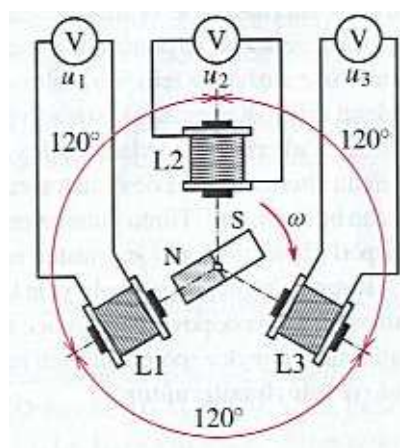


Střídavý proud v životě (energetika)

Přeměna energie se uskutečňuje v **elektrárnách**. Zde pracují výkonné generátory střídavého napětí – **alternátory**. V energetice se využívá střídavé napětí o frekvenci 50 Hz, které se rozvádí do míst spotřeby pomocí **elektrické rozvodné sítě**.

Elektrická energie se získává postupy, které současně nepříznivě ovlivňují životní prostředí. Např. při spalování uhlí se dostávají do ovzduší škodlivé chemické látky, výstavba velkých vodních elektráren zasahuje do přirozeného prostředí krajiny, případnou havárií reaktoru jaderné elektrárny se mohou dostat do ovzduší nebezpečné radioaktivní látky apod.

Generování střídavého proudu



V elektrárnách je zdrojem střídavého proudu **trojfázový alternátor**. Alternátor používaný v elektrárnách je z praktických důvodů upraven tak, že otáčivý pohyb koná elektromagnet (je to jednodušší), který je tvořen **rotorem** (otáčí se). Střídavé napětí se indikuje v soustavě cívek ve **statoru** (nehýbe se). Stator alternátoru tvoří tři cívky, jejichž osy svírají navzájem úhly 120° . Uprostřed mezi cívkami se otáčí magnet a v cívkách se indukují střídavá napětí. Indukovaná napětí mají stejnou amplitudu U_m a jsou navzájem posunuta o $\frac{1}{3}$ periody.

Platí pro ně rovnice:

$$u_1 = U_m \sin \omega t,$$

$$u_2 = U_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right),$$

$$u_3 = U_m \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right).$$

Grafické znázornění:

U_f – fázové napětí
 U_s – sdružené napětí

Díky této konstrukci alternátoru máme možnost odvádět proud z alternátoru pevnými svorkami. Odběr proudu je v tomto případě technologicky jednodušší a vznikají menší ztráty, než kdyby se proud odebíral z rotoru.

Alternátory a turboalternátory

Trojfázové alternátory používané v energie jsou konstruovány na velký výkon, a proto jsou charakterické i mohutnou konstrukcí.

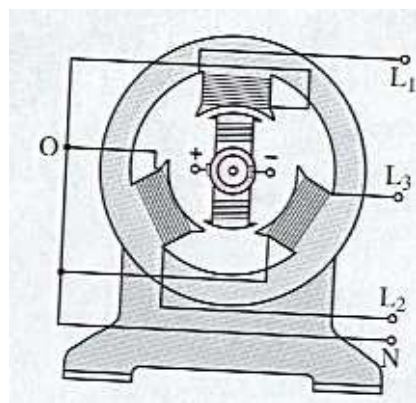
Stator těchto alternátorů je tvořen pláštěm, který je pevně přišroubován k nosné plošině generátoru, poněvadž musí odolávat velkému momentu síly. Jádro statoru je složeno z tenkých izolovaných plechů a jeho drážkách je uloženo vinutí cívek. Konce cívek jsou vyvedeny na svorkovnici alternátoru.

Rotor alternátoru je vlastně silný elektromagnet, uložený na ocelové ose ve středu alternátoru. Na obvodu rotoru jsou vyfrézovány drážky, do nichž je vloženo budící vinutí. Tímto vinutím prochází proud z generátoru stejnosměrného napětí (dynama), který je umístěn na společné ose a nazývá se *budič*.

Rotory alternátorů jsou obvykle konstruovány na frekvenci 3 000 otáček za minutu. Tomu odpovídá frekvence střídavého napětí 50 Hz.

V elektrárnách je alternátor obvykle spojen s hřídelí hnací turbíny. Celé soustrojí se pak označuje názvem **turboalternátor**.

Trojfázová soustava střídavého napětí v České republice



Tři fázově posunutá napětí z alternátoru bychom mohli rozvádět šesti vodiči. V energetice se však využívá rozvodná síť, v níž jsou vodiče navzájem vhodným způsobem propojeny a k rozvodu elektrické energie postačuje menší počet vodičů.

Nejčastější je **trojfázová soustava střídavých napětí** založená na poznatku, že součet okamžitých hodnot střídavých napětí indukovaných v cívkách alternátoru je stále nulový:

$$u_1 + u_2 + u_3 = 0.$$

Můžeme totiž spojit jeden konec každé z cívek statoru do společného bodu – **uzlu** (na obr. O). Ke druhému konci cívek jsou připojeny **fázové vodiče** (L_1, L_2, L_3) a s uzlem je spojen **nulovací vodič** (N).

Rozvod v domácnosti

Fázové napětí

V běžné síťové zásuvce je tedy fázové napětí, takže jedna její zdířka je spojena s nulovacím a druhá s fázovým vodičem (další dvě fáze připojeny nejsou) a vykukující kolík je kostra. V elektrickém rozvodu spotřebitelské sítě (tzn. síť k níž připojujeme spotřebiče např. v domácnosti) je fázové napětí 230V.

Sdružené napětí

Sdružené napětí $230 \cdot \sqrt{3} \text{ V} = 400 \text{ V}$ je mezi dvěma fázemi a je zhruba 1,7x větší než napětí fázové.

Bezpečnost a zkoušečka

Používáme označení spotřebitelské sítě 3x400 V/230 V.

O tom se můžeme přesvědčit zkoušečkou (testerem), kterým lze fázový a nulový vodič indikovat. Dále většina kvalitních zkoušeček umí určit též velikost jednotlivých napětí.

Dotyk fázového vodiče rukou nebo vodivým předmětem je však životu nebezpečný!

Proč se změnilo napětí

Dříve se ve spotřebitelské síti používalo trojfázového napětí 3x380V/220 V. V souvislosti s postupnou integrací České republiky do Evropské unie se mění i normy elektrických napětí. Zvýšené napětí však funkci a provoz dříve vyrobených spotřebičů podstatně neovlivní. Napětí se zvýšilo i z důvodu úspor v el. rozvodech (sníží se ztrátovost).

Připojení velký motorů

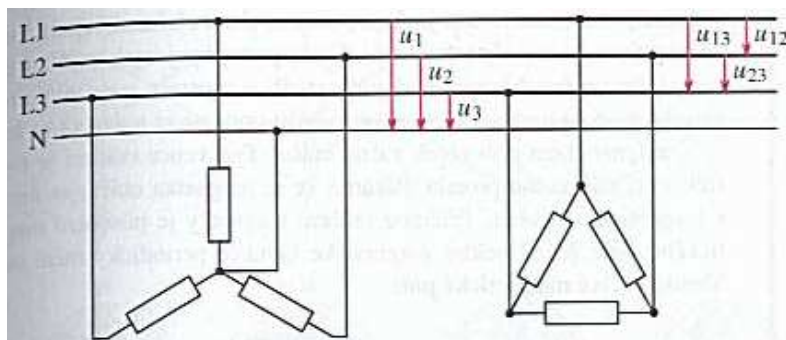
Řada spotřebičů o větším elektrickém výkonu (např. elektromotory) se připojuje současně ke všem fázovým vodičům. Jejich elektrický obvod (např. vinutí elektromotoru) má tři stejné části zapojené buď spojení do hvězdy, nebo podle do trojúhelníku.

Spojení do hvězdy

Při spojení do hvězdy jsou jednotlivé části spotřebiče připojeny k napětí fázovému (230V). Vodiče jsou připojeny **fázově** (L_1, L_2, L_3) a s uzlem je spojen **nulovací vodič** (N). Mezi fázovými vodiči a nulovacím vodičem jsou fázová napětí u_1, u_2, u_3 .

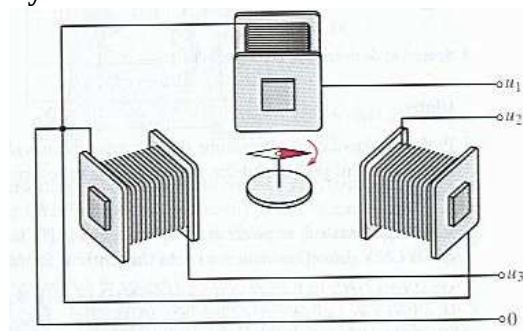
Spojení do trojúhelníku

Při spojení do trojúhelníku jsou připojeny k vyššímu napětí sdruženému (400V). Proto je výkon spotřebiče při tomto spojení větší. Napětí u_{12}, u_{13}, u_{23} mezi libovolnými fázovými vodiči označujeme jako sdružené napětí. Jeho efektivní hodnota je $\sqrt{3}$ krát větší než efektivní hodnota napětí fázového (např. $U_{12} = U_1 \sqrt{3}$).



Elektromotor na trojfázový proud

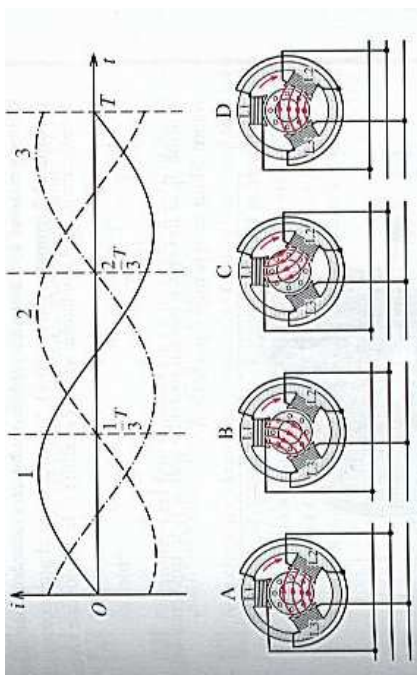
Synchronní motor



Elektromotory jsou založeny na pohybu vodičů s proudem v magnetickém poli, které vytváří proud ve vinutí statoru. Princip elektromotoru vidíme na obrázku, kde máme tři cívky, jejich vinutí jsou spojena do hvězdy. Cívky jsou připojeny k trojfázovému napětí. Proud procházející cívkami vytváří v prostoru mezi nimi magnetické pole. O tom se přesvědčíme tím, že do středu umístíme magnetku, která se začne otáčet. Frekvence otáčení je rovna frekvenci střídavého proudu. Magnetka se otáčí synchronně s magnetickým polem. Příčinou otáčení magnetky je

působení magnetického pole, jehož vektor magnetické indukce periodicky mění směr, tím vznikne točivé magnetické pole.

Vznik točivého magnetického pole



Popis vzniku točivého pole:

Asynchronní motor

Části trojfázového elektromotoru:

1. Stator má obdobnou konstrukci jako stator alternátoru.
2. Rotor neboli kotva je válec zhotovený z ocelových plechů s drážkami v nich je uloženo vinutí. Používáme tzv. klecové vinutí, které je vytvořeno tak, že se do drážek nalije roztavený hliník. Jeho ztuhnutím vznikne vodivá klec ze silných hliníkových tyčí, které jsou v čelech rotoru vodivě spojeny hliníkovými prstenci. Vinutí kotvy má zanedbatelný odpor a motor ozn. jako motor s kotvou nakrátko.

Vzhledem k malému odporu kotvy indukuje točivé magnetické pole ve vinutí velké proudy. To má za následek vznik magnetické síly, která uvede rotor do otáčivého pohybu. Kotva se však neroztočí s frekvencí točivého pole. Kdyby tomu tak bylo nedocházelo by ke změnám magnetického indukčního toku vinutím, zanikl by indukovaný proud a tím i příčina otáčení.

Kotva trojfázového elektromotoru vždy s menší frekvencí než je 50 Hz, či-li **asynchronně**.

Veličina charakterizující chod asynchronního elektromotoru se nazývá skluz s . Je definován

$$\text{takto: } s = \frac{f_p - f_r}{f_p}, \text{ kde}$$

f_r - frekvence otáčení rotoru, f_p - frekvence otáčení točivého pole

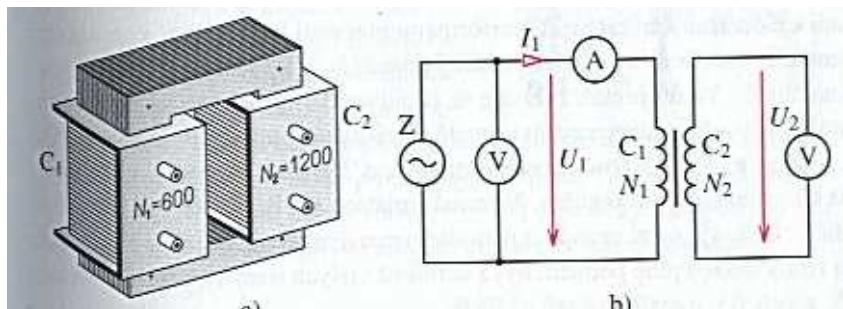
Skluz se uvádí v procentech.

Pokud kotva při otáčení nepřekonává žádný odpor, tzn. když jde zařízení motorem poháněné naprázdno, je skluz nepatrný a vinutím kotvy prochází jen malý proud. Při zatížení motoru skluz roste, ve vinutí se indukuje větší proud a otáčení rotoru je udrženo větší magnetickou silou. V praxi bývá skluz při plném zatížení elektromotoru 2% - 5%.

Díky těmto vlastnostem se v praxi používají častěji a to díky tomu, že mají jednoduchou konstrukci, snadno se obsluhují, mají dlouhou životnost a neznečišťují pracovní prostředí. Uplatňují se tam, kde není třeba měnit frekvenci otáčení.

Transformátor

Zařízení umožňující zvyšování nebo snižování napětí v rozvodné síti elektrické napětí. Jeho fyzikální princip je založen na elektromagnetické indukci. Transformátory jsou konstruovány jako jednofázové a trojfázové.



Jednofázový transformátor tvoří dvě cívky (primární a sekundární) na společném ocelovém jádře z měkké oceli (z plechů). Primární cívka C_1 je připojena ke zdroji střídavého napětí U_1 a prochází jí střídavý proud I_1 . Ten vytváří v jádře transformátoru proměnné magnetické pole a v libovolném závitu primární nebo sekundární cívky se indukuje napětí

$$u_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}.$$

Závity cívek jsou navzájem spojeny za sebou, takže napětí na jednotlivých závittech se sčítají. Celkové napětí na primární cívce s N_1 závity bude

$$u_1 = -N_1 \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

a na sekundární cívce s N_2 závity bude napětí

$$u_2 = -N_2 \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}.$$

Má cívka primární zanedbatelný odpor, má indukované napětí u_1 stejnou velikost jako připojený zdroj, má však opačnou fázi. Pro poměr efektivních hodnot indukovaných napětí je

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = k.$$

Veličina $k = N_2 / N_1$ se nazývá **transformační poměr transformátoru**. Jestliže $N_2 > N_1$, je $k > 1$ a jde o transformaci nahoru; při $N_2 < N_1$ je $k < 1$ a nastává transformace dolů.

Rovnici transformátoru jsme odvodili za zjednodušených podmínek. Neuvažovali jsme ztráty, které vznikají přeměnou elektrické energie na vnitřní energii vinutí a jádra transformátoru. Transformátor pracoval bez zatížení, naprázdno; sekundárním vinutím neprocházel žádný proud ($I_2 = 0$). Jestliže odebíráme ze sekundárního vinutí proud, zvětšuje se také proud I_1 procházející primárním vinutím. Třebaže jsou odpory cívek malé, vznikají ve vinutí ztráty, a proto bývá sekundární napětí zatíženého transformátoru o 2 % až 10 % menší než odpovídá transformačnímu poměru. V transformátoru vznikají ztráty zahříváním vodičů cívek, vířivými proudy a periodickým magnetováním jádra. Poněvadž tyto ztráty nelze úplně potlačit, bývá účinnost malých transformátorů 90 % až 95 % a velkých transformátorů až 98 %.

Výkon transformátoru

V souladu se zákonem zachování energie musí být příkon P_1 transformátoru při zanedbatelných ztrátách roven jeho výkonu P_2 v sekundární části (za předpokladu, že je transformátor plně zatížen a zátěž má jen rezistenci). Platí tedy pro činné výkony

$$P_1 = P_2$$

nebo

$$U_1 I_1 \cos \varphi_1 = U_2 I_2 \cos \varphi_2.$$

Za uvedených podmínek jsou hodnoty φ_1 a φ_2 malé ($\cos \varphi_1 \approx 1, \cos \varphi_2 \approx 1$) a platí

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}.$$

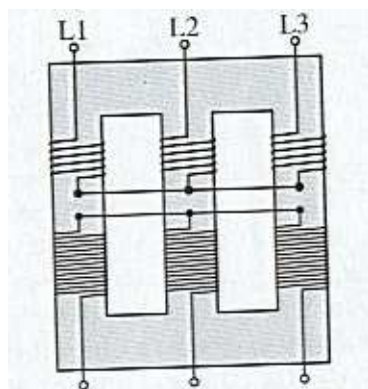
To znamená, že **proudy se transformují v obráceném poměru počtu závitů**.

Při vyšším sekundárním napětí můžeme z transformátoru odebírat menší proud a naopak.

Využití

Jednofázové transformátory se používají tam, kde potřebujeme měnit hodnotu proudu nebo napětí, např. v rozhlasových přijímačích a televizorech, v měřicích přístrojích apod.

Trojfázový proud



K transformaci trojfázového proudu v energetice se používají trojfázové transformátory. Jejich konstrukce je obdobná jako u transformátorů jednofázových. Jádru trojfázového transformátoru má tři magnetické větve. Každá fáze má vlastní primární a sekundární vinutí. Cívky primárního, popř. sekundárního vinutí jsou navzájem spojeny do hvězdy nebo do trojúhelníku.

Transformátory pro velké výkony se při práci značně zahřívají, a proto se musí chladit. Větší transformátory bývají ponořeny ve speciální nádobě s olejem, který odvádí teplo a chladí se přes stěny nádoby vzduchem.

Příklad:

Urči ztráty, které by vznikly při přenosu 1 MW na elektrickém vedení z Temelína do Prahy

a) kdyby byl proud přenášen normálním napětím 230 V

b) kdyby byl proud přenášen velmi vysokým napětím 400 000 V.