

Asynchronní a synchronní stroje

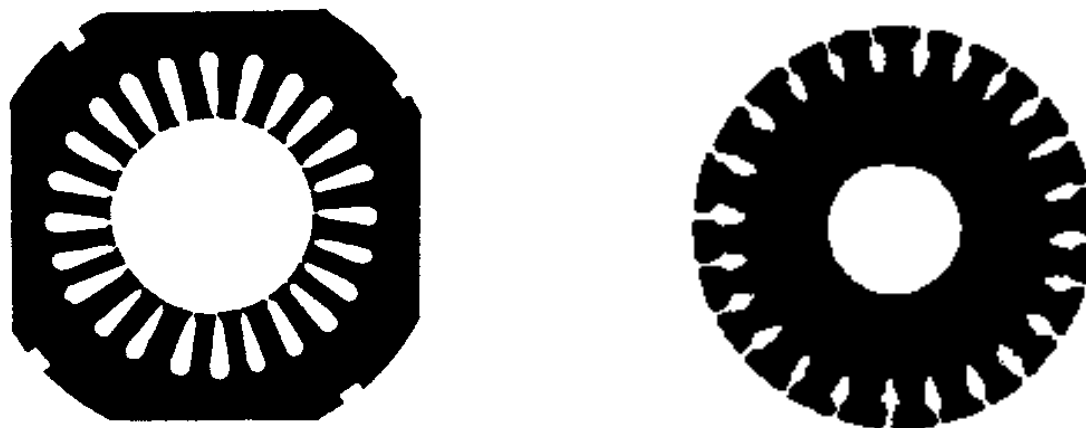
Asynchronní stroje se nejčastěji používají k pohonům, a pak se nazývají **asynchronní motory**. Asynchronní motor je nejpoužívanější, nejlevnější a přitom nejjednodušší elektrický stroj.

Asynchronní motor se skládá z:

- pevné části – **statoru**
- pohyblivé části – **rotoru**.

Stator se skládá z litinové kostry a dvou ložiskových štítů. Do kostry statoru jsou zalisovány navzájem izolované plechy s drážkami – magnetický obvod stroje. Do těchto drážek se ukládá obvykle trojfázové vinutí – *motory trojfázové*.

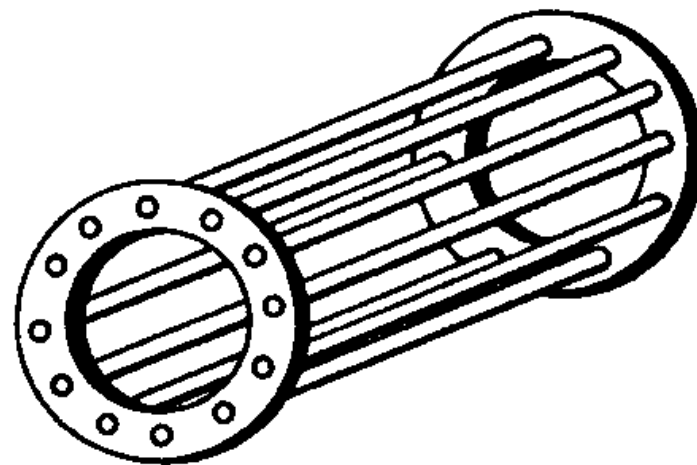
Na hřídeli **rotoru** jsou nalisovány rotorové plechy s drážkami, které tvoří druhou část magnetického obvodu. Rotor se otáčí v ložiskách, které jsou upevněny v ložiskových štítech statoru. Rotorové vinutí je realizováno dvojím způsobem. Mezi státorem a rotorem je vzduchová mezera 0.3 – 1 mm.



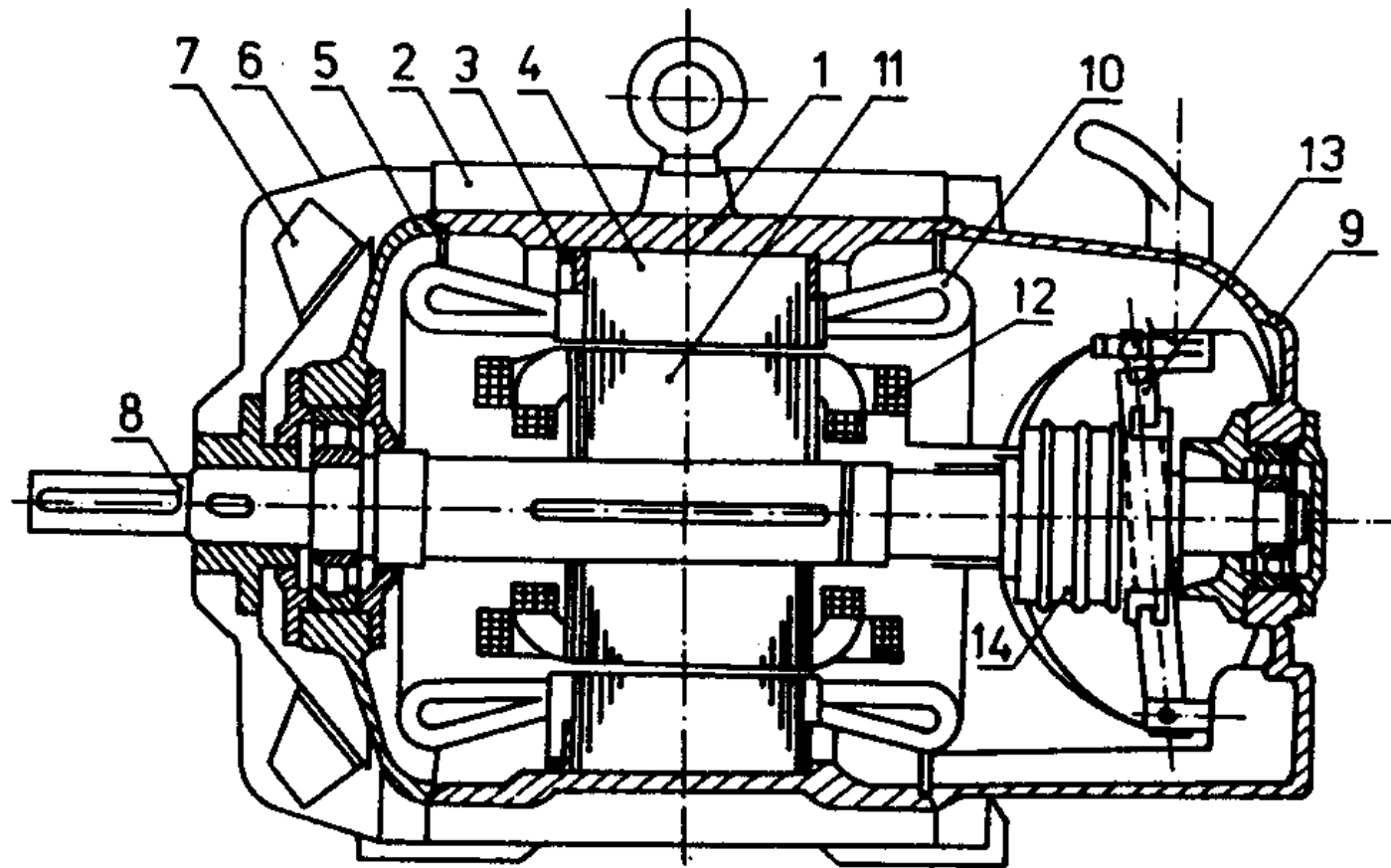
Obr.1 Tvar statorového a rotorového plechu

Je-li vinutí v drážkách rotoru uspořádáno stejně jako ve statoru, jsou vývody tohoto vinutí vyvedeny ke kroužkům – **motor kroužkový s vinutou kotvou.**

Jsou-li v drážkách rotoru umístěny neizolované tyče z hliníku či mědi nebo z mosazi a na obou čelních stranách spojeny spojovacími kruhy nakrátko, mluvíme o **motoru s kotvou nakrátko.**

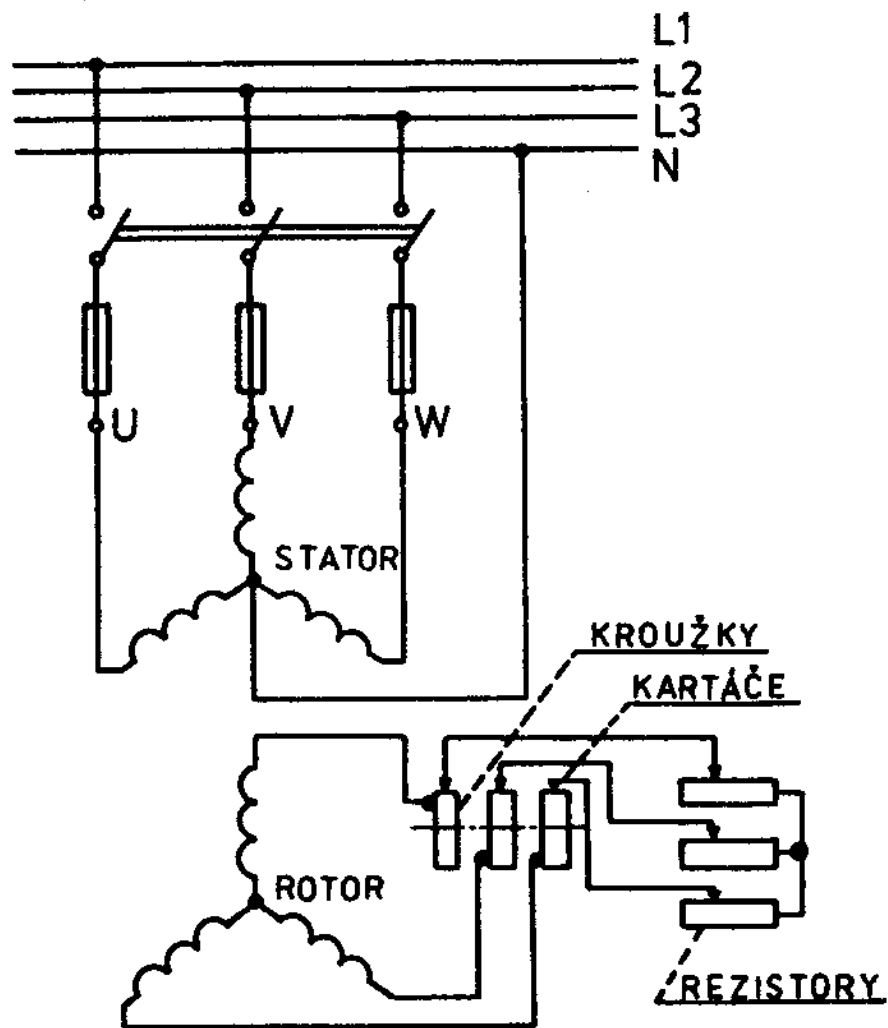


Obr.2 Rotorová klec motoru nakrátko



1 kostra, 2 žebra kostry, 3 zajišťovací péra statoru, 4 statorové plechy, 5 zadní ložiskový štít (u řemenice), 6 kryt větráku, 7 větrák, 8 hřídel, 9 přední ložiskový štít, 10 statorové vinutí, 11 rotorové plechy, 12 rotorové vinutí, 13 spojovač kroužků, 14 sběrací kroužky

Obr.3 Řez uzavřeným asynchronním kroužkovým motorem



Obr.4 Schéma připojení asynchronního kroužkového motorem k síti

Základem funkce asynchronního motoru je **točivé magnetické pole**. Trojfázové vinutí rozložené ve statoru a napájené souměrnou soustavou proudů, vytváří točivé magnetomotorické napětí a točivé magnetické pole. Pole má stálý prostorový tvar a otáčí se úhlovou frekvencí : (p je počet pólových dvojic)

$$\omega_1 = \frac{2\pi f_1}{p} .$$

Do tohoto magnetického pole, vytvořené stojícím trojfázovým vinutím statoru vložíme druhé, podobné vinutí o stejném počtu pólů, které se může otáčet. Je-li rotorové vinutí rozpojeno, neovlivňuje nijak vinutí statoru. Statorovým vinutím všech fází prochází jalový proud , zpožděný za fázovým napětím o 90° . Je to proud magnetizační, který vytvoří magnetický tok, indukující protinapětí $d\psi/dt$.

V rotorovém vinutí se indukuje trojfázové napětí o rotorovém kmitočtu:

$$f_2 = \frac{\omega_1 - \omega}{2\pi} \cdot p \quad .$$

Zavedeme-li pojem skluzu: $s = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1}$,

můžeme napsat výraz pro rotorový kmitočet: $f_2 = \frac{s \omega_1 p}{2\pi} = s f_1$.

Zapojme nyní ke sběracím kroužkům tři shodné odpory R spojené do hvězdy. Fázemi rotorového vinutí začne procházet proud o kmitočtu f_2 . Rotorové proudy vytvoří točivé magnetomotorické napětí o relativní úhlové rychlosti ω_2 vzhledem k rotoru. Jsou-li proudy ve vodičích rotoru ve fázi s indukovaným napětím (obvod má činný charakter) vzniká točivý moment, který má stejný směr, jako je směr otáčení magnetického toku.

Vzniklý mechanický moment M_{mech} na jeden závit je možné zapsat:

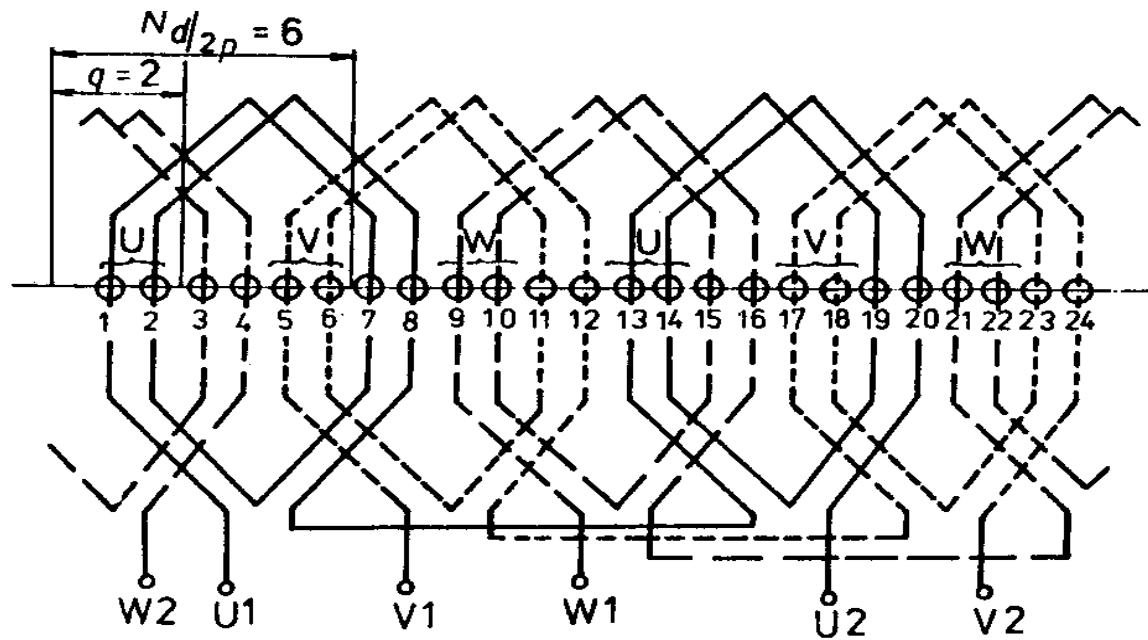
$$M_{\text{mech}} \approx \Phi I_2 \cos \varphi_2 \sin \alpha,$$

kde: Φ je magnetický tok magnetu,
 I_2 je efektivní proud indukovaný v závitě,
 φ_2 je fázový posun mezi napětím a proudem závitě,
 α je úhel mezi osou magnetického toku magnetů a osou magnetického toku Φ_2 proudu I_2 .

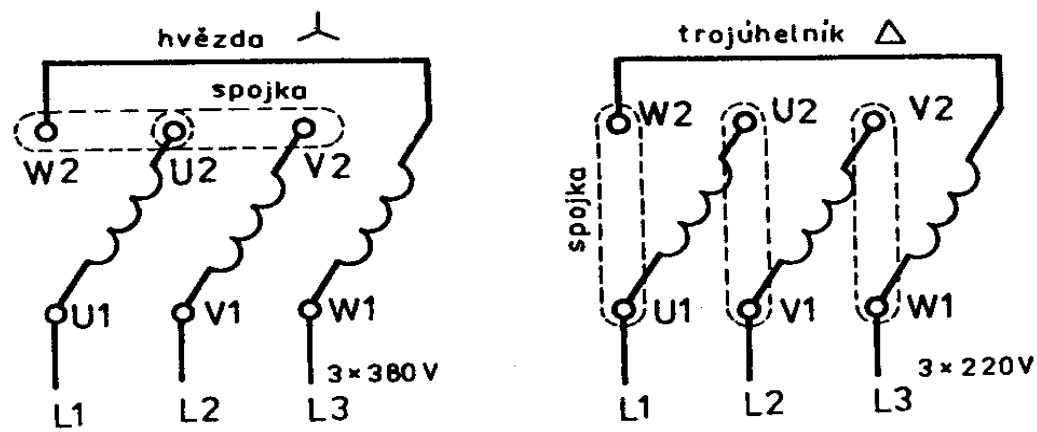
závěry:

- mechanický moment M_{mech} je tvořen pouze činnou složkou závitů (rotorový obvod musí vždy obsahovat činný odpor,
- chceme-li změnit směr otáčení rotoru, je nutné změnit směr otáčení pole, což znamená **změnit sled fází**,
- rotor se nemůže otáčet stejnými otáčkami jako pole, neboť v případě stejných otáček by se neindukovalo do vinutí rotoru napětí, netekl by jím proud a moment motoru by byl nulový \Rightarrow asynchronní motor. Mírou asynchronizmu je **skluz**,
- otáčky rotoru závisí na kmitočtu napájecího napětí a na počtu pólových dvojic, které vytváří točivé magnetické pole, pro průmyslový kmitočet 50Hz dostaneme:

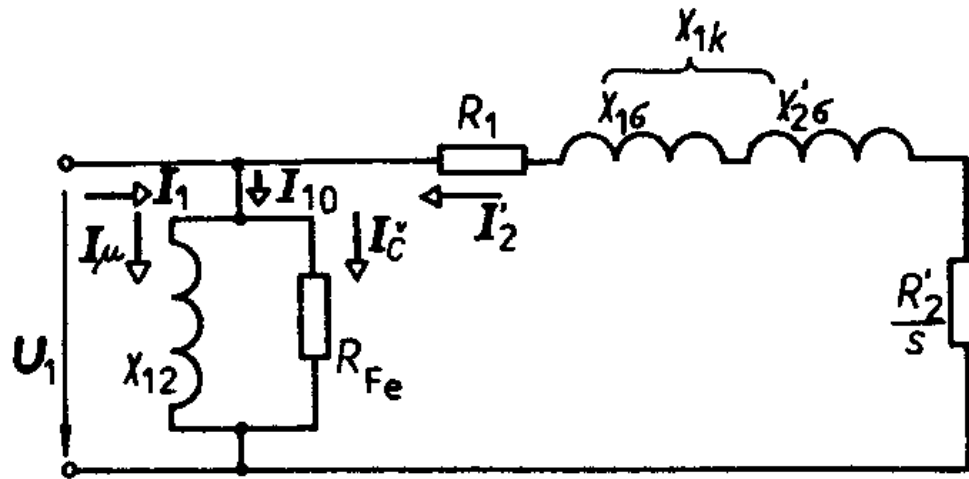
p	-	1	2	3	4	5	6
n_1	s^{-1}	50	25	16.6	12.5	10	8.3
n_1	min^{-1}	3000	1500	1000	750	600	500



Obr.5 Provedení jednovrstvového vinutí čtyřpólového asynchronního motoru



Obr.6 Svorkovnice asynchronního motoru



Obr.7 Zjednodušené náhradní schéma asynchronního motoru

Z náhradního schématu je zřejmé, že proud odebíraný ze sítě se skládá z proudu naprázdno:

- I_μ – magnetizační proud,
- I_ξ – ztráty v železe,

a upraveného proudu rotoru:

- R_1 – odpor statorového vinutí,
- X_{1K} – sloučené rozptylové reaktance statoru a rotoru,
- R'_2/s – vlastní odpor rotoru odpovídající mechanickému zatížení.

Točivý moment trojfázového asynchronního motoru M dosáhne své maximální hodnoty M_{\max} při určitém skluzu tzv. *skluz zvratu*:

$$s_{zv} = \frac{R_2'}{\pm \sqrt{R_1^2 + X_{1k}^2}}.$$

Zanedbáním odporu statorového vinutí R_1 dostaneme:

$$s_{zv} \approx \pm \frac{R_2'}{X_{1k}}.$$

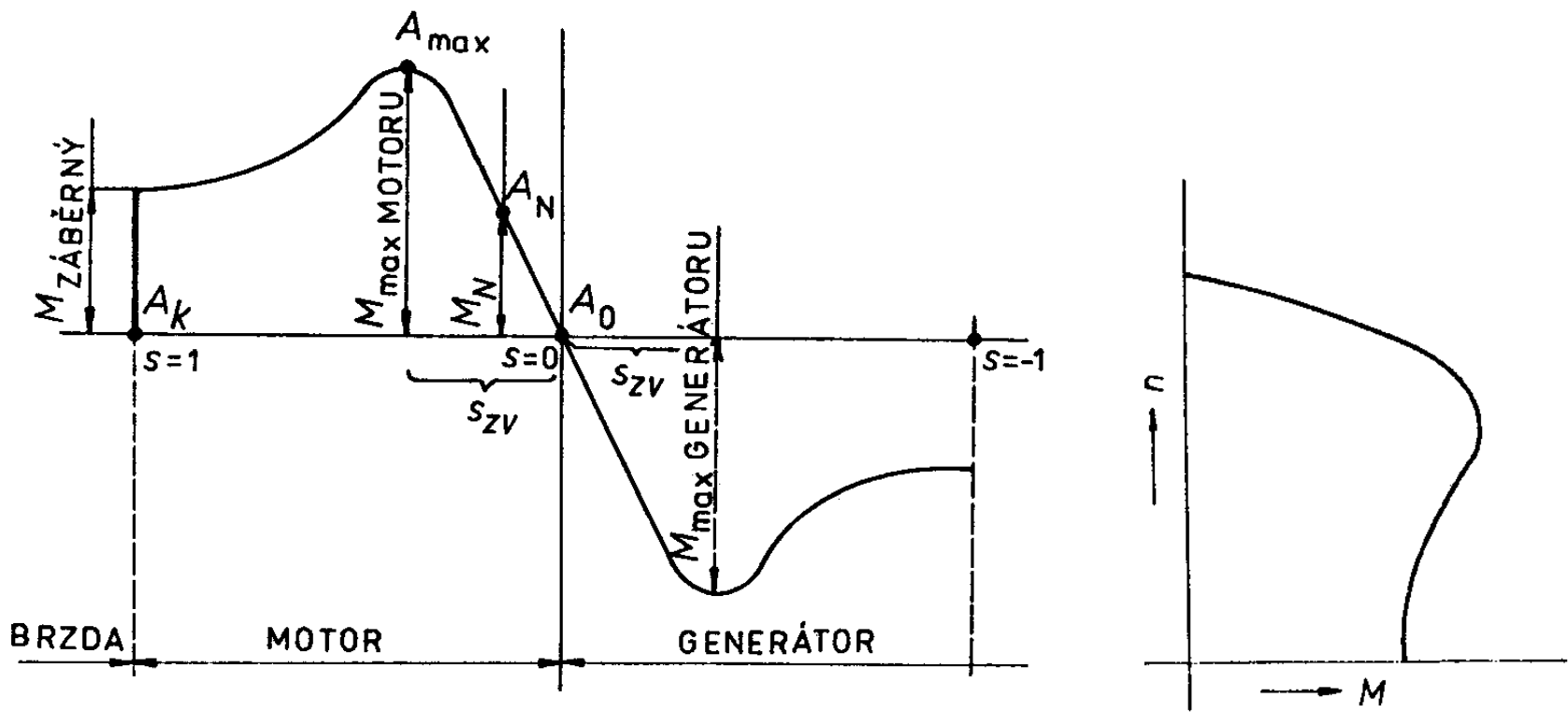
Maximální moment je možné zapsat ve tvaru:

$$M_{\max} \approx \pm \frac{3}{\omega_s} \frac{U_1^2}{2X_{1k}}.$$

Vyjádření momentu M v závislosti na M_{\max} :

$$M = M_{\max} \frac{2}{\frac{R_2'}{X_{1k}} \frac{1}{s} + \left(\frac{X_{1k}}{R_2'} \right) s}.$$

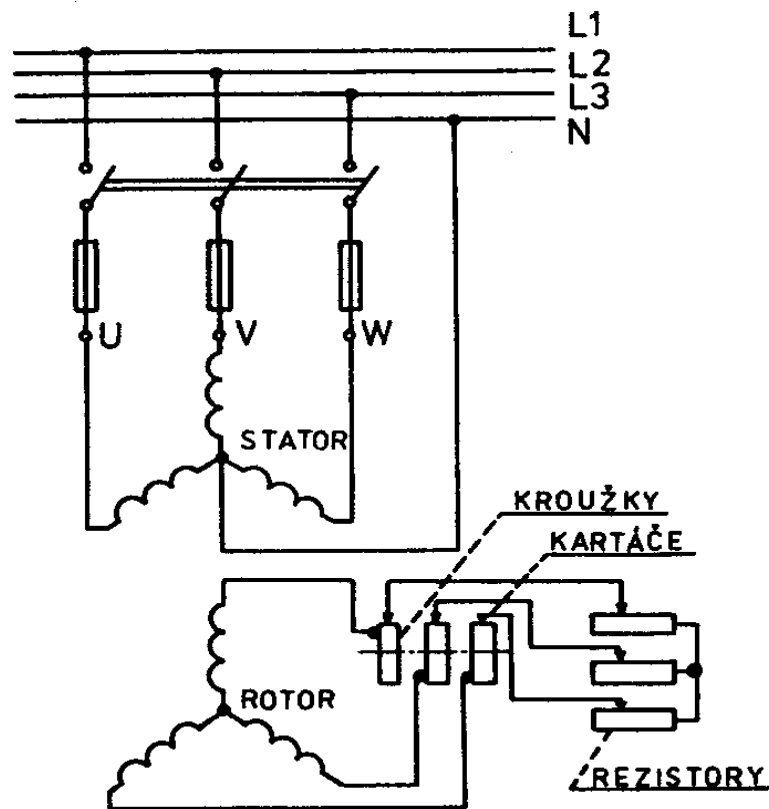
Zavedeme-li skluz zvratu, dostaneme tzv. **Klossův vztah**: $M = M_{\max} \frac{2}{\frac{s_{zv}}{s} + \frac{s}{s_{zv}}}.$



Obr.8 Momentová a otáčková charakteristika asynchronního stroje

- A_0 – chod naprázdno, otáčky odpovídají skluzu naprázdno
- A_N – odpovídá hodnotě jmenovitého zatížení (štítek motoru)
- A_{max} – největší dosažitelný moment, který je motor schopen odevzdát
- A_K – zastavení motoru, ze sítě odebírá tzv. zkratový proud.
- V oblasti A_0 až A_{max} je motor tzv. *tvrdý*,
- v oblasti A_{max} až A_K je motor tzv. *labilní*.

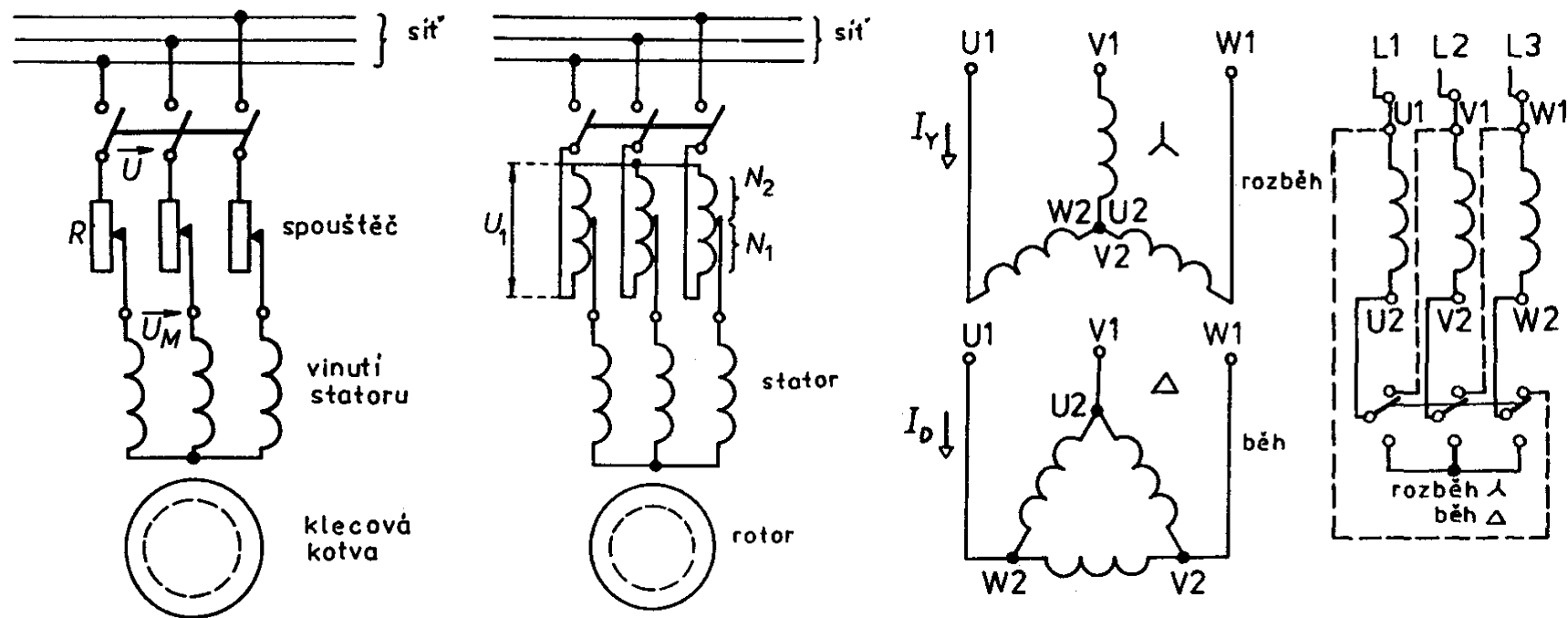
V okamžiku připojení motoru na síť, je skluz $s = 1$ a moment $M = M_z$. Motor je ve stavu nakrátko a záběrový proud je 4 - 7 krát větší než nominální hodnota. V elektrorozvodné síti lze přímým připojením spouštět jen motory, pokud při spouštění nevznikne ráz větší než 22KVA (cca. 3kW).



Obr.9 Spuštění asynchronního motoru s vinutou kotvou rotorovým spouštěčem

Omezení nárazového proudu u asynchronních motorů nakrátko s jednoduchou klecí se provádí:

- rezistorem – satorovým spouštěčem,
- autotransfornátorem,
- přepínačem hvězda – trojúhelník. (>85% nominálních otáček)



Obr.10 Spuštění asynchronního motoru s kotvou nakrátko

Další možnosti omezení nárazového proudu u asynchronních motorů nakrátko:

- spouštění polovodičovým regulátorem napětí,
- speciální úpravou rotorové klece s kotvou nakrátko:
 - motor s odporovou klecí (klec z mosazi a pod),
 - motor s dojitou klecí (horní tzv. rozběhová, spodní tzv. běhová),
 - motor s vírovou kostrou (rotor má úzké a hluboké drážky).

Brzdění asynchronních motorů:

- brzdění protiproudem – změníme směr točení pole a při nulových otáčkách motor odpojíme od sítě (nevýhoda: veškerá kinetická energie i elektrická energie se mění v teplo v rotorovém obvodu),
- brzdění generátorické – nastává jen tehdy když stroj pracuje jako generátor, toto je možné jen při $n > n_1$ a nelze je použít pro zastavení motoru,
- dynamické brzdění – stator motoru se připojí na zdroj stejnosměrného proudu, statorové vinutí vytvoří nepohyblivý magnetický tok, vzniká brzdný moment a stroj pracuje jako generátor, brzdný moment lze regulovat buď změnou stejnosměrného proudu na statoru nebo změnou odporu rotoru (jen u rotorů vinutých), při otáčkách blízkých nule je brzdný moment velmi malý.

Synchronní stroj je střídavý elektrický stroj točivý, jehož frekvence svorkového napětí je úměrná otáčkám. Synchronní stroj, který přivedenou mechanickou energii přeměňuje na energii elektrickou se nazývá **alternátor**, a naopak, stroj měnící elektrickou energii na mechanickou pracuje jako **synchronní motor**.

Synchronní motor se vyznačuje tím, že jeho otáčky se nemění se zatížením, nemění-li se frekvence přiváděného napětí.

Podle uložení **budícího systému**, které vytváří potřebné magnetické pole lze rozdělit synchronní stroje na:

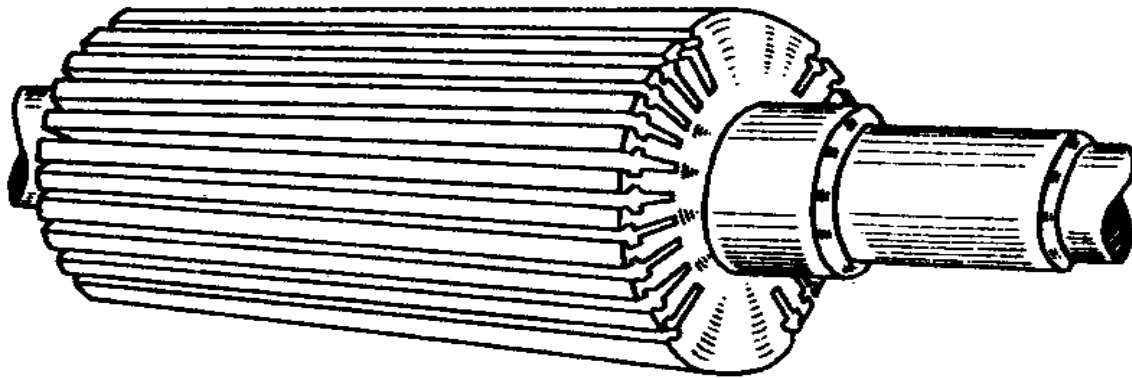
- s budícím vinutím ve statoru,
- s budícím vinutím v rotoru.

Synchronní stroj je **buzený**:

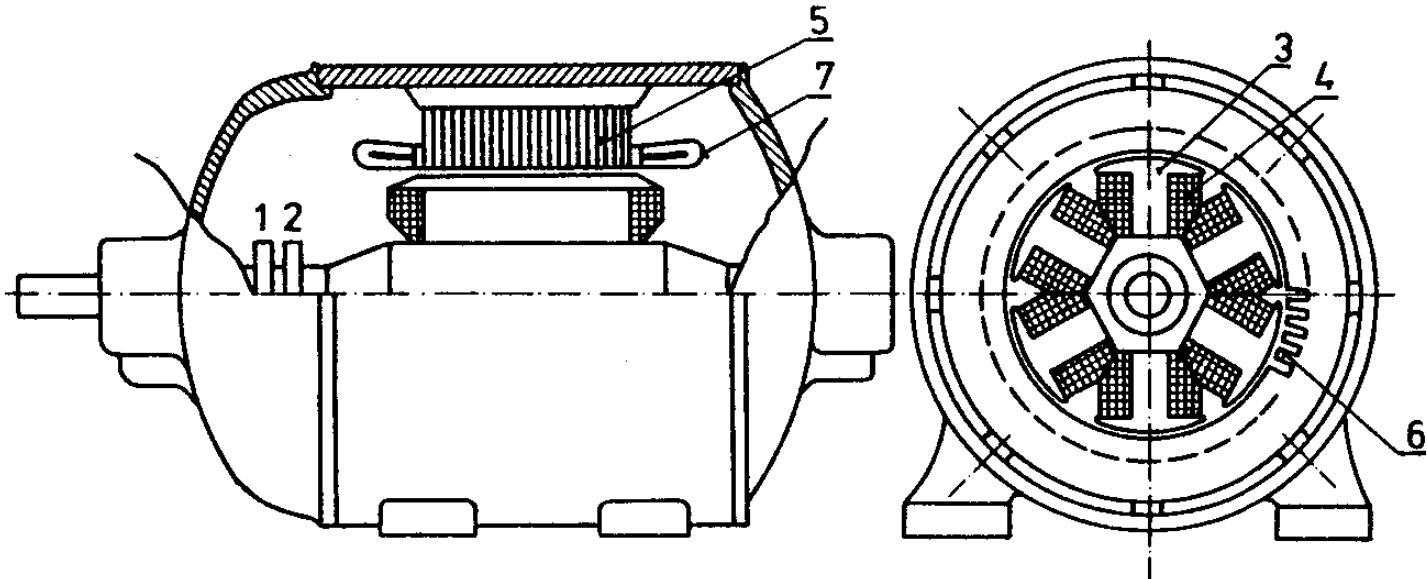
- v synchronním stoji samém – s vlastním buzením,
- z cizího zdroje – s cizím buzením.

Vztah mezi otáčkami synchronního stroje n_s a frekvencí indukovaného napětí ve statoru f je určen vztahem: $f = p n_s / 60$, kde p je počet pólpárů. Pro 50Hz jsou tyto:

$2p$	2	4	6	8	10	12
n_s	3000	1500	1000	750	600	500 atd.

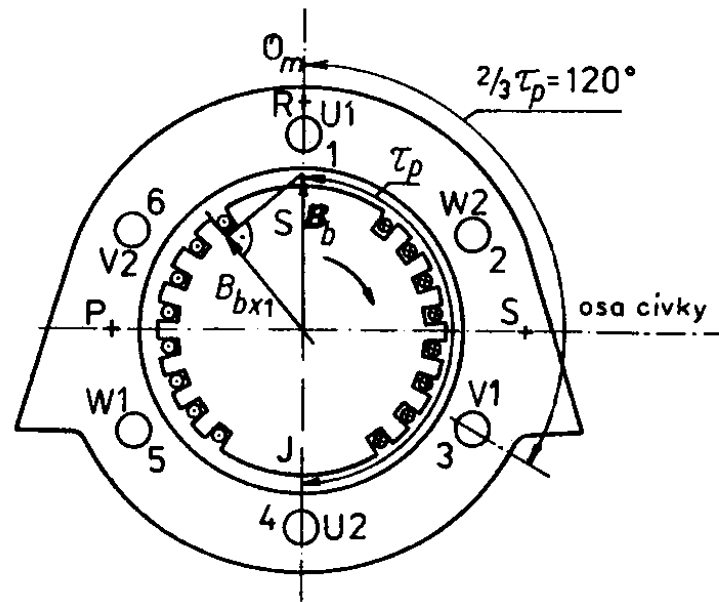


Obr.11 Rotor turboalternátoru



1, 2 kroužky budicího vinutí, 3 póly s pólými nastavci, 4 budicí vinutí, 5 železo statoru, 6 satorové plechy, 7 vinutí statoru

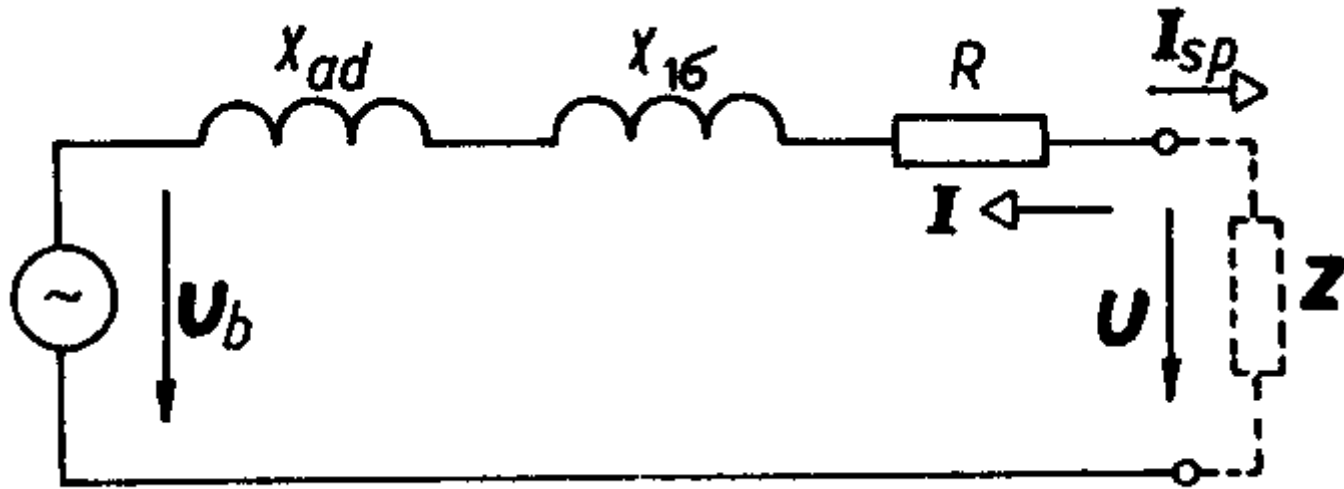
Obr.12 Alternátor s vyniklými póly



Obr.13 Uspořádání statorového vinutí fází turboalternátoru ($2p = 2$, $m = 3$)

Princip činnosti (pro turboalternátor): turboalternátor má trojfázové statorové vinutí, vinutí každé fáze je souměrné a jednotlivé cívky U, V a W jsou navzájem prostorově posunuty o 120° . Stejnoseměrný proud v budící cívkce vytvoří ve vzduchové mezeře stroje magnetické pole. Jestliže otáčíme rotorem otáčkami n , otáčí se stejnými otáčkami i magnetické pole a ve statorových cívkách se indukují harmonická napětí. Perioda indukovaného napětí odpovídá průchodu dvou sousedních pólů pod jednou cívkovou stranou.

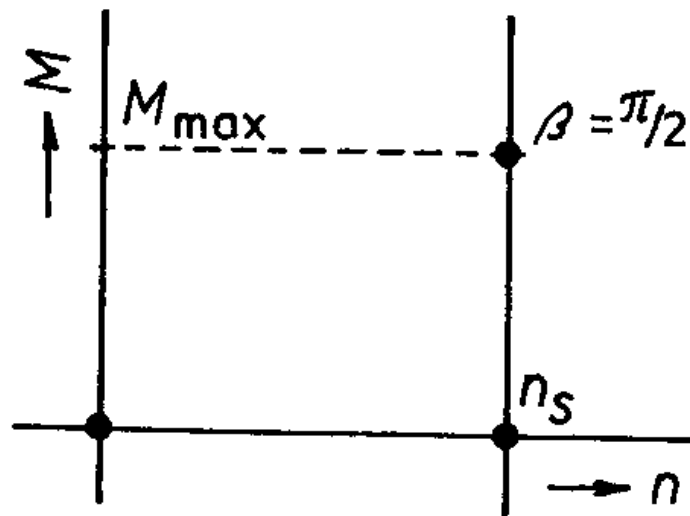
Jestliže statorovým vinutím protéká proud, vzniká tak jako u asynchronního stroje točivé magnetické pole s otáčkami n . Je zřejmé, že u synchronních strojů je kmitočet napětí v kotvě přesně určen otáčkami rotoru a naopak.



Obr.14 Náhradní schéma synchronního stroje

kde: X_{ad} – je reaktance reakce kotvy
 $X_{1\sigma}$ – je rozptylová reaktance
 R – je činný odpor vinutí kotvy

U synchronního stroje s vyniklými póly se mění vzduchová mezera po obvodu stroje a tím se mění magnetický odpor a hlavní reaktance vinutí kotvy.



Obr.15 Momentová charakteristika synchronního stroje

Z principu činnosti synchronního stroje plyne, že může pracovat pouze při synchronních otáčkách. Při vzrůstajícím zatížení stroj zvyšuje moment až do určité hodnoty M_{\max} a po překročení této hodnoty stroj tyto otáčky ztratí. Při změnách zatížení v mezích do M_{\max} se nemění otáčky, ale zátěžový úhel β (úhel mezi fázorem U_b a U). V zatíženém stavu je u alternátoru $\beta < 0$, u motoru $\beta > 0$. Velikost zátěžového úhlu závisí na buzení a zatížení stroje.

$$M = \frac{p}{\omega} U I_k \sin \beta,$$

Točivý moment je definován:

kde $I_k = U_b / X_d$ je proud nakrátko při buzení, které by vyvolalo napětí U_b .

Stabilní chod stroje je možný jen pro $0 < |\beta| < \pi/2$.

Paralelní práce synchronních strojů nastane, když je zátěž taková, že výkon jednoho alternátoru nestačí krýt spotřebu. Paralelním připojením dalších alternátorů se vytváří tzv. *tvrdá síť*. Chceme-li synchronní stroj připojit k síti, musíme splnit určité podmínky mezi sítí a alternátorem – mluvíme o *fázování synchronního stroje na síť*.

Síť je charakterizovaná vztahem : $u_1 = U_{1\max} \sin(\omega_1 t + \varphi_1)$

a stroj je charakterizován vztahem: $u = U_{\max} \sin(\omega t + \varphi)$.

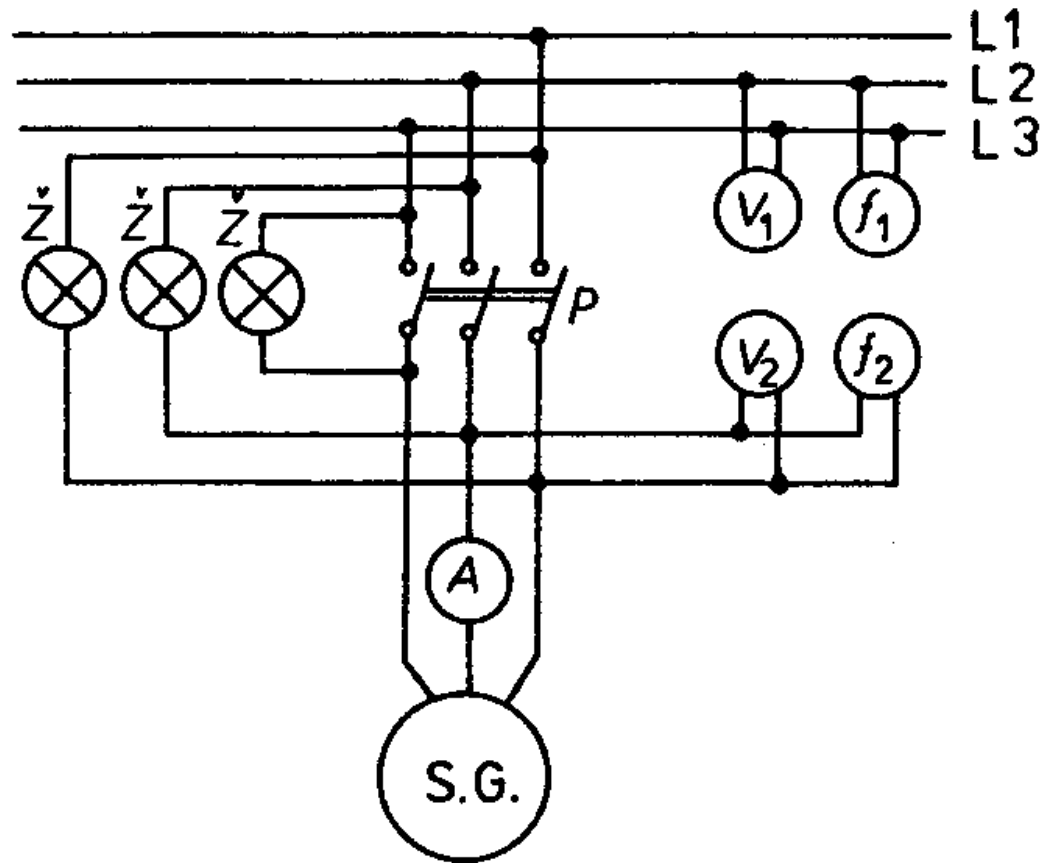
Má platit, že $u_1 = u$, potom musí být splněno:

- $U_{1\max} = U_{\max}$,
- $\omega_1 = \omega$,
- $\varphi_1 = \varphi$.

Tyto podmínky je potřeba splnit pro všechny tři fáze. Poslední podmínka je:

- Sled fází sítě a synchronního stroje musí být stejný.

Jedním z nejstarších způsobů fázování je tzv. *fázování na tmu*.



Obr.16 Zapojení voltmetrů, kmitoměrů a žárovek pro fázování na síť