

SYNCHRONNÍ STROJE

Konstrukce stroje, princip činnosti

Synchronní stroj řazen do strojů točivých jehož kmitočet svorkového napětí je přímo úměrný otáčkám a počtu pólových dvojic. Rotor se tedy otáčí synchronně s točivým magnetickým polem.

Z hlediska funkce je dělíme :

1.) Alternátory - synchronní generátory- přeměna mechanické energie na elektrickou. Jedná se o zdroje střídavého proudu.

Alternátory z hlediska provedení a použití dělíme:

a.) Turboalternátory b.) Hydroalternátory

2.) Synchronní motory - přeměna elektrické energie na mechanickou - spotřebič elektrické energie.

3.) Synchronní kompenzátory - slouží ke kompenzaci účinníku v elektrických sítích.

4.) Synchronní konvertory - měniče střídavého proudu na stejnosměrný a nebo naopak. V současnosti jsou nahrazeny polovodičovými měniči.

5.) Středofrekvenční alternátory - zdroje kmitočtu jsou rovněž v současnosti nahrazeny polovodičovými měniči.

Hlavní části synchronního stroje

1.) Stator - magnetický obvod je složen z dynamových plechů v jehož drážkách je uloženo, nejčastěji, třífázové vinutí.

2.) Rotor- pohyblivá část stroje. Magnetický obvod je tvořen soustavou pólů buď buzených stejnosměrným proudem a nebo u malých strojů jsou použity permanentní magnety. Rotor může být vyhotoven jako:

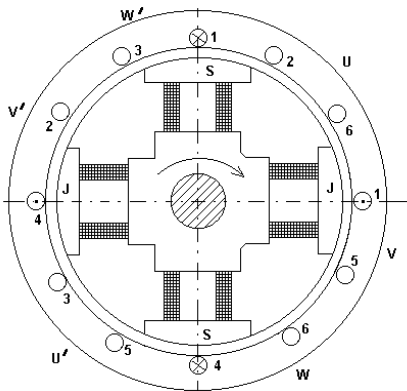
a.) hladký rotor

b.) rotor s vyniklými póly

Provedení hladkého rotoru se používá u turboalternátoru a rotor s vyniklými póly se používá u hydroalternátoru.

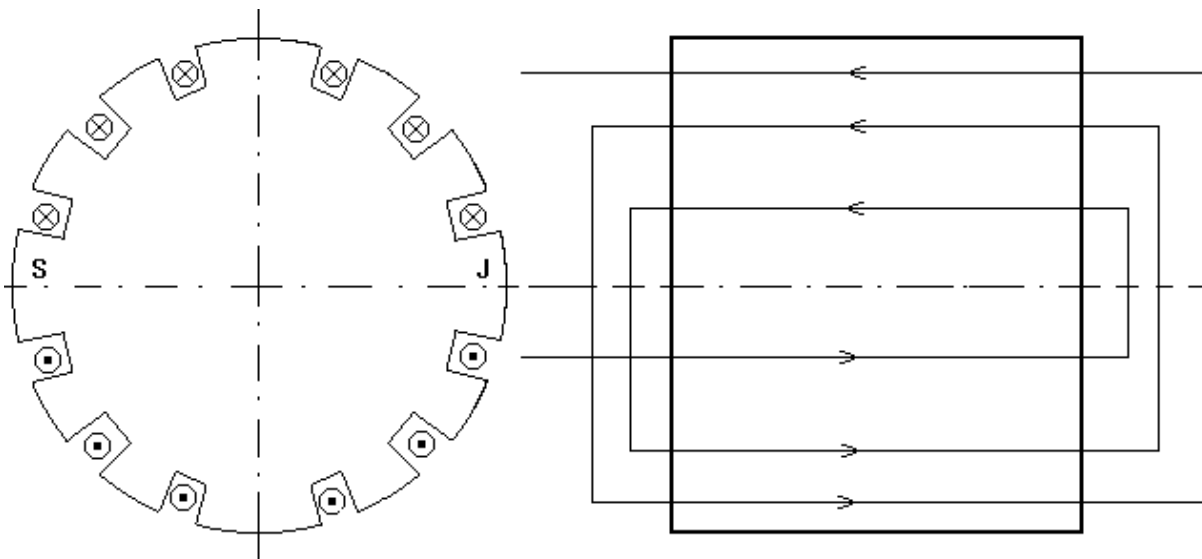
Obr.1

Synchronní stroj s vyniklými póly



obr.2

Synchronní stroj s hladkým rotorem



Rotor s vyniklými póly

Na hřídeli jsou připevněny po obvodě póly s cívkami napájenými stejnosměrným proudem. Další provedení mohou být póly permanentního po obvodě póly s cívkami napájenými stejnosměrným p magnetu. Stejnoseměrný proud odebíráme zpravidla ze zdroje stejnosměrného proudu, kterým nejčastěji bývá dynamo s paralelním buzením a nebo jiný zdroj stejnosměrného proudu. Toto dynamo nazýváme budičem. Rotory tohoto provedení jsou otáčkově omezeny z hlediska namáhání upevnění vyniklých pólů. Proto jsou alternátory tohoto typu za účelem dosažení požadované frekvence svorkového napětí charakteristické velkým počtem pólových dvojic. Za každou otáčku vykoná indukované napětí p kmitů, takže při synchronních otáčkách n_s je kmitočet dán vztahem

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

při požadovaném kmitočtu například 50 Hz se musí rotor otáčet synchronními otáčkami

Obzvláště ve vodních elektrárnách, při malých otáčkách vodních turbin, musí mít potom alternátor na rotoru velký počet pólů. Například pro 75 min^{-1} vychází pro rotor

$$p = \frac{60 \cdot f}{n_s} = \frac{60 \cdot 50}{75} = 40 \text{ pólů}$$

což je 20 pólových dvojic

Z tohoto důvodu vychází potom průměr rotoru s vyniklými póly. Délka rotoru je zase oproti rotoru hladkému menší.

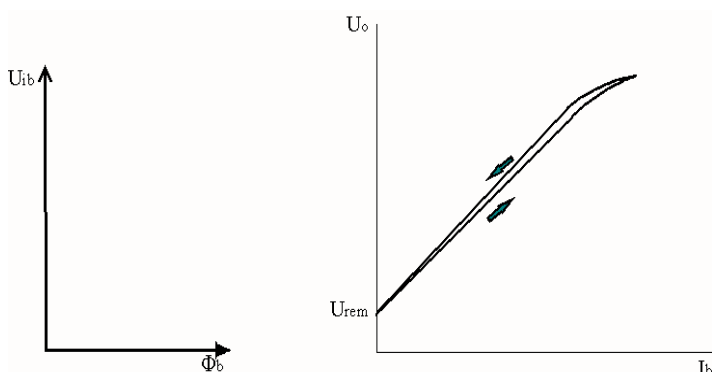
Hladký rotor

Je tvořen pevným válcem s podélnými drážkami, ve kterých je uloženo budící vinutí napájené stejnosměrným proudem. Nejčastěji je vyhotoven s jednou, případně dvěma, pólovými dvojicemi. Protože tyto alternátory jsou charakteristické poměrně vysokými otáčkami, vinutí v drážkách rotoru musí být zajištěno proti uvolnění vlivem odstředivých sil. Tyto alternátory se používají v tepelných elektrárnách, kde hnacími stroji jsou parní turbíny. Jsou charakteristické, poměrně ke svému výkonu malým průměrem, ale větší délkou. Výkony těchto alternátorů se dnes pohybují ve stovkách až tisících MW.

Chod naprázdno

Synchronní stroj pracuje naprázdno tehdy, jestliže v případě generátoru není z něho odebírán žádný výkon a proud dodávaný do sítě je tedy roven nule. V případě motoru odpovídá stav naprázdno tehdy, jestliže z něho neodebíráme žádný mechanický výkon mimo krytí mechanických ztrát. Indukované napětí U_{ib} předbíhá magnetický tok o 90° .

Fázorový diagram chodu naprázdno a charakteristika naprázdno



Charakteristika je zpočátku lineární a pak se zakřivuje vlivem sycení. Část mag.obvodu je magnetována stejnosměrně, na charakteristice se tedy projeví *hystereze* (liší se vzestupná a sestupná větev) a remanence (i při $I_b = 0$ se remanentní indukci indukuje do statoru malé *remanentní* napětí).

Reakce kotvy

U elektrických strojů rozumíme *kotvou* tu část stroje, do které je indukováno napětí. U strojů asynchronních jsme dle této definice nazývali kotvou rotor. U strojů synchronních je napětí indukováno do statoru, kotvou je tedy stator.

Jestliže zatížíme stator (na této úrovni výkladu vždy předpokládáme symetrické zatížení), protékající proud vytvoří točivé pole, které se sečte s tokem rotoru ve výsledné pole. Toto pole pak nazýváme *pole reakce kotvy* a značíme ho Φ_a .

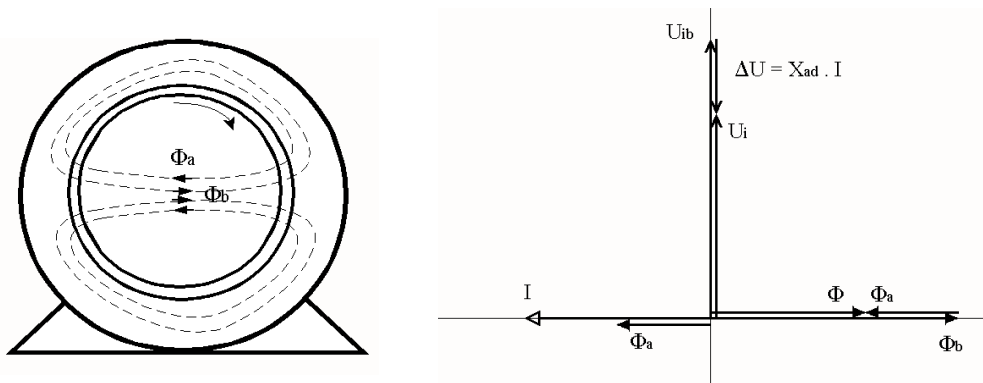
Reakcí kotvy rozumíme vliv statorového pole na celkové pole stroje.

Velikost pole reakce kotvy Φ_a závisí na velikosti statorového proudu, fázové natočení proti Φ_b pak závisí na fázovém posunu proudu vyvolaném druhem zátěže. Výsledné pole je pak dáno *fázorovým* součtem obou polí.

$$\vec{\Phi} = \vec{\Phi}_b + \vec{\Phi}_a$$

Skutečné indukované napětí stroje odpovídá výslednému toku Φ , reakce stroje tedy významně ovlivňuje stav stroje při různé zátěži.

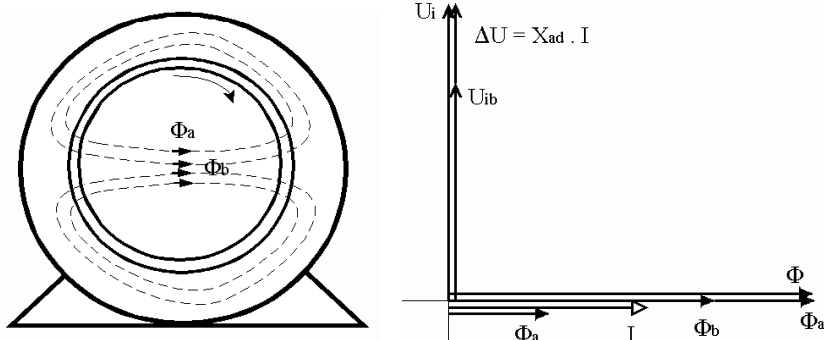
Příklad zatížení synchronního generátoru čistě induktivní zátěží, polohu toků lze odvodit z fázorového diagramu :



Vydeme z diagramu pro stav naprázdno ($U_{ib} - \Phi_b$). Jestliže zatížíme generátor čistě induktivní zátěží, musí se chovat jako kapacita, aby do zátěže dodal potřebný jalový výkon. Státorem začne procházet proud, který předbíhá napětí o 90° . Tento proud vytvoří tok Φ_a a součet tohoto toku s Φ_b dá celkový tok stroje Φ , který je menší než původní tok Φ_b . Výsledkem je snížení indukovaného napětí o úbytek ΔU . Tento úbytek předbíhá proud o 90° , jedná se o úbytek na induktivní reaktanci, která odpovídá toku reakce kotvy a proto ji nazýváme *reaktance reakce kotvy* X_{ad} .

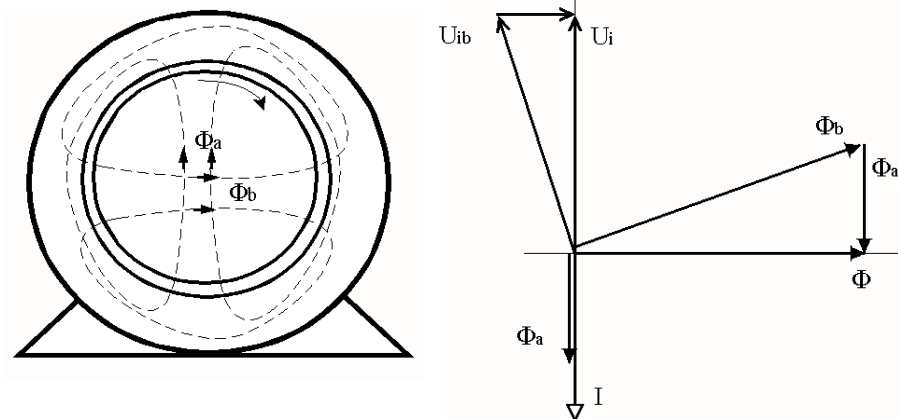
V případě induktivní zátěže reakce kotvy odbuzuje stroj.

Kapacitní zátěž :



Reakce stroje stroj přibuzuje, na svorkách stoupá napětí (vedení naprázdno může v praxi představovat kapacitní zátěž)..

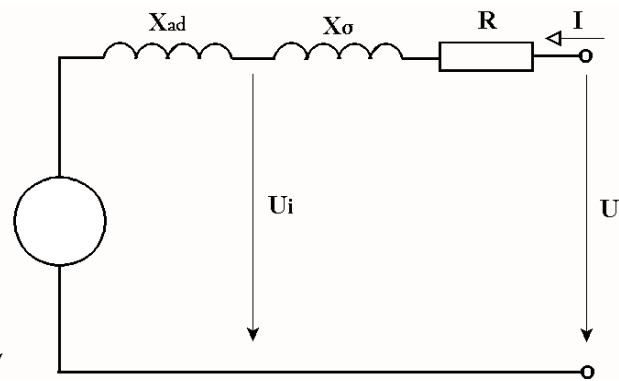
Odporová zátěž :



Reakce kotvy zde ovlivňuje celkové pole „příčně“.

Náhradní schéma stroje

Synchronní stroj se chová tak, jakoby byl zdroj s napětím U_{ib} , které lze ovlivnit jen napětím a otáčkami, připojen k vnějšímu obvodu přes reaktanci reakce kotvy, rozptylovou reaktanci a činný odpor statorového vinutí.



Velikosti jednotlivých prvků obvykle vyjadřujeme v procentech *jmenovité impedance stroje*, která je dána poměrem jmenovitých fázových hodnot napětí a proudu $X_n = \frac{U_{nf}}{I_n}$. Orientační velikosti prvků :

R	1-5 %
X_σ	15-30%
X_{ad}	100-200%

Při volbě kladných smyslů napětí a proudu je opět použit spotřebitelský systém, tj. volíme smysly tak, jakoby se stroj choval jako motor. Pokud stroj bude v motorickém režimu, pak bude činná složka proudu ve fázi se svorkovým napětím, pokud se bude jednat o generátor, pak bude tato činná složka v protifázi.

V pravé smyčce obvodu platí rovnice

$$\bar{U} = \bar{U}_i + R \cdot \bar{I} + j \cdot X_\sigma \cdot \bar{I}$$

V levé smyčce pak platí

$$\bar{U}_i = \bar{U}_{ib} + j \cdot X_{ad} \cdot \bar{I}$$

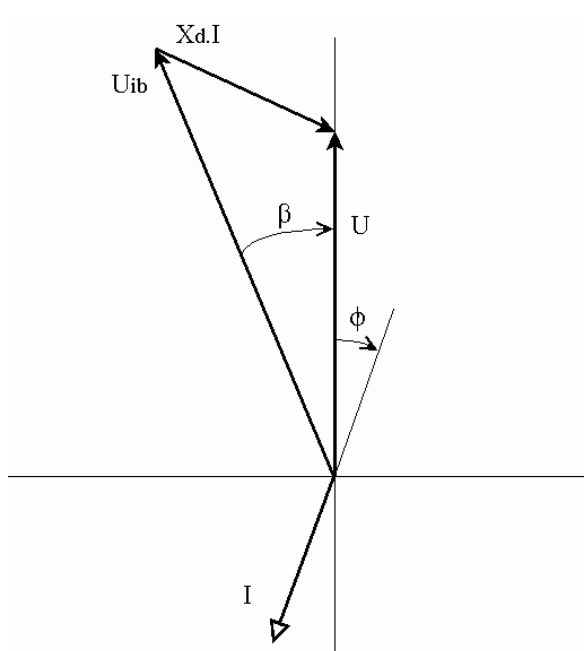
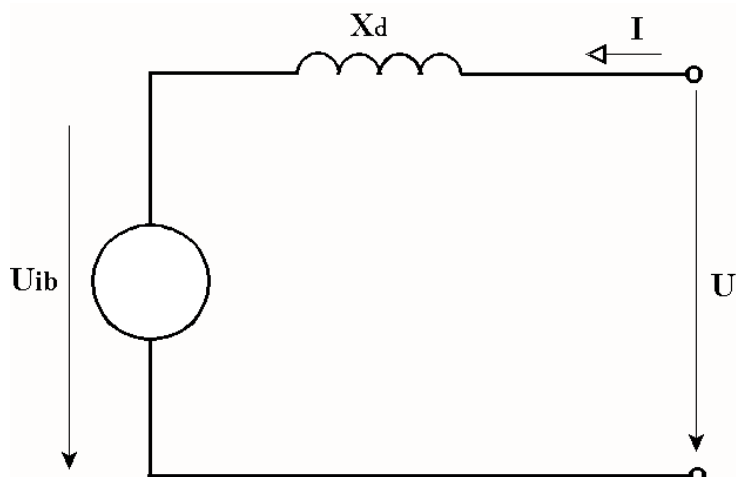
Při kreslení fázorového diagramu předpokládáme znalost velikosti fázorů svorkového napětí a proudu a jejich fázového posunu ϕ .

Zde se jedná o generátor, který napájí zátěž induktivního charakteru. Činná složka proudu pak bude v protifázi se svorkovým napětím U, jalová složka proudu bude kapacitního charakteru, aby generátor dodával jalový výkon do zátěže. Fázor U umístíme do kladné svislé osy, proud I bude ležet ve 3.kvadrantu.

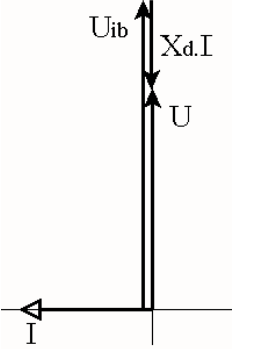
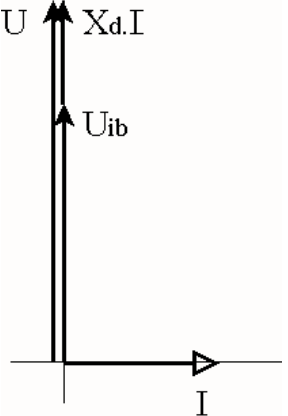
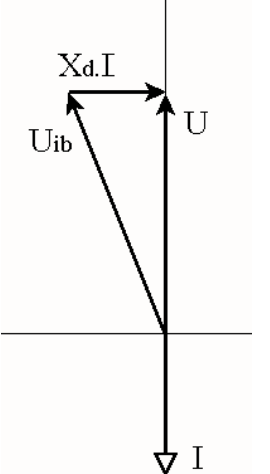
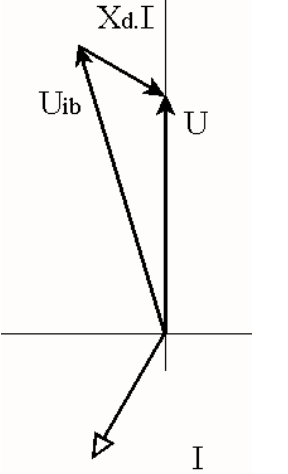
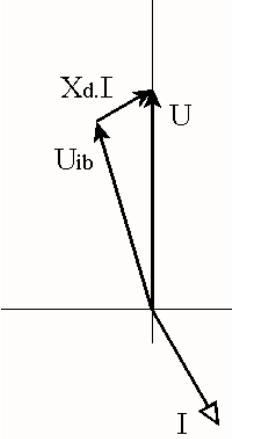
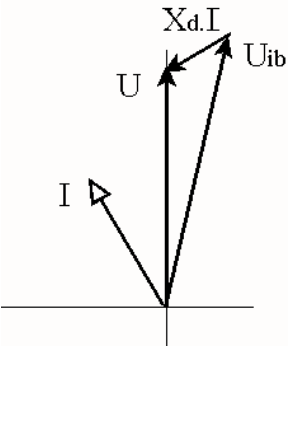
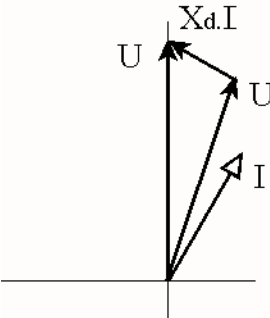
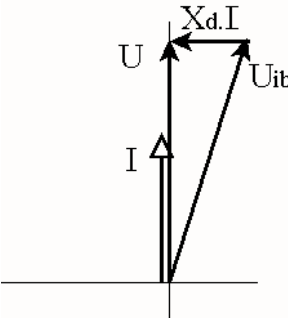
Úhel β se nazývá *zátěžný úhel*. Jeho význam bude vysvětlen později.

Z velikosti prvků náhradního schématu vyplývá, že činný odpor stroje je z hlediska napěťových poměrů zanedbatelný a lze jej v náhr.schematu vynechat. Reaktance stroje lze sloučit do jediné *synchronní reaktance* X_d .

Zjednodušené náhradní schéma a jeho fázorový diagram má pak následující tvar :



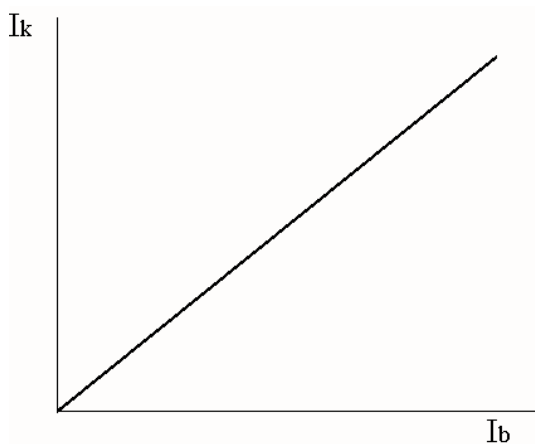
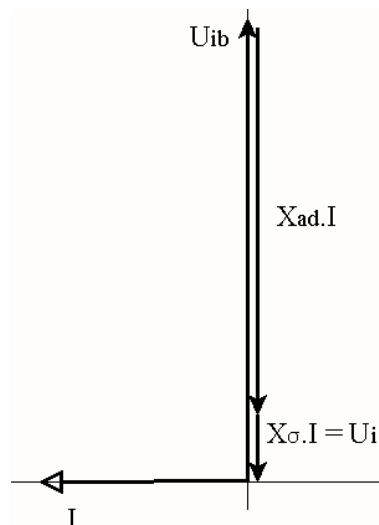
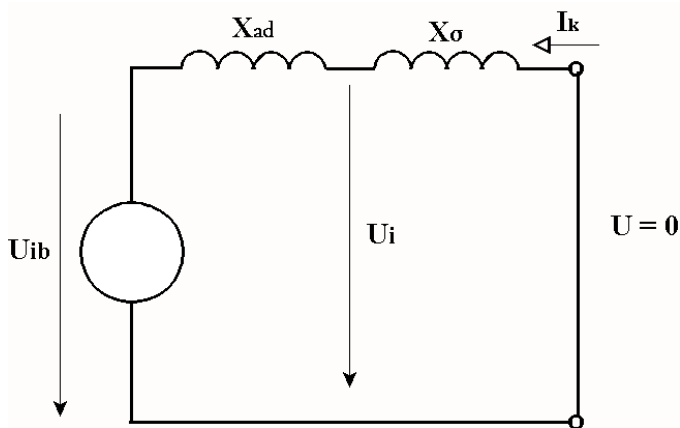
Stavy stroje a jejich fázorové diagramy

<p><i>Generátor s čistě indukční zátěží</i></p>		<p><i>Generátor s čistě kapacitní zátěží</i></p>	
<p><i>Generátor s čistě činnou zátěží</i></p>		<p><i>Generátor se zátěží ind.charakteru</i></p>	
<p><i>Generátor se zátěží kap.charakteru</i></p>		<p><i>Přebuzený motor</i></p>	
<p><i>Podbuzený motor</i></p>		<p><i>Motor s cos phi = 1</i></p>	

Stav nakrátko

Stav nakrátko je stav generátoru při zkratovaných výstupních svorkách, sledujeme stav stroje při *pomalých* změnách (změny probíhají ve značně delších časech než jsou časové konstanty přechodových dějů)

Pro analýzu stavu nakrátko je třeba použít náhr.schéma s oddělenými reaktancemi X_{ad} a X_{σ} .



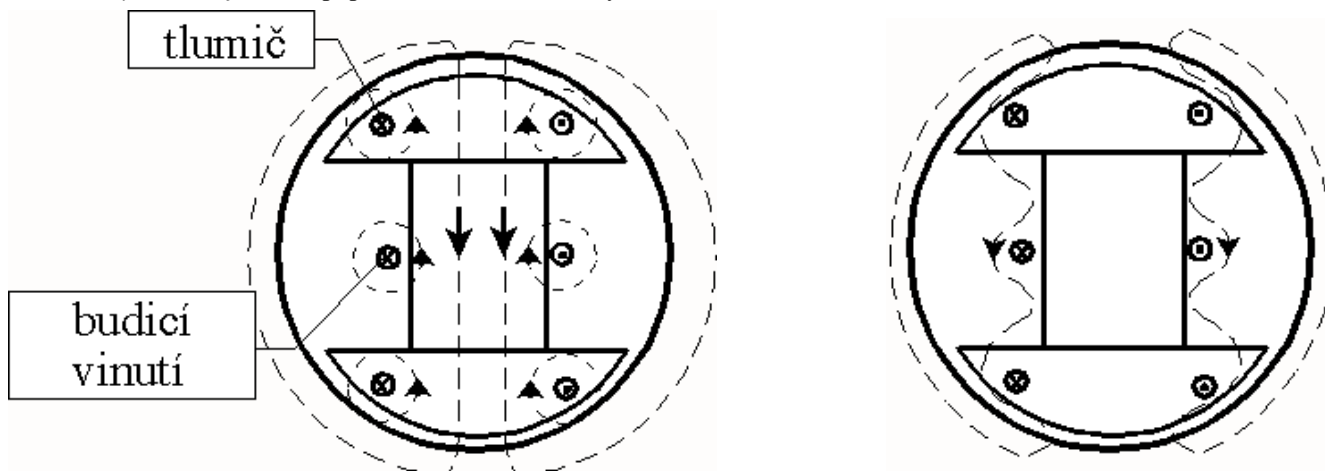
Reakce kotvy ve stavu nakrátko značně odbuzuje stroj, výsledný tok stroje je velmi malý, indukované napětí je dáno pouze rozptylovým tokem. Charakteristika nakrátko $I_k=f(I_b)$ je lineární, stroj se nedostane do oblasti sycení.

Zkrat

Zkratem rozumíme náhlé galvanické spojení výstupních svorek. Ve stroji dojde k přechodným jevům, po odeznění těchto jevů přejde stroj do stavu naprázdno.

Při zkratu je proud omezen pouze reaktancemi stroje, vliv odporu je bezvýznamný. Fázový posun indukovaného napětí a proudu je 90° , stroj je v podélné poloze, reakční tok plně zabírá s budicím vinutím. Při zkratu se značně zvýší proud kotvy a tím i reakční tok. Tato změna naindukuje do budicího vinutí napětí, a protože je toto vinutí uzavřeno přes budič, vyvolá toto napětí průchod proudu, který se snaží dle Lencova zákona působit proti této změně. Výsledkem je vytlačení toku do vzduchových cest a značné snížení synchronní reaktance na hodnotu *přechodné reaktance* X'_d .

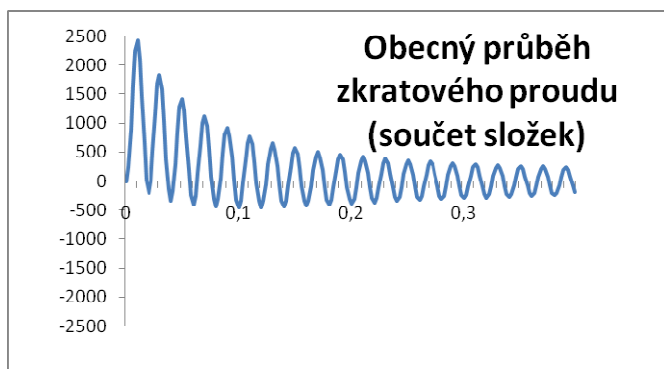
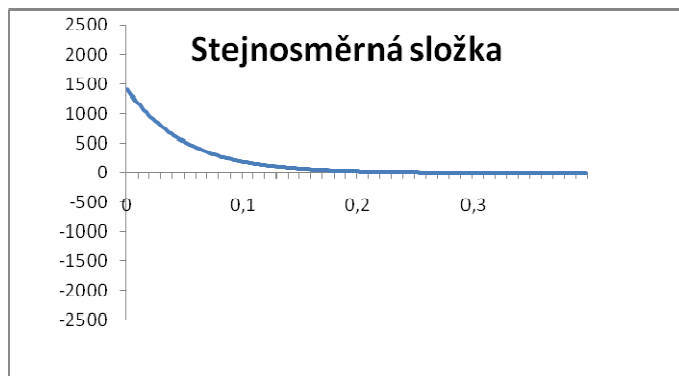
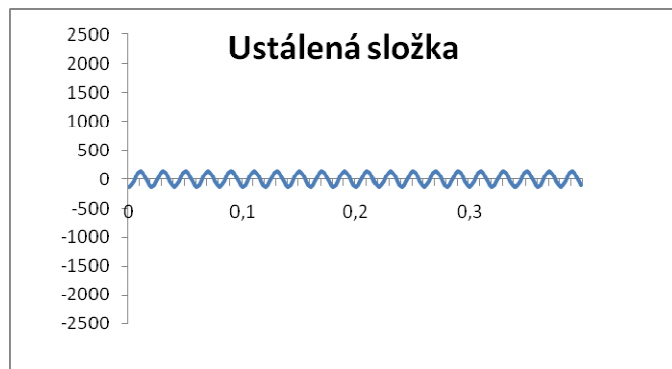
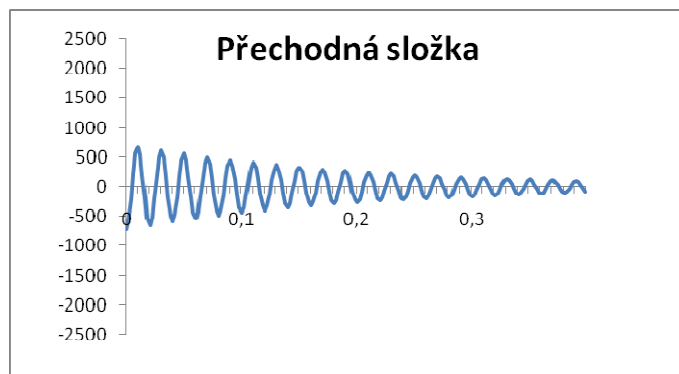
K podobnému jevu pak dojde i v oblasti *tlumiče*. Tlumič je konstrukčně kotva nakrátko umístěná v pólových nástavcích a slouží k tlumení *kývání stroje* (bude popsáno v dalším textu). Synchronní reaktance se tak dále zmenší na hodnotu *rázové reaktance* X''_d .



Magnetický tok se postupně vrací do magnetického obvodu, reaktance stroje stoupá a proud se postupně exponenciálně snižuje, až se ustálí na hodnotě proudu nakrátko.

Zkratový proud lze rozložit na 4 složky :

- Rázová složka – periodická složka, která závisí na přechodných jevech v oblasti tlumiče, zaniká exponenciálně s krátkou časovou konstantou řádově setiny vteřiny.
- Přechodná složka - periodická složka, která závisí na přechodných jevech v oblasti budícího vinutí, zaniká exponenciálně s časovou konstantou řádově desetiny vteřiny.
- Ustálená složka – periodická složka s konstantní amplitudou, tento proud protéká vinutím po odeznění proměnných složek (proud nakrátko).
- Stejnoseměrná složka – vývin závisí na okamžiku zkratu, upravuje celkový průběh proudu tak, aby vycházel z hodnoty proudu v okamžiku zkratu. Souvisí s energií mag.pole v mag.obvodu v okamžiku zkratu. Zaniká exponenciálně s časovou konstantou řádově setiny vteřiny.

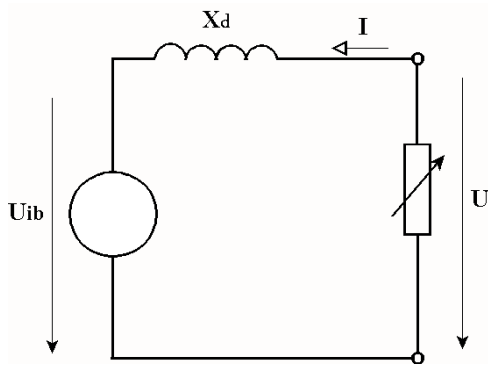


Předpokládáme-li zkrat z chodu naprázdno a zanedbáme-li odpory, pak se stejnosměrná složka nevyvine pouze v případě, kdy je napětí v maximu a proud by - s fázovým posunem 90° při zkratu - vycházel z nuly. K maximálnímu vývinu ss složky tedy dojde, jestliže zkrat nastane v okamžiku $u = 0$. Tento stav je třeba uvažovat při kontrole dynamických (silových) účinků zkratu, v první půlmině dosáhne zkratový proud nejvyšší možné okamžité hodnoty (počáteční rázový proud I''_{ko}).

Řešená rovnice :

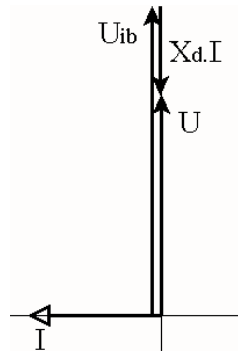
$$i = \sqrt{2} \cdot U_{ib} \cdot \left[\left(\frac{1}{x_d''} - \frac{1}{x_d'} \right) \cdot e^{-\frac{t}{T_d''}} + \left(\frac{1}{x_d'} - \frac{1}{x_d} \right) \cdot e^{-\frac{t}{T_d'}} + \frac{1}{x_d} \right] \cdot \cos(\omega t + \alpha_0) - \frac{\sqrt{2} \cdot U_{ib}}{x_d''} \cdot \cos \alpha_0 \cdot e^{-\frac{t}{T_{ss}}}$$

Samostatně pracující generátor



Uvažujeme osamocený synchronní generátor, který má na svorkách proměnnou zátěž s konstantním účinnkem. Budicí proud se nemění, napětí U_{ib} je konstantní, nemění se otáčky a tím ani frekvence. Hledáme závislost $U = f(I)$, tedy zatěžovací charakteristiku generátoru.

Čistě induktivní zátěž :

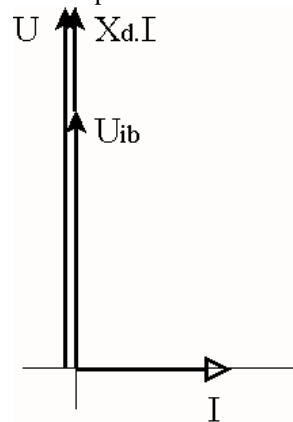


Pro velikost napětí platí vztah

$$U = U_{ib} - X_d \cdot I$$

Svorkové napětí lineárně klesá se zatížením.

Čistě kapacitní zátěž :



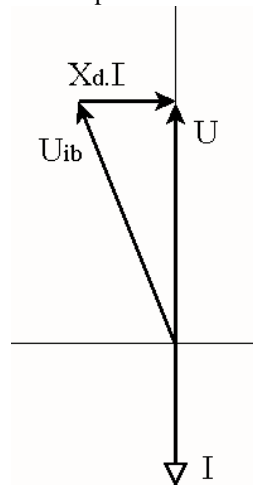
3

Pro velikost napětí platí vztah

$$U = U_{ib} + X_d \cdot I$$

Svorkové napětí lineárně stoupá se zatížením

Čistě odporová zátěž :

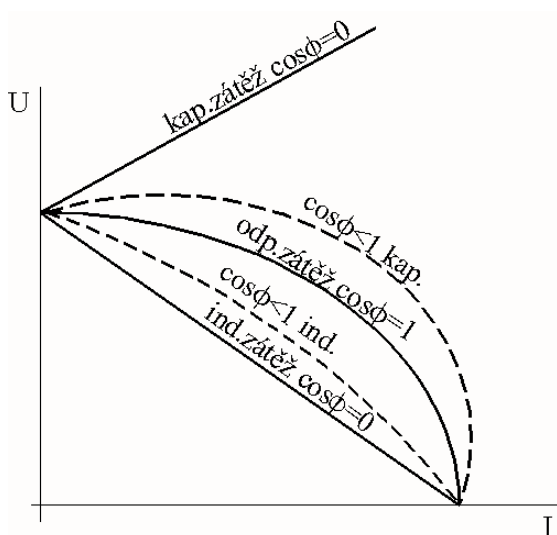


Platí

$$(X_d \cdot I)^2 + U^2 = U_{ib}^2$$

což je v osách U a I rovnice elipsy, napětí na svorkách klesá podle této křivky.

Grafické znázornění výsledků :



Změna napětí závisí na charakteru zátěže i její velikosti. Kapacitní zátěž stroj přibuzuje, napětí stoupá, induktivní zátěž stroj odbuzuje, napětí klesá.

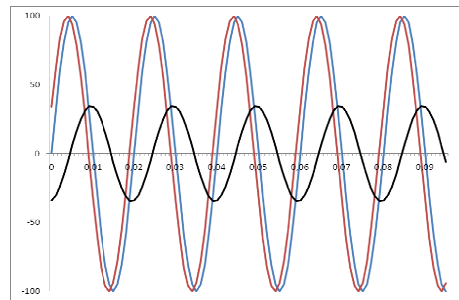
Pokud bychom při dané zátěži zvýšili moment na hřídeli (např. zvýšili přívod páry do turbíny), zvýšily by se otáčky, s tím i frekvence, napětí, proud i výkon.

Fázování

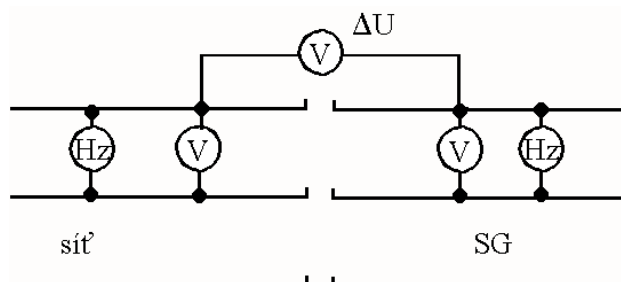
Fázování je připojení synchronního stroje na tvrdou síť bez proudového rázu. Absolutně tvrdou sítí rozumíme trojfázový systém s konstantním napětím a frekvencí.

Jestliže chceme spojit 2 točivé systémy, nesmí mezi nimi být žádný rozdíl napětí. Lze toho dosáhnout splněním 4 podmínek :

1. Stejný sled fází – systémy mají stejný smysl otáčení. Při nesouhlasu sledu je třeba zaměnit 2 fáze na jedné straně.
2. Stejná frekvence – oba systémy se točí stejně rychle. Frekvence synchronního stroje se nastavuje otáčkami.
3. Stejně napětí. Napětí synchronního stroje lze měnit budícím proudem.
4. Stejný fázový posun – sinusové průběhy napětí se překrývají. Pokud nesouhlasí fáze, je třeba synchronní stroj urychlit (zpomalit) a po dosažení shody opět zpomalit (urychlit) na shodnou frekvenci. Na obrázku vpravo je znázorněn průběh rozdílového napětí při chybě fáze 20° .



V laboratorních podmínkách lze kontrolovat plnění podmínek 2.-4. podle tohoto schématu :



Synchronní stroj na tvrdé síti

Po ideálním přifázování stroje na síť neprotéká mezi sítí a strojem žádný vyrovnávací proud. Ve skutečnosti ale vždy určitý proud protéká, přifázování není nikdy naprosto přesné a na sinusovka průběhu napětí stroje nemusí být z různých důvodů ideální.

Na tvrdé síti lze stroj řídit budícím proudem a momentem na hřídeli, na svorkách je konstantní napětí a frekvence sítě.

Začneme-li po přifázování stroje snižovat budící proud, sníží se vnitřní napětí U_{ib} a rozdíl napětí způsobí průchod proudu.

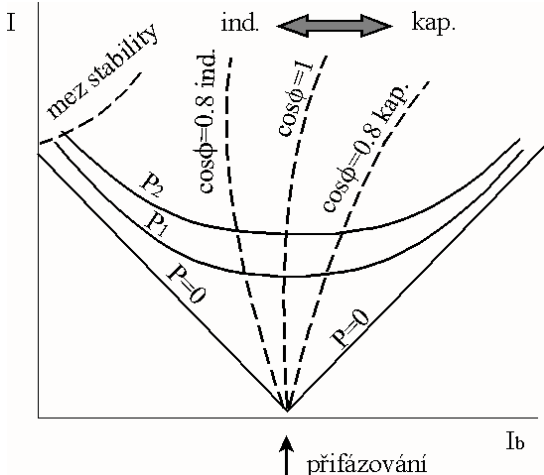
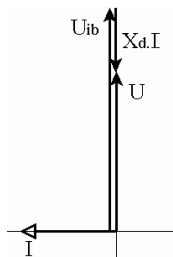
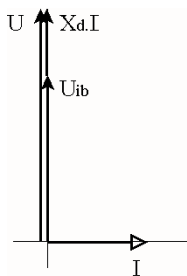
Z fázorového diagramu vyplývá vztah

$$U = U_{ib} + X_d I \Rightarrow I = \frac{U - U_{ib}}{X_d}$$

Fázový posun U a I je 90° , protože se nepřenáší činný výkon a činná složka proudu je nulová. Stroj se chová vůči síti jako čistá indukčnost, odebírá ze sítě jalový výkon na dobužení. Pokud je vztah mezi U_{ib} a I_b lineární, bude při snižování budícího proudu růst proud statoru lineárně.

Při přebuzení stroje vyvolá změna U_{ib} proud statoru, který bude opět lineárně záviset na I_b , fázový posun bude opět 90° , ale stroj se bude chovat vzhledem k síti jako kapacita a bude do sítě dodávat jalový výkon. Graf funkce $I = f(I_b)$ připomíná písmeno V, proto se běžně nazývá jako V – křivky.

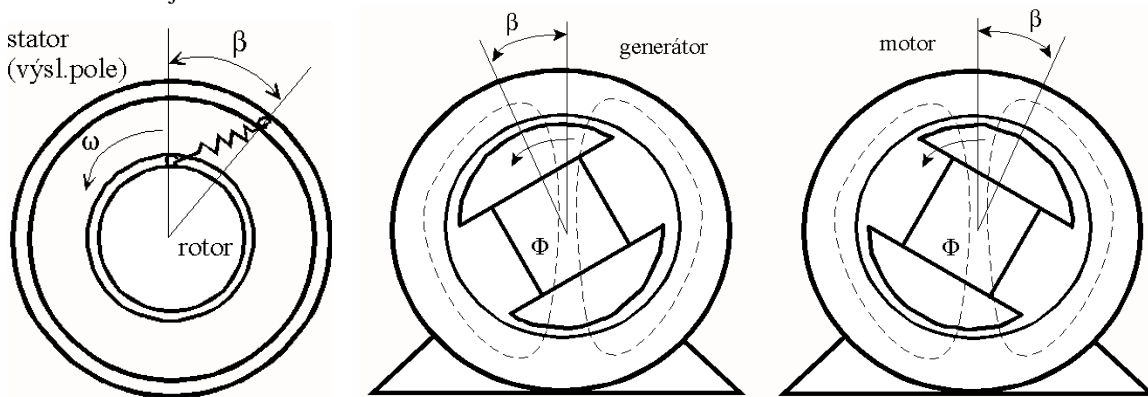
Jestliže zvýšíme moment na hřídeli, začneme stroji dodávat mechanický výkon $P = M \cdot \omega$, který se přemění na elektrický výkon dodávaný do sítě a proud statoru začne vykazovat i činnou složku. Při změně I_b se opět bude měnit jalová složka proudu statoru, v případě podbuzení bude stroj ze sítě odebírat jalovinu, v případě přebuzení bude stroj jalovinu dodávat. V levé části grafu jsou křivky omezeny stabilitou stroje na síti.



Spojením bodů se stejným účinníkem získáme tzv. *regulační charakteristiky*. Spojnice dolů křivek spojuje místa s $\cos\phi=1$ a je dělicí křivkou pro podbuzený a přebuzený stroj. Křivky pro $P=0$ v přebuzeném stavu jsou charakteristikami kompenzátoru.

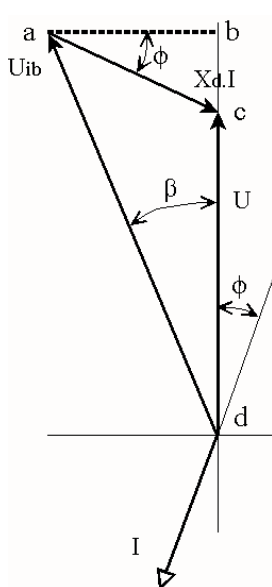
Závislost momentu na zátěžném úhlu, statická stabilita

Zátěžný úhel je úhel mezi tokem Φ_b a výsledným tokem stroje. Poloha toku Φ_b je určena polohou rotoru, tedy zátěžný úhel je úhel, o který rotor u generátoru předbíhá výsledný tok, resp. o který se u motoru zpožďuje za výsledným tokem. Mezi statorem a rotorem existují pružné silové vazby, mechanická představa by mohla vypadat tak, jako když v případě generátoru rotor táhne na pružině silových vazeb stator jako točící se mezikružít.



Zátěžný úhel závisí na velikosti momentu na hřídeli a tedy i na předávaném výkonu. V případě generátoru předbíhá rotor výsledné točivé pole, u motoru se rotor zpožďuje.

Závislost velikosti momentu na zátěžném úhlu lze zjistit z fázorového diagramu.



Úsečku ab vyjádříme dvojím způsobem, nejprve z trojúhelníku abca a poté z trojúhelníku abd :

$$X_d \cdot I \cdot \cos\varphi = U_{ib} \cdot \sin\beta$$

Tuto rovnici vynásobíme zlomkem $\frac{\sqrt{3} \cdot U}{\omega_s \cdot X_d}$:

$$\frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot X_d \cdot I \cdot \cos\varphi}{\omega_s \cdot X_d} = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot U_{ib}}{\omega_s \cdot X_d} \cdot \sin\beta$$

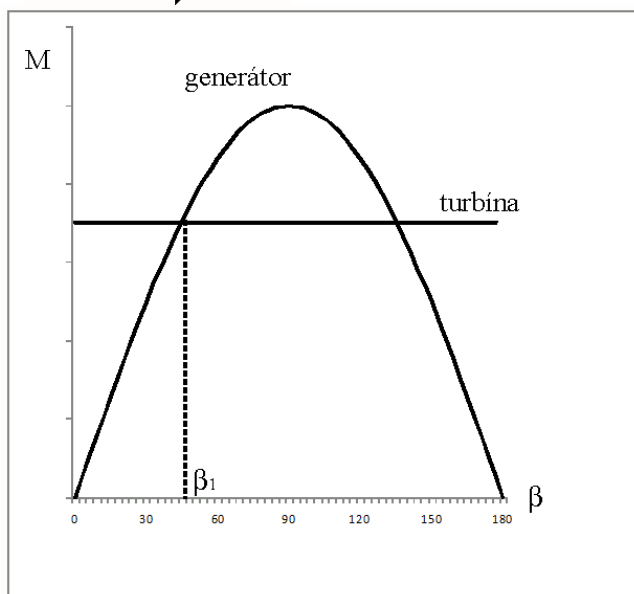
Levá strana představuje moment stroje : $\frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot X_d \cdot I \cdot \cos\varphi}{\omega_s \cdot X_d} = \frac{P}{\omega_s} = M$. Člen u $\sin\beta$ na pravé straně je tedy také moment a představuje maximální moment, kterého stroj za daných podmínek může dosáhnout :

$$M_{max} = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot U_{ib}}{\omega_s \cdot X_d}$$

Platí tedy vztah

$$M = M_{max} \cdot \sin\beta$$

Tento vztah je opět nutné chápat v souvislosti s momentem stroje na hřídeli, při ustáleném stavu jsou tyto momenty v rovnováze.



Stroj se ustálí na zátěžném úhlu β_1 , při kterém platí rovnováha momentů.

Budeme-li zvyšovat moment turbíny, bude se zátěžný úhel zvyšovat. Při $M = M_{max}$ dosáhne zát.úhel hodnotu $\beta = 90^\circ$ a další zvýšení momentu způsobí *výpadek ze synchronismu*, u generátoru dojde k proběhnutí stroje do vyšších otáček, motor se zastaví. Vždy se jedná o těžkou poruchu a je nutné stroj ihned odstavit.

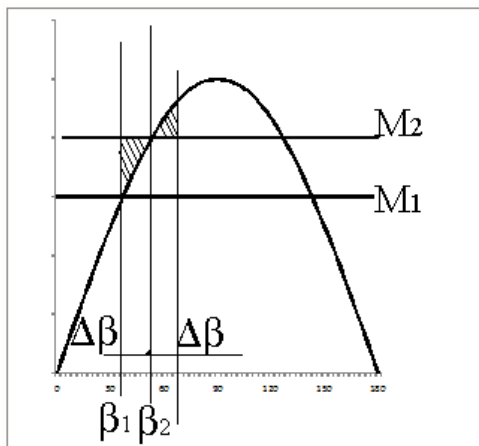
Maximální úhel, se kterým je stroj schopný stabilně pracovat, je 90° . Tento úhel nazýváme *mez statické stability*.

Maximální moment lze měnit pouze buzením, kdy se mění velikost U_{ib} , ostatní veličiny ve vztahu pro M_{max} jsou pro stroj konstanty.

Pozn :

Stroje s vyniklými póly mají mez statické stability posunutou k menším úhlům β , funkce $M=f(\beta)$ nasuperponována 2.harmonickou složku.

Dynamická stabilita



Dojde-li k náhlé změně podmínek, např. k náhlé změně momentu na hřídeli, stroj se ustálí na novém zátěžném úhlu až po určité době, po odeznění elektromechanických přechodných dějů. Jestliže generátor pracuje s úhlem β_1 a náhle zvýšíme moment na hřídeli na hodnotu M_2 , má stroj na hřídeli přebytek momentu a začne se urychlovat. Při dosažení rovnováhy při úhlu β_2 se urychlování nezastaví, ale stroj vlivem setrvačnosti dále zvyšuje zátěžný úhel. Při $\beta > \beta_2$ však nastává opačná nerovnováha momentů a stroj začne zpomalovat, zátěžný úhel se snižuje. Stroj tímto způsobem několikrát zakmitá kolem nové ustálené polohy β_2 , než mechanické a elektrické ztráty stroj ustálí. Tento jev nazýváme *kývání synchronního stroje*. Utlumení kývání lze urychlit instalací *tlumiče* na rotoru stroje. Tlumič je kotva nakrátko s tyčemi umístěnými v pólových nástavcích. Při kývání se do tlumiče indukují proudy, které silově působí proti smyslu kývání a přeměňují energii kyvů na Jouleovo teplo v odporech tyčí.

Meze kyvu jsou dány rovností šrafovaných ploch na grafu. Pokud dojde ke změně u vrcholu momentové křivky, může dojít k překývnutí přes mez statické stability, aniž by stroj vypadl ze synchronizmu, případně může stroj vypadnout ze synchronizmu, aniž by

stroj měl na hřídeli moment větší než maximální.

Kývání stroje je spojeno s kolísáním statorového proudu, v nepříznivém případě se může proud blížit zkratovým hodnotám.

Předchozí principy lze uplatnit i na větší celky (elektrárna s více generátory, územní celek), které lze nahradit jedním ekvivalentním strojem s výslednou impedancí danou všemi prvky soustavy. Ke změně podmínek pak může dojít změnou konfigurace sítě, např. vypnutím linky. Výpadkem takového celku ze synchronizmu může pak dojít i k rozpadu soustavy.

Kontrolní otázky :

1. Konstrukce synchronních strojů, rozdělení podle konstrukce rotoru.
2. Princip činnosti motoru, generátoru
3. Stav naprázdno : charakteristika, f.diagram
4. Reakce kotvy : definice, vliv reakce kotvy při různém charakteru zatížení
5. Zahrnutí vlivu reakce kotvy do náhradního schématu, úplné náhradní schéma, velikosti prvků
6. Zjednodušené n.s., fázorové diagramy motoru, generátoru
7. Stav nakrátko : charakteristika, f.diagram
8. Zkrat : jevy ve stroji při náhlém zkratu, složky zkratového proudu
9. Samostatně pracující synchronní generátor, zátěžovací charakteristiky
10. Fázování stroje na síť, podmínky
11. Stroj na tvrdé síti : V-křivky, regulační charakteristiky
12. Závislost momentu na zátěžném úhlu, statická stabilita stroje.
13. Dynamická stabilita, kývání synchronního stroje