

ASYNCHRONNÍ STROJ

Ing. M. Bešta

Trojfázové asynchronní stroje

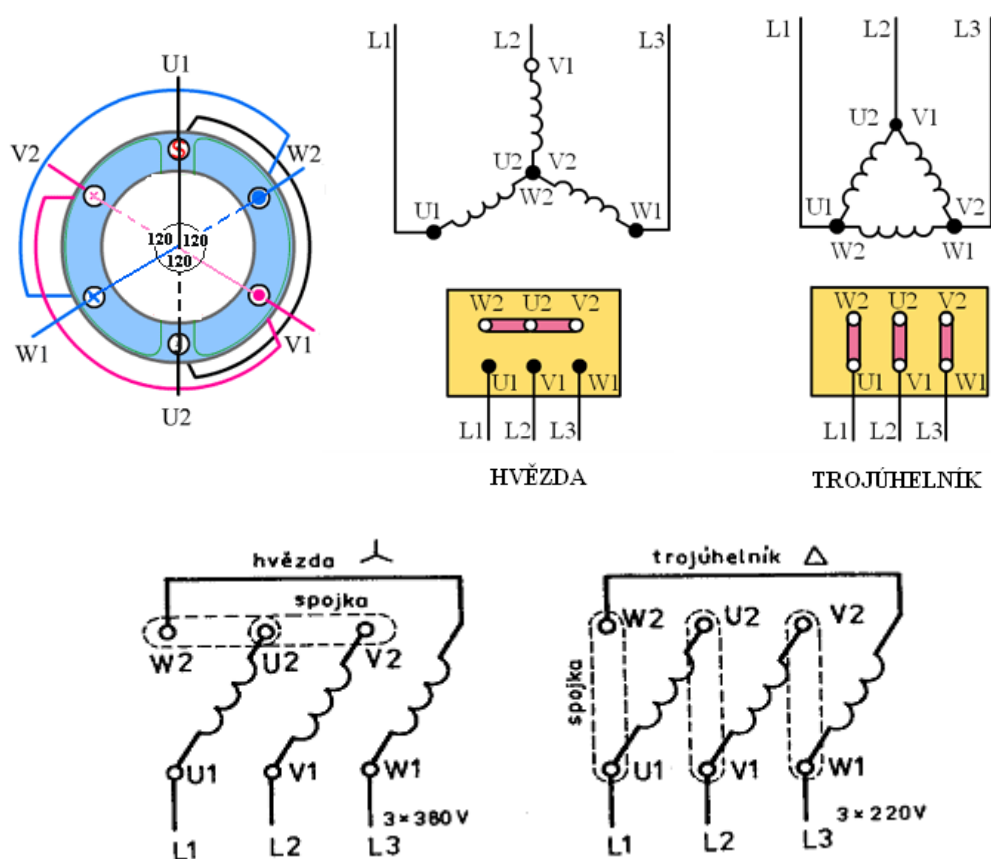
Trojfázové asynchronní stroje někdy nazývané indukční se většinou provozují v motorickém režimu, tzn. jako asynchronní motory (zkratka ASM). Jsou to konstrukčně nejjednodušší stroje, jsou téměř bezúdržbové a mají vysokou provozní spolehlivost. Co do počtu jsou nejčastěji používaným druhem motorem v průmyslu, kde slouží jako pohony strojů malého až středního výkonu. Jako generátory se využívají ve srovnání se synchronními generátory méně často, můžeme se s nimi setkat v některých větrných a malých vodních elektrárnách. Asynchronní stroje se skládají ze statoru a rotoru, který nazýváme kotva. Podle konstrukce rotoru (kotvy) je rozdělujeme do dvou skupin:

- Asynchronní motor nakrátko - s klecovou kotvou (dále se dělí podle druhu klece)
- Asynchronní motor kroužkový – s vinutou kotvou

Hlavní části 3f asynchronních strojů:

Stator - konstrukčně shodný se státorem synchronního stroje. Je to pevná nepohyblivá část stroje. Stator obsahuje většinou trojfázové vinutí založené v drážkách uvnitř magnetického obvodu. Tento magnetický obvod je složen z izolovaných elektrotechnických plechů, to minimalizuje ztráty v železe (podobně jako u transformátorů). Vinutí každé fáze je rozděleno minimálně na dvě části (pólová dvojice) tyto dvojice jsou umístěny na protilehlých stranách statoru. Jednotlivá fázová vinutí pak navzájem svírají úhel 120° jako na obrázku (3 x 120° = 360°). Vinutí statoru může být spojené do hvězdy, nebo trojúhelníku, podle zapojení na svorkovnici stroje. Počet pólových dvojic na jednu fázi spolu s frekvencí napájecího napětí rozhoduje o synchronních otáčkách magnetického pole uvnitř statoru, podle vztahu:

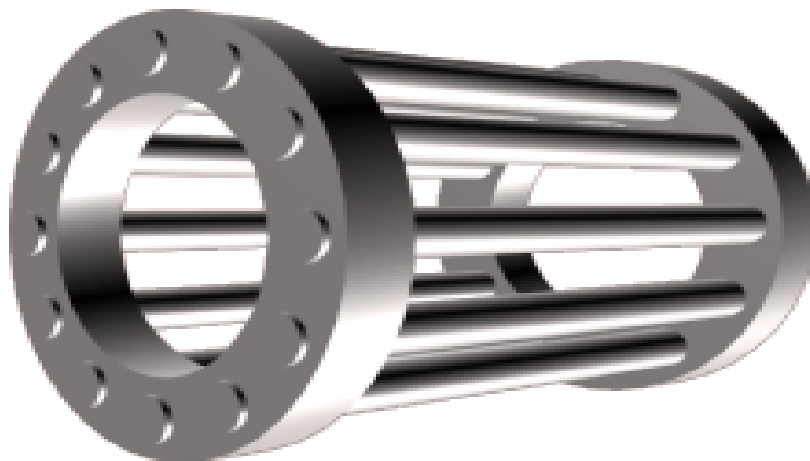
$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$$



ASYNCHRONNÍ STROJ

Ing. M. Bešta

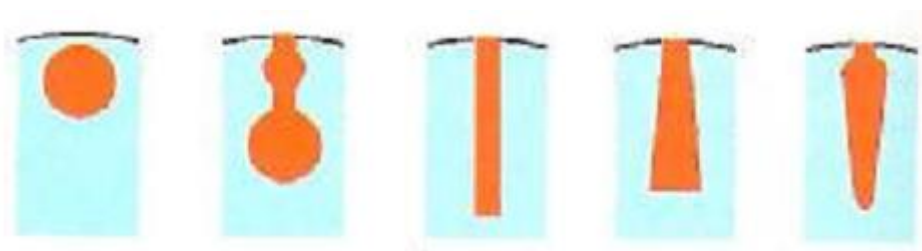
Rotor nakrátko – pohyblivá (rotující) část stroje od statoru je oddělena vzduchovou mezerou. Osou rotoru prochází hřídel, která je vyvedena ven mimo stroj a jde o mechanicky velmi namáhanou část stroje. Hřídel přenáší točivý moment motoru na další využití, nebo naopak je s její pomocí turbínou roztáčen rotor generátoru. Vinutí klecového rotoru je uloženo uvnitř jádra z elektrotechnických plechů a je vytvořeno z neizolovaných tyčí, nebo odlito. Na obou stranách rotoru jsou tyče spojeny vodivými kruhy nakrátko (zkratovány). Vinutí má tak tvar klece viz obrázek.



Vinutí rotoru nakrátko vytváří tzv. klec.

Další typy klecového rotoru:

- Rotor s dvojitou klecí – rotor má dvě samostatné klece vrchní většinou z mosazi, má větší odpor a usnadňuje rozběh motoru. Vnitřní je provedena z mědi a vodiče mají větší průřez (menší odpor) uplatňuje se po rozběhu při provozních otáčkách stroje.
- Rotor s vírovou klecí – drážky mají úzký a dlouhý (hluboký) profil, i toto provedení rotoru má za úkol zvětšit záběrný moment motoru při rozběhu.

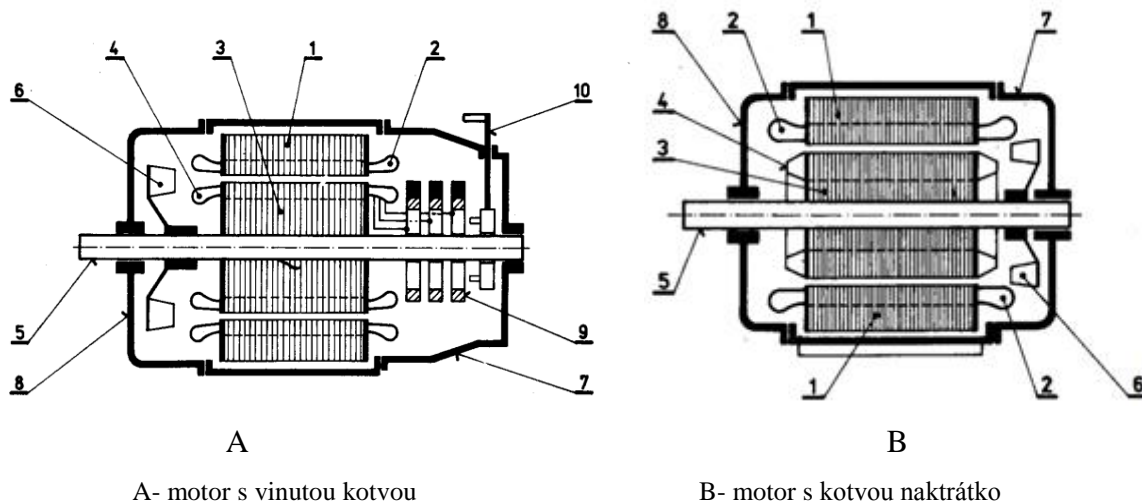


Tvary drážek: normální, dvojitá, 3x vírová klec s hlubokými drážkami

Rotor motoru s vinutou kotvou – má v drážkách založeno klasické vinutí z izolovaných vodičů. Vinutí má spojení jedné strany to znamená, že je zapojeno do hvězdy. Druhé konce vinutí jsou připojeny na kroužky, na které přiléhají uhlíkové kartáče a z nich jsou vyvedeny na druhou svorkovnici (rotorovou), ta je umístěna většinou na předním ložiskovém štítě. K těmto svorkám se připojují rezistory, ty slouží k lepšímu rozběhu motoru, nebo k změně otáček.

ASYNCHRONNÍ STROJ

Ing. M. Bešta



Princip činnosti 3f ASM:

Po připojení statorového vinutí na 3f napětí dochází k vytvoření točivého magnetického pole uvnitř statoru, toto mg. pole se otáčí synchronními otáčkami n_s . Indukční čáry magnetického pole procházejí rotorovým vinutím a indukují v něm napětí (jde o indukční stroj). Vlivem indukovaného napětí začne procházet rotorovým vinutím proud, který rovněž vytvoří magnetické pole. Podle Lenzova zákona způsobí magnetické pole indukované proudem v rotoru točivý moment, který otočí rotorem ve směru otáčení točivého pole statoru, vzniká tzv. záběrný moment. Vlivem vzájemného působení mg. polí působí tedy na rotor mechanická síla a rotor se začne vychylovat ve směru otáčení mg. pole statoru. Postupně narůstá počet otáček rotoru a tím se snižuje relativní pohyb vodičů tvořící rotorové vinutí vůči točivému magnetickému poli statoru, snižuje se tak indukovaný proud ve vinutí rotoru a v důsledku toho se snižuje síla působící na rotor. Otáčky rotoru se ustálí na určité hodnotě, která je menší než otáčky mg. pole statoru. Počet otáček rotoru je tím větší, čím menší je zatížení rotoru. Základním pravidlem chodu ASM tedy je, že rotor nikdy nemůže dosáhnout stejných otáček, jako má točivé magnetické pole statoru. Rozdíl mezi otáčkami rotoru n_r a synchronními otáčkami mg. pole statoru n_s nazýváme **skluz s (%)**. Tento skluz se u ASM mění v závislosti na zatížení.

Výpočet skluzu:

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \cdot 100 (\%)$$

Výpočet otáček rotoru:

$$n_r = \frac{60 \cdot f}{p} \cdot (1-s) = n_s \cdot (1-s)$$

Řízení otáček ASM:

Způsobů řízení otáček u ASM je několik a všechny vychází ze vzorce pro výpočet otáček asynchronního motoru:

ASYNCHRONNÍ STROJ

Ing. M. Bešta

- 1) Změnou skluzu – lze provádět změnou napájecího napětí a u motorů s vinutou kotvou změnou odporu v obvodu rotoru. Jde o ztrátový způsob změny otáček, v moderních aplikacích se využívá velmi zřídka.
- 2) Změnou počtu pólů statoru – skokové změny otáček nevýhodou je konstrukčně složitý stator, který má několik samostatných vinutí.
- 3) Změnou frekvence napájecího napětí (současně s frekvencí, je nutno měnit i úroveň napětí). Provádí se prostřednictvím polovodičových měničů frekvence. Moderní způsob řízení otáček ASM, v poslední době nejpoužívanější.

Spouštění ASM:

Při spouštění ASM dochází k velkým proudovým nárazům, které mohou dosahovat až sedminásobek jmenovité hodnoty (u motorů s těžkým rozběhem i více) a způsobuje pokles napětí v síti. Podle normy lze připojit přímo na síť motory s maximálním výkonem 11kW (platí pro ASM s kotvou nakrátko). K omezení velikosti proudového nárazu používáme pro rozběh ASM následující postupy:

- 1) Přepínání hvězda – trojúhelník změnou zapojení statorového vinutí dochází k změně úrovně napájecího napětí v poměru $1:\sqrt{3}$ a záběrný proud se sníží o na $1/3$. Při rozběhu je vinutí statoru spojeno do hvězdy a pro skončení rozběhu se přepne do trojúhelníka. Zmenšením proudového nárazu se zároveň snižuje ve stejném poměru i záběrný moment. Při přepojení hvězda-trojúhelník dochází k zvýšení výkonu motoru, otáčky motoru zůstávají stejné! Jmenovité napětí motoru musí odpovídat napětí sítě!
- 2) Spouštění autotransformatorem – jde o změnu napájecího napětí (snížení) při rozběhu. Při spouštění nastavíme na autotransformátoru nižší napětí a poté napětí zvyšujeme na jmenovitou hodnotu.
- 3) Spouštění rozběhovou spojkou – motor se rozbíhá naprázdno (to znamená menší rozběhový proud) a po skončení rozběhu se spojkou připojí poháněné zařízení.
- 4) Odporovým spouštěčem – lze spouštět kroužkové motory s vinutou kotvou, do rotorového obvodu je připojen rezistor, jehož odpor lze v několika stupních měnit. Tím měníme velikost rotorového proudu a tím intenzitu magnetického pole vyvolaného rotorovým proudem. Při rozběhu se zapojí nejvyšší hodnota odporu a postupně se snižuje, po skončení rozběhu je odporový spouštěč odpojen a rotorové vinutí spojeno nakrátko.
- 5) Frekvenčním měničem – změnou frekvence napájecího napětí postupně zvyšujeme rychlost otáčení, moderní způsob rozběhu ASM, využívá se tam kde je zároveň požadována změna počtu otáček během provozu motoru.
- 6) Softstartérem – elektronicky (tyristory) regulovaný rozběh prostřednictvím změny efektivní hodnoty napájecího napětí. Snížením napětí se sníží i rozběhový proud.

Příkon, výkon a účinník ASM:

ASM se vzhledem k síti chová jako souměrná zátěž a jeho **příkon P_1** (činný) lze vyjádřit vztahem:

$$P_1 = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \cos\varphi$$

nebo:

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_s \cdot \cos\varphi$$

U_f, I_f – fázové hodnoty napětí a proudu;

U_s, I_s – sdružené hodnoty napětí a proudu

Výkonem se rozumí mechanický **výkon na hřídeli P_2** a vychází z účinnosti stroje:

$$P_2 = P_1 \cdot \eta$$

ASYNCHRONNÍ STROJ

Ing. M. Bešta

Účinnost motoru $\cos\varphi$:

Udává, jak velkou část zdánlivého výkonu přeměníme na činný výkon. Je definován jako poměr mezi činným a zdánlivým výkonem:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}$$

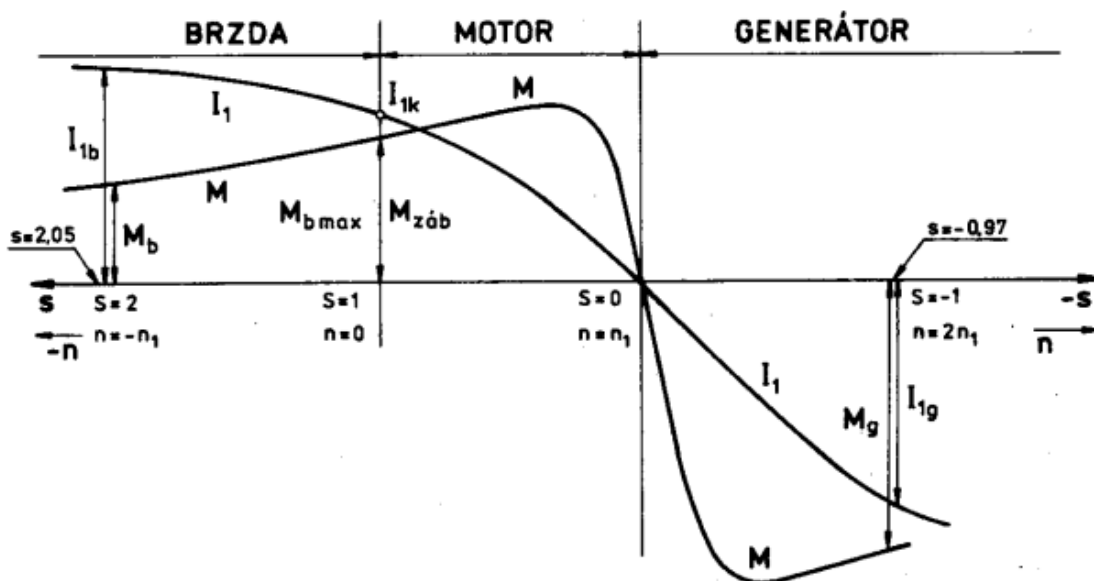
Hodnota účinnosti se pohybuje v rozmezí 0 – 1 a nízké hodnoty účinnosti znamenají velké ztráty, naopak stroj s účinností = 1 by nemohl pracovat, protože část jalového výkonu potřebujeme k magnetizaci stroje. Hodnoty účinnosti u ASM se většinou pohybují v rozmezí 0,7-0,9 při jmenovitém zatížení, nejnižší hodnotu účinnosti má motor běžící naprázdno. V podmínkách provozovatele distribuční soustavy je udržování účinnosti v rozmezí 0,95-1, abychom toho dosáhli, musíme provádět **kompensaci účinnosti**.

Některé důležité pojmy:

Lenzův zákon: *indukovaný elektrický proud v uzavřeném obvodu má takový směr, že svým magnetickým polem působí proti změně magnetického indukčního toku, která je jeho příčinou.*

Točivý (krouticí) moment: *fyzikální veličina, která vyjadřuje působení síly na bod, který je vzdálen 1m od osy hřídele zn. M jednotky Nm (Newtonmetr)*

Záběrný moment: *u točivého stroje jde o točivý moment, který je motor schopen vyvinout při rozběhu z klidového stavu, tzn. nulových otáček zn. M_z .*



Momentová charakteristika – závislost na počtu otáček a skluzu.

Režim práce asynchronního stroje:

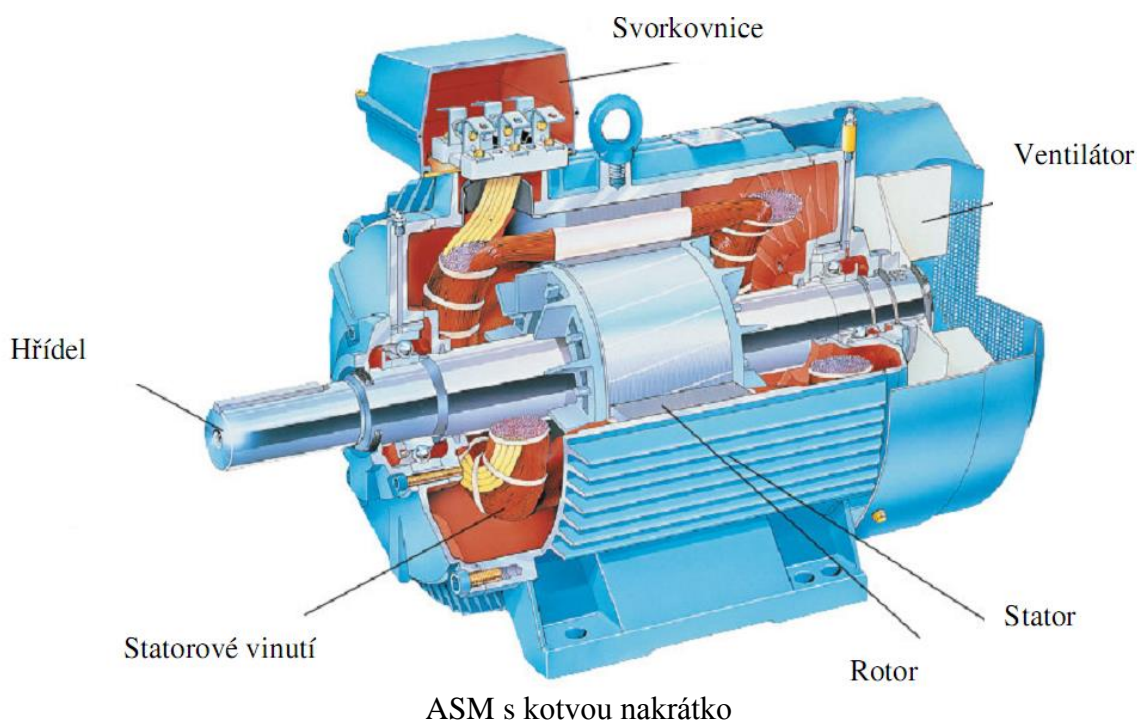
- pokud platí $n_r < n_s$ je stroj v motorickém režimu - motor
- pokud $n_r > n_s$ motor je v generátorickém režimu - generátor
- pokud je motor donucen otáčet se v opačném směru, než se otáčí mg. pole statoru pracuje v brzděném režimu – brzda.

ASYNCHRONNÍ STROJ

Ing. M. Bešta

Motor & Co GmbH	výrobce
Typ 160 l	typ AD 60
3 ~ Mot. Nr. 12345-88	D - Motor Nr. 2080
Δ 400/690 V 29/17 A	Δ 400 V 166 A
S1 15 kW $\cos \varphi$ 0,85	90 kW S3 $\cos \varphi$ 0,89
1430 U/min 50 Hz	1460 /min 50 Hz
Isol.-Kl. F IP 54 t	Izol.- Kl.B IP 44 0,6 t
IEC34-1/VDE 0530	VDE 0530 / 11.95

Štítky 3f ASM



Obrázky převzaty:

<http://www.emotor.cz/>

<http://www.eatonelektrotechnika.cz/priruckazapojeni/drives002.html>

[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/dd33e4ab21ddb6d3c125764600480aeb/\\$file/softstarter-%20handbook.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/dd33e4ab21ddb6d3c125764600480aeb/$file/softstarter-%20handbook.pdf)

Přehled konstrukce elektrických točivých strojů doc. Červený FEL skripta ZČU Plzeň