



Střední žďár nad Sázavou  
škola **technická**

W W W . S S T Z R . C Z

# ELEKTRICKÁ ZAŘÍZENÍ 4

## STŘÍDAVÉ STROJE

JIŘÍ LIBRA

UČEBNÍ TEXTY

PRO VÝUKU ELEKTROTECHNICKÝCH OBORŮ



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

CZ.1.07/1.1.36/01.0008

ZVYŠOVÁNÍ KVALITY VÝUKY V ELEKTROTECHNICKÝCH OBORECH

# Obsah

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Úvod k elektrickým strojům.....                                                 | 4  |
| 2. Točivé elektromagnetické pole .....                                             | 5  |
| 2.1. Princip vzniku točivého pole.....                                             | 5  |
| 2.2. Princip provedení statorových vinutí synchronních a asynchronních strojů..... | 10 |
| 2.3. Provedení statorových vinutí trojfázových strojů .....                        | 12 |
| 2.4. Zapojení svorkovnic vinutí a svorkovnic trojfázových motorů .....             | 15 |
| 2.5. Rotorová vinutí trojfázových strojů .....                                     | 16 |
| 2.5.1. Rotory a rotorová vinutí synchronních strojů .....                          | 16 |
| 2.5.2. Rotory a vinutí asynchronních strojů .....                                  | 17 |
| 3. Synchronní stroje.....                                                          | 18 |
| 3.1. Úvod k synchronním strojům.....                                               | 18 |
| 3.2. Synchronní generátor – alternátor .....                                       | 19 |
| 3.2.1. Konstrukce alternátoru .....                                                | 19 |
| 3.2.2. Princip činnosti a provozní vlastnosti .....                                | 20 |
| 3.2.3. Zatěžovací úhel alternátoru .....                                           | 21 |
| 3.2.4. Paralelní provoz synchronních generátorů .....                              | 21 |
| 3.3. Synchronní motor .....                                                        | 22 |
| 3.3.1. Konstrukce. ....                                                            | 22 |
| 3.3.2. Princip činnosti.....                                                       | 23 |
| 3.3.3. Vlastnosti.....                                                             | 23 |
| 3.4. Synchronní kompenzátor.....                                                   | 24 |
| 3.5. Výhody a nevýhody synchronních motorů .....                                   | 24 |
| 4. Asynchronní stroje .....                                                        | 25 |
| 4.1. Úvod k asynchronním strojům .....                                             | 25 |
| 4.2. Konstrukce asynchronního motoru .....                                         | 26 |
| 4.2.1. Hlavní části.....                                                           | 26 |
| 4.2.2. Stator .....                                                                | 26 |
| 4.2.3. Rotor motoru s kotvou nakrátko.....                                         | 27 |
| 4.2.4. Rotor motoru s kotvou vinutou .....                                         | 27 |
| 4.3. Vznik točivého magnetického pole a princip funkce .....                       | 27 |
| 4.4. Porovnání funkce asynchronních a synchronních strojů.....                     | 28 |
| 4.5. Trojfázové asynchronní motory .....                                           | 29 |
| 4.5.1. Motory s kotvou nakrátko .....                                              | 29 |
| 4.5.2. Motory s dvojitou klecí .....                                               | 31 |

|         |                                                                 |    |
|---------|-----------------------------------------------------------------|----|
| 4.5.3.  | Motory s hlubokodrážkovými rotory .....                         | 32 |
| 4.5.4.  | Použití motorů s kotvou nakrátko .....                          | 32 |
| 4.5.5.  | Spouštění asynchronních motorů s kotvou nakrátko.....           | 32 |
| 4.6.    | Motory s kotvou vinutou (kroužkovou) .....                      | 34 |
| 4.6.1.  | Konstrukce motoru .....                                         | 34 |
| 4.6.2.  | Princip činnosti a provoz.....                                  | 35 |
| 4.6.3.  | Rozběh motoru s vinutou kotvou (rotorové spouštění).....        | 35 |
| 4.6.4.  | Použití motorů s vinutou kotvou .....                           | 37 |
| 4.7.    | Řízení otáček asynchronních motorů .....                        | 37 |
| 4.7.1.  | Řízení otáček změnou skluzu.....                                | 37 |
| 4.7.2.  | Řízení otáček změnou počtu pólů .....                           | 38 |
| 4.7.3.  | Řízení otáček změnou kmitočtu .....                             | 40 |
| 4.7.4.  | Rotační měnič kmitočtu .....                                    | 41 |
| 4.8.    | Provoz trojfázového motoru na jednofázové střídavé napětí ..... | 42 |
| 4.9.    | Jednofázový asynchronní motor.....                              | 42 |
| 4.9.1.  | Popis vinutí jednofázových motorů.....                          | 43 |
| 4.9.2.  | Popis funkce jednofázového motoru .....                         | 44 |
| 4.9.3.  | Jednofázový kondenzátorový motor .....                          | 45 |
| 4.9.4.  | Jednofázový motor s odporovým pomocným vinutím.....             | 45 |
| 4.9.5.  | Motor se stíněnými póly.....                                    | 46 |
| 4.10.   | Reluktanční motor .....                                         | 47 |
| 4.11.   | Brzdění asynchronních motorů .....                              | 48 |
| 4.11.1. | Mechanické brzdy .....                                          | 48 |
| 4.11.2. | Elektrické brzdy .....                                          | 49 |
| 4.12.   | Brzdové motory .....                                            | 50 |
| 4.12.1. | Motor s kuželovým rotorem .....                                 | 50 |
| 4.12.2. | Motor s elektromagnetickou brzdou .....                         | 51 |
| 4.13.   | Asynchronní generátor .....                                     | 51 |
| 5.      | Použitá literatura a informační zdroje .....                    | 52 |

# 1. Úvod k elektrickým strojům

## Definice elektrického stroje

Elektrický stroj je zařízení, které na principu elektromagnetické indukce umožňuje přeměnu jedné formy energie na druhou, přitom jedna z nich je elektrická. Schématicky lze elektrický stroj vyjádřit:

- primární elektrický okruh
- magnetický obvod
- sekundární elektrický obvod

U generátoru (obrázek vpravo nahoře) si můžeme jako primární okruh představit budicí obvod, který v magnetickém obvodu vytvoří magnetický tok a s využitím mechanické energie zabezpečí, že se v pracovním vinutí začne indukovat napětí a generátor začne dodávat elektrickou energii. Pracovní vinutí představuje sekundární obvod. U motoru (obrázek vpravo dole) se obdobným způsobem mění elektrická energie na mechanickou, primárním okruhem je pracovní vinutí a sekundárním budicí, popř. rotorové vinutí.

Pokud některá z částí chybí, nelze hovořit o elektrickém stroji. Např. tlumivka nemá sekundární elektrický obvod, usměrňovač nepracuje na principu elektromagnetické indukce, žárovka mění elektrickou energii na světelnou a tepelnou, přeměna energie však neprobíhá s využitím elektromagnetické indukce.



## Základní rozdělení elektrických strojů

- **netočivé stroje** – transformátory (jednofázové, třífázové)
- **točivé stroje** – generátory, motory

## Rozdělení točivých elektrických strojů

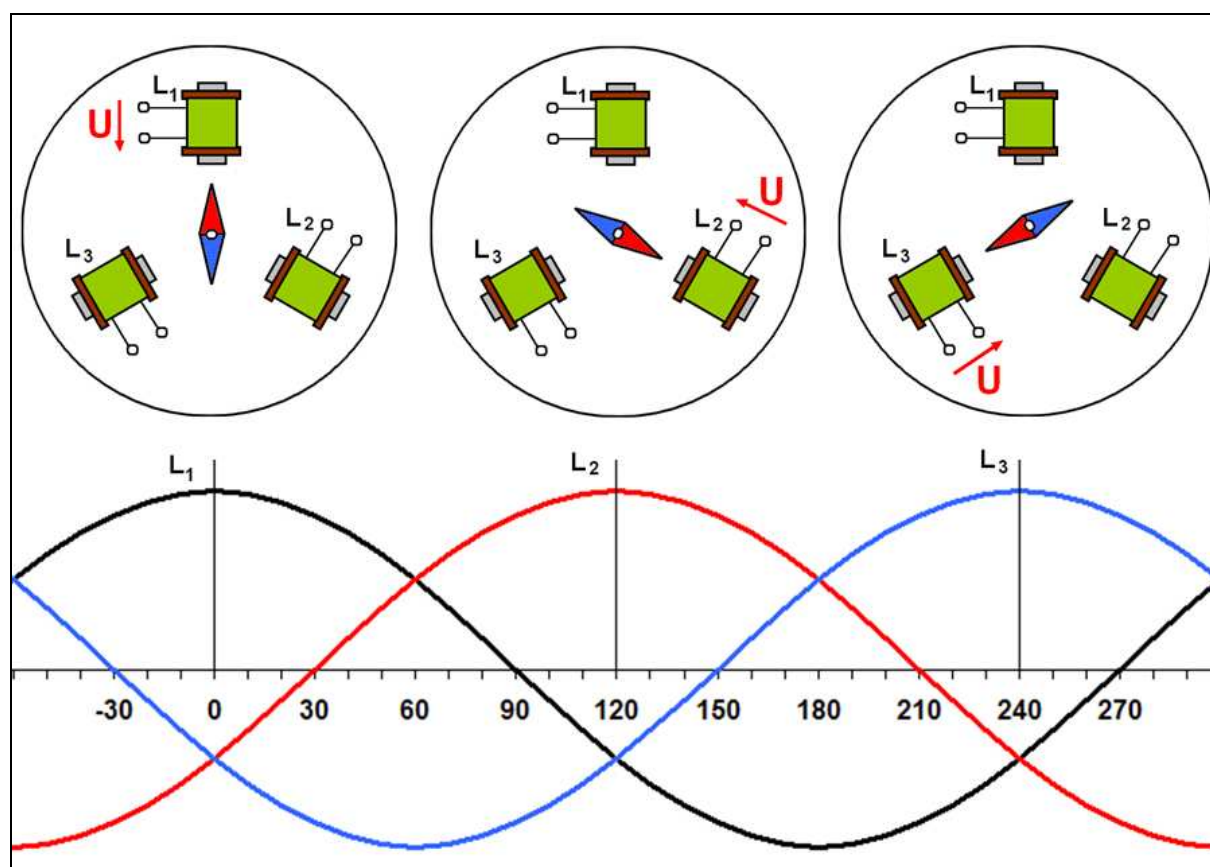
- podle druhu proudu
  - o stejnosměrné
  - o střídavé (jednofázové, třífázové)
- podle velikosti napětí, výkonu – nízkonapětové, vysokonapětové, malého výkonu, výkonové
- podle principu funkce
  - o střídavé stroje (synchronní, asynchronní – indukční)
  - o komutátorové (stejnosměrné, střídavé)
  - o speciální – krokové, lineární motory, rotační měniče

## 2. Točivé elektromagnetické pole

### 2.1. Princip vzniku točivého pole

Zapojíme-li tři cívky do hvězdy a uspořádáme je tak, že jsou vzájemně natočené o úhel  $120^\circ$ . Do středu soustavy umístíme magnetickou střílku. Soustava je znázorněna v horní části následujícího obrázku.

Přivedeme-li napětí na cívku  $L_1$  (obrázek vlevo), otočí se střílka k cívce  $L_1$ . Přivedeme-li napětí na cívku  $L_2$  (obrázek uprostřed), otočí se střílka k cívce  $L_2$ . Obdobně tomu bude i v případě cívky  $L_3$  a následně i cívky  $L_1$ .



Budeme-li soustavu cívek napájet trojfázovým napětím (průběh je uveden ve spodní části obrázku), bude se magnetická střílka otáčet mezi cívkami. Poloha střílky na obrázku vždy odpovídá maximální kladné hodnotě napětí příslušné fáze.

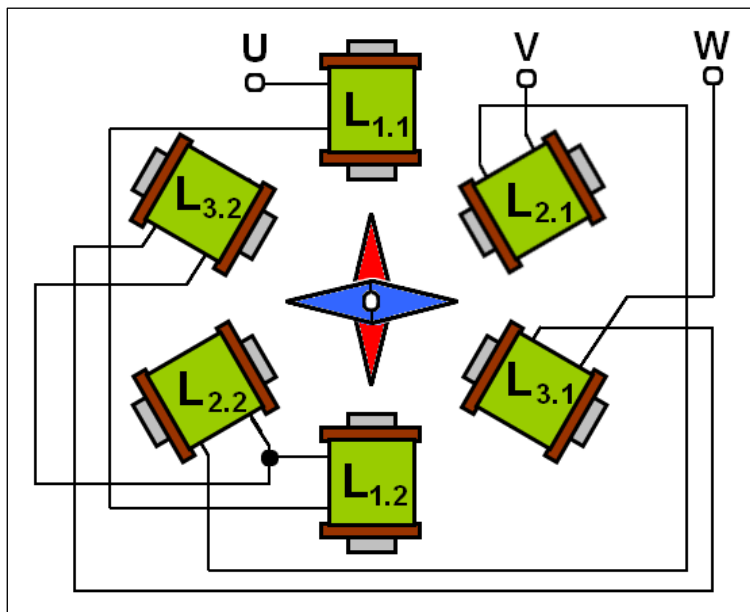
Trojice cívek vytváří proměnlivé elektromagnetické pole. Toto pole se chová stejně jako dvupólové magnetické pole, které se během jedné periody otočí o jednu otáčku, tj. o  $360^\circ$ , což je patrné z obrázku.

Toto otáčející se magnetické pole se nazývá točivé elektromagnetické pole. Magnetická střílka se bude otáčet konstantními otáčkami, rychlost otáčení bude závislá na kmitočtu napájecího napětí.

Na následujícím obrázku tvoří soustavu dvojnásobný počet cívek, celkem 6. V každé fázi jsou zapojeny dvě cívky. Na obrázku jsou zapojeny sériově, mohou být zapojeny také paralelně.

Důležité je, aby byly zapojeny tak, aby v nich vznikalo magnetické pole stejné polarity. Použijeme-li magnetickou střelku upravenou podle obrázku, bude mít soustava následující funkci:

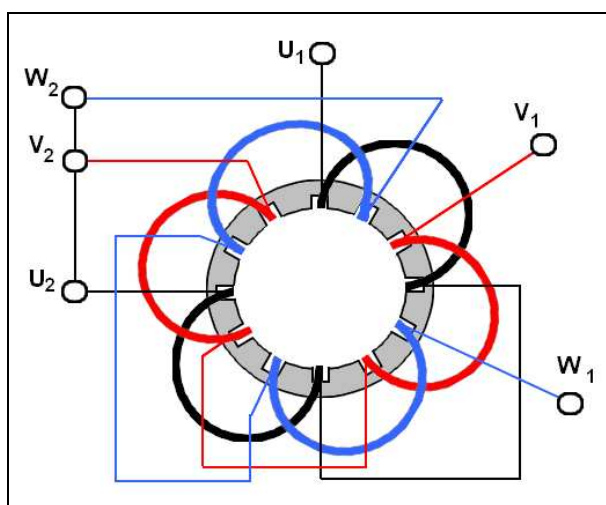
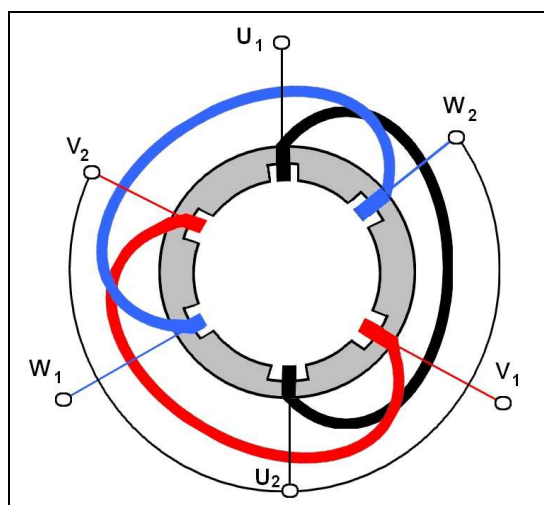
- Bude-li maximální napětí ve fázi L1, otočí se střelka svými póly k cívkám  $L_{1.1}$  a  $L_{1.2}$ . Tato poloha je znázorněna na obrázku.
- Bude-li maximální napětí ve fázi L2, otočí se střelka svými póly o  $60^\circ$  k cívkám  $L_{2.1}$  a  $L_{2.2}$ .
- Bude-li maximální napětí ve fázi L3, otočí se střelka svými póly o dalších  $60^\circ$  k cívkám  $L_{3.1}$  a  $L_{3.2}$ .
- Bude-li maximální napětí ve fázi L1, otočí se střelka o dalších  $60^\circ$ , což od začátku otáčení představuje úhel  $180^\circ$ .



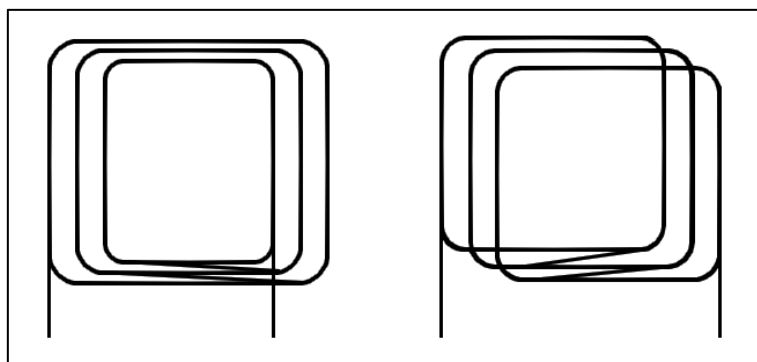
Z uvedeného popisu vyplývá, že během jedné periody se střelka otočila o polovinu otáčky. Na jednu otáčku je zapotřebí dvou period.

Tato soustava cívek vytvořila rovněž proměnlivé elektromagnetické pole, které se chová stejně jako čtyřpólové magnetické pole, které se během jedné periody otočí o polovinu otáčky, tj. o  $180^\circ$ .

Statory trojfázových strojů se obvykle vyrábějí ze statorových plechů. V jejich drážkách je umístěno vinutí. Na následujících obrázcích je zakresleno uspořádání cívek nejjednoduššího dvoupólového vinutí (obrázek nalevo) a čtyřpólového vinutí (obrázek napravo). V praxi lze tento způsob vinutí použít pouze u malých motorů.



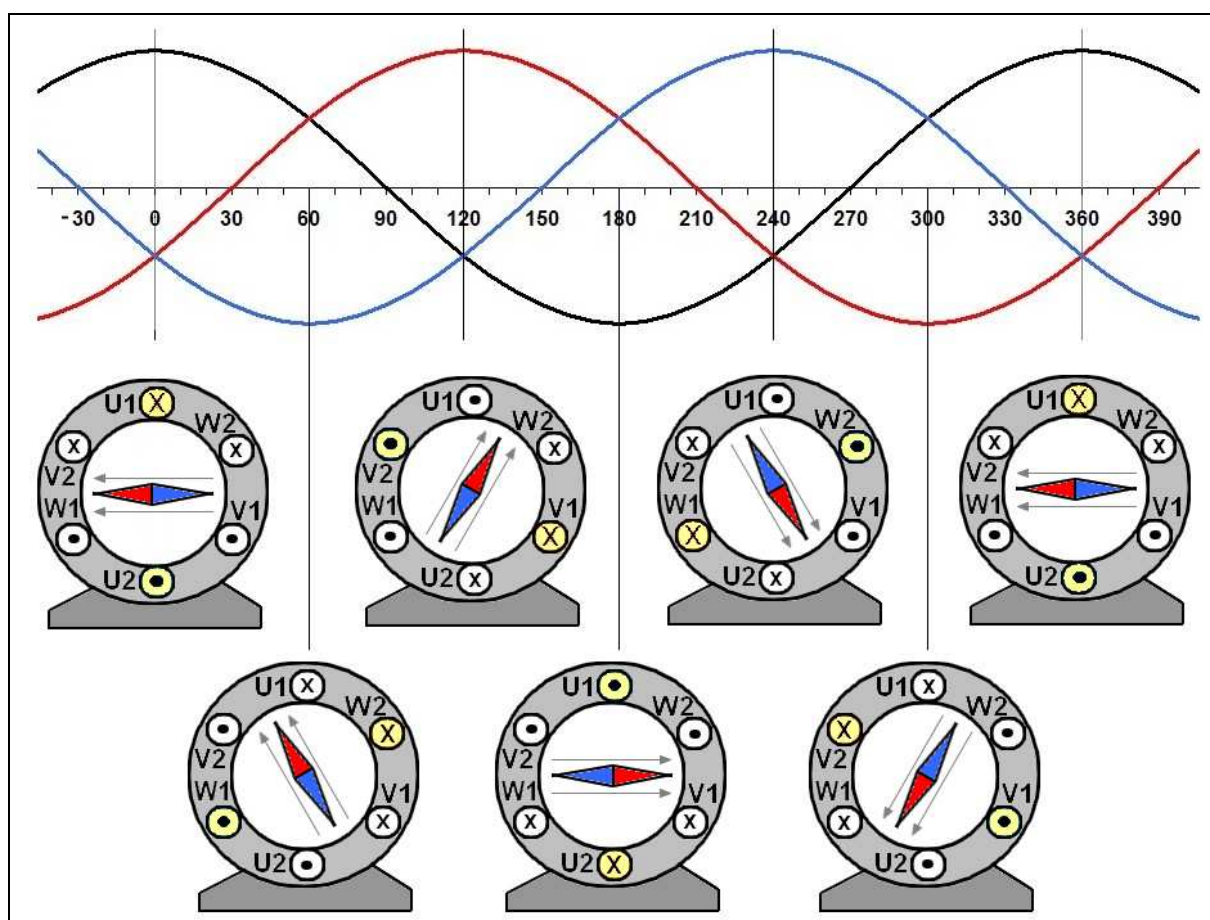
U větších motorů by bylo zapotřebí pro umístění vinutí hluboké drážky, což by vedlo k vytvoření velkých rozptylových elektromagnetických polí. Rovněž umístění takového vinutí do statoru by bylo obtížné. Proto se pro vinutí jedné fáze používá větší počet cívek umístěných v drážkách vedle sebe a zapojených dle potřeby sériově nebo paralelně.



Na obrázku vlevo vidíme vinutí tvořené soustřednými cívkami a na obrázku vpravo vinutí tvořené cívkami stejné šířky – s tzv. stejným krokem.

Cívkky na obrázku jsou zapojeny sériově. U větších motorů lze dle počtu cívek použít také paralelní nebo sérioparalelní zapojení.

Na následujícím obrázku je naznačen vznik dvoupólového točivého magnetického pole ve statoru trojfázového motoru, výsledný magnetický tok je označen šipkami a osa magnetického pole šteřlkou, která nahrazuje rotor motoru.



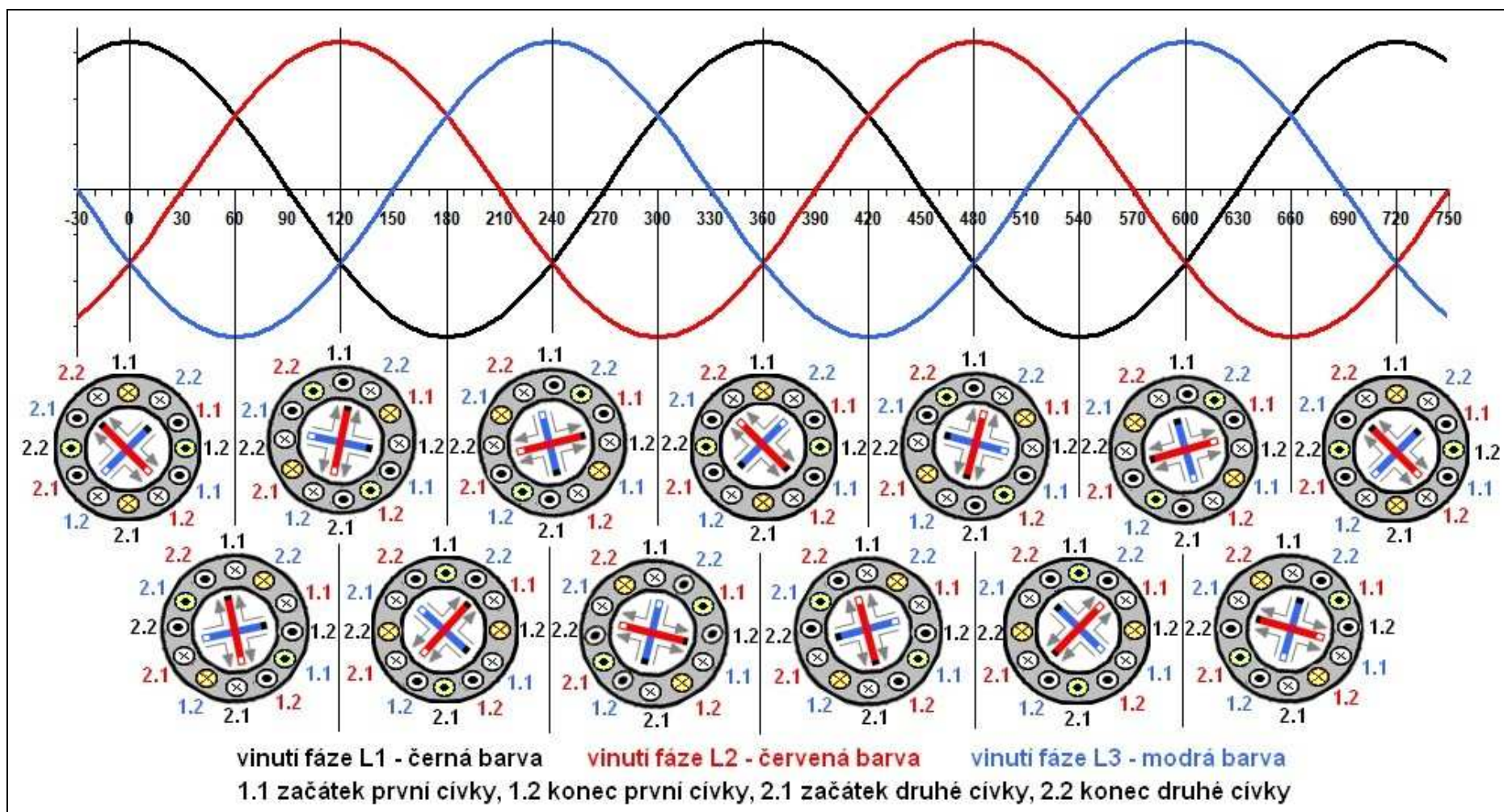
Vinutí je rovnoměrně umístěno v drážkách na vnitřním obvodu statoru. Obrázek ukazuje motor se třemi cívkami, které jsou vzájemně pootočený o  $120^\circ$ . Směry proudů v cívkách odpovídají průběhům napětí v horní části obrázku. Fáze L1 má černou barvu, L2 červenou a L3 modrou. Cívkky fáze L1 jsou označeny U1 a U2, fáze L2 V1 a V2, fáze L3 W1 a W2. V cívkách je označen směr proudu.

Ze zakreslených poloh magnetického pole je zřejmé, že časový průběh napětí v jednotlivých fázích ovlivňuje polohu elektromagnetického pole. Během jedné periody se elektromagnetické pole otočí jedenkrát. Jedná se tedy o dvoupólové vinutí.

Obrázek na další straně ukazuje vinutí s šesti cívkami, které jsou vzájemně pootočený o  $60^\circ$ . Po připojení k napětí vytváří každá cívka elektromagnetické pole.

Pole jednotlivých cívek se vytvoří výsledné točivé pole, jehož poloha je závislá na okamžitých hodnotách napětí v jednotlivých fázích. Vinutí 6 cívkami vytvoří čtyřpólové točivé pole. Během jedné periody udělá jen polovinu otáčky. Na jednu otáčku je zapotřebí dvou period.

Na obrázku jsou označeny polohy elektromagnetického pole po  $60^\circ$ .



Počet otáček točivého pole je nepřímo úměrný počtu pólů – pólových dvojic (pólových párů).

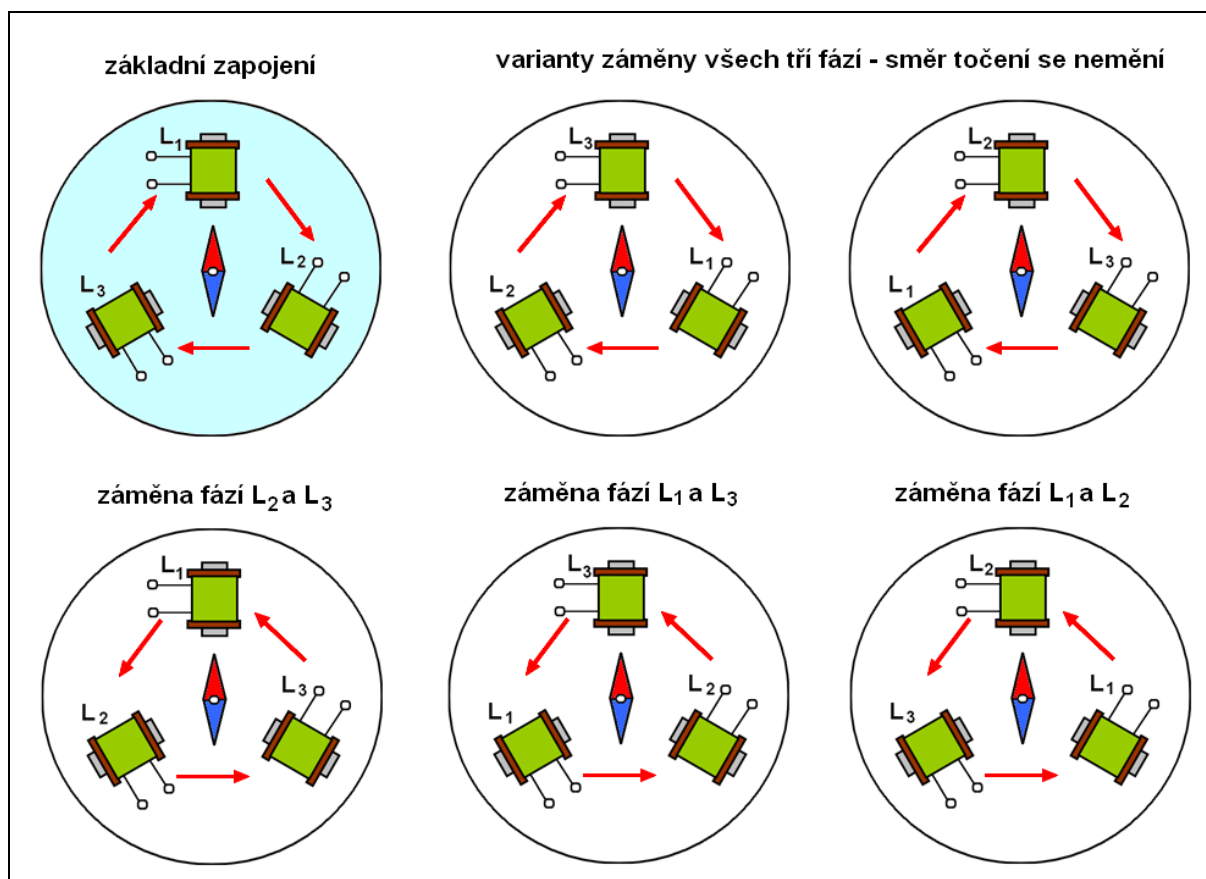
$$n = \frac{60 f}{p}$$

- n počet otáček za 1 minutu
- f frekvence napájecího napětí
- p počet pólových dvojic (někdy se používá označení 2p, které má stejný význam)

V následující tabulce je přehled otáček vinutí s různým počtem pólů pro frekvenci 50 Hz:

| počet pólů | otáčky za minutu | otáčky za sekundu |
|------------|------------------|-------------------|
| 2          | 3 000            | 50                |
| 4          | 1 500            | 25                |
| 6          | 1 000            | $16 \frac{2}{3}$  |
| 8          | 750              | $12 \frac{1}{2}$  |
| 10         | 600              | 10                |
| 12         | 500              | $8 \frac{2}{3}$   |

Prohodíme-li připojení dvou fázových vodičů, magnetické pole rotuje v opačném směru. Záměnou dvou libovolných fází se změní směr otáčení. Záměnou všech tří fází se směr točení nemění. Pro směr otáčení je důležité pořadí fází na cívkách (jeden směr L1 – L2 – L3, L3 – L1 – L2, L2 – L3 – L1, opačný směr L1 – L3 – L2, L3 – L2 – L1, L2 – L1 – L3) a ne připojení určité fáze na konkrétní cívku.



Z předcházejícího textu je zřejmé, že točivé elektromagnetické pole vzniká, připojíme-li trojfázové kruhově uspořádané vinutí na trojfázové napětí. **Na tomto principu pracují trojfázové motory.**

Točivé pole může také vzniknout opačným způsobem. Vytvoříme-li rotor z permanentního magnetu a nebo z elektromagnetu napájeného stejnosměrným proudem, a budeme-li rotorem otáčet, bude se ve vinutí indukovat napětí. V případě popisovaných vinutí se bude jednat o trojfázové napětí. Vinutí též může být jednofázové, popř. vícefázové. **Na tomto principu pracují synchronní generátory – alternátory.**

Elektrické stroje, které pracují s točivým magnetickým nebo elektromagnetickým polem, se nazývají elektrické točivé stroje. Elektromotory k otáčení rotoru využívají točivého pole vytvářeného statorem. **Otáčí-li se rotor stejnou rychlostí jako točivé pole statoru, mluvíme o synchronních strojích (motorech). Jsou-li rychlosti otáčení pole a rotoru různé, mluvíme o asynchronních strojích (motorech).**

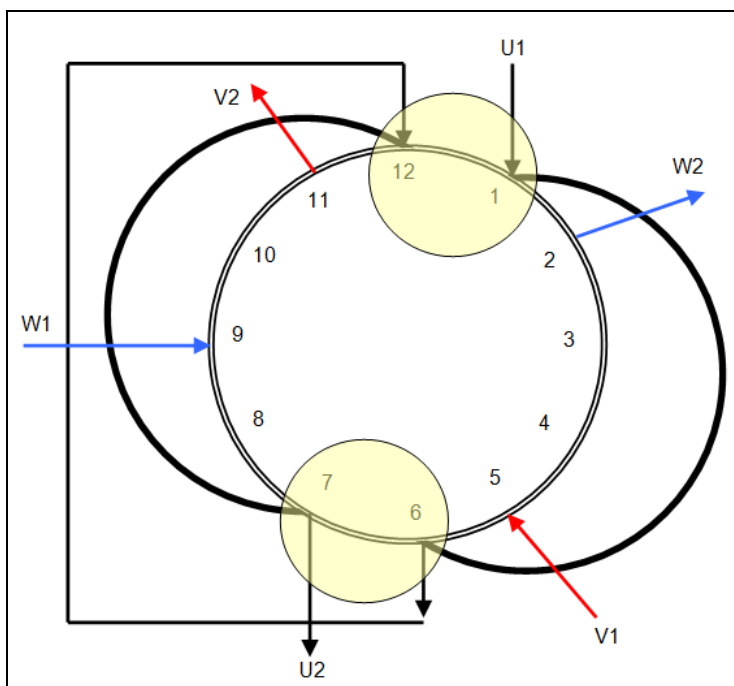
Otáčky točivého pole jsou určeny síťovým kmitočtem a počtem pólů trojfázového vinutí. S rostoucím kmitočtem rostou a s počtem pólů dvojnásobně klesají. Vypočteme je ze vztahu:

$$n = \frac{60 f}{p}$$

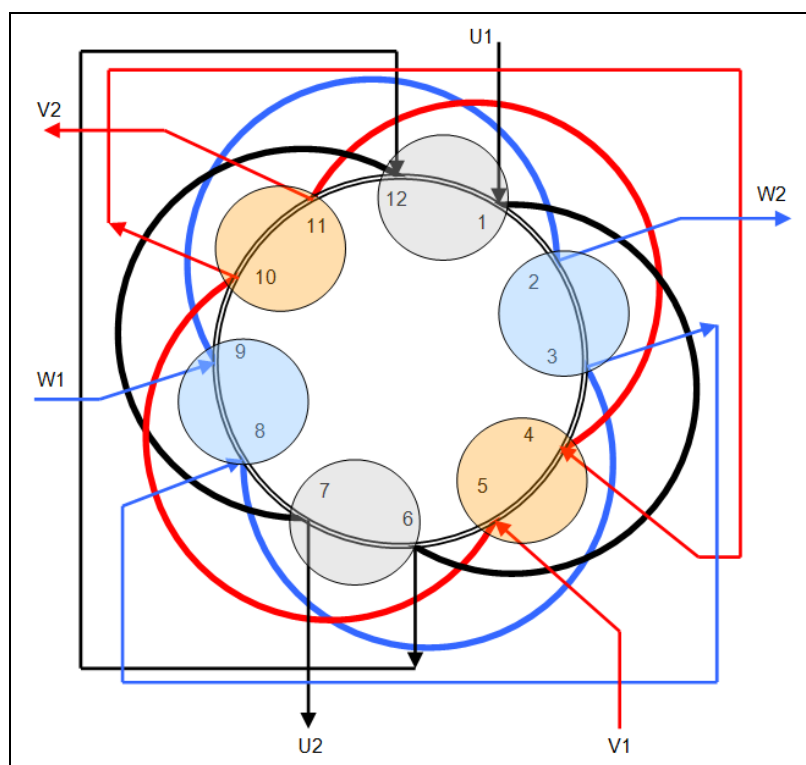
## 2.2. Princip provedení statorových vinutí synchronních a asynchronních strojů

Na následujících obrázcích jsou znázorněna statorová vinutí. Pro snadnější pochopení je použito tzv. polohové vinutí, u dvoupólového a čtyřpólového vinutí je pól tvořen dvěma cívkami se stejným směrem proudu. Ve skutečnosti se používá dvojnásobný až trojnásobný počet cívek. Fáze L1 je značena černou barvou, L2 červenou a L3 modrou. Póly jsou označeny barevnými kruhy.

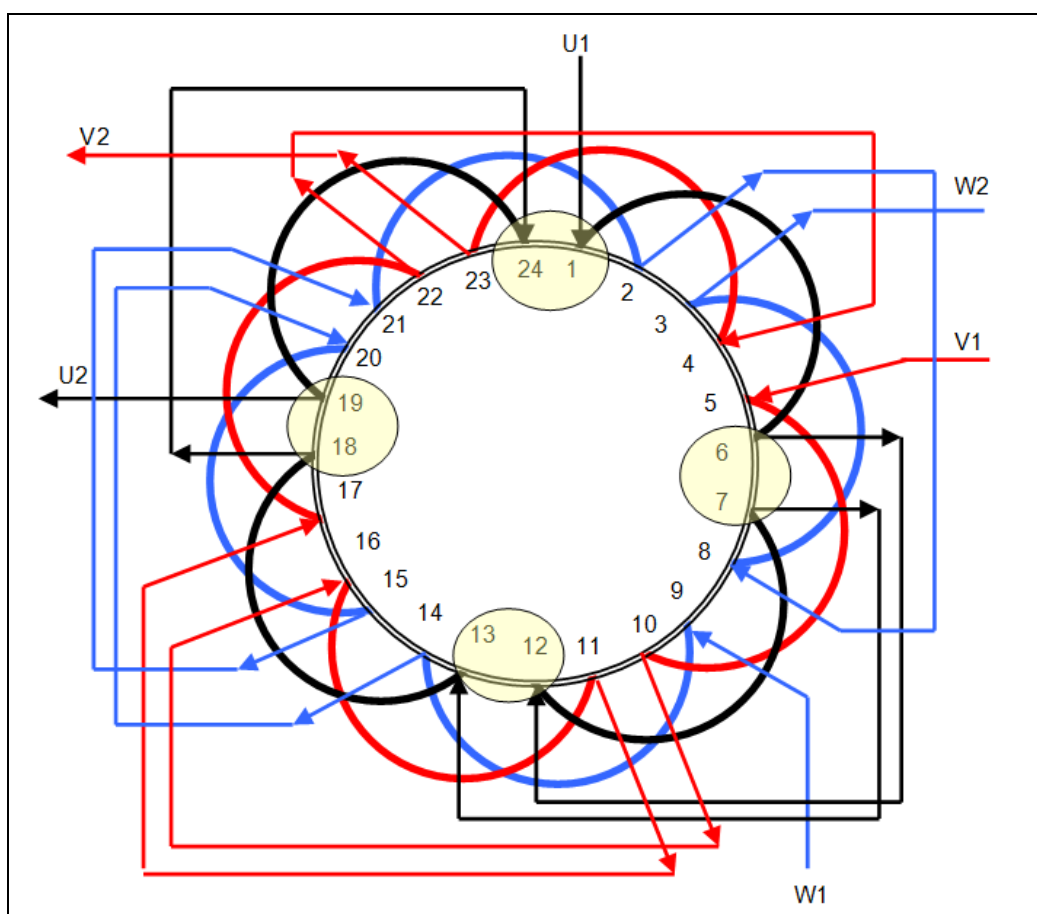
**Dvoupólové třífázové vinutí – zakresleno vinutí jedné fáze**



**Dvoupólové třífázové vinutí – vinutí všech fází a pólů všech fází**

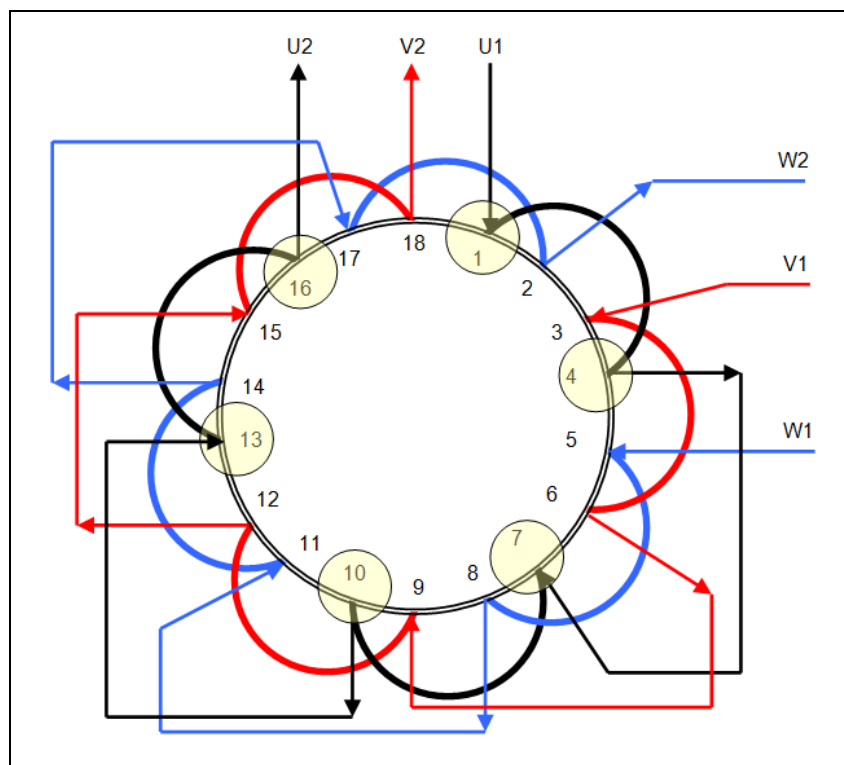


**Čtyřpólové třífázové vinutí – zakresleny póly fáze L1**



### Šestipólové trojfázové vinutí

U tohoto vinutí je použit způsob používaný pro vícepólová vinutí, která potřebují velký počet drážek. Magnetický pól je tvořen pouze jednou cívkou, čímž je zapotřebí pouze polovina drážek.



### 2.3. Provedení statorových vinutí trojfázových strojů

Otáčky trojfázového motoru jsou udávány v otáčkách za minutu na štítku motoru. Otáčky motoru jsou závislé na počtu pólových párů a na kmitočtu napětí. Cívky vinutí přitom mohou být řazeny sériově nebo paralelně.

Pro návrh je třeba znát počet drážek a počet pólů motoru. Podle toho je pak možno určit počet fází vinutí (pro trojfázové stroje 3), počet drážek na fázi, počet drážek na jeden krok navíjení a polohy začátků vinutí.

Počet drážek na jeden krok udává, o kolik drážek od sebe jsou uloženy začátky sousedních cívek.

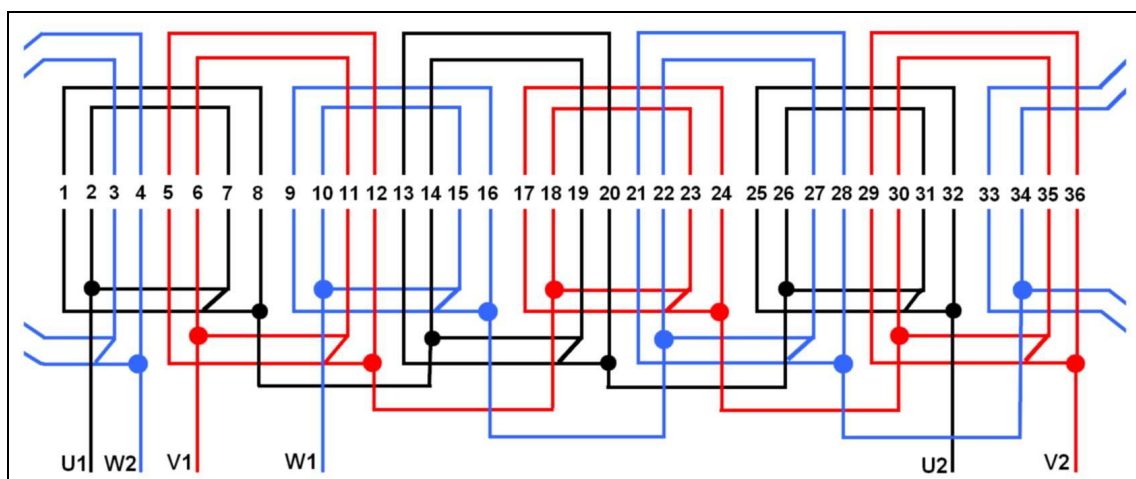
#### Jednovrstvá vinutí

Leží-li v každé drážce jen jedna strana jedné cívky, mluvíme o jednovrstvém vinutí. Jsou-li obě strany jedné cívky ukládány do drážek současně, vznikne patrové (polohové) vinutí, kdy na čelech leží vinutí některých cívek dole a jiných nahoře.

Toto vinutí je na obrázku napravo. Jednotlivé vrstvy jsou barevně označeny.



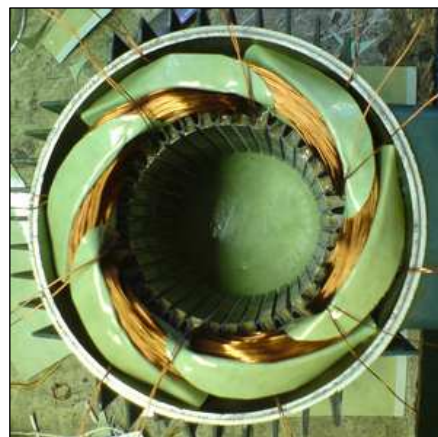
### Schéma jednovrstvého dvoupolohového vinutí



Leží-li na čelech statoru každé vinutí částečně na jednom sousedním a částečně pod druhým sousedním vinutím (z druhé strany), vznikne košíkové vinutí, tzv. vinutí do věnce – viz obrázek napravo. Počet drážek na jeden pól dostaneme, když celkový počet drážek podělíme součinem počtu pólů a počtu fází.

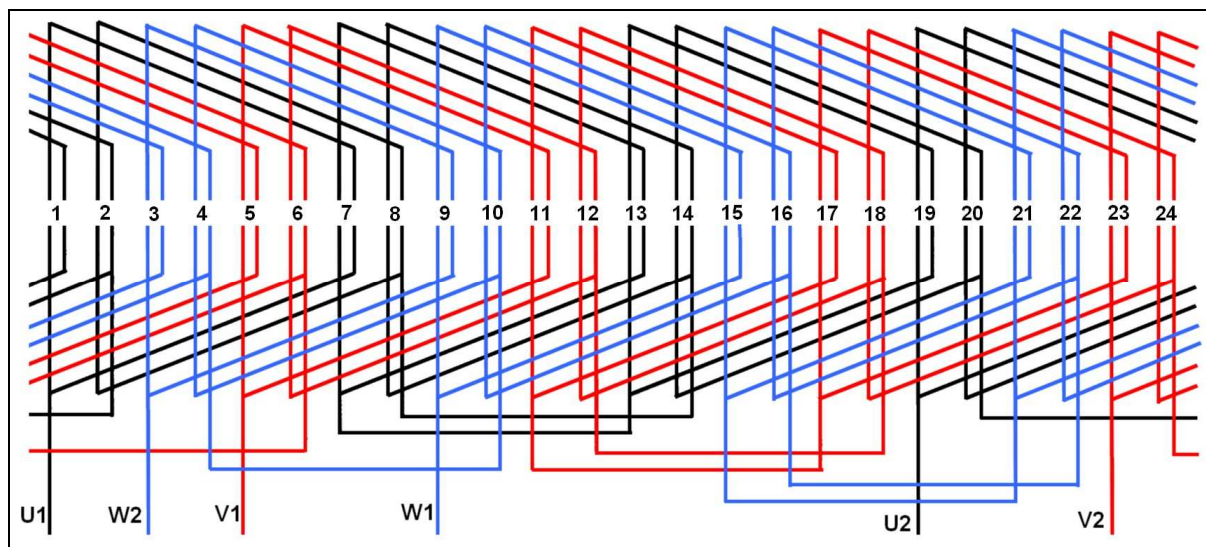
Počet drážek musí být pro každou fázi stejný, proto musí být celkový počet drážek číslo dělitelné třemi.

Tento způsob navíjení se používá také pro dvouvrstvá vinutí.



### Dvouvrstvá vinutí

Dvouvrstvé vinutí má tolik dílčích cívek, kolik má stator drážek. V každé drážce leží dvě strany cívek, jedna spodní a jedna horní. U dvouvrstvého vinutí musí být počet drážek vždy dělitelný počtem pólů, aby vyšlo celé číslo. U těchto vinutí patří horní i dolní cívka v jedné drážce k jednomu pólu a fázi. Cívky jsou zapojeny tak, že proudy v polovinách cívek uložených v téže drážce mají stejný směr. Vinutí vidíme na následujícím obrázku.



## Dvouvrstvá vinutí se zkráceným krokem

Při zkráceném kroku je šířka vinutí zkrácená o jednu nebo více drážek. Vinutí se zkráceným krokem zlepšují účinnost a vlastnosti při rozběhu motoru a snižují hluk. Při návrhu vinutí se zkráceným krokem je třeba mít na zřeteli, že v části drážek jsou uložena vinutí patřící různým fázím a mezi oběma různými cívkami jsou napětí rozdílných hodnot.

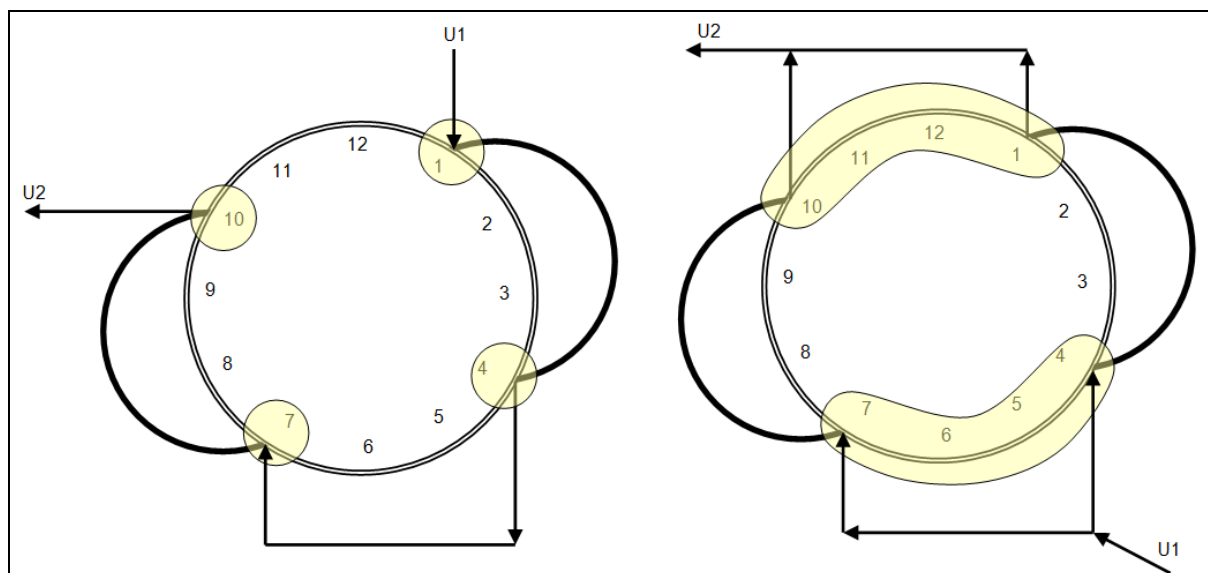
## Vinutí s přepínatelným počtem pólů

Často jsou potřeba motory s více různými počty otáček, např. k pohonu obráběcích strojů. Tento požadavek je možno splnit různými způsoby. **Stator může mít dvě různá vinutí s různými počty pólů, z nichž je vždy zapnuto jen jedno.** Je však také možno přepínáním spojovat do skupin jednotlivá statorová vinutí tak, že se mění počet pólů a tím i otáčky motoru.

Nejčastěji používané vinutí s přepínatelnými póly je Dahlanderovo vinutí.

### Princip přepínání počtu pólů

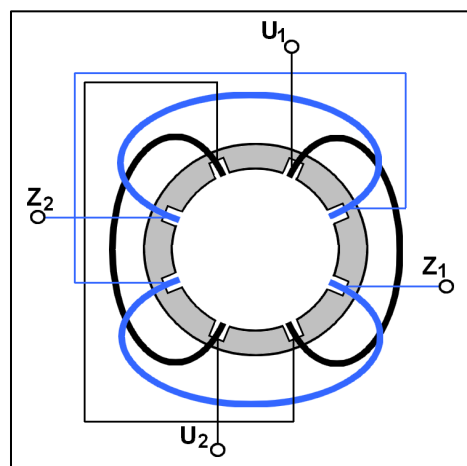
Změnou sériového zapojení cívek na levém obrázku na paralelní zapojení na pravém obrázku se změní počet pólů ze čtyř na dva.



Pro návrh Dahlanderova vinutí je třeba určit krok vinutí pro vyšší počet pólů (nízké otáčky) a počet drážek na pól a fázi pro nižší počet pólů (vysoké otáčky). Pro nižší otáčky je vinutí většinou zapojeno do trojúhelníku (může být zapojeno i do hvězdy). Připojení pro vyšší otáčky se uskutečňuje při středovém spojení přípojných bodů pro nízké otáčky, tj. při propojení vrcholů trojúhelníku. Tím jsou vinutí rozdělena na dvě paralelně zapojené skupiny.

## Vinutí jednofázových strojů

Pro vinutí jednofázových motorů (obrázek vpravo) platí stejné podmínky jako v případě trojfázových motorů. Rozdíl je v počtu vinutí, která jsou dvě, a ve fázovém posuvu, který činí  $90^\circ$ . Ve statoru se střídají cívky dvou vinutí – hlavního a pomocného. Hlavní vinutí má



vývody U1, U2 a pomocné vinutí Z1, Z2. Podle konstrukce motoru obvykle zabírá hlavní vinutí dvě třetiny drážek a pomocné vinutí jednu třetinu. U tzv. dvoufázových motorů jsou obě vinutí provedena stejně. Potřebný fázový posun proudů hlavního a pomocného vinutí je obvykle vytvořen kondenzátorem a nebo pomocným vinutím navinutým z odporového vodiče. Je možné také zajištění fázového posuvu ohmickým odporem zapojeným do série s pomocným vinutím. V tomto případě musí být třetina pomocného vinutí navinuta bifilárně (protisměrně). Tímto uspořádáním se zruší magnetické působení ve 2/3 pomocného vinutí, které má pak jen funkci ohmického odporu, potřebného pro fázový posun.

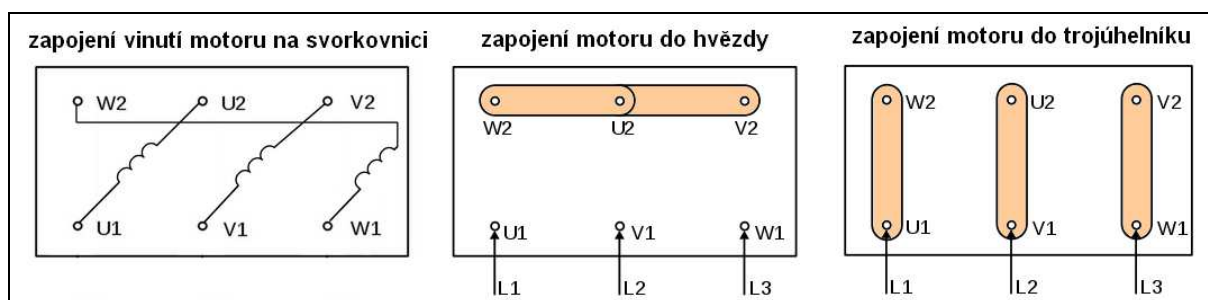
## 2.4. Zapojení svorkovnic vinutí a svorkovnic trojfázových motorů

### Běžné trojfázové motory

Na následujícím obrázku je uvedeno normalizované zapojení vinutí trojfázového jednootáčkového motoru na svorkovnici. Způsob zapojení umožňuje jednoduchým způsobem vkládat propojky pro zapojení do hvězdy (v textu značíme Y nebo  $\Delta$ ) nebo do trojúhelníku (v textu značíme D nebo  $\Delta$ ).

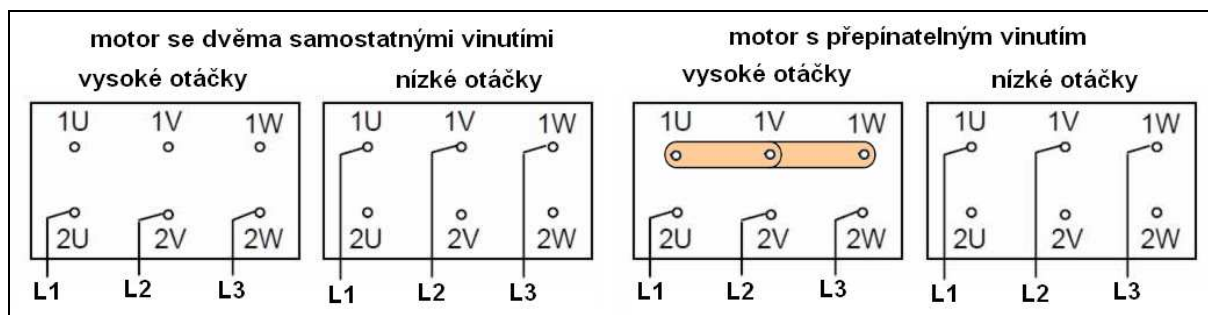
Zapojení do hvězdy se používá v případě, kdy je vinutí motoru konstruováno na fázové napětí, což je v naší rozvodné síti 230V. Používá se obvykle u motorů menších výkonů do 3kW. Zapojení do trojúhelníku, které je konstruováno na sdružené napětí, které má v naší rozvodné síti hodnotu 400V. Používá u motorů vyšších výkonů od 4kW a umožňuje rozběh motoru do hvězdy s přepnutím do trojúhelníku pro plný výkon motoru po ukončení rozběhu (tzv. rozběh hvězda – trojúhelník; Y/D). Způsob zapojení motoru je uveden na štítku údají Y nebo D.

***U motorů malých výkonů jsou na štítku údaje Y/D 400/230V, které určují, že motor v běžné rozvodné síti lze zapojit pouze do hvězdy Y. U motorů větších výkonů je údaj D 400V, což značí, že motor lze zapojit do trojúhelníku.***



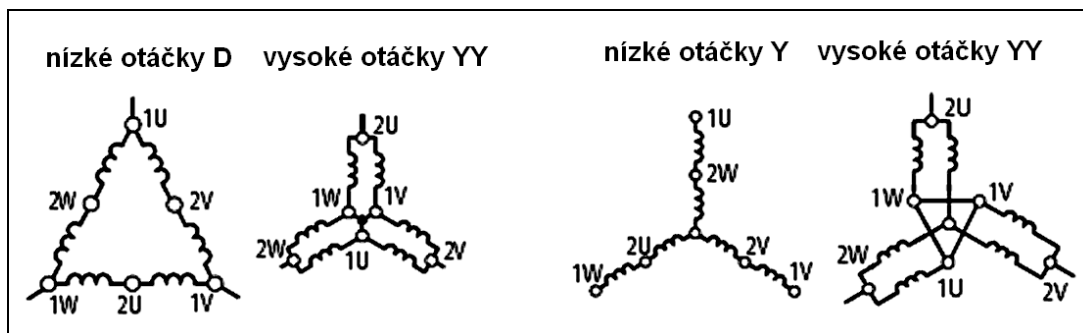
### Dvouotáčkové motory

Zapojení svorkovnic dvouotáčkových motorů je na následujícím obrázku.



Motor se samostatnými vinutími má ve satorových drážkách umístěna dvě samostatná vinutí s různým počtem pólů, každé z nich je uvnitř spojeno obvykle do hvězdy.

Dvouotáčkový motor s přepínatelným vinutím nejčastěji mívá vinutí pro nízké otáčky zapojeno do trojúhelníku D, pro vysoké otáčky se vinutí spojí do dvojité hvězdy YY. Méně časté je zapojení pro nízké otáčky do hvězdy Y a pro vysoké do dvojité hvězdy YY z důvodu rozdílnosti výkonů pro jednotlivé otáčky.



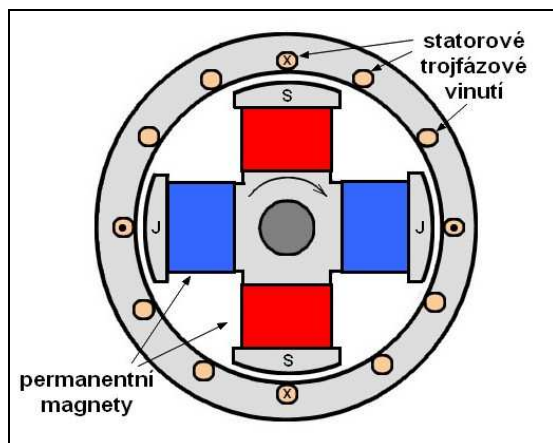
## 2.5. Rotorová vinutí trojfázových strojů

Satorová vinutí střídavých strojů jsou funkčně shodná. Synchronní a asynchronní stroje se odlišují v provedení rotorů a rotorových vinutí. U synchronních strojů musí mít rotor vlastní magnetické nebo elektromagnetické pole. U asynchronních strojů je na rotoru vinutí, ve kterém se indukuje napětí. Aby byl uzavřený obvod a vinutím mohl protékat proud potřebný k vytvoření rotorového elektromagnetického pole, musí být vinutí spojeno přímo nebo přes rezistory nakrátko.

### 2.5.1. Rotory a rotorová vinutí synchronních strojů

#### Rotor s permanentním magnetem

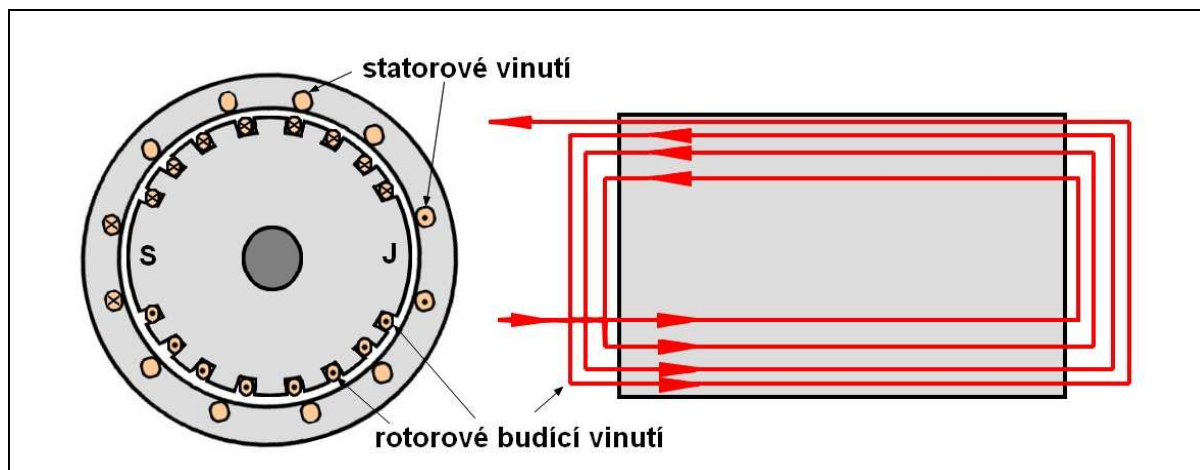
U jednoduchých synchronních motorů a alternátorů lze rotorové vinutí nahradit permanentním magnetem. Nevýhodou tohoto řešení je, že magnetické pole není možné regulovat a tím není možné regulovat výstupní napětí a výkon podle zatížení. Rotor musí mít stejný počet pólů jako sator. Princip funkce je uveden na obrázku vlevo, na pravém obrázku je znázorněno provedení rotoru alternátoru s permanentními magnety.



## Rotor s budicím vinutím

Rotory synchronních strojů jsou opatřeny budicím vinutím napájeným stejnosměrným proudem. Velikostí budicího proudu lze regulovat velikost magnetického pole a tím velikost výstupního napětí a výkonu. Podle počtu pólů jsou dvě konstrukce rotorů. Pro malý počet pólů a vysoké otáčky se vyrábějí stroje s válcovým rotorem, do jehož drážek se vkládá budicí vinutí. Stejnosměrné napájení se přivádí přes uhlíkové kartáče a kroužky.

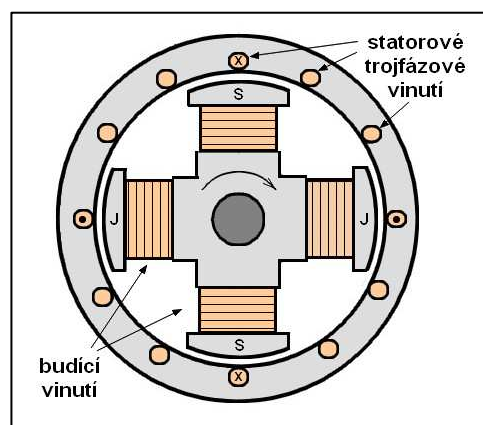
### Válcový rotor vysokootáčkového synchronního stroje



U strojů s vysokým počtem pólů a malými otáčkami se používají rotory s vyniklými (vyjádřenými póly), tzv. magnetová kola. Tyto stroje mají velký průměr, který může dosahovat i několik metrů.

### Rotor s vyniklými póly

Na obrázku je znázorněn čtyřpólový synchronní stroj s vyniklými póly. Malý počet pólů je zvolen pro snadnější pochopení. Ve skutečnosti bývá počet pólů u těchto strojů výrazně vyšší. Na rozdíl od válcových rotorů jsou v tomto případě póly tvořeny jednotlivými cívkami umístěnými na pólových nástavcích, ty jsou upevněny k hřídeli rotoru.

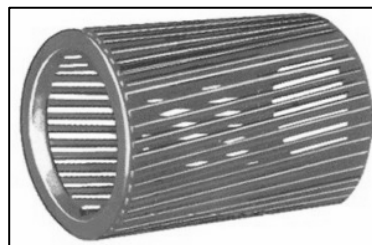


## 2.5.2. Rotory a vinutí asynchronních strojů

Rotorové vinutí asynchronních strojů není napájeno, napětí se v něm indukuje. Protože magnetické pole rotoru vytváří proud rotorového vinutí, musí být uzavřen proudový okruh. Vinutí musí být buď přímo, nebo přes rezistory spojeno do zkratu. Podle provedení rotorů rozeznáváme asynchronní stroje s kotvou nakrátko a asynchronní stroje s kotvou vinutou.

### Kotva nakrátko

Princip vinutí kotvy nakrátko je znázorněn na horním obrázku vpravo. Závity tvoří tyče vinutí, na čelech jsou spojeny. Na dolním obrázku je skutečné provedení kotvy nakrátko – vinutí je vytvořeno zastříknutím kovu (měď, hliník) do drážek rotoru.



### ***Kotva vinutá***

Na kotvě se používá trojfázové vinutí zapojené do hvězdy, vývody jsou vyvedeny na kroužky rotoru.

Vinutí se uspořádáno stejným způsobem jako statorové vinutí. U strojů větších výkonů se používá také dvoufázové vinutí zapojené do V, spoj vinutí obou fází je vyveden jako třetí vodič na kroužky. Přes uhlíkové kartáče a rezistory se proudový okruh uzavírá nakrátko.

Provedení rotoru asynchronního motoru s kotvou vinutou vidíme na obrázku vpravo. Kroužky jsou v přední části snímku.



## **3. Synchronní stroje**

### **3.1. Úvod k synchronním strojům**

Synchronní stroj je točivý střídavý stroj, u kterého se rotor otáčí stejnými otáčkami jako elektromagnetické pole. U synchronního generátoru, který se nazývá alternátor, je indukované napětí přímo úměrné otáčkám. Rovněž kmitočet se úměrně mění s otáčkami. Synchronní motor má otáčky rotoru, bez ohledu na zatížení, stejné jako elektromagnetické pole. Se synchronními generátory (alternátory) se v praxi setkáme nejčastěji např. u jízdního kola, kde slouží jako zdroj pro napájení osvětlení (obrázek vlevo), v automobilech, kde alternátory vybavené usměrňovači slouží ke krytí spotřeby elektrické výzbroje a dobíjení akumulátoru (obrázek uprostřed). Synchronní motory (obrázek napravo) se běžně používají v automatizační technice pro přesné pohony (zapisovače, časové spínače apod.).



V průmyslu se synchronní stroje používají jako generátory při výrobě elektrické energie v elektrárnách. Jedná se o nejvýkonnější elektrické točivé stroje. Synchronní motory od malých až po vysoké výkony se používají v pohonech vyžadujících přesné otáčky.

**Podle účelu dělíme synchronní stroje na:**

- **synchronní generátory** – alternátory: používají se k výrobě elektrické energie
  - turboalternátory – vysokootáčkové generátory poháněné parní nebo plynovou turbínou
  - hydroalternátory – nízkootáčkové generátory poháněné vodní turbínou

- **synchronní motory** – vysokootáčkové motory se nazývají turbomotory
- **synchronní kompenzátory** – jedná se o synchronní motory pracující bez zatížení, při vhodně nastaveném budicím proudu dodávají do sítě jalový výkon kapacitního charakteru, tím zlepšují účinnost sítě, protože většina spotřebičů má obvykle induktivní charakter

**Každý synchronní stroj může pracovat jako motor nebo alternátor.**

## 3.2. Synchronní generátor – alternátor

Elektrická energie se většinou vyrábí pomocí synchronních generátorů. V elektrárnách se většinou používají stroje s vnitřními póly, protože stejnosměrný budicí proud přiváděný přes sběrné kroužky na rotor je podstatně menší, než vyráběné pracovní proudy odváděné ze statoru.

### 3.2.1. Konstrukce alternátoru

Na rotoru je budicí vinutí napájené přes sběrací kroužky stejnosměrným proudem. Protože se magnetické pole rotoru nemění, není nutné řešit ztráty v železe (hysterezi a vířivými proudy) a rotor tak může být vyroben z plného materiálu a je většinou ocelový. Rotory pro menší otáčky mají zvýrazněné póly a nazývají se **rotory s vyniklými (vyjádřenými) póly** nebo též magnetická kola (viz obrázek vodní elektrárny napravo nahoře).



K tomuto účelu se používá trojfázový budicí alternátor, jehož proud je usměrňován a přiváděn k vinutím rotoru vedením v jeho hřídeli. Jako zdroj budicího proudu lze také použít stejnosměrný generátor – dynamo. Stejnosměrný budicí proud pro rotorové vinutí lze rovněž získat usměrněním síťového střídavého proudu.

Stator generátoru je sestaven ze statorových plechů, trojfázové vinutí je uloženo v drážkách. Stator a rotor mají vždy stejný počet pólů. Popis vinutí je uveden v předcházející kapitole.



Představu o rozměrech rotoru nízkootáčkového mnohápólového alternátoru si můžeme udělat z obrázku nalevo.

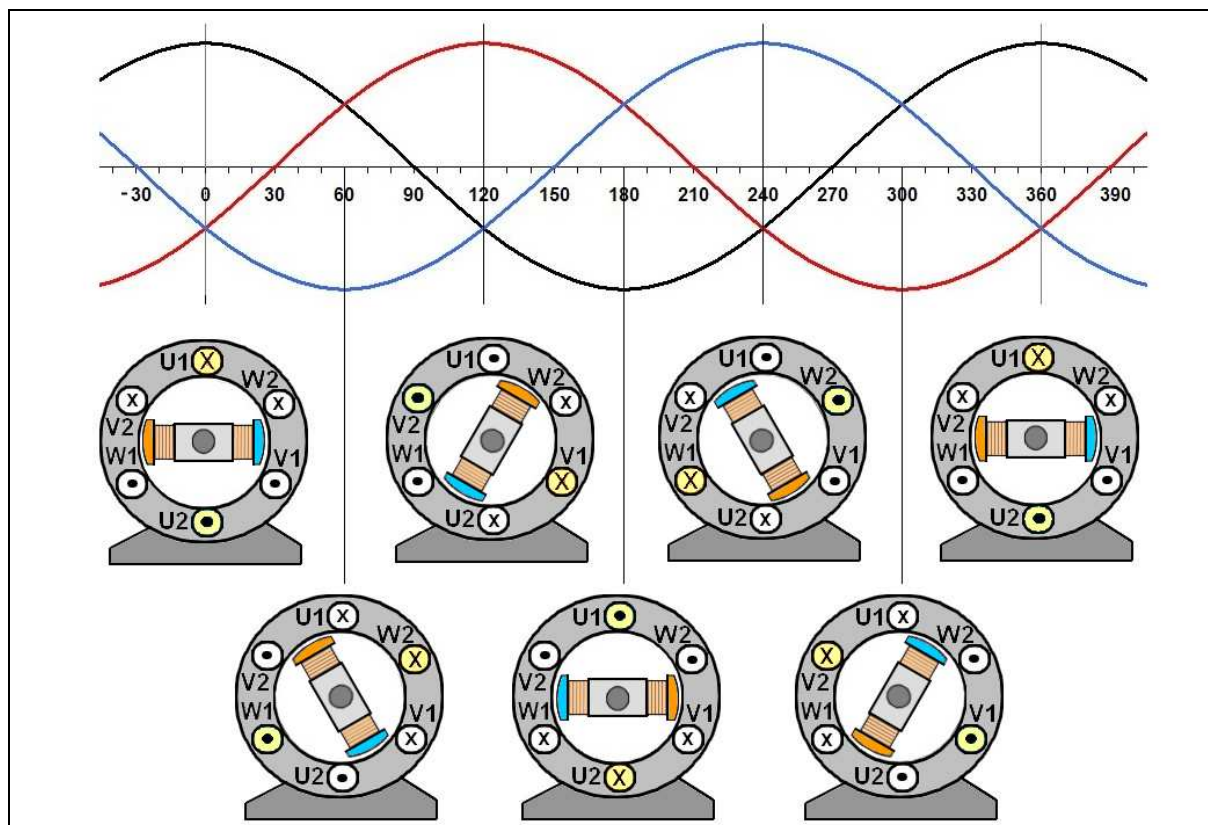
Rotory pro velké otáčky jsou většinou jen dvojpólové a jsou konstruovány jako **rotory s hladkým povrchem** (viz obrázek napravo dole, na kterém je rotor vyjmut ze statoru).

Generátor budicího proudu rotorového vinutí může být umístěn přímo na

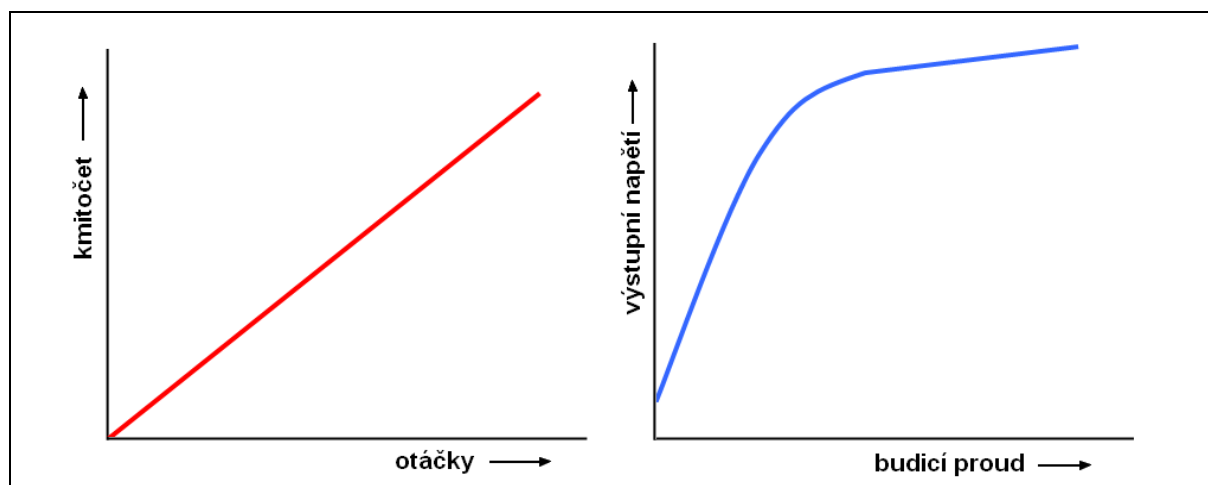


### 3.2.2. Princip činnosti a provozní vlastnosti

Rotor je poháněn hnacím strojem, v elektrárnách většinou parní nebo vodní turbínou. V budicím vinutí rotoru napájeném stejnosměrným proudem indukuje elektromagnetické pole nehybné vzhledem k rotoru a rotující vzhledem ke statoru. Toto točivé elektromagnetické pole indukuje v trojfázovém statorovém vinutí tři střídavá napětí, která spolu vytvářejí trojfázové napětí. Ze statoru je odváděn trojfázový proud vyráběný alternátorem. Průběh indukovaného napětí v závislosti na poloze rotoru vidíme na následujícím obrázku.



Kmitočet alternátoru je dán počtem pólů a otáčkami (graf vlevo). Velikost napětí závisí na budicím proudu a na otáčkách rotoru. Protože kmitočet sítě je pevně dán, jsou tím určeny otáčky rotoru. Napětí se pak nastavuje velikostí budicího proudu. V oblasti nasycení jádra rotoru se charakteristika závislosti výstupního napětí na budicím proudu zplošťuje (graf napravo). I bez budicího proudu však produkuje alternátor napětí vlivem zbytkového (remanentního) magnetismu rotoru.



Napětí vyráběné alternátorem stoupá s otáčkami a s budičím proudem. Kmitočet vyráběného napětí je dán otáčkami rotoru. Otáčky alternátoru vypočteme ze známého vztahu:

$$n = \frac{60 f}{p}$$

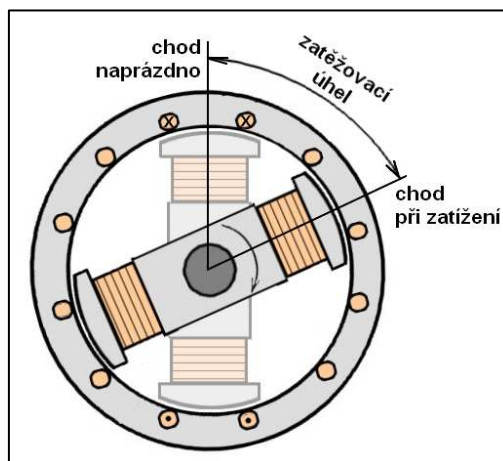
- n počet otáček za 1 minutu
- f frekvence napájecího napětí
- p počet pólových dvojic

Je-li alternátor zatížen, protéká jeho statorovým vinutím proud. Tento proud způsobuje vlastní indukci úbytek napětí. Pomineme-li malý činný odpor vinutí, můžeme si zatížený alternátor představit jako generátor nezávislý na zatížení, ke kterému je sériově připojená indukčnost.

### 3.2.3. Zatěžovací úhel alternátoru

Na obrázku vpravo je zobrazena poloha rotoru alternátoru při chodu naprázdno a při zatížení. Mezi oběma polohami je tzv. zatěžovací úhel.

Aby si generátor přifázovaný k síti s pevným kmitočtem udržel i při zatížení synchronní otáčky, musí točivé pole předbíhat synchronní otáčky o zatěžovací úhel, který se zvětšuje úměrně se zatížením.

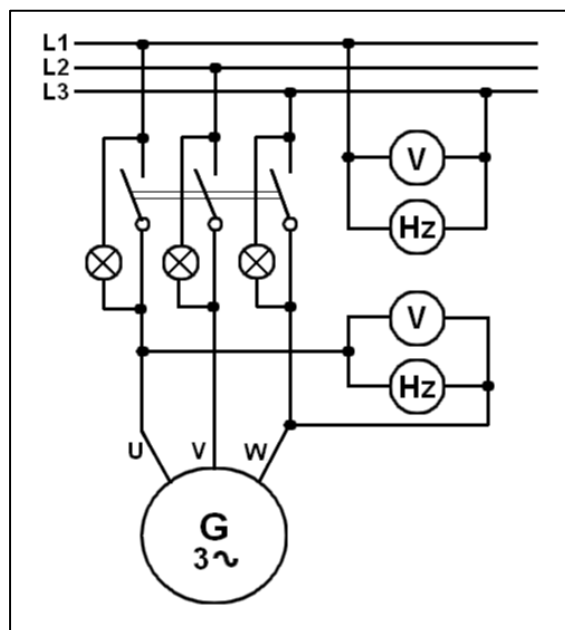


### 3.2.4. Paralelní provoz synchronních generátorů

Jestliže chceme, aby alternátor dodával proud do sítě a nebo paralelně spolupracoval s jiným alternátorem, musíme zajistit, aby v okamžiku připojení tohoto alternátoru k síti nedošlo k proudovému nárazu a k elektromechanickému vyrovnávacímu pochodu. Proces, který zajišťuje tyto podmínky, nazýváme **fázování**. Zapojení elektrických obvodů je na obrázku vpravo.

Při paralelním spojení alternátorů je vyžadována shoda v těchto parametrech:

- **stejný sled fází**
- **stejná časová poloha fází** (časově shodný průběh fází L1 alternátoru a L1 sítě, obdobně L2 a L3) – napětí sítě i alternátoru musí dosáhnout amplitudy ve stejném okamžiku, musí být ve fázi
- **stejný kmitočet**
- **stejná efektivní hodnota napětí**



Stejný sled fází se určuje a kontroluje většinou jenom při spouštění a prvním přifázování alternátoru k síti ukazatelem sledu fází. Ostatní podmínky nutné pro přifázování se kontrolují

synchronizačním měřicím zařízením. Shodu velikosti napětí lze měřit voltmetry a shodu kmitočtů kmitoměry. Pro indikaci shody časového průběhu stejných fází sítě a generátoru se dříve používaly tři žárovky. V současnosti se používají se synchroskopy (obrázek vpravo), což je indukční měřicí systém indikující nafázování. Je-li ukazatel v klidu ve vyznačeném poli ve střední části stupnice, je možné provést připojení alternátoru k síti. Pro automatické nafázování se používají synchronizátory – rychlofázovače.



### Při fázování se používají dva způsoby:

- **přesné fázování** (přesná synchronizace)
- **asynchronní fázování** (samosynchronizace)

Při přesném fázování se používá již popsáný způsob. Alternátor musí dávat stejně velké napětí, jako je napětí v síti, nesmí být mezi oběma fázový posun a naopak kmitočet a sled fází napětí alternátoru musí odpovídat napětí sítě.

Při samosynchronizaci se nenabuzený alternátor roztočí na otáčky blízké synchronním, zapne se na síť a okamžitě se přibudí. Alternátor se tím sám vtáhne do synchronismu.

V elektrárnách jsou generátory řízeny automatickým zařízením, které zaručuje synchronizaci se sítí. Alternátor odvádí do sítě tím více energie, čím výkonnější má pohon. Aby si alternátor při fázování k síti s pevným kmitočtem udržel i při zatížení synchronní otáčky, musí točivé pole předbíhat synchronní otáčky o zatěžovací úhel, který se zvětšuje úměrně se zatížením.

Odběr činného výkonu z alternátoru roste při zvyšování mechanického hnacího výkonu.

## 3.3. Synchronní motor

### 3.3.1. Konstrukce.

Stator se skládá z nosného tělesa (krytu) motoru, svazku statorových plechů a statorového trojfázového vinutí potřebného k vytváření točivého pole. Konce statorového vinutí jsou vyvedeny na svorkovnici. Stator synchronního motoru má stejnou konstrukci jako stator asynchronního motoru.

Kotva se skládá z železného jádra, buď masivního, nebo složeného ze svazku plechů a budicího vinutí, napájeného přes sběrné kroužky stejnosměrným proudem. Kotva působí jako elektromagnet, který má stejný počet pólů jako stator. U malých motorků se používají kotvy z permanentních magnetů. Toto řešení se často používá také u motorů větších výkonů. Na obrázcích vidíme různé synchronní motory od malého (vlevo) až po motory velkých výkonů.



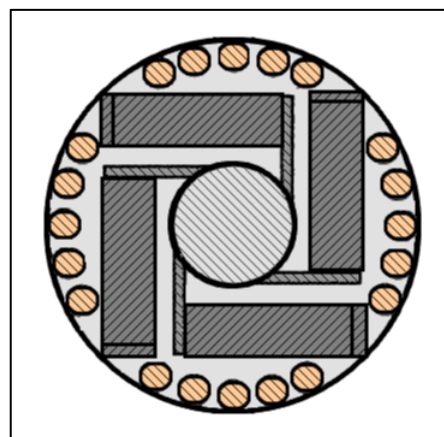
Na obrázku vpravo vidíme nábojový synchronní motor pro jízdní kola. Aby měl malé pracovní otáčky, má velký počet pólů. Protože je napájen z akumulátoru, probíhá přepínání proudu do cívek jednotlivých fází elektronicky s pomocí magnetorezistorů reagujících na otáčení rotoru s permanentními magnety.



### 3.3.2. Princip činnosti

Při zapnutí má točivé pole okamžitě otáčky odpovídající počtu pólů a kmitočtu napájecího napětí. Póly rotoru jsou přitahovány protipóly statoru a odpuzovány statorovými póly stejného druhu.

Rotor se vzhledem ke své setrvačné hmotě neroztočí okamžitě synchronně s točivým polem statoru. **Musí se do pracovních otáček roztočit jiným motorem a nebo musí být vybaven rozběhovým systémem**, např. rozběhovou klecí uloženou v rotoru. Teprve tehdy se motor roztočí do otáček blízkých otáčkám točivého pole, rotor je vtažen do synchronních otáček a běží dál synchronně. Příklad rozběhové klece čtyřpólového rotoru s permanentními magnety je na obrázku vpravo.

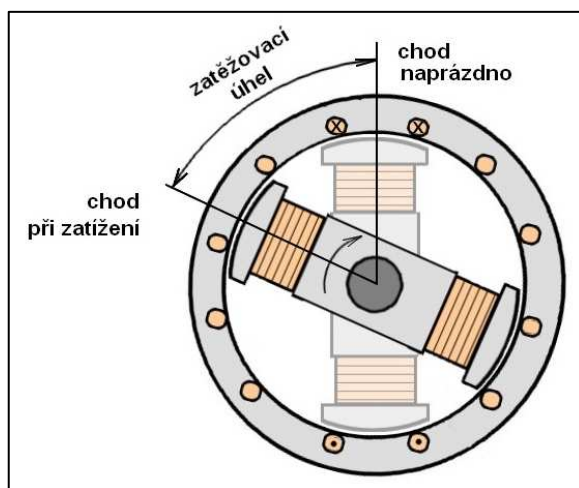


Má-li rotor motoru doplňkové vinutí nakrátko, může se synchronní motor rozbíhat jako asynchronní. Po rozběhu a zapnutí buzení kotvy pak běží motor synchronně. Během asynchronního rozběhu musí být budicí vinutí rotoru zkratováno přes odpor, aby se nenaindukovalo velké napětí, které by prorazilo izolaci vinutí. Při provozu zabrání vinutí nakrátko při nárazovém kolísání zatížení prudkému kolísání otáček rotoru. Toto vinutí se proto nazývá tlumivé vinutí.

### 3.3.3. Vlastnosti

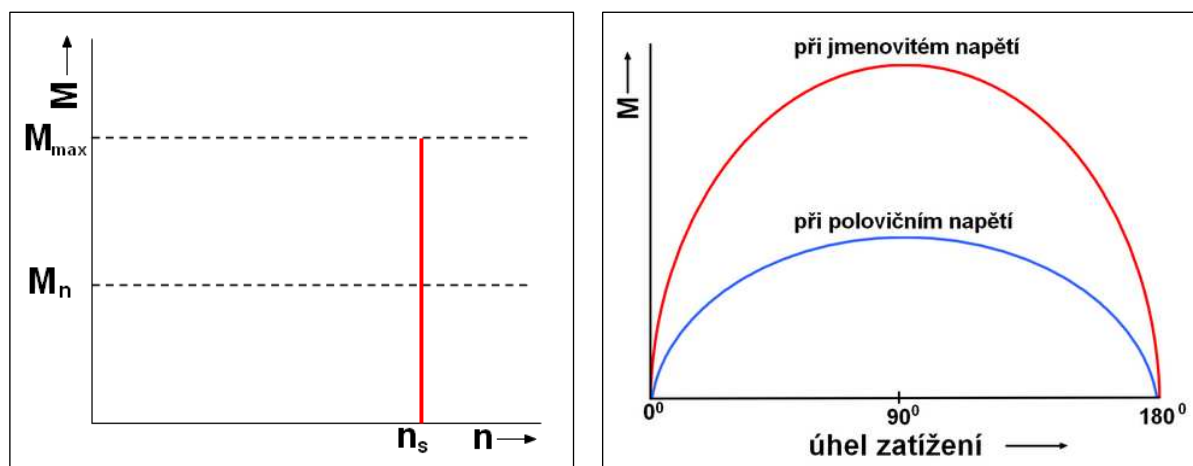
Po rozběhu běží motor synchronně s točivým polem statoru. Při rostoucím zatížení motoru narůstá úhel mezi póly rotoru a protipóly statoru. Póly rotoru tak zůstávají zpět o úhel zátěže za póly točivého pole, nebo také za polohou při chodu motoru bez zatížení.

Synchronní motory mají i při zatížení stejné otáčky jako točivé magnetické pole statoru.



Točivý moment je tím větší, čím větší je úhel zátěže. Uprostřed mezi dvěma sousedními póly (kladným a záporným) statoru působí na póly rotoru největší síla, kdy předbíhající pól statoru táhne a následující tlačí. U dvoupólového motoru je tedy optimální úhel zátěže  $90^\circ$ . Při dalším nárůstu úhlu zátěže točivý moment opět klesá.

Moment zvratu nastane v polovině úhlu mezi sousedními póly, tj. při úhlu zátěže  $90^\circ$  u dvoupólového motoru. Synchronní motory většinou mají moment zvratu  $M_{\max}$  (maximální moment – viz momentová charakteristika) dvojnásobný než jmenovitý moment  $M_n$ . Při překročení momentu zvratu se přeruší spojení mezi točivým polem a kotvou. Kotva vypadne ze synchronizmu a zastaví se. Synchronní motory jsou však méně citlivé na pokles napětí než motory asynchronní. Magnetická indukce točivého pole a točivý moment se zmenšují proporcionálně s poklesem napětí. Na obrázku vlevo je grafické znázornění momentové charakteristiky, na obrázku vpravo závislost momentu motoru na úhlu zatížení pro jmenovité a poloviční napětí.



### 3.4. Synchronní kompenzátor

Je-li synchronní motor provozován s větším než jmenovitým budicím proudem, mluvíme o přebuzeném provozu. Motor působí současně jako generátor a dodává do sítě jalový výkon kapacitního charakteru. Protože v síti převažují spotřebiče induktivního charakteru, mohou být synchronní motory použity jako kompenzátory fázového posunu – účinníku sítě. Dodávkou kapacitního jalového výkonu kompenzují induktivní jalový výkon.

V málo vybuzeném režimu pracují synchronní motory s účinníkem induktivního charakteru.

### 3.5. Výhody a nevýhody synchronních motorů

Pro konstantní otáčky jsou synchronní motory používány také jako malé střídavé motory. Tyto motory mají kotvu tvořenou permanentním magnetem, např. na principu stíněných pólů. Jsou používány do elektrických hodin, programovaných časových spínačů, časových relé a jako pohon zapisovacích jednotek k měřicím přístrojům. Motory s permanentními magnety jsou používány pro pohony řízené měniči kmitočtu.

#### Výhody synchronních motorů:

- konstantní otáčky nezávislé na zatížení a změny napětí
- nezatěžují síť induktivním jalovým výkonem, ale naopak mohou do sítě dodávat jalový výkon kapacitního charakteru
- mají větší účinnost než asynchronní motor – až 95%

### **Nevýhody synchronních motorů:**

- obtížné spouštění – je nutný rozběhový systém nebo roztočení jiným motorem
- otáčky lze regulovat pouze změnou kmitočtu nebo změnou počtu pólů
- pokud nemají na rotoru permanentní magnety, musí mít budič
- jejich záběrný moment je malý

### **Spouštění synchronních motorů**

- motory s malým výkonem lze spouštět přímým připojením k síti
- motory s velkým výkonem lze spouštět
  - spouštěcí tlumivkou (zapojena do série s konci statorového vinutí, po ukončení rozběhu se spínačem vyřadí) nebo spouštěcím autotransfornátorem
  - spojováním větví statorového vinutí
  - měniči kmitočtu – synchronní motory s permanentními magnety

## **4. Asynchronní stroje**

### **4.1. Úvod k asynchronním strojům**

Asynchronní stroje jsou nejjednodušší, nejlevnější, nejspolehlivější a také nejpoužívanější elektrické stroje. Mohou se používat jako :

- motory – nejběžnější využití pro pohon pracovních strojů a zařízení
- generátory – méně časté, využití v malých vodních elektrárnách

Každý motor může pracovat jako generátor a naopak. Asynchronní generátor dodává proud jen tehdy, je-li připojen k síti a je roztočen zdrojem mechanické energie do nadsynchronních otáček. Bez připojení k síti není schopen dodávat elektrickou energii, protože nemá žádné budicí vinutí nebo permanentní magnet, které by v generátoru vytvořily magnetické pole.



Asynchronní stroje dělíme podle konstrukce a uspořádání rotorového vinutí na:

- stroje s kotvou nakrátko
  - s klecí běžné konstrukce s vodiči z dobře vodivého materiálu
  - hlubokodrážkové motory, s tzv. vírovou klecí složenou z vodičů uložených v hlubokých a úzkých rotorových drážkách
  - s dvojitou klecí – odporová klec pro rozběh a pracovní pro chod motoru
- stroje s kotvou vinutou, tzv. kroužkové

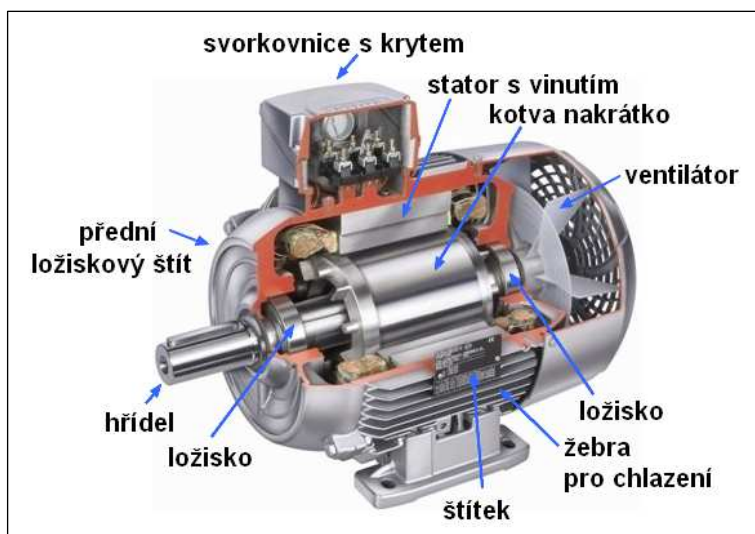
## 4.2. Konstrukce asynchronního motoru

### 4.2.1. Hlavní části

Hlavní funkční části tvoří stator a rotor.

Mezi další konstrukční části patří vnější plášť motoru s chladicími žebry, ložiskové štíty, víčka ložisek, ložiska, ventilátor, kryt ventilátoru, svorkovnice, kryt svorkovnice, upevňovací patky.

Řez asynchronním motorem je na obrázku vpravo.

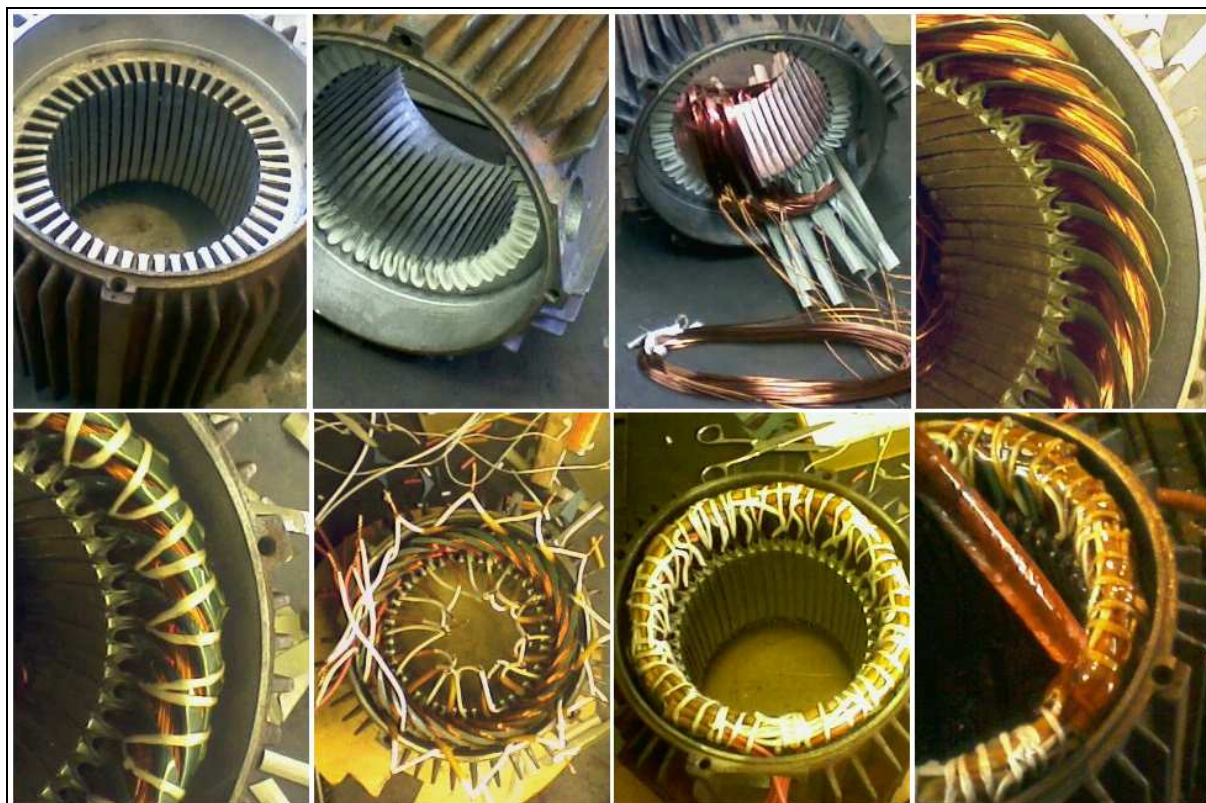


### 4.2.2. Stator

Stator asynchronních strojů (obrázek napravo) má stejnou konstrukci jako stator synchronních strojů. V drážkách statorových plechů je uloženo pracovní vinutí. Synchronní a asynchronní stroje se odlišují v konstrukci rotoru a rotorových vinutí.



Na následujících obrázcích je znázorněn postup při vkládání vinutí do statoru. V horní řadě zleva vidíme prázdný stator, stator s izolací drážek, vkládání cívek do statoru a vložené vinutí. Ve spodní řadě zleva je vidět vyvázané vinutí, spoje cívek na druhé straně vinutí, vyvázaná strana vinutí se spoji cívek a lakování vinutí. Tento způsob se používá při opravách motorů.



#### 4.2.3. Rotor motoru s kotvou nakrátko

Je složený z plechů nalisovaných na hřídeli motoru, v drážkách rotoru je umístěno klecové vinutí spojené na čelech rotoru nakrátko – tyče, drážky vyplněné vodivým materiálem (hliníkem, mědí). Rotor s hliníkovou klecí vidíme na obrázku napravo.



#### 4.2.4. Rotor motoru s kotvou vinutou

Je složený z plechů nalisovaných na hřídeli motoru, v drážkách rotoru je umístěno třífázové vinutí spojené do hvězdy, druhý konec vinutí je připojen na kroužky, ze kterých je proud pomocí uhlíkových kartáčů odváděn do rozběhových odporů. Tato konstrukce se používá pro motory vyšších výkonů.

**Rotor i stator jsou složeny z jednostranně izolovaných elektrotechnických plechů.** Touto konstrukcí je prakticky zabráněno ztrátám vířivými proudy (jako u transformátorů).



### 4.3. Vznik točivého magnetického pole a princip funkce

Po připojení třífázového proudu do statorového vinutí se ve statoru vytvoří točivé magnetické pole otáčející se synchronními otáčkami. Toto magnetické pole začne působit na vodiče rotorového vinutí, ve kterých se začne indukovat napětí. Aby vinutím procházel proud, který vytvoří v rotoru magnetické pole, musí být rotorové vinutí spojeno přímo nebo přes rezistory nakrátko. Tím vznikne uzavřený rotorový obvod.



V okamžiku **připojení k síti**, kdy se rotor ještě neotáčí, pracuje asynchronní motor jako transformátor nakrátko, indukované napětí a proud mají hodnoty odpovídající poměru počtu závitů statorového a rotorového vinutí, kmitočet je roven hodnotě kmitočtu sítě. Motor v tomto okamžiku **odebírá ze sítě velký proud, který je 5 až 7 krát vyšší než jmenovitý proud motoru.**

Magnetické pole rotoru působí proti magnetickému poli statoru a rotor se začne otáčet ve směru točení magnetického pole statoru. Jakmile se rotor začne otáčet, indukované napětí i proud začnou klesat, klesá i jejich kmitočet, jehož hodnota je přímo úměrná rozdílu otáček magnetického pole statoru a otáček rotoru (při kmitočtu 50 Hz a jedné otáčce rotoru dvoupólového motoru je kmitočet indukovaného napětí  $50 - 1 = 49$  Hz, při 10 otáčkách  $50 - 10 = 40$  Hz atd.). Motor se postupně rozbíhá, klesá proud odebíraný ze sítě. Motor se může

rozběhnout až do tzv. asynchronních otáček, které jsou nižší než otáčky synchronní, tj. otáčky elektromagnetického pole. Rozdíl se nazývá skluzové otáčky a z něho se vypočítá skluz:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

- $s$  skluz, pokud se udává v %, vynásobí se 100
- $n_s$  synchronní otáčky (otáčky elektromagnetického pole)
- $n$  otáčky motoru

Pro výpočet otáček motoru platí vztah: 
$$n = \frac{60 f}{p} (1 - s)$$

Asynchronní motor nemůže běžet v synchronních otáčkách, protože jsou-li shodné otáčky magnetického pole statoru s otáčkami rotoru, nemůže se v rotorovém vinutí indukovat napětí a proud, tím zanikne elektromagnetické pole rotoru a síla otáčející rotorem. Točivý moment je úměrný rozdílu otáček rotoru a pole statoru. **Asynchronní motor potřebuje skluz otáček k indukci proudu v rotoru.** Skluz otáček asynchronních motorů bývá běžně 3% až 8% jmenovitých otáček.

Tento stav, kdy teoreticky je kmitočet roven nule, nastává u synchronních motorů. Ty však mají na rotoru stejnosměrné budicí vinutí nebo permanentní magnety, které umožňují jejich chod právě a pouze v synchronních otáčkách.

#### 4.4. Porovnání funkce asynchronních a synchronních strojů

| Vlastnost, funkce        | Asynchronní                                                                                                  | Synchronní                                                                                                 |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>pracovní vinutí</b>   | shodné – na statoru                                                                                          | shodné – na statoru                                                                                        |
| <b>rotorové vinutí</b>   | kotva nakrátko nebo vinutá                                                                                   | stejnosměrné budicí, permanentní magnety                                                                   |
| <b>napájení</b>          | stator střídavé, rotor bez napájení                                                                          | stator střídavé, rotor s budicím vinutím stejnosměrné, rotor s permanentním magnetem bez napájení          |
| <b>přídavná zařízení</b> | motory s kotvou nakrátko nevyžadují další zařízení, u motorů s kotvou vinutou jsou nutné spouštěcí rezistory | není-li rotor osazen permanentními magnety, je nutný budič nebo zdroj budicího napětí, zařízení pro rozběh |
| <b>spouštění</b>         | jednoduché                                                                                                   | dle konstrukce motoru od jednoduchého (permanentní magnety) až po složité (stroje s budicím vinutím)       |
| <b>obsluha</b>           | jednoduchá                                                                                                   | dle konstrukce motoru od jednoduchého (permanentní magnety) až po náročnější (stroje s budicím vinutím)    |
| <b>stabilita otáček</b>  | poměrně stabilní (dle odporu rotorového obvodu)                                                              | stabilní, přesné dle kmitočtu sítě                                                                         |
| <b>regulace otáček</b>   | změnou počtu pólů, změnou kmitočtu, změnou skluzu                                                            | změnou počtu pólů, změnou kmitočtu                                                                         |
| <b>regulace výkonu</b>   | není                                                                                                         | změnou buzení                                                                                              |
| <b>při přetížení</b>     | klesnou otáčky, motor se ale nezastaví                                                                       | motor vypadne ze synchronních otáček a zastaví se                                                          |
| <b>pracovní otáčky</b>   | asynchronní motor nemůže pracovat v synchronních otáčkách, v rotoru se neindukuje napětí                     | synchronní, motor nemůže pracovat v jiných otáčkách než synchronních                                       |

|                                             |                                                                                                     |                                                        |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| <b>záběrový moment</b>                      | malý                                                                                                | malý                                                   |
| <b>záběrový proud</b>                       | velký                                                                                               | velký                                                  |
| <b>zatěžování sítě jalovým výkonem</b>      | značné                                                                                              | nezatěžuje                                             |
| <b>citlivost na změnu napájecího napětí</b> | malá                                                                                                | malá                                                   |
| <b>výroba elektrické energie</b>            | nemůže vyrábět bez připojení k síti, nevytvoří se magnetické pole                                   | po nabuzení může vyrábět nezávisle elektrickou energii |
| <b>připojení generátoru k síti</b>          | jednoduché, spustí se jako motor a zdrojem mechanické energie se roztočí do nad-synchronních otáček | je nutné přifázování k síti                            |

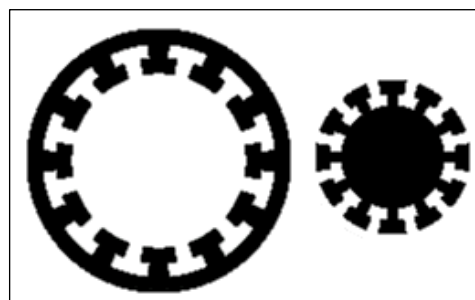
## 4.5. Trojfázové asynchronní motory

Asynchronní motory jsou nejdůležitější trojfázové motory. Magnetické pole statoru indukuje v rotoru napětí a vzniklý proud pak vyvolá sílu otáčející rotorem. Tyto motory jsou také označovány jako indukční motory. Podle konstrukce rotoru se pak rozlišují různé typy asynchronních motorů.

### 4.5.1. Motory s kotvou nakrátko

#### Stator a rotor

Jak již bylo uvedeno v předcházející kapitole, stator se skládá z nosného tělesa motoru, svazku statorových plechů (obrázek nahoře vlevo) a statorového vinutí. Konce statorového vinutí jsou vyvedeny na svorkovnici.



Rotor (kotva) je sestaven z rotorových plechů (horní obrázek vpravo) nasazených ve svazku na hřídeli a z vodičů v drážkách rotoru. Vodiče jsou tvořeny hliníkovými nebo měděnými tyčemi a jsou na čelních stranách svazku rotorových plechů spojeny nakrátko zkratovacími kroužky. Vodivé tyče spolu se zkratovacími kroužky mají podobu klece. Pro tento druh vinutí se používá název klecový rotor (obrázek napravo).



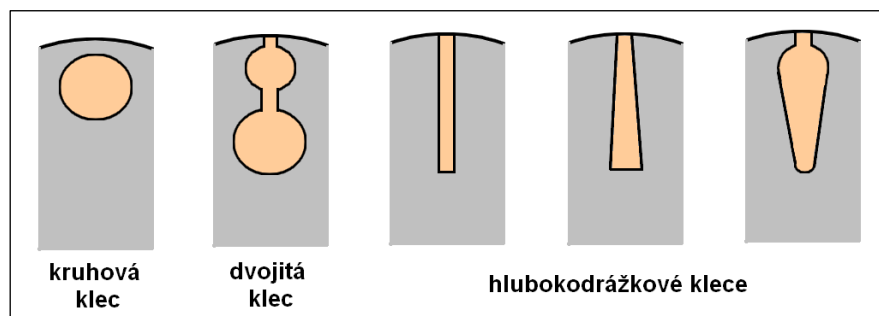
#### Princip funkce asynchronního motoru s kotvou nakrátko

Klecový rotor lze považovat za nejjednodušší trojfázové vinutí. Při zapnutí motoru se chová jako zkratované sekundární vinutí transformátoru. Točivé pole statoru způsobuje změny magnetického toku ve vodivých tyčích rotoru. Rychlost změn magnetického toku procházející tyčemi stojícího rotoru odpovídá kmitočtu točivého elektromagnetického pole. Napětí, které se v rotorových tyčích indukuje, vyvolá průtok elektrického proudu uzavřeným

obvodem klecového rotoru. **Asynchronní motory jsou indukční motory.** Proud v rotoru je vyvolán elektromagnetickou indukcí.

Podle Lenzova pravidla způsobí magnetické pole indukované proudem v rotoru točivý moment, který otáčí rotorem ve směru otáčení točivého pole statoru. Pokud by dosáhly otáčky rotoru otáček točivého pole statoru, nebude se napětí v rotorových tyčích indukovat a točivý moment zanikne. Obnoví se tehdy, pokud budou otáčky rotoru a točivého pole zase rozdílné.

### Krouticí moment a provozní vlastnosti motoru s kotvou nakrátko



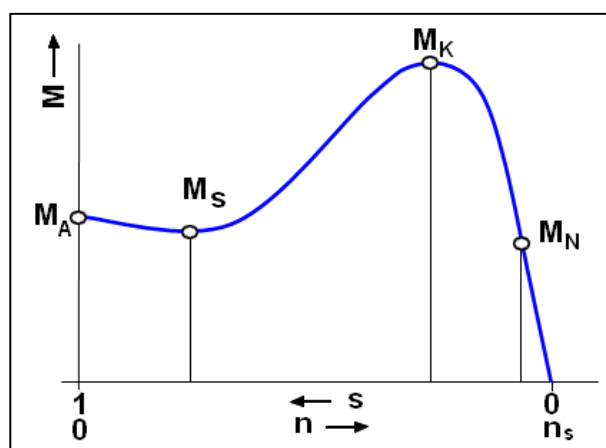
Klecový rotor (kotva nakrátko) je tvořen vodiči kruhového průřezu nebo vodiči jiných průřezů odpovídajících tvaru drážek dvojité klece nebo hlubokých drážek svazku rotorových plechů.

Chování klecového rotoru lze vysvětlit na rotoru s vodiči kruhového průřezu. **V okamžiku zapnutí motoru se nehybný rotor chová převážně jako indukčnost.** Činný odpor vodivé klece je velmi malý. Rozběhový proud proto může dosáhnout pěti až sedminásobku jmenovité hodnoty, podobně jako zkratový proud transformátoru.

Pro jeho velký fázový posun za magnetickým tokem je však točivý moment  $M_A$  malý. Můžeme říci, že vzdálenost mezi točivým polem a magnetickým polem indukované v rotoru je velká a přes silná magnetická pole je síla pohybující rotorem malá. Rotory s kruhovými vodiči mají přes velké rozběhové proudy jen malý rozběhový (záběrný) moment.

**S rostoucími otáčkami klesá indukované napětí i proud v rotoru. Protože také klesá jalový indukční odpor rotoru, zmenšuje se současně fázový posun mezi napětím a proudem v rotoru.** Vzdálenost mezi točivým polem a magnetickým polem rotoru se zmenšuje. I když jsou magnetická pole slabší, síla pohybující rotorem je větší.

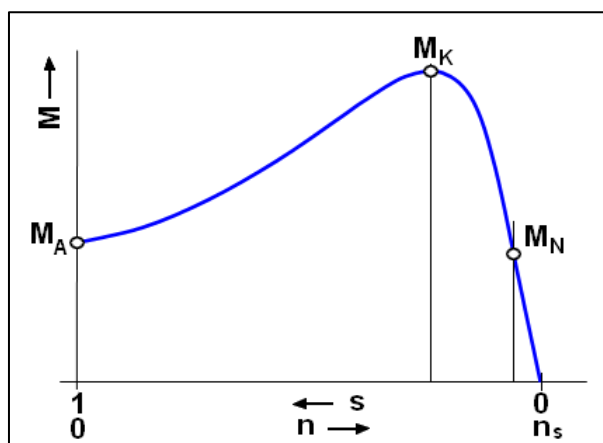
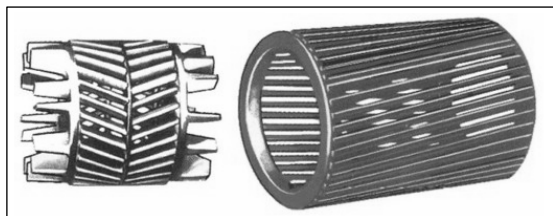
Krouticí moment v závislosti na otáčkách roste až do hodnoty momentu zvratu  $M_K$ , kdy další růst otáček způsobuje pokles kmitočtu indukovaného napětí a tím indukčního toku v tyčích rotoru, což způsobí pokles momentu motoru. **Protože maximální moment  $M_K$  je 2x až 2,5x vyšší než moment jmenovitý, lze asynchronní motor krátkodobě přetížít.** Uvedené údaje jsou zřejmé z momentové charakteristiky.



Při jmenovitých otáčkách působí jmenovitý moment  $M_N$ , který vyjadřuje jmenovité zatížení. V nezatíženém stavu dosahuje motor téměř synchronních otáček  $n_s$ . V oblasti jmenovitého momentu  $M_N$  jsou změny skluzu úměrné změnám zatížení, neboť charakteristika je zde téměř lineární. Při změnách zatížení jsou otáčky motoru poměrně stabilní.

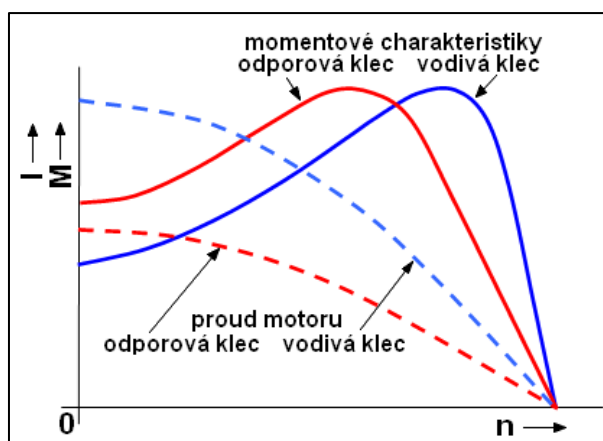
V sedle momentové charakteristiky je ještě důležitý sedlový moment  $M_S$ , který má nejmenší hodnotu momentu mezi rozběhem a maximální hodnotou momentu  $M_K$ .

Rozdílným počtem drážek v rotoru a statoru, šikmým nebo stupňovitým uspořádáním tyčových vodičů (obrázek dole) lze docílit stoupající charakteristiky bez sedla, jak je uvedeno v momentové charakteristice na obrázku napravo.



Zvětšení rozběhového momentu při současném zmenšení rozběhového proudu lze dosáhnout použitím materiálů s větším elektrickým odporem na tyčky klece rotoru, např. hliníkových slitin. Momentové charakteristiky a průběhy proudů jsou na obrázku vpravo.

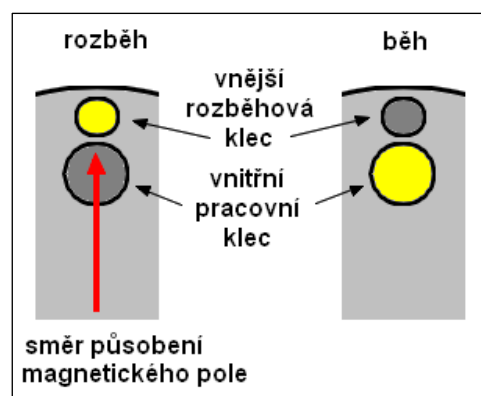
Při náběhu se tak zvětší činná část impedance rotoru a zmenší se tak fázový posun mezi magnetickým polem statoru a proudem rotoru, takže i přes pokles rozběhového proudu stoupne jeho činná složka.



#### 4.5.2. Motory s dvojitou klecí

Ke zvýšení odporu klece rotoru při rozběhu lze použít dvojitou klec s dvojicemi vodičů rotorového vinutí umístěnými nad sebou. Vodiče vnější klece mají menší průřez a větší odpor. Tato klec se nazývá odporová nebo rozběhová.

Indukovaný proud vytváří kolem vodičů obou klecí magnetické pole. Rozptylová pole indukují zpětně napětí, která se snaží podle Lenzova pravidla zmenšit původní střídavé proudy ve vodičích klecí. Magnetický tok kolem vodičů spodní pracovní klece (blíže ose rotoru) je silnější, protože se může uzavírat převážně v železe. Zeslabující účinek na proud je proto silnější než ve vnějších vodičích rotorové klece. Jak je zřejmé z obrázku, je proud magnetickým polem vytlačován do vnější rozběhové klece. Tento jev se nazývá skinefekt.



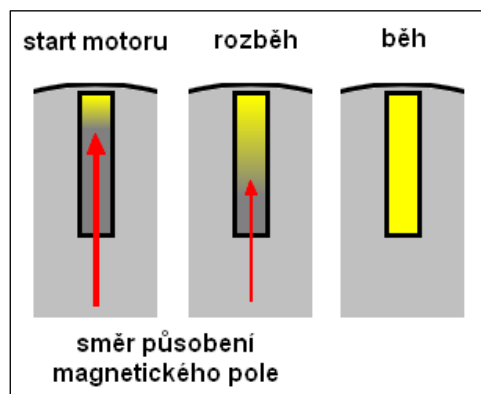
Při velkých rozběhových proudech je tedy proud v rotorové kleci vytlačen do vnějších vodičů s menším průřezem a větším odporem. Rozběhový proud je proto menší, má větší činnou složku a tím menší fázové zpoždění za průběhem magnetického toku statoru. Proto jsou silové účinky větší. Momentová charakteristika je pak při rozběhu příznivější než při jednoduše rotorové kleci s vodiči kruhového průřezu. Při rostoucích otáčkách klesá proud ve vodičích rotoru, který pak není přesycen, klesne rozptylový tok a tím vytlačování proudu na povrch

(skinefekt) do odporové klece. Při jmenovitých otáčkách je proudová hustota rovnoměrná v celém průřezu vysokých vodičů rotorové klece, tedy větší část proudu teče silnějšími vodiči pracovní klece.

#### 4.5.3. Motory s hlubokodrážkovými rotory

Stejného efektu lze dosáhnout při použití hlubokých drážek rotoru. Pro tyto motory se také používá název **motory s vírovou klecí**. Při rozběhu magnetické pole vytlačí proud do vnější částí vodiče. Proud prochází malým průřezem a vodič má větší odpor. Jakmile se motor rozbíhá, magnetické pole slábne a proud prochází stále větším průřezem. Při běhu motoru prochází celým průřezem, odpor vodiče je nejmenší. To vše je zřejmé z obrázku napravo.

Motor s hlubokými drážkami má velký rozběhový moment a malý rozběhový proud.



U motorů s dvojitou klecí a motorů s hlubokodrážkovými rotory dochází k většímu rozptylu magnetického toku než u jednoduché klece s vodiči kruhového průřezu. Jejich účinnost je proto poněkud menší, menší je rovněž účinník  $\cos \varphi$ .

#### 4.5.4. Použití motorů s kotvou nakrátko

Motory s kotvou nakrátko jsou výrobně levné, lehké, nenáročné na údržbu a neruší rozhlas jiskřením jako komutátorové motory. Slouží jako pohony výrobních strojů malého a středního výkonu, např. pohony obráběcích strojů, jeřábů, ventilátorů a v zemědělství. Výhodných vlastností lze využít při zatěžování jmenovitým výkonem, při kterém má motor vysokou účinnost i účinník.

#### 4.5.5. Spouštění asynchronních motorů s kotvou nakrátko

Při spouštění odebírá asynchronní motor s kotvou nakrátko velký záběrový proud, který je 5x až 7x větší než jmenovitý proud. Záběrový moment je malý, v rozmezí 0,5 až 1 násobku momentu jmenovitého.

##### Přímé připojení motoru k síti

Vzhledem ke značnému záběrovému proudu lze použít jen u motorů menších výkonů, ve spotřebitelských sítích do výkonu 3 kW. U větší výkonů by docházelo při rozběhu k poklesům napětí vlivem přetížení sítě.

##### Spouštění pomocí spouštěcího autotransformátoru

Přepínáním odboček na vinutí se postupně zvyšuje napětí motoru. Toto řešení je vhodné pro motory do výkonu 15 kW. Je však nutné si uvědomit, že záběrový proud i moment motoru klesají s druhou mocninou převodu transformátoru. Je-li převod transformátoru 2 : 1, zmenší se záběrový proud i moment 4x.

## Rozběh motoru hvězda – trojúhelník

Podmínkou použití tohoto rozběhu je vinutí motoru konstruované na napětí 400V, u starších motorů na 380V. Hodnotu zjistíme z údajů na štítku motoru, kde je uvedeno  $\Delta$  400V nebo  $\Delta$  380 V. Při rozběhu do hvězdy motor odebírá 3x menší proud než při chodu do trojúhelníku. Jeho moment je však také 3x menší. Tento způsob spouštění lze použít jen u motorů, které se nerozbíhají pod plným zatížením.

Poměr proudů si určíme podle následujících vztahů:

Proud při zapojení do hvězdy  $I_Y$ :

$$I_Y = \frac{U_f}{Z} \quad U_f = \frac{U_s}{\sqrt{3}} \quad \text{Dosadíme-li za } U_f, \text{ získáme vztah: } I_Y = \frac{U_s}{\sqrt{3}Z}$$

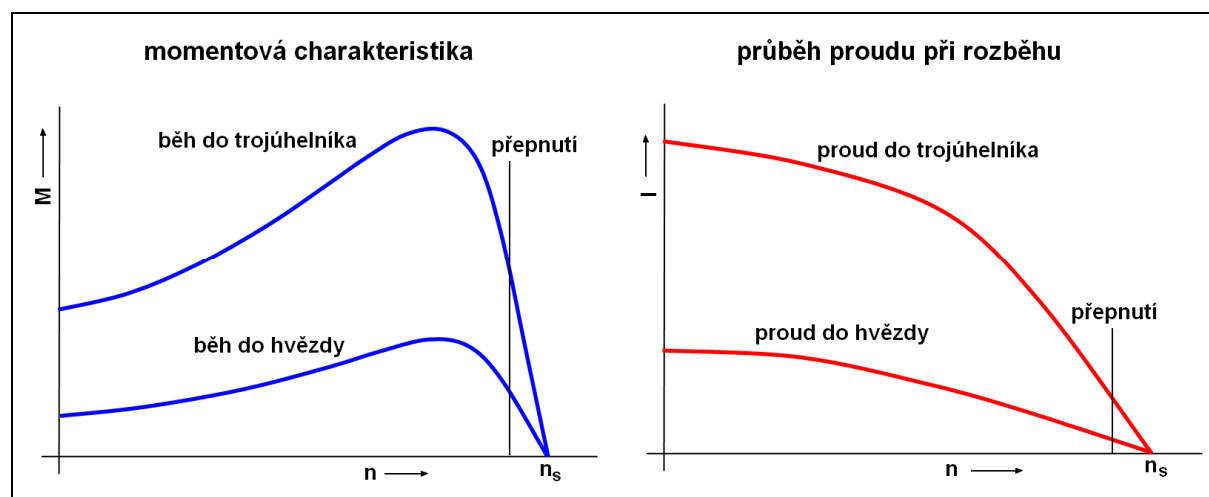
- $I_Y$  proud při zapojení do hvězdy
- $U_s$  sdružené napětí
- $U_f$  fázové napětí
- $Z$  impedance vinutí jedné fáze

Proud při zapojení do trojúhelníku  $I_D$  vypočítáme z proudu jedné fáze  $I_f$ :

$$I_D = \sqrt{3}I_f = \sqrt{3} \frac{U_s}{Z}$$

- $I_D$  proud při zapojení do trojúhelníku
- $I_f$  proud jedné fáze při zapojení do trojúhelníku

Poměr proudů je: 
$$\frac{I_Y}{I_D} = \frac{\frac{U_s}{\sqrt{3}Z}}{\frac{\sqrt{3}U_s}{Z}} = \frac{1}{3} \quad \text{z toho vyplývá, že: } I_Y = \frac{I_D}{3}$$



## Rozběhová spojka

Motor se rozbíhá naprázdno, po dosažení stanovených otáček začíná zabírat odstředivá rozběhová spojka, která začne přenášet pohyb na poháněné zařízení.



## 4.6. Motory s kotvou vinutou (kroužkovou)

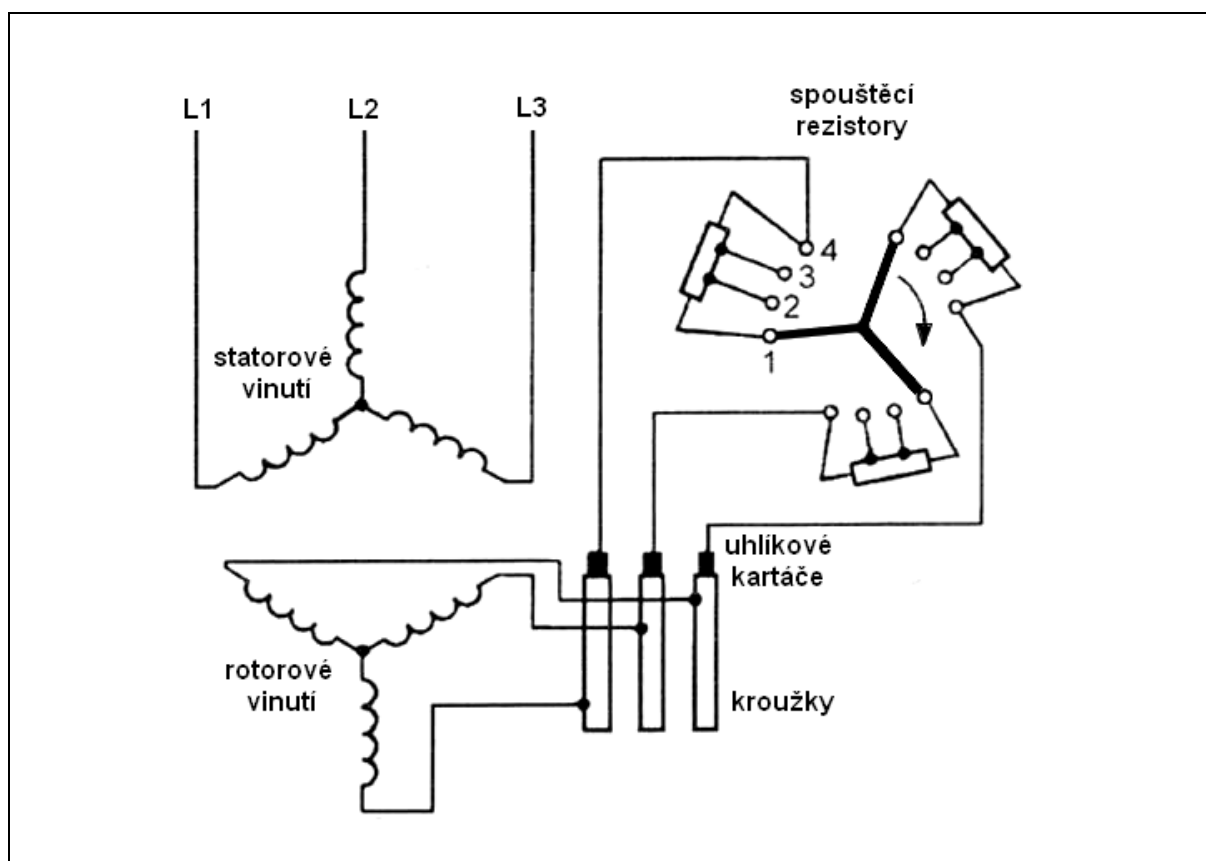
### 4.6.1. Konstrukce motoru

Stator motoru s vinutou kotvou má stejnou konstrukci jako stator motoru s kotvou nakrátko. Na hřídeli rotoru je svazek rotorových plechů a sběrné kroužky. V drážkách rotorového svazku plechu je uloženo vinutí rotoru. Je to patrné ze snímku historického motoru.

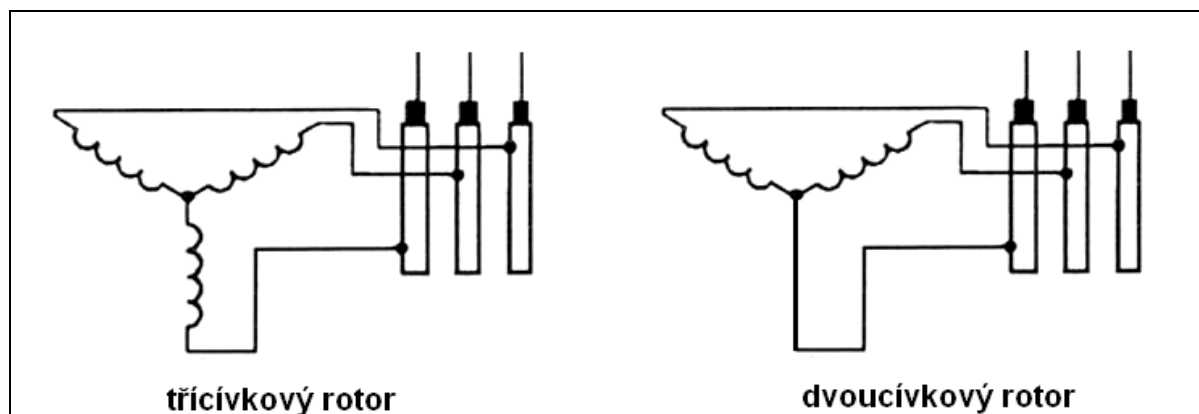
Vinutí rotoru má téměř vždy tři cívky (trojfázové vinutí), které je zapojeno většinou do hvězdy, zřídka do trojúhelníku. Vývody vinutí jsou připojeny na tři sběrací kroužky. Připojení na sběrací kroužky je realizováno třemi přitlačnými uhlíkovými kontakty (kartáči).



Přes tyto uhlíkové kartáče se do rotorového obvodu zapojují rezistory (činné odpory), které slouží k rozběhu motoru, popřípadě k regulaci otáček.



Přívody rotoru se třemi cívkami jsou označeny K, L, M. U motorů velkých výkonů může být rotor navinut jako dvoucívkový. Označení přívodů je pak K, L, Q.



#### 4.6.2. Princip činnosti a provoz

Motor s vinutou kotvou s rotorovým vinutím propojeným ve svorkovnici nakrátko pracuje na stejném principu jako motor s kotvou nakrátko. Při nakrátko zapojeném rotoru vyvolá napětí indukované v rotoru proud. Magnetické pole statoru a proud rotoru vyvolají otáčivý moment a roztočí rotor. Klidové napětí rotoru a klidový proud rotoru jsou udávány na štítku motoru kvůli dimenzování rozběhových rezistorů.

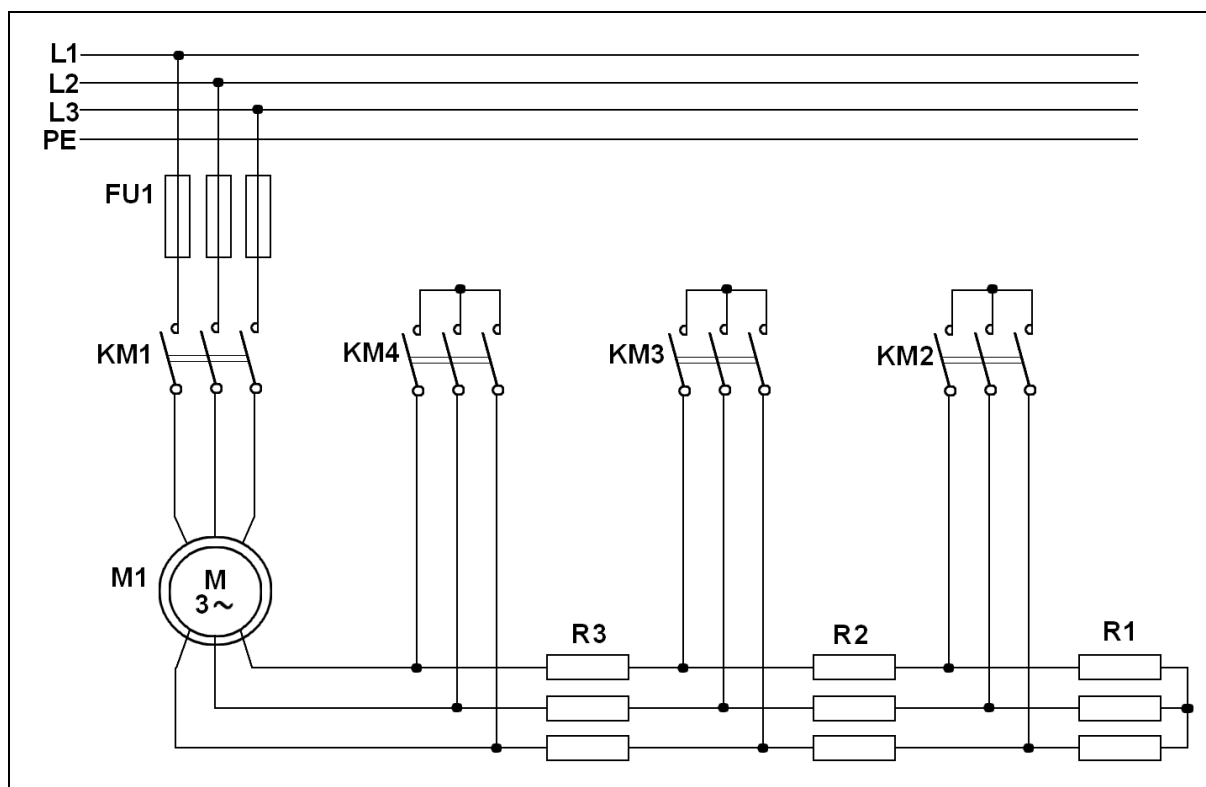
Vlastnosti motorů s vinutou kotvou jsou při zapojení kotvy nakrátko stejné jako vlastnosti asynchronních motorů s kotvou nakrátko. Při provozu se zátěží a s rezistory zapojenými v obvodu kotvy stoupne skluz, protože ztráta na rezistorech musí být kryta větším indukčním výkonem. Je-li možno odpory stupňovitě nastavovat, je tak možno stupňovitě řídit rozběh a otáčky motoru.

Řízení otáček motoru s vinutou kotvou je možné při konstantním zatížení. U motorů velkých výkonů je snižování otáček pomocí rezistorů v trvalém provozu neekonomické pro velké tepelné ztráty.

#### 4.6.3. Rozběh motoru s vinutou kotvou (rotorové spouštění)

Zařazením spouštěcích rezistorů do rotorového obvodu je možno výrazně omezit rozběhový proud a zvýšit záběrný moment až na maximální hodnotu odpovídající momentu zvratu.

Na následujícím schématu je čtyřstupňové řízení rozběhu motoru s vinutou kotvou:



### 1. stupeň

Sepnutím stykače KM1 se do statoru motoru přivede napětí. Motor se začne rozbíhat. V rotorovém obvodu je zařazen maximální odpor sériovým spojením rezistoru R1, R2 a R3.

### 2. stupeň

Sepnutím stykače KM2 je vyřazen rezistor R1, v obvodu rotoru zůstávají rezistory R2 a R3.

### 3. stupeň

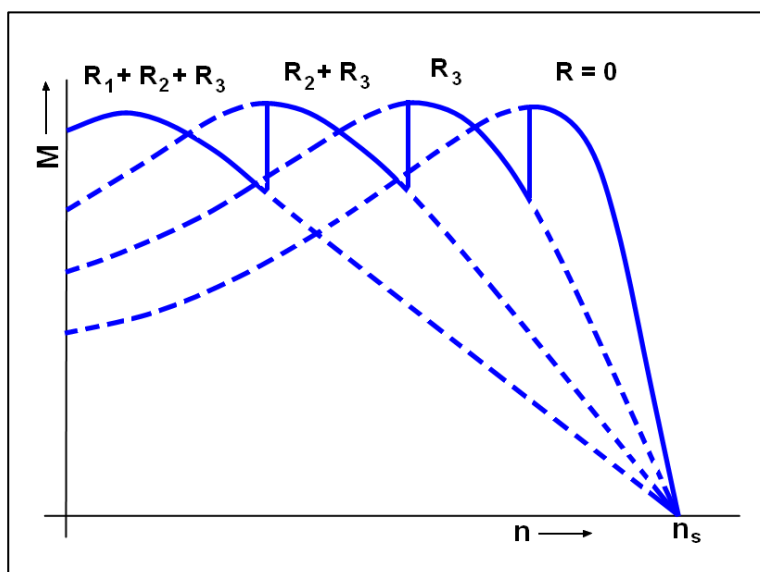
Sepnutím stykače KM3 jsou vyřazeny rezistory R2 a R1, v obvodu rotoru zůstává rezistor R3.

### 4. stupeň

Sepnutím stykače KM4 jsou vyřazeny všechny rezistory R1, R2 a R3, rotorový obvod je stykačem KM4 spojen nakrátko a motor běží jako asynchronní motor s kotvou nakrátko.

**Momentová charakteristika** pro čtyřstupňový rozběh je uvedena na obrázku vpravo.

Kvůli velkému podílu činné složky proudu kotvy stoupá nejprve znatelně rozběhový moment. Momentová charakteristika je plošší, moment zvratu je posunut do oblasti rozběhu.



V okamžiku spuštění jsou do rotorového obvodu zapojeny rezistory R1, R2 a R3. Motor se rozbíhá. Vyřazení rezistoru R1 je zapotřebí nastavit tak, aby proběhlo v okamžiku, kdy má momentová charakteristika při zařazených rezistorech R2 a R3 maximální hodnotu. Obdobně musí být nastaveno i vyřazování rezistorů R2 a R3. Po vyřazení všech rezistorů má motor charakteristiku asynchronního motoru s kotvou nakrátko.

Z momentové charakteristiky je zřejmé, že zvyšováním odporu rotorového obvodu se vrchol momentové charakteristiky posouvá nalevo směrem k oblasti rozběhu. To má za následek větší kolísání otáček při změně zatížení. Zvyšováním odporu zvětšujeme kroutící moment motoru, ale přitom snižujeme stabilitu otáček.

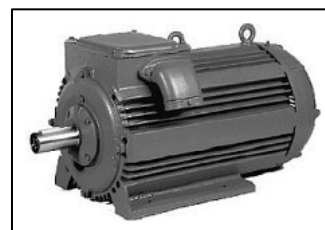
Při nadměrném zvětšení odporu se vrchol momentové charakteristiky posune nalevo od svislé osy a moment při rozběhu bude malý. Při takto nastavených odporech rotorového obvodu motor nemůže pracovat.

***Motory s vinutou kotvou mají velký rozběhový moment při malém rozběhovém proudu. Mohou být spouštěny plně zatížené.***

Je-li během rozběhu stupňovitě zmenšován rozběhový odpor, může se motor při správném nastavení vyřazování rezistorů měkce rozbíhat i s velkým zatížením. Jsou tak odstraněny špičky rozběhového proudu. Některé motory velkých výkonů mohou být vybaveny zařízením pro nadzvednutí kartáčů, které po ukončení rozběhu zkratuje kroužky a nadzvedne kartáče.

#### 4.6.4. Použití motorů s vinutou kotvou

Motory s vinutou kotvou se vyrábějí ve výkonech od 5 kW do 500 kW. Používají se pro pohon zařízení s těžkým rozběhem, jako jsou velké obráběcí stroje, drtiče kamene a další výkonné stroje, nebo se používají v zařízeních s rozběhem při plném zatížení, jako jsou jeřáby, velké výtahy, kolejové elektrické vozy apod.



### 4.7. Řízení otáček asynchronních motorů

Pro otáčky asynchronního motoru platí vztah:

$$n = \frac{60 f}{p} (1 - s)$$

- n otáčky motoru
- f kmitočet napájecího napětí
- s skluz motoru

Otáčky rotoru asynchronního motoru je proto možné řídit kmitočtem, změnou počtu pólů a skluzem.

#### 4.7.1. Řízení otáček změnou skluzu

##### Řízení skluzu změnou odporu rotorového obvodu

Pro tento způsob je vhodný asynchronní motor s vinutou kotvou, u něhož místo spouštěče použijeme reostat, který je navržen na trvalé zatížení. Při zařazeném reostatu v rotoru se

momentová (otáčková) charakteristika stává měkkou a otáčky lze v určitém rozsahu řídit. Tímto způsobem lze otáčky pouze zmenšovat. K nevýhodám patří i to, že při malém zatížení motoru (blízkém chodu naprázdno) nelze otáčky tímto způsobem měnit. Zařazením reostatu se řízení stává ne hospodárným a výrazně se zhoršuje účinnost motoru. Otáčky při tomto řízení nejsou stabilní, protože skluz se mění se změnou zatížení motoru. Změna je tím větší, čím je větší odpor rotorového obvodu.

### Řízení skluzu změnou napájecího napětí

Obecně je možné řídit skluz i snižováním napájecího napětí (transformátorem). Moment motoru závisí na druhé mocnině napětí, a proto se momentová charakteristika sníží a stane se měkčí. Při daném zatížení se skluz ustálí na vyšší hodnotě a otáčky klesnou. Řízení je ne hospodárné, neboť klesá účinnost a je nutný transformátor.

U motorů malých výkonů ve ventilátorech se místo snižování napětí transformátorem používá přepínatelné vinutí. Místo snížení napětí se k základnímu vinutí připojí do série další vinutí, čímž se zvýší počet závitů a tím klesne napětí připadající na jeden závit. Motor běží stejně, jako by byl připojen na menší napětí, čímž se zvýší jeho skluz a otáčky klesnou. Podmínkou je, že motor musí běžet zatížený, což je u ventilátorů zajištěno.

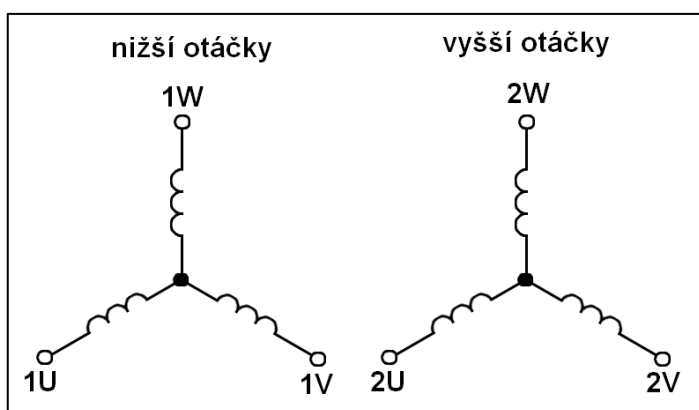
### 4.7.2. Řízení otáček změnou počtu pólů

Tento způsob změny otáček se používá pouze u motorů s kotvou nakrátko. Přepínáním jednotlivých skupin cívek statorového vinutí lze měnit otáčky pouze po skocích. Nejčastěji se používá přepínání otáček v poměru 1 : 2. V tomto případě je ve statoru motoru uloženo přepínatelné vinutí. V případech, kdy je požadován jiný poměr otáček, se používají motory se dvěma samostatnými vinutími. Kombinací samostatných a přepínatelných vinutí lze zkonstruovat tříotáčkový nebo čtyřotáčkový motor. Výhodou víceotáčkových motorů je snadná změna otáček přepnutím vinutí, nevýhodou nižší účinnost a větší velikost a vyšší cena.

### Motor s oddělenými statorovými vinutími

Dvě oddělená statorová vinutí s rozdílnými počty pólů umožňují dvoje otáčky, které mohou být v libovolném celočíselném poměru, např. 3 : 4.

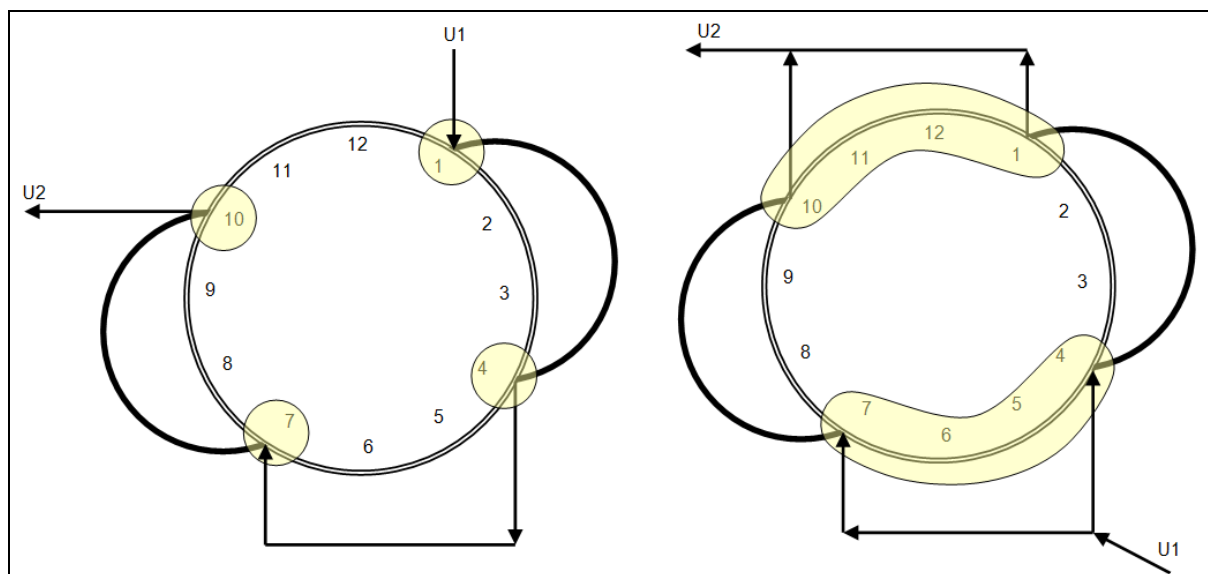
Vinutí pro nižší otáčky je vyvedeno na svorky 1U, 1V a 1W, vinutí pro vyšší otáčky na svorky 2U, 2V a 2W. Točivý moment je při obojích otáčkách téměř stejný, výkony motoru jsou přibližně v poměru otáček.



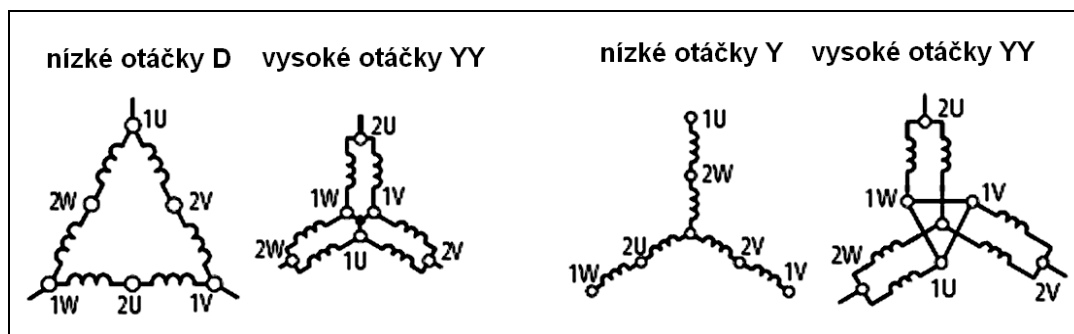
Motory s oddělenými vinutími mají zvýšené náklady na vinutí i na statorové plechy. Jsou proto používány pouze tehdy, je-li požadován jiný poměr otáček než 1 : 2. Na svorkovnici jsou zpravidla vyvedeny jen začátky vinutí, uzly vinutí jsou spojeny v motoru.

## Motor s dělenými vinutími statoru – dvouotáčkový motor s poměrem otáček 1 : 2

Při dělení vinutí (Dahlanderovo zapojení) je každé vinutí statoru rozděleno odbočkou na dvě části. Přepínáním skupin (cívek) ze sériového zapojení na paralelní zapojení je totiž původní počet pólů zmenšen na polovinu a tím se zdvojnásobí otáčky točivého pole statoru.



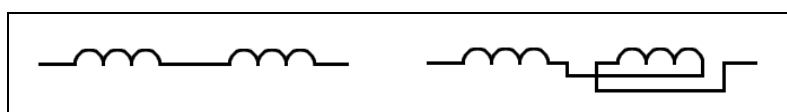
Nejpoužívanější zapojení přepínatelného vinutí je trojúhelník pro nízké a dvojitá hvězda pro vysoké otáčky (D/YY). Pro nižší otáčky jsou obě části vinutí zapojeny sériově (na jedné části vinutí je napětí 200V), pro vyšší otáčky paralelně (napětí na jedné části vinutí je 230V).



Tím je dosažen dvojnásobný počet otáček při přibližně 1,5 násobném zvýšení výkonu. Točivý moment zůstává v nízkých i vysokých otáčkách stejný. Proto se motory s přepínatelným vinutím hodí pro pohony s konstantním točivým momentem, např. pro obráběcí stroje.

Zapojení vinutí pro nízké otáčky do hvězdy a vysoké do dvojitě hvězdy se používá zřídka, protože pro nízké otáčky při zapojení do hvězdy je na části vinutí napětí pouze 115V. Proto je značný rozdíl ve výkonu a točivém momentu pro nízké a vysoké otáčky.

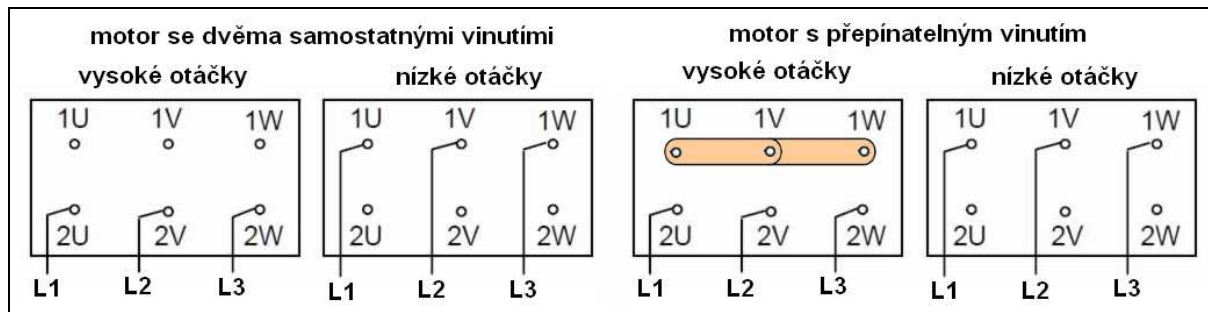
Zaměníme-li začátek a konec jedné části vinutí (viz obrázek dole), změní se funkce motoru tak, že při zapojení do hvězdy nebo trojúhelníku poběží na vysoké otáčky a při zapojení do dvojitě hvězdy na nízké otáčky. Protože by měl motor při vysokých otáčkách menší výkon a tím i nízký točivý moment, tato zapojení se nepoužívají.



**Motory s přepínatelným vinutím umožňují zdvojnásobení otáček zmenšením počtu pólů na polovinu.**

Svorkovnice motoru s přepínatelným vinutím má pro každý počet pólů 3 svorky, protože uzel vinutí bývá nejčastěji spojen ve statoru. Motor proto může být používán jen na jediné síťové napětí. Svorky pro nízké otáčky jsou označeny 1U, 1V, 1W a pro vysoké otáčky 2U, 2V, 2W.

#### Svorkovnice dvouotáčkových motorů:



#### 4.7.3. Řízení otáček změnou kmitočtu

V tomto případě napájíme motor z měniče kmitočtu, který může být realizován jako rotační měnič napětí se stabilním kmitočtem (dříve nepoužívanější řešení), nebo jako moderní elektronický měnič určený k řízení otáček (viz obrázek). Při řízení otáček změnou kmitočtu je nutné řídit také napětí, neboť magnetický tok motoru musí být konstantní. Důvodem je přímá závislost reaktance vinutí motoru na kmitočtu a s tím související změny proudu.

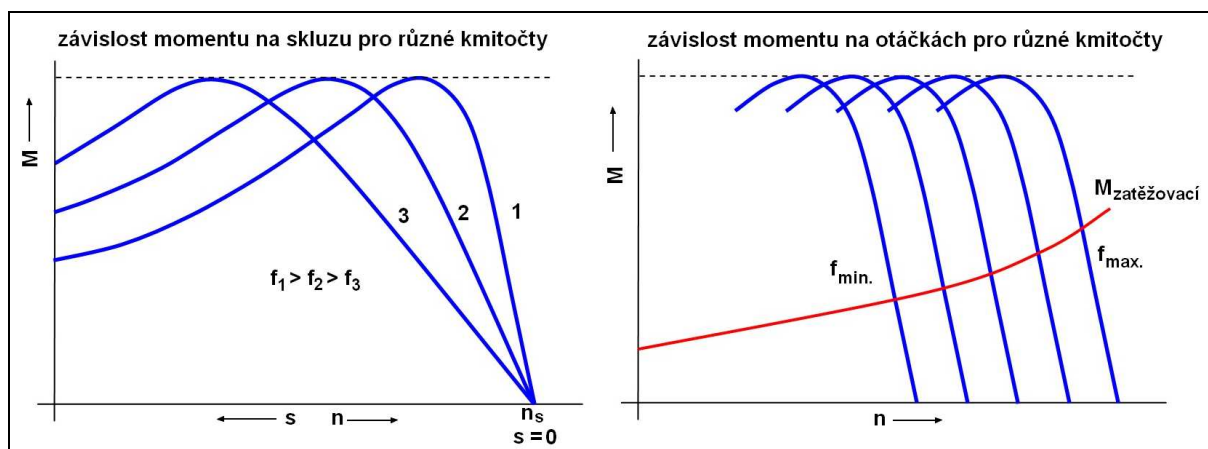
Platí proto:

$$\Phi \approx \frac{U_i}{f} = konst$$

- $\Phi$  magnetický tok
- $U_i$  napětí
- $f$  kmitočet

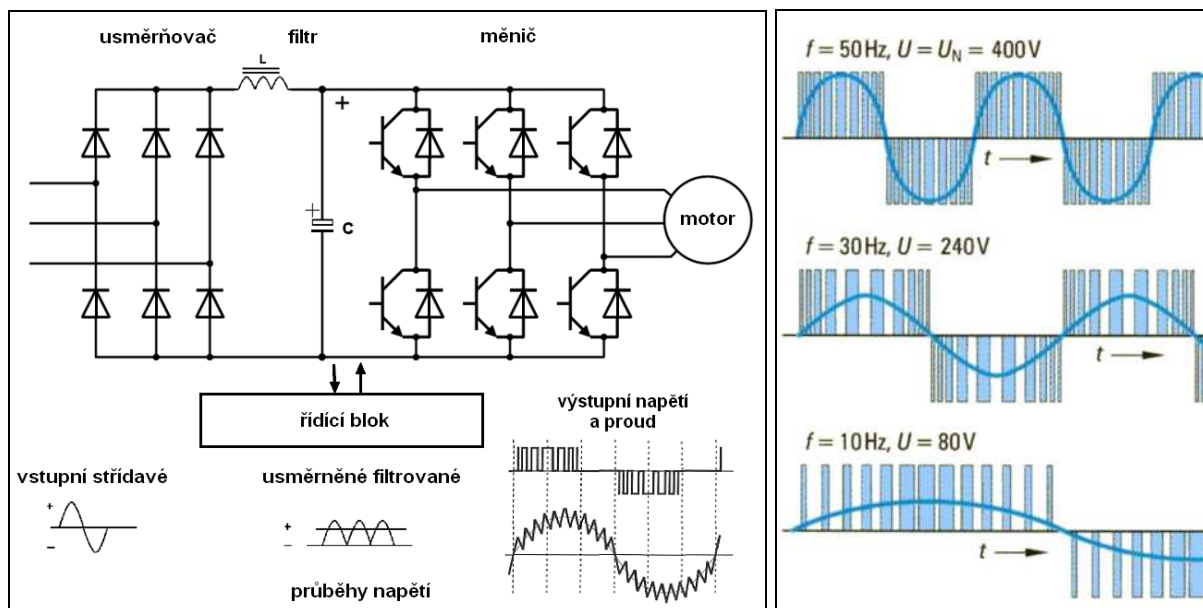


Tato podmínka musí platit pro každý měnič kmitočtu, neboť jen tak je motor dobře magneticky využit. Na následujících obrázcích je závislost momentu na skluzu pro různé kmitočty a závislost momentu na otáčkách pro různé kmitočty.



V současné době se pro řízení otáček nejčastěji používá kmitočty v rozsahu 10 až 100 Hz. Indukční motor řízený polovodičovým měničem kmitočtu je dnes moderním a perspektivním druhem pohonu. Blokové schéma je na následujícím obrázku. Přivedené třífázové napětí se

nejprve usměrní a vyfiltruje. Řídicí blok pak vysílá impulzy do měniče tvořeného rychlými výkonovými tranzistory, které do jednotlivých fází motoru vysílají kladné a záporné impulzy nastaveného kmitočtu, jejichž šířka odpovídá úrovni napětí



#### 4.7.4. Rotační měnič kmitočtu

Používá se pro napájení obvodů, které pro svoji funkci vyžadují jiný kmitočet než síťový (středofrekvenční indukční pece, napájení selsynů, elektrická trakce s kmitočtem 16 2/3 Hz apod.). Rotační měnič se skládá z asynchronního motoru a synchronního generátoru (alternátoru), popř. z derivačního dynama jako budiče alternátoru.

Výsledná kmitočet je dán poměrem počtu pólů asynchronního motoru a alternátoru. Např. pro kmitočet 200 Hz je zapotřebí dvoupólový motor a osmipólový alternátor. Pro kmitočet 16 2/3 Hz se použije šestipólový motor a dvoupólový alternátor. Motor i generátor mohou v případě menších výkonů tvořit jeden celek (obrázek vlevo), nebo mohou být použity jako dva samostatné stroje, jejichž hřídele jsou spojeny spojkou (obrázek vpravo). V případě potřeby je soustrojí motoru a generátoru doplněno budičem.



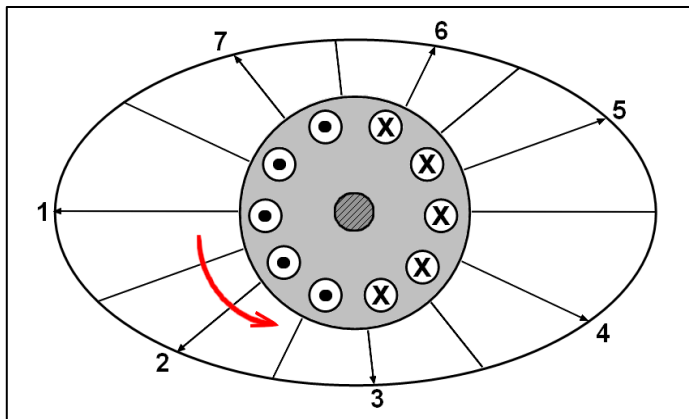
## 4.8. Provoz trojfázového motoru na jednofázové střídavé napětí

Trojfázové motory vytvářejí točivé pole při připojení na trojfázovou síť pomocí tří střídavých fázových napětí posunutých vzájemně o  $120^\circ$ . Ve vinutích statoru tak vznikají magnetické toky stejných indukcí, výsledné pole je tedy kruhové.

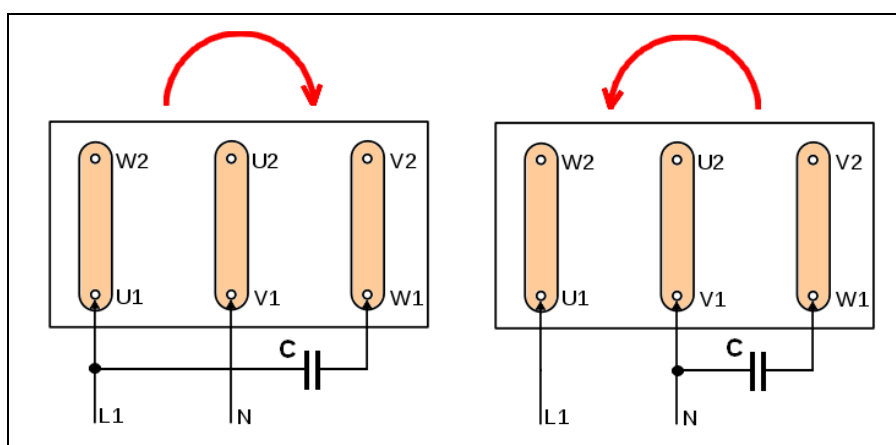
Při provozu na jednofázové střídavé napětí je proud přivedený přes kondenzátor oproti síťovému proudu fázově posunut. Při tomto posunutí opět vznikne točivé magnetické pole.

Vlivem kondenzátoru jsou proudy v jednotlivých vinutích různě velké. Tím se mění indukční tok periodicky s každou periodou střídavého napětí.

Točivé pole vytvořené pomocí kondenzátoru má eliptický tvar.



Při trojfázovém provozu lze směr otáčení motoru změnit přehozením dvou fází, při jednofázovém provozu lze směr otáčení změnit změnou připojení kondenzátoru. Trojfázové motory mohou být provozovány na jednofázové střídavé napětí, jsou-li pomocí zapojení do trojúhelníku nebo do hvězdy přizpůsobena napětí ve vinutích na napětí sítě.



Při eliptickém točivém poli je oproti kruhovému poli při trojfázovém provozu menší výkon motoru, a to maximálně 70% jmenovitého výkonu. Rozběhový moment se zmenší při tomto jednofázovém provozu většinou na polovinu.

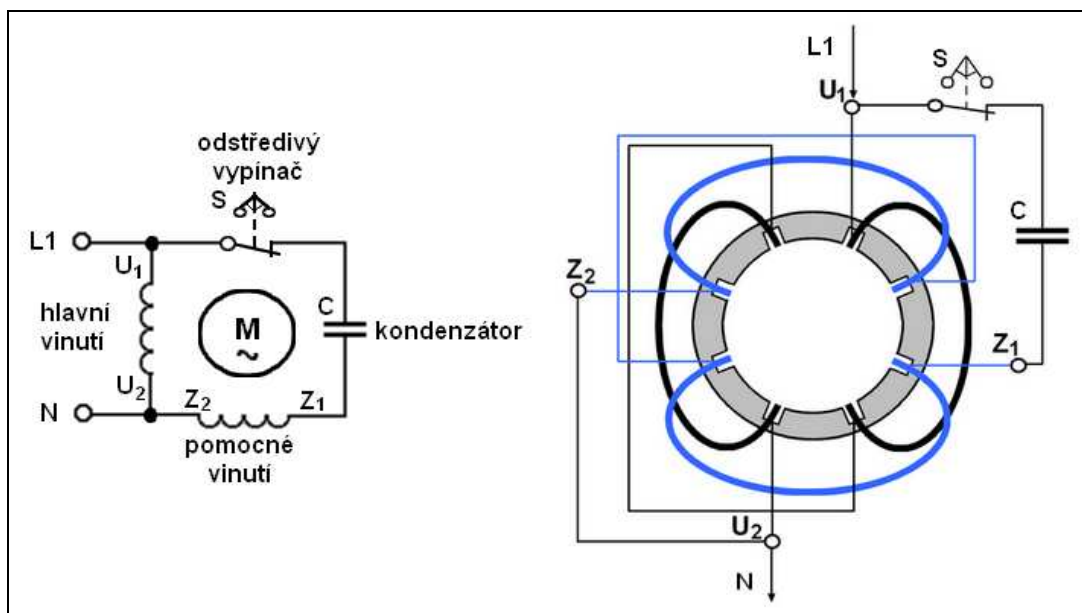
Požadovaná kapacita kondenzátoru je závislá na síťovém napětí. Při napětí 230V a síťovém kmitočtu 50 Hz je potřebná kapacita  $70\mu\text{F}$  na 1kW výkonu motoru.

## 4.9. Jednofázový asynchronní motor

Jednofázový proud nevytvoří točivé magnetické pole jako proud třífázový. Vzniklé magnetické pole je stojaté a pulzující. Toto pole indukce ve vinutí rotoru proudy, jejichž silové účinky se vlivem pulzujícího magnetického toku navzájem ruší. Motor se sám nemůže rozběhnout. Roztočíme-li jej vnějším impulzem, motor se rozběhne.

Aby jednofázový asynchronní motor mohl pracovat, je nutné do statoru umístit kromě pracovního vinutí ještě tzv. vinutí pomocné (rozběhové), které je paralelně připojeno

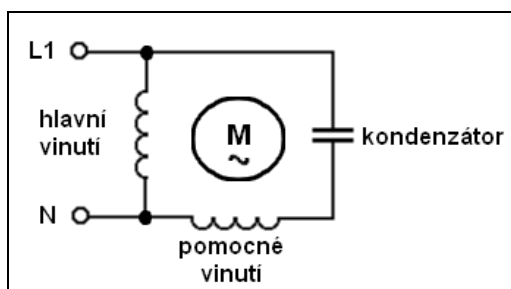
k hlavnímu vinutí a je prostorově natočeno o  $90^\circ$  elektrických. Pro dosažení fázového posuvu v pomocném vinutí se nejčastěji používá sériově připojený kondenzátor. Pomocné vinutí se obvykle připojuje přes odstředivý vypínač, který toto vinutí po dosažení určitých otáček odpojí od sítě. Zapojení motoru a statorové vinutí jsou na následujícím obrázku.



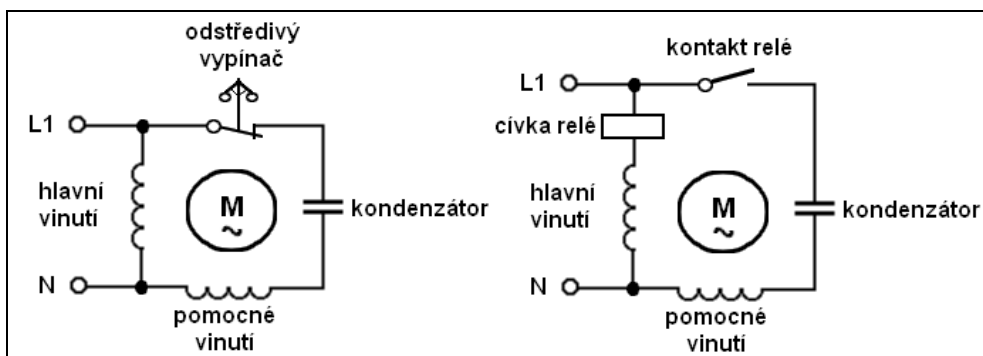
Výkon jednofázového motoru je poloviční proti třífázovému motoru stejné typové velikosti.

#### 4.9.1. Popis vinutí jednofázových motorů

- **hlavní vinutí** – hlavní pracovní vinutí, je konstruováno na trvalé zatížení
- **pomocné vinutí** – napomáhá vytvářet točivé elektromagnetické pole, slouží k rozběhu motoru, pokud je trvale zapojeno, musí být konstruováno na trvalé zatížení

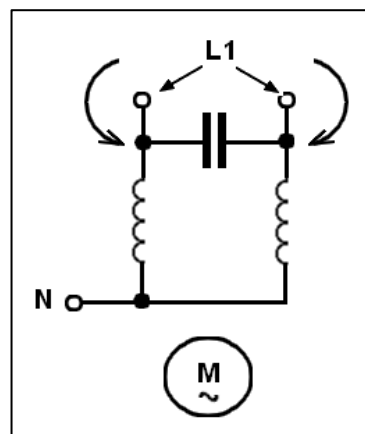


- **rozběhové vinutí** – pomocné vinutí, které slouží pouze při rozběhu motoru, vypíná se odstředivým spínačem nebo rozběhovým relé, je konstruováno pro krátkodobé zatížení



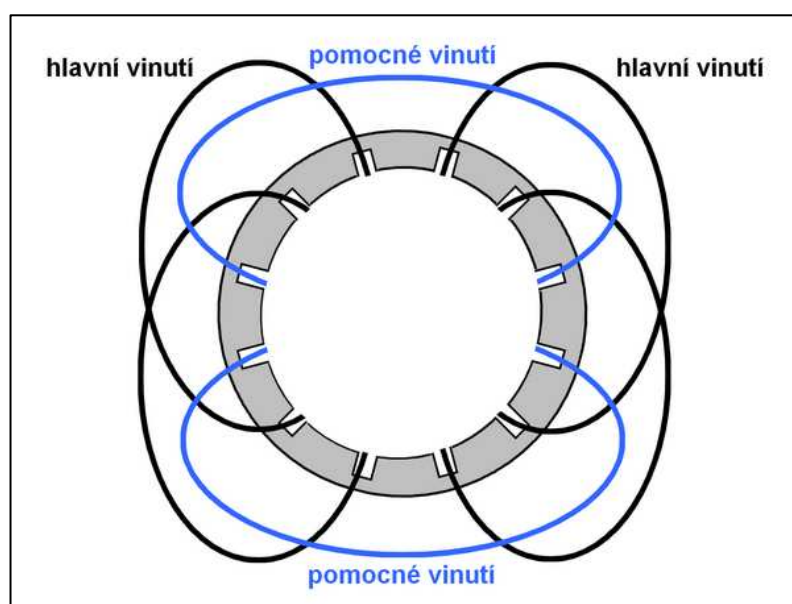
- **vinutí dvoufázových motorů** – obě vinutí jsou pracovní, jsou konstruována na trvalé zatížení; přivedením napětí do levého nebo pravého vinutí se mění směr točení motoru (viz obrázek napravo).

Hlavní vinutí je připojeno na svorky označené U1 a U2, pomocné vinutí na svorky označené Z1 a Z2.



#### 4.9.2. Popis funkce jednofázového motoru

Jednofázový asynchronní (indukční) motor má ve statoru složeném ze statorových plechů dvojí vinutí. Rotor je v klecovém provedení. Hlavní vinutí obvykle vyplňuje 2/3 drážek ve statoru.



Pomocné vinutí (pomocná fáze – rozběhové vinutí) je ve zbývajících třetinách drážek a je o 90° elektrických pootočeno proti vinutí hlavnímu.

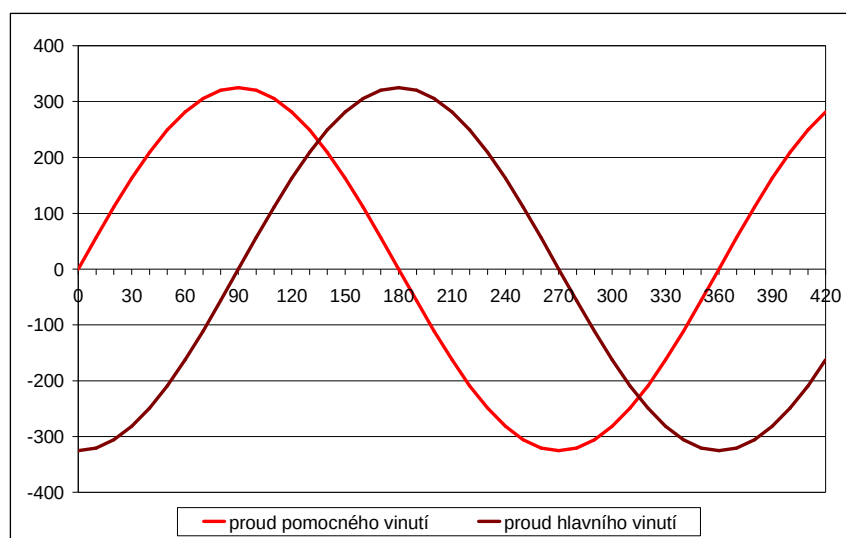
Předpokladem pro vznik točivého magnetického pole statoru je časové posunutí průběhu střídavého proudu v pomocném vinutí oproti průběhu proudu v hlavním vinutí.

Střídavá magnetická pole hlavního a pomocného vinutí jsou pak vzájemně časově a tedy i prostorově posunuta

(pootočena) a společně vytvářejí točivé magnetické pole. Točivé pole jednofázového asynchronního motoru uskuteční i rozběh motoru.

Fázového posuvu mezi proudy v hlavním a pomocném vinutí lze dosáhnout kondenzátorem, činným odporem nebo zvýšeným odporem pomocného vinutí.

Otáčky motoru jsou určeny stejně jako u trojfázových asynchronních motorů kmitočtem napájecího napětí a počtem pólových párů hlavního vinutí.



### 4.9.3. Jednofázový kondenzátorový motor

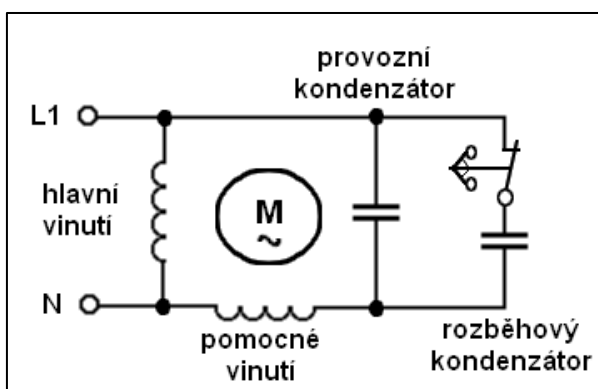
Kondenzátorový motor je jednofázový asynchronní motor s kondenzátorem zapojeným do série s pomocným vinutím. Kondenzátor vytváří potřebný fázový posun v pomocném vinutí potřebný pro vznik točivého pole. Je většinou připevněn na krytu motoru – viz obrázek.



Ke změně směru otáčení motoru je třeba přepólovat směr proudu v jednom z obou vinutí, obvykle v pomocném vinutí. Toho lze dosáhnout změnou připojení kondenzátoru na svorkovnici.

Velký rozběhový moment vykazuje motor při použití dvou kondenzátorů – rozběhového a provozního (viz obrázek napravo).

Rozběhový moment může být díky kapacitě obou kondenzátorů zvýšen na dvojnásobek až trojnásobek jmenovitého momentu. Motor se pak může rozbíhat i se zátěží. Po rozběhu se rozběhový kondenzátor samočinně odpojuje a v činnosti zůstává jen provozní kondenzátor. Odpojení je nutné, protože by jinak protékal pomocným vinutím příliš velký proud, který by vinutí přehřál. Odpojení se uskutečňuje odstředivým vypínačem nebo nadproudovým relé.



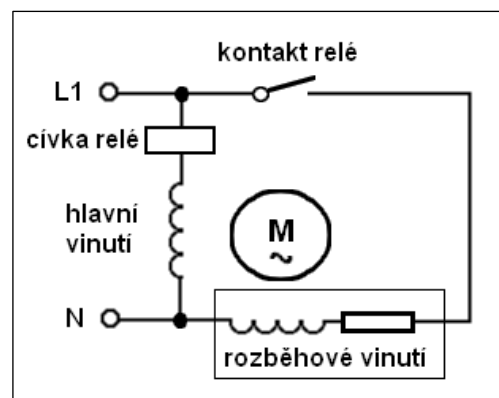
Provozní kondenzátor by měl mít přibližně 1,3kVAr jalového výkonu na 1kW výkonu motoru. Rozběhový kondenzátor by měl mít asi trojnásobnou kapacitu než provozní kondenzátor. Kondenzátor tvoří s indukčností pomocného vinutí sériový kmitavý obvod. Proto je na kondenzátoru napětí, které je vyšší než napětí síťové. Největší napětí je na kondenzátoru při běhu motoru naprázdno.

Kondenzátorové motory s výkonem do 2kW se používají ve výkonnějších domácích spotřebičích (např. pračkách), v elektrickém nářadí (např. kotoučové pily) nebo menších stavebních strojích.

### 4.9.4. Jednofázový motor s odporovým pomocným vinutím

Je-li pomocnému vinutí jednofázového motoru předřazen rezistor, rovněž vznikne v motoru točivé magnetické pole. Potřebný činný odpor lze vytvořit pomocným vinutím navinutým z odporového vodiče. Většinou je toto vinutí provedeno jako bifilární. Třetina závitů je zde navinuta v protisměru k ostatnímu vinutí. V bifilárním vinutí je částečně snížena indukčnost při nezměněném činném odporu odporového vodiče.

Pomocné odporové vinutí musí být po rozběhu odpojeno, aby nedocházelo k přehřívání motoru. K odpojení lze použít rozběhové relé (viz obrázek) nebo odstředivý vypínač.

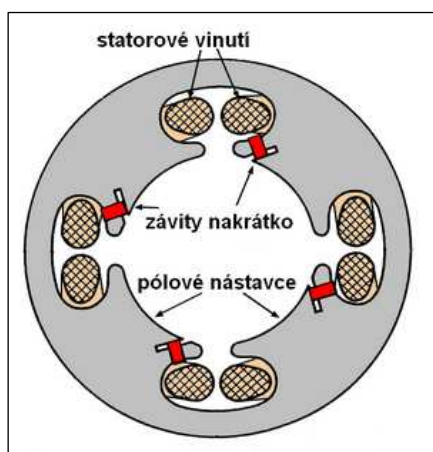
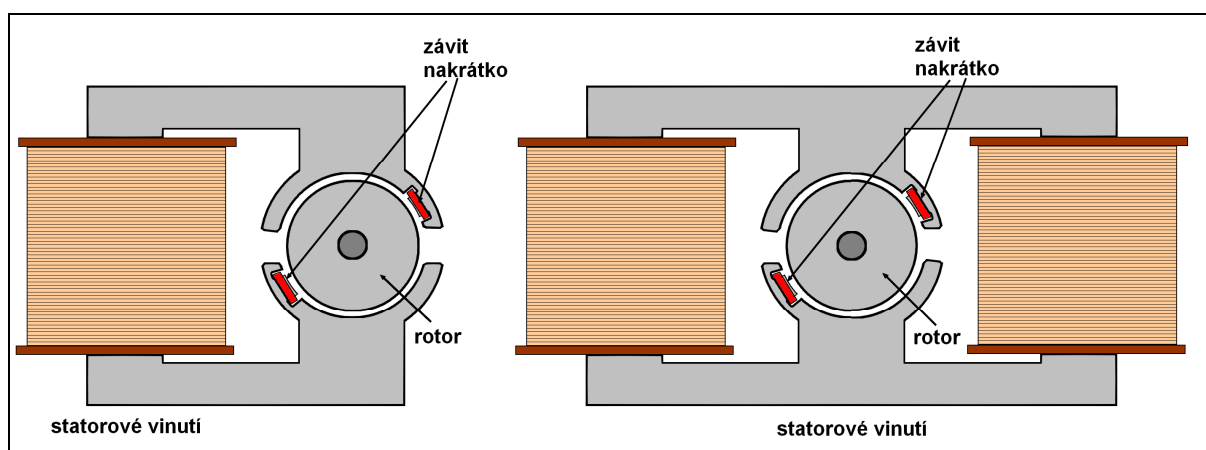


Jednofázové motory s odporovým pomocným vinutím se vyrábějí do výkonů asi 300W. Jejich rozběhový moment odpovídá přibližně momentu jmenovitému (při jmenovitých otáčkách). Tyto motory se používají v aplikacích s malou frekvencí rozpínání, např. jako pohony kompresorů v chladničkách.

#### 4.9.5. Motor se stíněnými póly

##### Rychloběžný motor se stíněnými póly

Jedná se o konstrukčně nejjednodušší motor. Stator motoru se stíněnými póly má oddělené póly. Od nich je oddělena drážkou menší část. Kolem tohoto odděleného (odstíněného) pólu je uložen závit nakrátko. Tímto závitem nakrátko prochází jen část magnetického toku vytvořeného statorovým vinutím. V závitu se indukuje napětí a prochází proud. Mezi proudem ve statorovém vinutí a proudem tekoucím vinutím nakrátko je fázový posun. Tyto fázově posunuté proudy vytvářejí magnetické pole, jehož magnetické póly se postupně posunují od jednoho statorového pólu k dalšímu v pořadí: horní hlavní pól, horní odstíněný pól, dolní hlavní pól, dolní odstíněný pól. Toto nerovnoměrné točivé pole otáčí kotvou nakrátko. Na obrázku dole jsou znázorněny motor s jednou cívkou a motor se dvěma cívkami.



Na obrázku vlevo vidíme řez kruhovým statorem čtyřpólového motoru se stíněnými póly. Z obrázku je zřejmé i umístění závitů nakrátko v pólových nástavcích.

Směr otáčení motorů se stíněnými póly směřuje vždy od hlavního pólu k oddělenému (odstíněnému) pólu. Směr otáčení je podmíněn uspořádáním pólů a nemůže být elektricky změněn.

Je-li kotva vyrobena z magneticky tvrdého materiálu (hysterezní kotva), běží takový motor po rozběhu dále jako synchronní motor.

Motory se stíněnými póly jsou robustní a levné. Kvůli malé účinnosti kolem 30% se vyrábějí tyto motory jen asi do výkonů 300W. Používají se do ventilátorů, odsávaců par, větráků topení, kalových čerpadel a odstředivek prádla. Jako synchronní pohon jsou používány např. pro programové spínače (např. mechanické programátory praček). U ventilátorů a odsávaců s těmito motory se cívky navíjejí s vyšším počtem závitů vyvedených do odboček. Připojením

napájecího napětí na odbočky s vyššími počty závitů se dosáhne regulace otáček změnou skluzu motoru.

Na obrázku vidíme vlevo dvoupólový motor s jednou cívkou a vpravo čtyřpólový motor s kruhovým tvarem statoru.

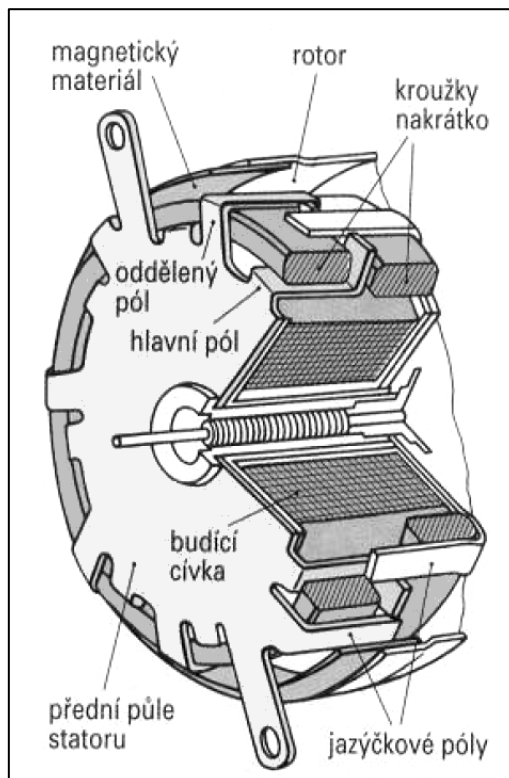


### Pomaloběžný motor se stíněnými póly

Pomaloběžné motory se stíněnými póly mívají 10 nebo 16 pólů a tomu odpovídající nízké otáčky. Jsou většinou provedeny s vnějším rotorem. Stator se pak skládá z prstencové budicí cívky a dvou statorových polovin z ocelového plechu. Obě poloviny mají po obvodu plechové jazyky (zahnuté pásky), které působí jako jazýčkové póly. Pólování jazýčkových pólů obou statorových polovin je stejné, neboť je určováno magnetickým polem cívky.

Každý druhý pólový jazyk působí jako oddělený (odstíněný) pól. Kolem všech stíněných pólů jedné poloviny statoru leží společný prstenec nakrátko, který způsobuje fázové posunutí magnetických toků oddělených (odstíněných) pólů oproti magnetickým tokům hlavních pólů.

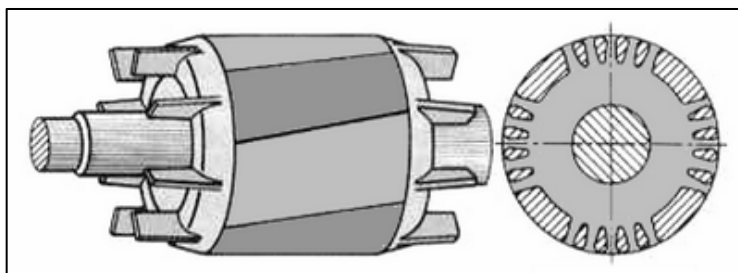
Rotor je přes jazýčkové póly nasazen jako hrnec. Na jeho vnitřní straně je kroužek z magneticky tvrdého materiálu. Magnetické pole statoru indukuje v rotoru vířivé proudy, které způsobují asynchronní běh rotoru. V magnetickém materiálu rotoru se vytvářejí točivým polem oddělené póly a rotor se pak otáčí otáčkami stejnými s otáčkami točivého pole.



Pomaloběžné motory se stíněnými póly jsou jednofázové synchronní motory. Synchronní motory se stíněnými póly mívají výkony od 1 W do 3 W. Používají se např. v hodinách, v programovatelném řízení, časových relé, nebo v zapisovačích měřicích přístrojů.

### 4.10. Reluktanční motor

Svazek rotorových plechů klecového rotoru má na obvodu tolik vybrání, kolik má stator pólů. Magnetický tok statoru se pak uzavírá přes rotor, a to hlavně přes části oddělené malou vzduchovou mezerou a nikoliv přes vybrání s velkým magnetickým odporem velké vzduchové mezery. Rotor tím získá vlastní póly a brání se skluzu za otáčkami točivého pole



statoru. Reluktanční (brání se skluzu) motor se rozbíhá jako motor s kotvou nakrátko a po rozběhu pracuje jako synchronní motor. Přetížení vede k asynchronnímu běhu se skluzem.

Reluktanční motory se používají k pohonu strojů s konstantními otáčkami, např. k pohonu tkalcovských stavů. Malé reluktanční motory se používají jako synchronní motory.

## 4.11. Brzdění asynchronních motorů

Asynchronní motory můžeme brzdít dvěma způsoby – mechanicky a elektricky.

### 4.11.1. Mechanické brzdy

Mechanické brzdy musí být konstruovány tak, aby motor bez napětí samočinně zabrzdily. Toho se dosáhne závažím nebo pružinami. Odbrzdění se provádí při malých výkonech elektromagnetem (obrázek vpravo nahoře), při větších výkonech eldrem (elhydrem – obrázek vpravo dole).

Eldro je elektrohydraulické zařízení pro vyvození síly potřebné ke změně pracovní polohy strojního prvku, např. k odbrzdění brzdy. Skládá se z elektromotoru, který pohání teleskopickým hřídelem odstředivé čerpadlové kolo. To vhání olej pod píst a vyvozeným tlakem píst posouvá ve válci – nadzvedává jej. Pístní tyč je vyvedena nahoře z tělesa zařízení. Na píst mohou být též upevněna dvě táhla a vyvedena vně zařízení. Pístní tyčí nebo táhly se ovládá mechanismus brzdy. Síla na píst je stálá a je dána počtem otáček motoru. Po vypnutí proudu do elektromotoru eldra se píst tlakem pružiny a vlastní tíhou vrací do výchozí polohy, olej přitom přetéká lopatkovým kolem zpět nad píst.



### Nejpoužívanější brzdy

Na obrázku vpravo dole je čelistový brzdící eldrem. Uprostřed je pásová brzdící, u které se brzdí pásem a nebo jsou brzdové elementy k němu připevněny. Pás obepíná brzděný buben. Na obrázku vpravo je kotoučová brzdící, u které brzdové destičky působí ze stran na brzdový kotouč.

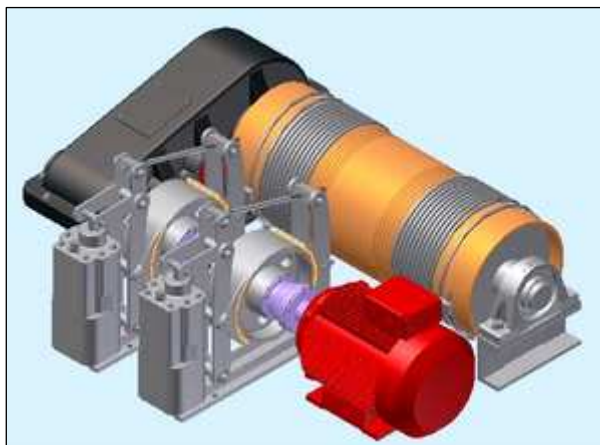


S mechanickými brzdami se v praxi setkáváme nejčastěji u jeřábů nebo výtahů. U těchto zařízení jsou vyžadovány spolehlivost a bezpečný provoz.

Na obrázku vpravo je model provedení mechanismů zdvihu jeřábu.

Motor je zde z bezpečnostních důvodů brzděn dvěma čelistovými brzdami ovládanými eldrem. Zdvojení funkce brzdy zaručuje spolehlivé zabrzdění i v případě selhání jednoho z brzdících mechanismů.

Z hřídele s brzdovými bubny se pohyb přenáší do převodovky a nakonec na buben s lany. Zobrazené řešení je běžné u mostových jeřábů s nosností od 5000kg.



#### 4.11.2. Elektrické brzdy

##### Podsynchronní brzdění

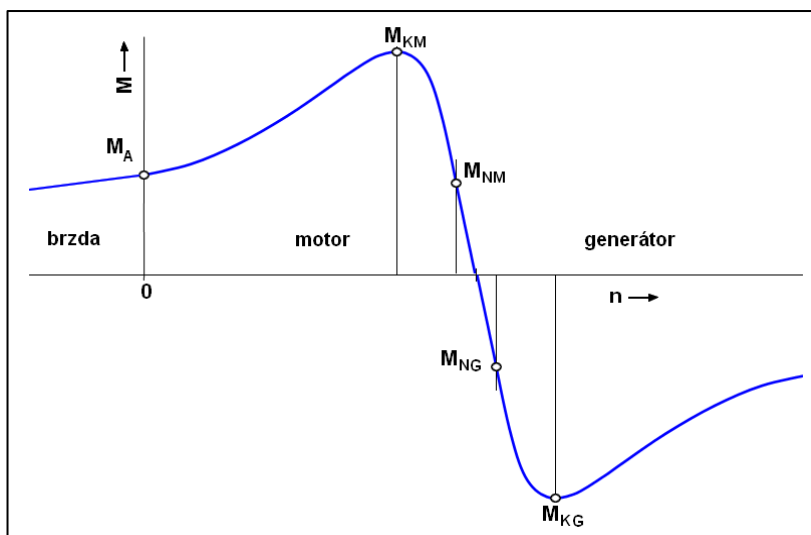
Pro podsynchronní brzdění se používá také název brzdění protiproudem. Motor se v tomto případě zreverzuje, zamění se mu přívody dvou fází. Magnetické pole se otáčí opačným směrem než rotor a dochází k jeho intenzivnímu brzdění. Aby se motor neroztočil opačným směrem, musí se přívod proudu včas vypnout. K tomu se používá otáčkové relé, tzv. alniko (obrázek vpravo), které je namontováno na krytu ventilátoru a přes pružnou spojku spojeno s hřídelem motoru.



##### Nadsynchronní brzdění

Při nadsynchronním brzdění (brzdění rekuperací do sítě) je motor mechanickou zátěží přetáčen do nadsynchronních otáček. Motor pracuje jako generátor a brzdí tím, že dodává proud do sítě (např. jeřáb při spouštění břemene směrem dolů). Při tomto brzdění dojde pouze k omezení otáček motoru.

Podsynchronnímu brzdění odpovídá část momentové charakteristiky označená jako „brzda“, nadsynchronnímu brzdění část charakteristiky označená jako „generátor“.



##### Brzdění stejnosměrným proudem

Do dvou nebo jedné fáze statorového vinutí se přivede stejnosměrný proud, který vytvoří stejnosměrné magnetické pole, které rotor zabrzdí. Velikost stejnosměrného napětí je závislá na odporu vinutí a jmenovitém proudu motoru dle štítku.

Pro výpočet je nutné znát hodnotu proudu pro brzdění (obvykle volíme stejnou hodnotu, která je uvedena na štítku motoru) a hodnotu odporu vinutí, do kterého budeme přivádět brzdící proud (zjistíme měřením).

$$U_B = R_v \cdot I_n$$

- $U_B$  stejnosměrné napětí pro brzdění
- $R_v$  odpor vinutí připojeného do obvodu brzdy
- $I_n$  jmenovitý proud motoru dle štítku

Výhodou tohoto způsobu brzdění je skutečnost, že motor není přetěžován a nemůže se začít otáčet opačným směrem. Nevýhodou je nižší účinnost, která se s klesajícími otáčkami snižuje.

Pohony s trojfázovými asynchronními motory musí být často zabrzděny, např. u jeřábů při spouštění břemene nebo u obráběcích strojů při rychlém zastavení. K brzdění se nabízí řada možností. Při ztrátovém brzdění je přeměňována mechanická energie v energii tepelnou, při rekuperačním brzdění je přeměňována mechanická energie v elektrickou energii.

Energie odebraná asynchronním motorem během (nezatíženého) rozběhu je vzhledem ke klesajícímu skluzu přeměněna přibližně z jedné poloviny na teplo a z druhé poloviny na mechanickou energii rotoru. Při brzdění je třeba odebrat a přeměnit energii rotoru, případně soustavy spojené s rotorem přes hřídel motoru. Při brzdění třecí brzdou, podsynchronním brzdění a při brzdění stejnosměrným proudem tekoucím statorem je energie rotoru přeměňována v teplo. Při nadsynchronním brzdění pracuje motor jako generátor, takže dochází jen k malým ztrátám. Nadsynchronní brzdění lze dobře využít u motorů s přepojitelnými póly, když přepólujeme z vysokých otáček na nízké a kotva pak předbíhá točivé (pomalootáčkové) pole statoru.

Je-li motor během brzdění zatížen, musí být při brzdění přeměněna navíc energie soustavy spojená s hřídelí motoru. I zde je možno použít ztrátové nebo rekuperační brzdění.

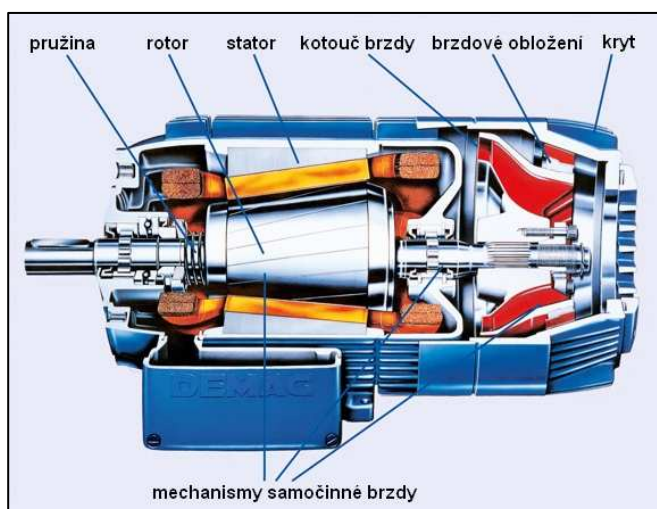
## 4.12. Brzdové motory

Brzdové motory mají na ložiskovém štítu připevněnu mechanickou brzdu, která je samočinně ovládána elektromagnetickými poli rotoru a statoru nebo elektromagnetem brzdového mechanismu.

### 4.12.1. Motor s kuželovým rotorem

Řez motorem je na obrázku vpravo. Pružina vytlačuje rotor ze statoru a zároveň přitlačuje brzdový kotouč nebo kužel k brzdovému obložení.

Motor je v klidu zabrzděný. Po zapnutí proudu elektromagnetické pole vtáhne rotor do statoru, tím dojde k odbrzdění motoru a rotor se začne otáčet. Po vypnutí proudu magnetické pole zanikne a pružina opět motor zabrzdí.



#### 4.12.2. Motor s elektromagnetickou brzdou

Elektromagnetická brzda může být provedena různými způsoby. K zabrzdění motoru může využívat pružiny a nebo magnetické pole vytvořené permanentním magnetem.

V tomto případě je brzdící kotouč posuvně uložen na hřídeli motoru a vlivem magnetického pole permanentního magnetu přitažen na brzdící plochu uloženou na ložiskovém štítu motoru. Motor je zabrzděn. Součástí brzdy je i elektromagnet, který po zapnutí proudu zruší magnetické pole permanentního magnetu a tím dojde k odbrzdění motoru.

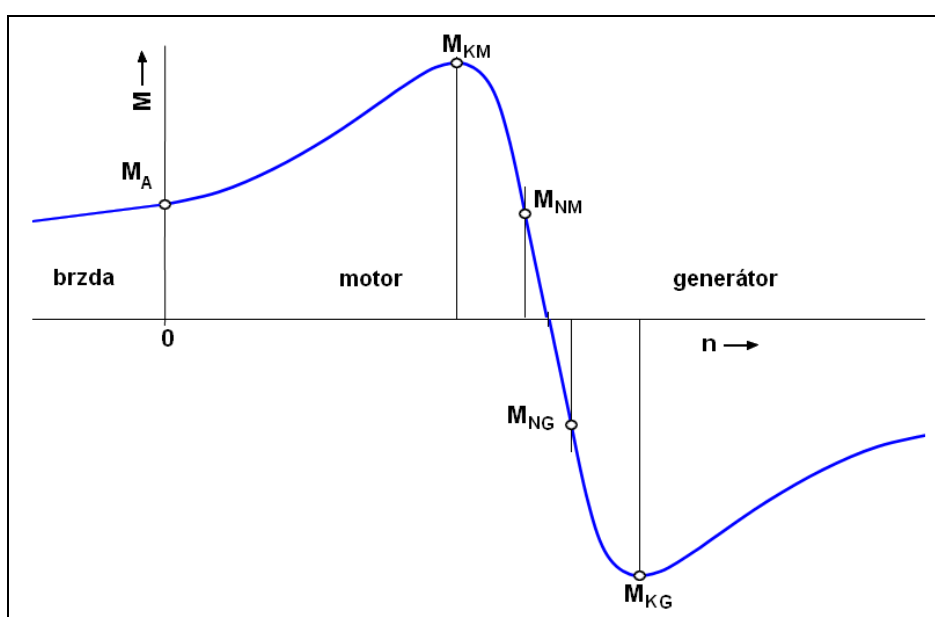


#### 4.13. Asynchronní generátor

Roztočíme-li asynchronní motor připojený k síti vnějším zdrojem do nadsynchronních otáček, začne dodávat do sítě výkon, jehož velikost je dána výkonem vnějšího zdroje. Tímto způsobem získáme asynchronní generátor. Pro svou jednoduchost a spolehlivost nachází využití v malých vodních elektrárnách. Nafázování na síť je jednoduché. Generátor se spustí jako třífázový motor, který se po rozběhu začne výkonem turbíny roztáčet do nadsynchronních otáček, kdy přestane odebírat proud ze sítě a začne jej naopak dodávat.

Není-li asynchronní generátor připojen k síti, není schopen vyrábět elektrickou energii, protože nemá žádné vnitřní magnetické pole, které by umožnilo napětí indukovat. To se vytvoří teprve při připojení statorového vinutí k síti.

Činnost asynchronního generátoru je zřejmá z momentové charakteristiky na následujícím obrázku. Generátor začne dodávat energii teprve tehdy, je-li zdrojem mechanické energie (např. turbínou) roztočen do nadsynchronních otáček – z motoru se stane generátor.



## 5. Použitá literatura a informační zdroje

Ing. Josef Říha, Elektrické stroje a přístroje, 3. vydání, SNTL 1990

Peter Bastian, Praktická elektrotechnika. 2. upr. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, 2006, 303 s. ISBN 80-867-0615-X.

Klaus Tkotz, Příručka pro elektrotechnika. 2. dopl. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, 2006, 623 s. ISBN 80-867-0613-3.

Wikipedie – otevřená encyklopedie, <http://cs.wikipedia.org>

Obrázky byly získány na webových stránkách:

- ABB Asea Brown Boveri Ltd, [www.abb.cz](http://www.abb.cz)
- Eaton Elektrotechnika s.r.o., [www.eatonelektrotechnika.cz](http://www.eatonelektrotechnika.cz)
- Siemens AG, [www.cee.siemens.com](http://www.cee.siemens.com)
- PSP Pohony a.s., [www.pohony.cz](http://www.pohony.cz)
- Pohonnatechnika.cz, [www.pohonnatechnika.cz](http://www.pohonnatechnika.cz)
- MM Průmyslové spektrum, [www.mmspektrum.com](http://www.mmspektrum.com)
- Článek opravy elektromotoru, <http://opravyelektromotorou.blogspot.cz>
- ATAS elektromotory Náchod a.s., [www.atas.cz](http://www.atas.cz)
- MECHANIKA Králův Dvůr s.r.o., [www.mechanikakd.cz](http://www.mechanikakd.cz)
- Demag Cranes & Components, spol. s r. o., <http://demagcranes.cz>
- Direct Industry, [www.directindustry.de](http://www.directindustry.de)
- Galerie fotografií na <http://www.google.cz>