

## 21. Výroba, rozvod a užití elektrické energie

- a) **Výroba střídavého proudu** (trojfázový generátor střídavého proudu, třífázová soustava napětí, spotřebitelská elektrická rozvodná síť, různé typy elektráren)  
b) **Transformace střídavého proudu** (transformátor, přenosová soustava energetiky)  
c) **Elektromotory** (obecný princip, trojfázové synchronní a asynchronní elektromotory)
- umět pěkně pohovořit o problematice, výhodách a nevýhodách různých druhů elektráren, doporučuji Energetické abc od doc. Bochníčka:  
<http://www.physics.muni.cz/kof/clanky/enabec.pdf>

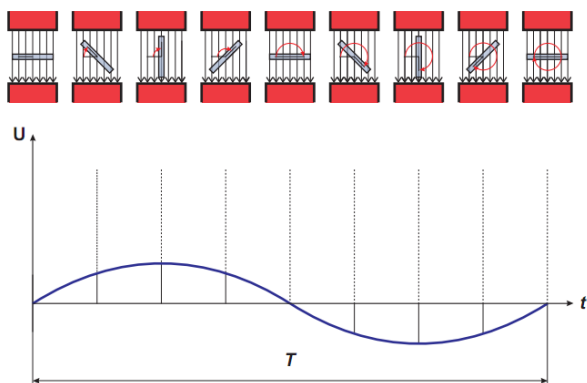
Výroba střídavého proudu:

V energetice se používají jako zdroje proudu **generátory**, což jsou stroje měnící mechanickou energii na energii elektrickou.

Základní typy generátorů:

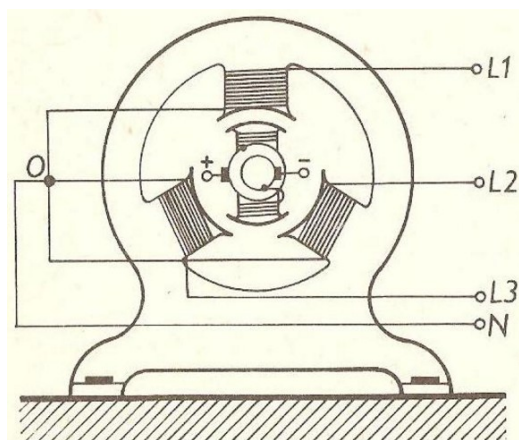
- **alternátory** (vyrábějí střídavý proud – cívky v klidu, rotuje elektromagnet)
- **dynama** (vyrábějí stejnosměrný proud – elektromagnet v klidu, rotuje cívka)

Princip činnosti: indukce střídavého napětí při otáčivém pohybu cívky v magnetickém poli:

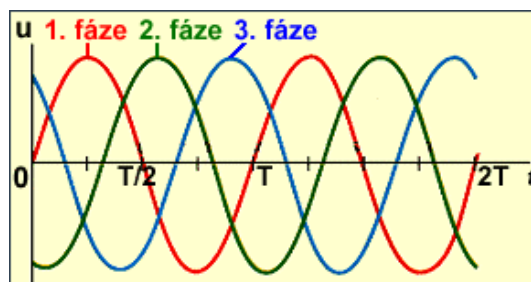


### Trojfázový alternátor:

Nyní není potíž v pochopení principu vzniku trojfázového střídavého napětí v alternátoru:



Uprostřed mezi třemi cívkami se otáčí permanentní magnet (v obrázku nahrazen elektromagnetem, který vytváří silnější magnetické pole), který vytváří otáčející se magnetické pole. V cívkách se díky tomuto



pohybu indukují elektrická napětí. Tato napětí jsou vůči sobě posunutá o třetinu periody:

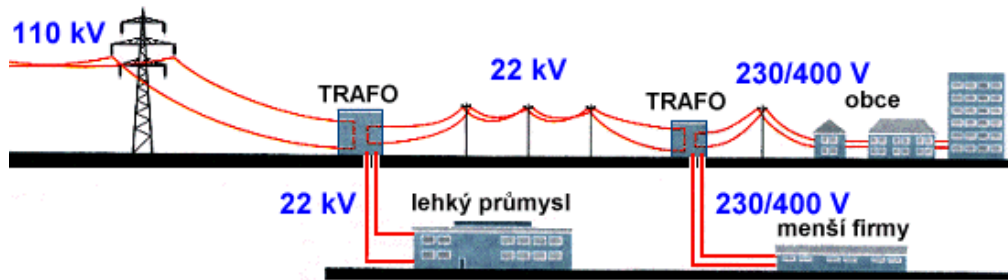
V každém okamžiku je součet okamžitých hodnot napětí ze všech tří cívek roven nule. Spojením jedněch konců vinutí cívek vzniká nulovací vodič.

Rozepsání napětí na jednotlivých cívkách:

**Červeně zobrazená cívka:**  $u_1 = U_m \cdot \sin(\omega t)$

**Zeleně zobrazená cívka:**  $u_2 = U_m \cdot \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3})$

**Modře zobrazená cívka:**  $u_3 = U_m \cdot \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3})$

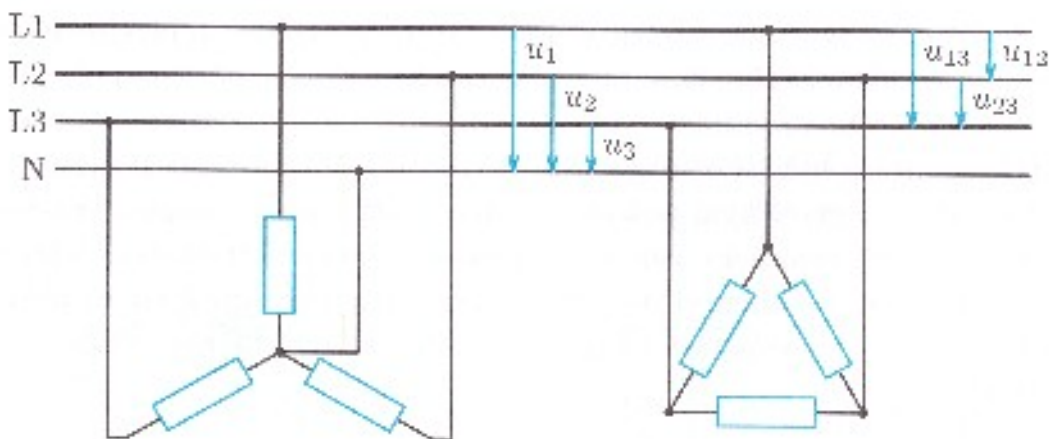


Střídavé napětí používáme především proto, že při vedení na dlouhé vzdálenosti chceme dosáhnout co nejmenších ztrát a tak vedeme energii při vysokém napětí:

V obrázku je u koncového spotřebitele (obce, menší firmy) napsáno napětí 230 / 400 V. Je to proto, že napětí mezi jakýmkoli vodičem fázovým a vodičem nulovacím je **230 V** a takové napětí nazýváme **fázové napětí**. Napětí mezi libovolnými dvěma fázovými vodiči je **400 V** a toto napětí nazýváme **sdužené napětí**. Mezi fázovým a sduženým napětím platí vztah:

$$U_{\text{fázové}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{sdužené}}$$

U spotřebičů používáme dva základní způsoby zapojení:



U zapojení do hvězdy pracuje spotřebič s napětím fázovým, u zapojení do trojúhelníku pracuje s napětím sduženým.

Spotřebitelská síť je provedena tak, že jednotlivé fázové vodiče jsou zatěžovány téměř rovnoměrně (proud nulovacím vodičem  $i_n$  je téměř nulový):

$$i_n = i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

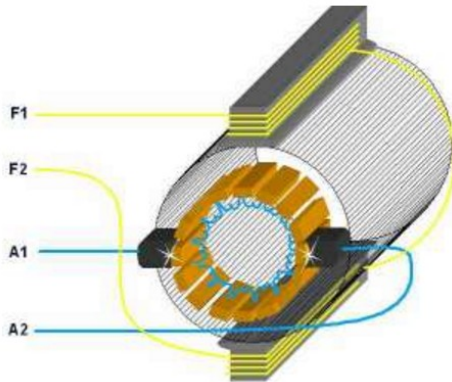
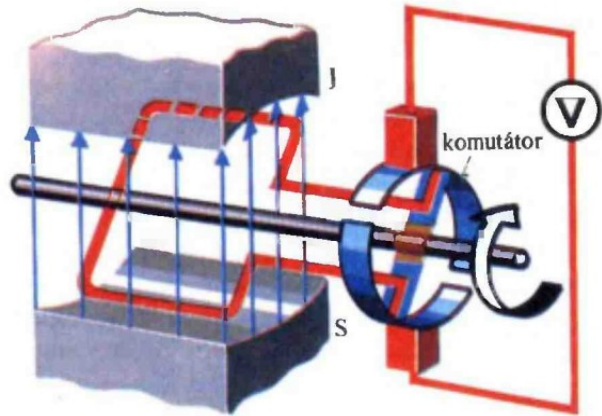
V praxi proud  $i_n$  není nulový, ale má mnohem menší hodnotu než proud ve fázových vodičích. Pokud potřebujeme větší výkon (např. elektromotory), připojíme spotřebič do trojúhelníku.

### Výroba stejnosměrného proudu:

- **Dynamo:**

Principem dynama je otáčení cívky ve stacionárním poli permanentního magnetu. Víme, že k indukci elektrického proudu dochází při změně magnetického indukčního toku cívkou. Otáčením se mění úhel mezi vektorem magnetických indukčních čar a normálovým vektorem k ploše cívky:

$$\Delta\Phi = \Delta(B \cdot S \cdot \cos \alpha)$$



Rotor se v praxi skládá se z několika vzájemně izolovaných měděných lamel. Ke každé lamelě vedou vodiče dvou různých cívek. Celé vinutí rotoru je přes komutátor propojeno. Čím více lamel komutátor má, tím je výstupní stejnosměrné napětí stabilnější (tj. méně zvlňené).

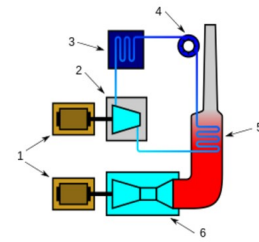
### Elektrárny:

Většina typů typy elektráren vyrábějí střídavý proud v podstatě stejným způsobem – třífázovým generátorem. Liší se pouze tím, jak se generátor roztočí.

- **tepelné:** Spalováním paliva (uhlí) vzniká horká pára o vysokém tlaku a teplotě. Její energie se mění na mechanickou energii rotoru turbíny, který je spojen s rotorem alternátoru, kde se mechanická energie mění na elektrickou.
- **jaderné:** Princip je v podstatě obdobný jako princip tepelné elektrárny, pouze teplo potřebné na přeměnu vody na páru se získává jaderným štěpením v jaderném reaktoru.
- **Vodní (průtočné, akumulární, přečerpávací):** Alternátor je poháněn vodní turbínou, ta je roztáčena tekoucí vodou. Frekvence otáčení vodní turbínou je menší než frekvence potřebná pro výrobu proudu 50 Hz, proto se používá mechanický převod mezi turbínou a alternátorem nebo je rotorem elektromagnet s více póly.
- **ostatní**
  - **větrné** – podobně jako u vodních elektráren - rotor generátoru je ovšem tentokrát roztáčen větrem; (na našem území instalováno přes 50 větrných elektráren)
  - **solární** - produkují elektrickou energii přeměnou slunečního záření. Mohou být založeny buď na principu vnějšího fotoelektrického jevu (viz později v kapitole z kvantové fyziky), nebo sluneční záření usměřňované pomocí parabolických zrcadel přeměňuje vodu v páru a ta roztáčí turbínu a tím generátor proudu

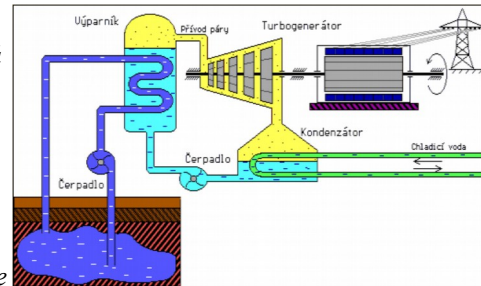
- **plynové** (zemní plyn, bioplyn) – energie se získává spalováním plynu. Ten roztáčí turbínu a následně generátor.

1. Elektrické generátory
2. Parní turbína
3. Kondenzátor
4. Čerpadlo
5. Parogenerátor (parní kotel)
6. Spalovací turbína



- **Geotermální** – k výrobě elektřiny se využívá geotermální energie:

1. horká voda z nitra Země je vysoce mineralizovaná – zanášení potrubí
2. tepelný spád bývá spojen s geologickou nestabilitou oblasti – vysoké nároky na konstrukci elektrárny (odolnost proti zemětřesením).
3. Výužití- např. na Islandu. U nás – v Ústí nad Labem (např. od května 2006 – vytápění ZOO)
4. Současný výkon všech geotermálních elektráren ve světě je asi 5,9 GW.  
Tyto elektrárny vyprodukují ročně přibližně 35 TWh elektřiny.



## Transformace střídavého proudu

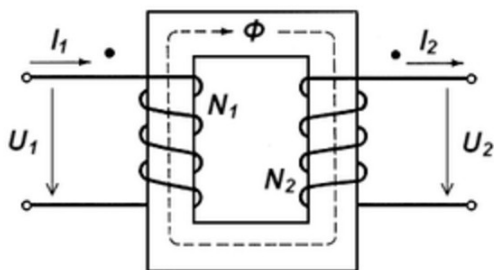
- **Jednofázový transformátor:** Tvoří ho dvě cívky na společném jádře. Jedna je připojena ke zdroji napětí. V jádře vzniká proměnné magnetické pole, v závitech cívek se indukuje napětí:

$$U = -N \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

- N ...počet závitů cívek
- Pro primární a sekundární napětí na transformátoru platí:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = k = \frac{I_1}{I_2}$$

kde  $k$  je transformační poměr.

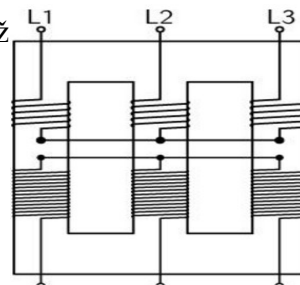


Pokud je větší než jedna, jedná se o transformaci nahoru, jinak jde o transformaci dolů (na nižší napětí). V praxi bývá sekundární napětí zatíženého transformátoru vlivem ztrát o 2–10% menší než odpovídá transformačnímu poměru. Proudů se při malých ztrátách transformují v opačném poměru než napětí. Příklad použití jednofázového transformátoru:

Transformátorová páječka - využívá transformaci dolů.

Sekundární cívkou (pájecí smyčkou) procházejí silné proudy, což má za následek vysoké zahřívání této smyčky.

- **Trojfázový transformátor:** Jádro transformátoru má 3 magnetické větve, každá má vlastní primární a sekundární vinutí. Cívky vinutí jsou spojeny do hvězdy



nebo do trojúhelníka. Transformátory pro velké napětí se značně zahřívají a musí se proto chladit. Své využití mají v energetice.

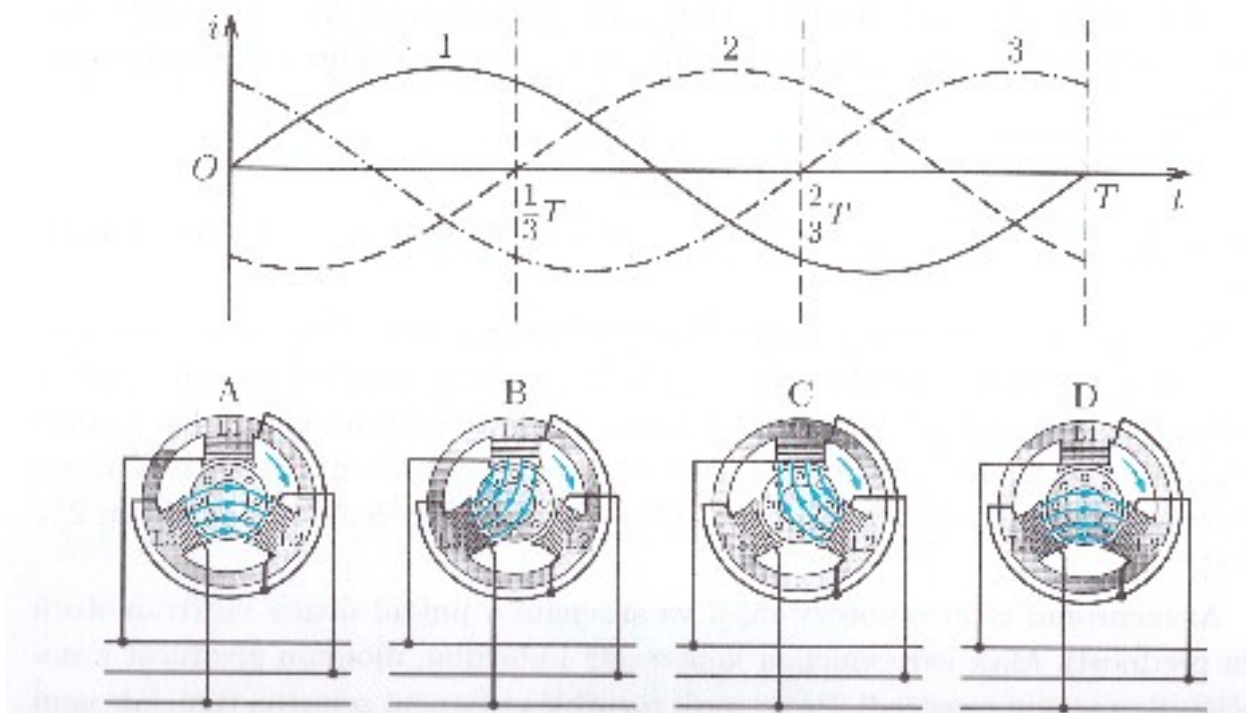
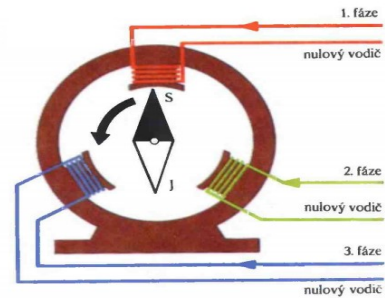
## Elektromotory

– stroje, které mění energii elektrickou na energii mechanickou. Jsou založeny na pohybu vodičů s proudem v magnetickém poli, které se vytváří ve vinutí statoru.

### Střídavý asynchronní motor:

Po přivedení trojfázového napětí na cívky statoru vzniká uvnitř elektromotoru nestacionární točivé magnetické pole (viz obrázek).

Pokud do tohoto pole umístíme magnet, bude se točit se stejnou frekvencí jako se bude točit toto pole (vznikne synchronní elektromotor – pro zájemce blíže na konci textu), v němž bude magnet tvořit rotor. Pokud do pole vložíme tzv. klecové vinutí - kotvu, vznikne asynchronní elektromotor:



Nestacionární magnetické pole statoru vyvolá indukci proudů v kotvě, které způsobí její otáčení, kotva bude rotorem. Frekvence otáčení kotvy je vždy menší než frekvence točivého pole (jinak by kotva nebyla v poli nestacionárním a žádné proudy by se v ní neindukovaly). Rozdíl mezi frekvencemi je nazýván skluz. Čím je větší, tím jsou větší i indukované proudy a tím i výkon elektromotoru. Pro skluz je definován vztah:

$$s = \frac{f_p - f_r}{f_p}$$



kde  $s$  je tzv. **skluz** (udává se v %),  $f_p$  je frekvence otáčení magnetického pole a  $f_r$  je frekvence otáčení rotoru.

Výhodou těchto motorů je jejich jednoduchá konstrukce, nevýhodou pak nemožnost regulace otáček. Proto se využívají tam, kde to není potřeba (např.: čerpadlo)

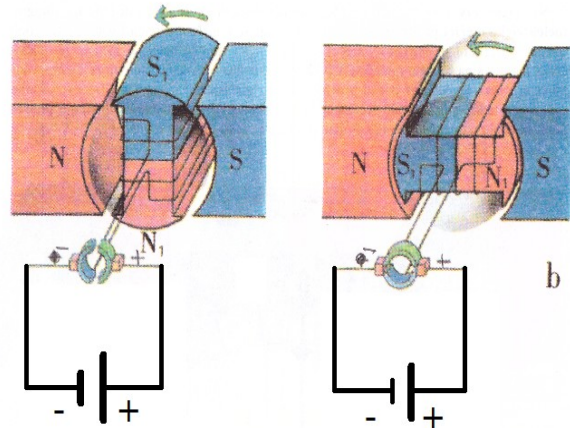
Pěkná animace: <http://www.emotor.cz/i/Flash/obr12-1.swf>

**Poznámka:**

**Další typy motorů – pro zájemce:**

*Stejnospěrný motor s permanentním magnetem: Nejjednodušší motor na stejnosměrný proud má stator tvořený permanentním magnetem a rotující kotvu ve formě elektromagnetu s dvěma póly. Komutátor mění směr elektrického proudu procházející kotvou dvakrát během každé otáčky. Tím zajistí, že síla působící na póly rotoru má stále stejný směr. V okamžiku přepnutí polarity udržuje běh tohoto motoru ve správném směru setrvačností.*

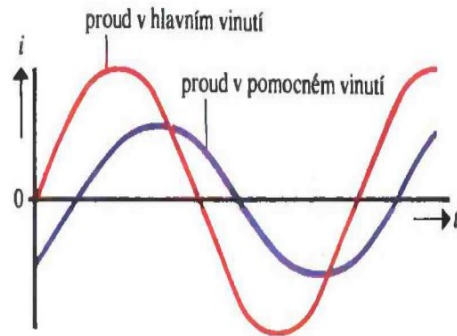
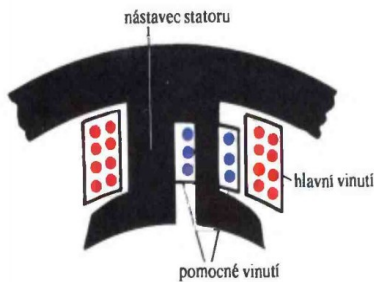
*Výhodou motoru s permanentním magnetem je možnost snadno měnit směr otáčení polaritou vstupního napětí. Komutátor zajistí, že se v cívice změní směr proudu po každém pootočení o 180° (u dvoupólového motoru). Takto dochází ke změně směru indukčních siločar v cívice.*



**Jednofázový motor s rozběhovým kondenzátorem** – používá se ve všech domácích elektrických spotřebičích (fén, vysavač, vrtačka, ...).

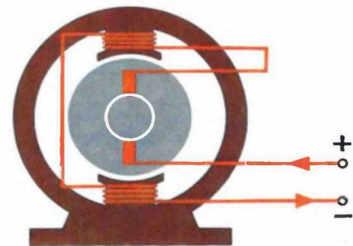
- Ve statoru je*
  - a) základní vinutí vytvářející kmitavé magnetické pole
  - b) pomocné vinutí (rozběhové) s kondenzátorem nebo indukčním závitem, v němž se po spuštění indukuje fázově posunutý proud.

**Rotorem** je magnet nebo elektromagnet.

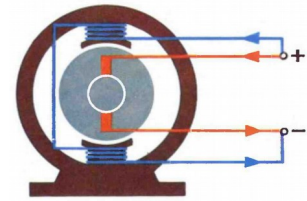


**Stejnospěrný sériový elektromotor:**

Místo permanentního magnetu se pro stator běžných větších motorů využívá elektromagnetu. Pokud je vinutí statoru (budící vinutí) spojeno s vinutím rotoru do série, mluvíme o sériovém elektromotoru. Tento typ elektromotoru má točivý moment nepřímo úměrný otáčkám. To znamená, že stojící elektromotor má obrovský točivý moment. Využívá se proto především u dopravních strojů a v elektrické trakci (vlaky, metro, tramvaje). Ve spojení s generátorem je schopen ideálně nahradit mechanickou převodovku.



**Sériový derivační elektromotor:** Vinutí statoru je spojeno s vinutím rotoru paralelně. Tyto motory se používají tam, kde se požaduje pokud možno stálá rychlost i při změně zatížení – obráběcí stroje, textilní stroje, soustruhy atp.



**Trojfázový synchronní elektromotor:**

v principu obrácený generátor střídavého proudu.

- **Stator:** přiveden střídavý proud, vytváří pulzní nebo častěji rotující magnetické pole
- **Rotor:** tvořen magnetem nebo elektromagnetem, snaží se udržet polohu souhlasící s tímto polem

Synchronní motory mají řadu nevýhod - je třeba je roztočit na pracovní otáčky jiným strojem nebo pomocným asynchronním rozběhovým vinutím, pokud pod zátěží ztratí synchronizaci s rotujícím polem, skokově klesne jejich výkon a zastaví se. Proto jsou využívány jen ve speciálních případech, kdy jsou nevýhody vyváženy požadavkem na pravidelnost otáček o celočíselném násobku frekvence elektrické sítě.

