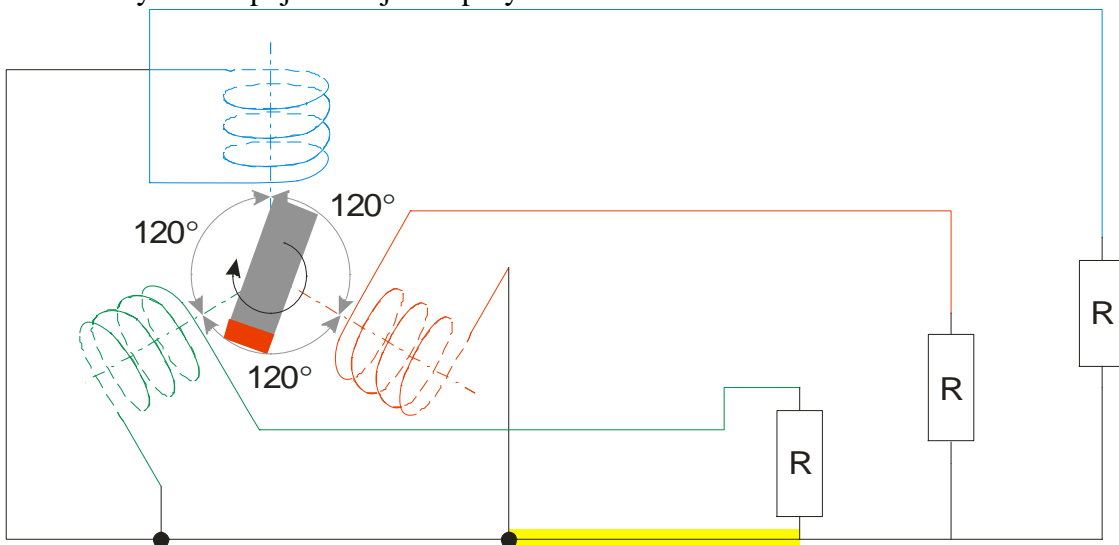


⇒ první výhoda: mám k dispozici dvě hodnoty napětí 230 V a 398 V

Dodatek: Ještě nedávno bylo fázové napětí 220 V a sdružené 380 V (tato hodnota je známější).

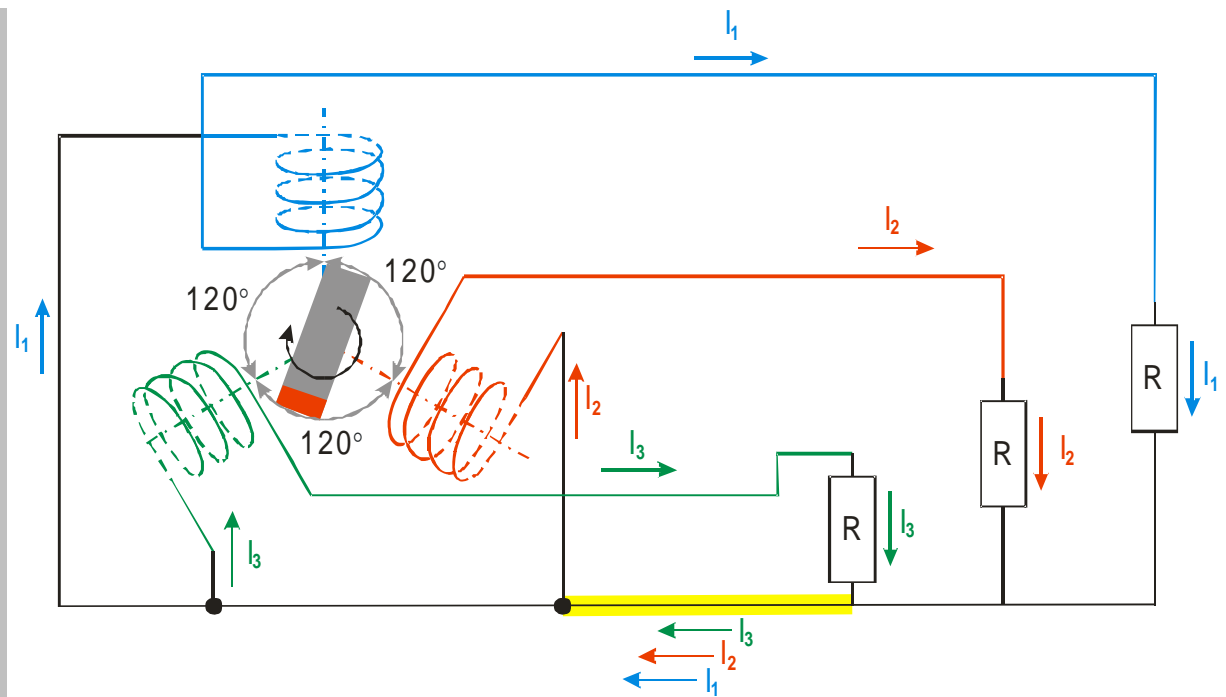
Je možné si ověřit (například z grafu), že pro okamžité hodnoty napětí platí v každém okamžiku $u_1 + u_2 + u_3 = 0$.

Na všechny fáze zapojíme stejné odpory:



Př. 4: Dokresli do obrázku proudy, které procházejí jednotlivými fázemi. Jaká hodnota proudu poteče ve žlutě vyznačené části nulového vodiče (vodič mezi alternátorem a spotřebičem)?

Na všech cívkách se indukují napětí se stejnou efektivní hodnotou, všechny odpory jsou stejné ⇒ platí $I_1 + I_2 + I_3 = 0$.



Efektivní hodnoty proudů jsou stejné. Okamžité hodnoty odpovídají okamžitým hodnotám indukovaného napětí na příslušné cívice \Rightarrow průběhy okamžitých hodnot proudů jsou jako u napětí stejné křivky posunuté o 120° \Rightarrow jejich součet stejně jako u součtu okamžitých hodnot napětí je nulový \Rightarrow žlutě označenou částí nulového vodiče by netekl žádný proud.

Ve skutečnosti nejsou nikdy odpory stejné \Rightarrow proudy nemají stejnou efektivní hodnotu \Rightarrow součet proudů v nulovém vodiči není přesně nulový, ale je podstatně menší než jsou jednotlivé proudy ve větvích.

\Rightarrow druhá výhoda: ušetřím dráty (místo šesti pouze čtyři) a drát na nulový vodič může být podstatně slabší (přenáší menší proudy)

\Rightarrow třetí výhoda: příští hodina

Jak je zapojena elektrina v domácnosti:

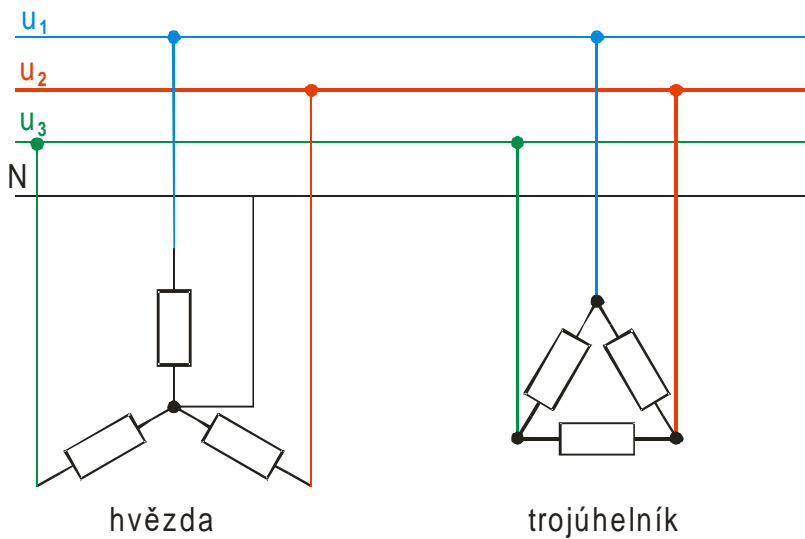
v normální zásuvce je vyvedena pouze jedna fáze (levá zdířka), nulový vodič (pravá zdířka) a ochranný vodič (kolík).

Snaha o rovnoměrné zatížení fází, aby v nulovém vodiči tekla, co nejmenší proud.

Některé spotřebiče s velkým výkonem (čerpadla, cirkulárky, stroje v továrnách) se připojují na všechny tři fáze (pětikolíková zásuvka: tři fáze, nulový vodič a ochranný vodič)

Existují dva způsoby zapojení:

- do hvězdy:
- do trojúhelníka:



Př. 5: Rozhodni, zda je výkon stroje větší při zapojení do hvězdy nebo při zapojení do trojúhelníka.

Větší výkon má přístroj při zapojení do trojúhelníka. V zapojení do trojúhelníka je připojený na sdružené napětí, které větší než fázové.

Shrnutí: V rozvodné síti se používá třífázové napětí se třemi stejnými, navzájem posunutými střídavými napětími.