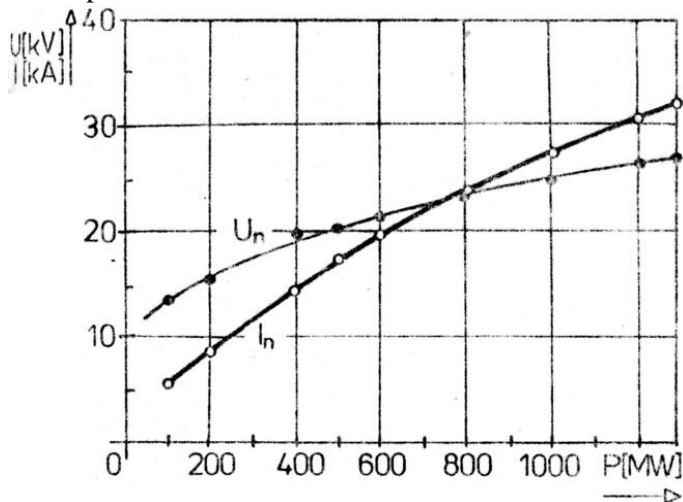


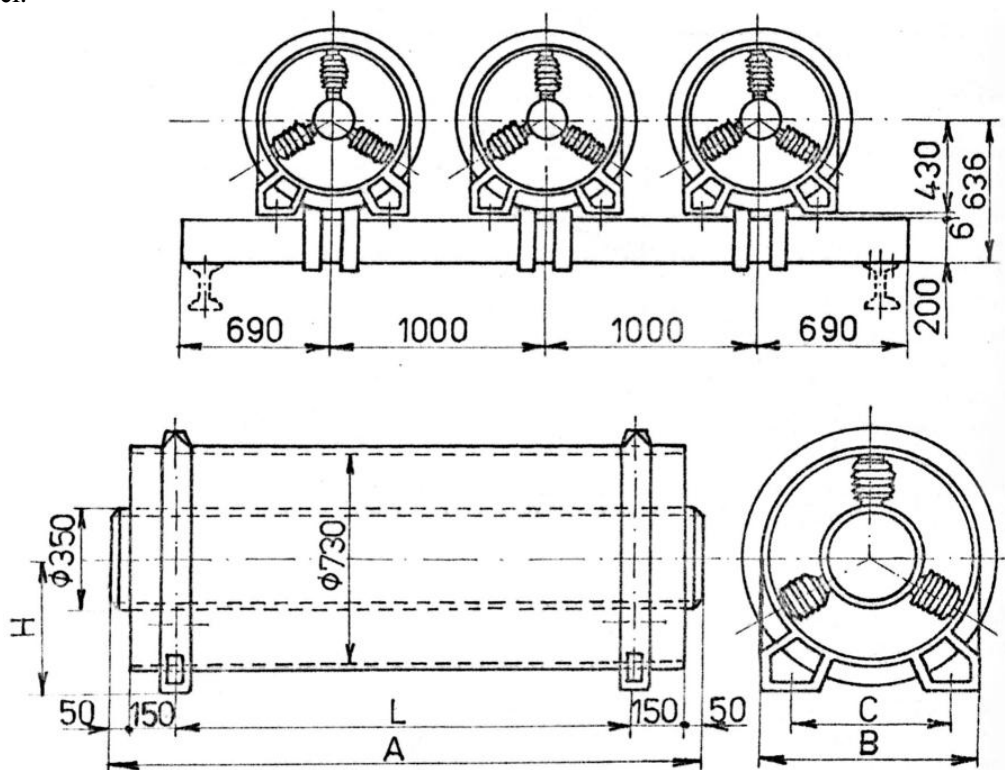
14. Vyvedení výkonu alternátoru

Se vzrůstajícím výkonem alternátoru a odpovídajícím proudovým zatížením roste nutnost konstrukčně optimálně řešit vyvedení výkonu z alternátoru k blokovému transformátoru a vlastní spotřebě:



U relativně nejmenších výkonů je vyvedení realizováno přímým propojením několika blokových strojů na společnou sběrnici napájející transformátory vyvedení výkonu a vlastní spotřebu. Toto řešení je nevýhodné pro alternátory při zkratu ve vlastní spotřebě, což se vylepšuje zařazením mezitransformace, nebo omezujícího reaktoru. Menší výkony do 100 MW používají k vyvedení výkonu kabelů, nebo holých vodičů na izolátorových podpěrách.

Pro vyšší výkony pro zvyšující se proudové nároky je pro omezení silového působení a znemožnění přímého styku fázových vodičů při zkratu vyvedení provedeno zapouzdřenými vodiči.

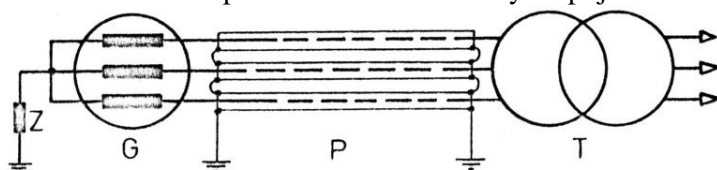


Stínění navíc příznivě snižuje zahřívání okolních kovových. Pouzdro je pro omezení vířivých proudů vyrobeno z nemagnetického materiálu (hliník). Rozměry provedení:

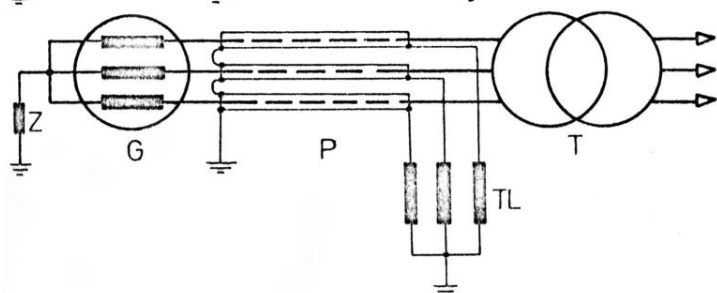
Jmenovitý výkon [MW]	Jmenovité napětí [kV]	Jmenovitý proud [kA]	$2 r_E$ [mm]	$2 r_P$ [mm]
110	13.8	3	120	550
110 - 200	13.8 - 15	3 - 8	300	730
200 - 400	15 - 20	8 - 12	480	910
400 - 500	20	12 - 18	680	1110
500 - 800	20 - 25	18 - 25	1000	1430

Pouzdra musí být hermetická jako oproti okolnímu pachu a vlhkosti, tak proti chladící vodě alternátoru.

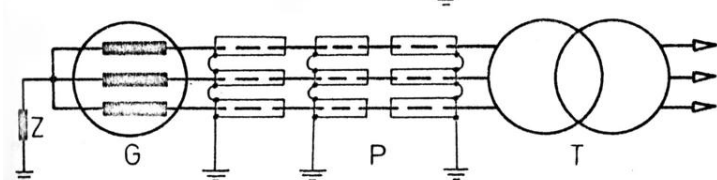
Uzemnění pouzder vodičů může být zapojeno následovně:



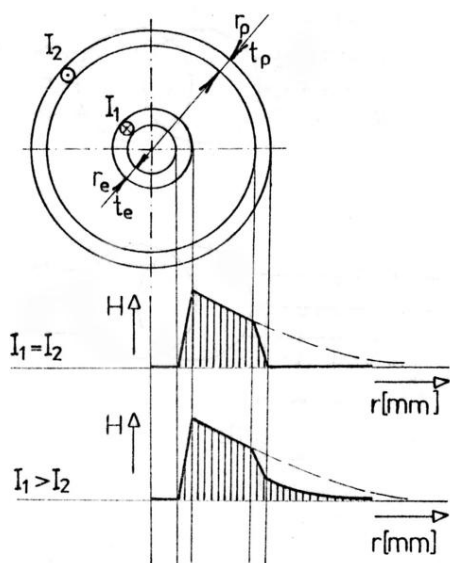
a) Pouzdra a uzemnění propojena na obou koncích



b) Pouzdra a zem propojena na jednom konci, na druhém přes omezující tlumivku



c) Pouzdro děleno na kratší úseky propojené vzájemně a spojené se zemí zvlášť



Při realizaci ad a) je proud v pouzdře odpovídající fázovému proudu v elektrovodu, ($I_1 = I_2$ na obrázku) vnější magnetické pole je díky superpozici nulové a jak vzájemné účinky fázových vodičů, tak účinky na okolní konstrukce jsou zcela eliminovány. Pouzdra a fázový vodič téže fáze se při zkratu odpuzují.

Provedení ad b) omezuje vnější pole méně ($I_1 > I_2$ na obrázku). Výhodou je, že při běžném provozu je proud a i zahřívání pouzder omezen tlumivkou (na 20% až 30% proudu fázového, čímž se omezí oteplení pouzdra při běžném provozu), která se ale rychle přesytí při zkratu a umožní lepší odstínění během poruchy.

Zapouzdřený vodič lze považovat za jednoduchý transformátor kde:

$$L_1 = 0.46 \log \frac{a}{r_E} 10^{-6} [H/m] \quad L_2 = 0.46 \log \frac{a}{r_P} 10^{-6} [H/m]$$

$$j\omega \cdot M \cdot I_1 = I_2 (R_2 + j\omega \cdot L_2) \quad I_2 = I_1 \frac{w \cdot L_2}{\sqrt{R_2^2 + (w \cdot L_2)^2}} = I_1 \frac{X_2}{Z_2}$$

$$\text{Ztrátový výkon v pouzdrech bude: } P_Z = 3 \cdot R_2 \cdot I_2^2 = 3 \cdot R_2 \cdot \left(I_1 \frac{X_2}{Z_2} \right)^2$$

$$\text{V případě zapojení ad b) je proud v pouzdrech: } I_2 = I_1 \frac{X_2}{\sqrt{R_2^2 + w^2 (L_2 + L_{TL})^2}}$$

Při zanedbání činného odporu pouzdra: $I_2 = I_1 \frac{L_2}{L_2 + L_{TL}}$ a velikost L_{TL} nastavíme tak aby

$$\text{omezení proudu bylo žádaných 30\%: } L_{TL} = \left(\frac{I_1}{I_2} - 1 \right) L_2 = \left(\frac{1}{0.3} - 1 \right) L_2$$

$$L_{TL} = 2.33 \cdot 0.46 \log \frac{a}{r_P} 10^{-6} l_P \quad \text{kde } l_P \text{ je délka zapouzdření}$$

Při provedení uzemnění ad c) je zmenšen proud v pouzdrech, ale i účinek stínění a omezení silových účinků fázových vodičů navzájem. Proudů v jednotlivých úsecích mají charakter vířivých proudů. Jejich ztráty lze dle vztahu Conaglyho určit:

$$P_V = 3.12 R_2 \left(\frac{2r_P}{a} \right)^{2.13} (I_1 - I_2)^2$$

$$\text{Potom celkové ztráty jsou: } P_C = P_Z + P_V = 3R_2 I_2^2 + 3.12 R_2 \left(\frac{2r_P}{a} \right)^{2.13} (I_1 - I_2)^2$$

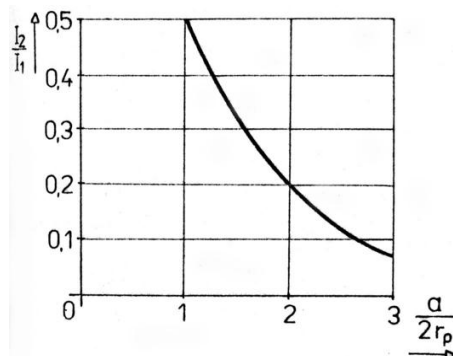
Nejvhodnější volba I_2 pro minimum těchto ztrát:

$$\frac{dP_C}{dI_2} = 3R_2 2I_2 + 3.12 R_2 \left(\frac{2r_P}{a} \right)^{2.13} 2(I_1 - I_2)(-1) \equiv 0 \quad (\text{zkrátíme } 3 \cdot 2 \cdot R_2 \cdot I_1)$$

$$\frac{I_2}{I_1} + 1.04 \left(\frac{2r_P}{a} \right)^{2.13} \left(\frac{I_2}{I_1} - 1 \right) = 0$$

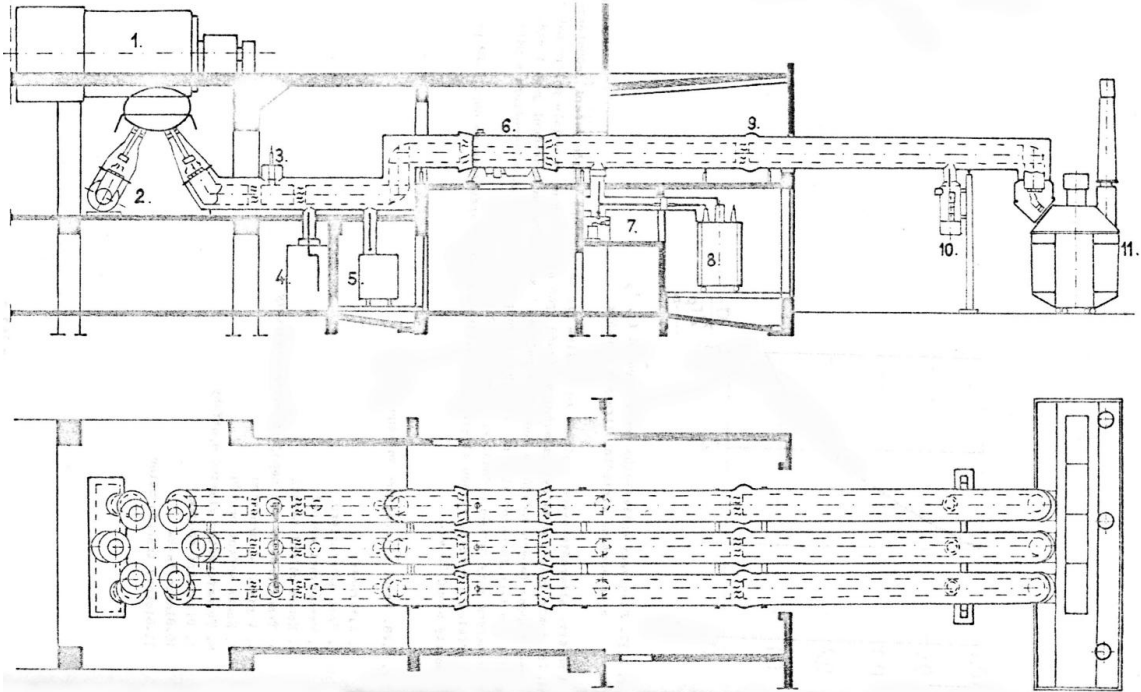
$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{1}{1 + 0.962(2r_P/a)^{2.13}}$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{1}{\frac{1}{1.04(2r_P/a)^{2.13}} + 1}$$



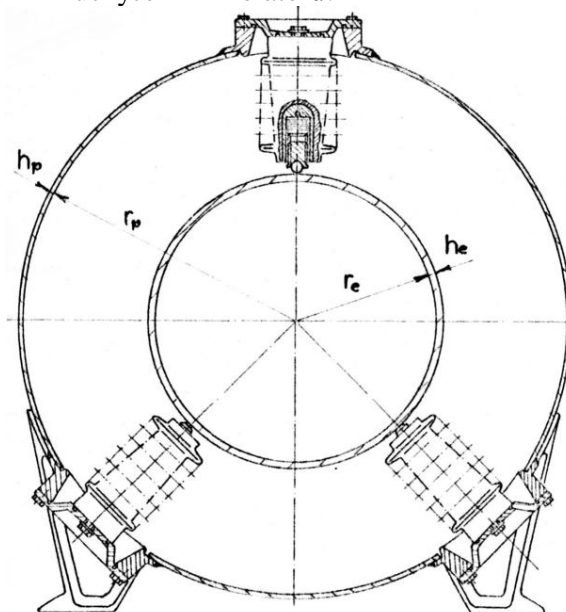
Tato závislost ukazuje optimální omezení I_2 při uvažování ztrát vířivými proudy.

Příklad vyvedení výkonu alternátoru:



- | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Alternátor | 7. Kobka měření proudu |
| 2. Uzel alternátoru | 8. Transformátor vlastní spotřeby |
| 3. Uzemňovací spínač | 9. Dilatační spojka |
| 4. Kobka měření napětí | 10. Bleskojistka |
| 5. Transformátor pro napájení buzení | 11. Blokový transformátor |
| 6. Vypínač alternátoru | |

Provedení zapouzdřeného vodiče pro velké výkony s pružným uložením fázového vodiče mezi izolátory a montážními uchyceními izolátorů:



15. Provoz alternátoru

Najíždění a fázování alternátoru

Fázování alternátoru je součástí najíždění elektrárenského bloku je součástí najíždění celého bloku, kde převážnou část časového scénáře ovlivňuje strojní část. Najíždění musí být v souladu s patnými individuálními provozními předpisy, které vycházejí z:

- Norem provozu pro jednotlivá strojní a elektrická zařízení
- Zkoušek, měření a technických výpočtů popř. simulací výrobců, dalších uživatelů a výzkumných organizací
- Znalostí konstrukce a výrobních technologií zařízení a dřívějších zkušeností s provozem těchto a obdobných zařízení.

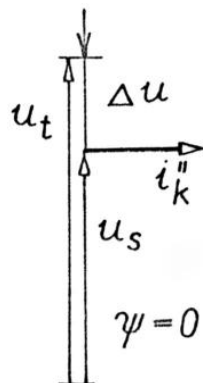
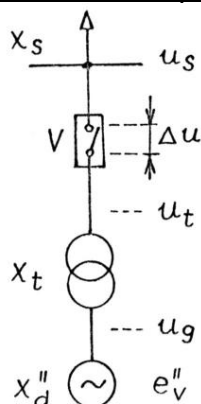
Během najíždění alternátorů je limitující postupný ohřev vinutí a náběh podpůrných systémů (chlazení, olejové hospodářství). Vinutí stroje se ohřívá více než magnetické části, navíc má měď vyšší teplotní roztažnost než ocel. Toto způsobuje posuvy vinutí v drážkách, popř. deformace v čelech stroje (obdobné problémy nastávají i při rapidním odstavení stroje). Pro stroje s dlouhým rotorem je tedy nutno používat pevnější měď.

Soustrojí turbíny a alternátoru se uvede na jmenovité otáčky, nabudí na jmenovité napětí, přifázuje a teprve poté zatíží požadovaným činným a jalovým výkonem. Vlastní fázování musí být provedeno s minimálními proudovými a tedy i momentovými rázy za splnění podmínek:

- Stejný sled fází alternátoru a sítě
- Stejná velikost napětí alternátoru a sítě
- Stejná frekvence napětí alternátoru a sítě
- Nulový fázový posuv mezi napětím alternátoru a sítě

Všechny tyto podmínky nelze splnit zcela přesně, jejich možné odchylky jednotlivých dílčích podmínek se určují na základě přípustného proudového zatížení alternátoru.

Odchylka velikosti napětí



Uvažujeme pouze odlišnou velikost napětí a zanedbáváme činné složky impedancí.

Těsně před fázováním je na vypínači alternátoru rozdílové napětí Δu .

Uvažujeme-li síť jako zcela ideální zdroj, potom vzniklý jalový proudový ráz bude omezen pouze reaktancí alternátoru a blokového transformátoru:

$$i_K'' = \frac{e_V'' - u_S}{x_D'' + x_T} \quad \text{Před přifázováním je } e_V'' = u_G = u_T, \text{ tedy } i_K'' = \frac{u_T - u_S}{x_D'' + x_T} = \frac{\Delta u}{x_C}$$

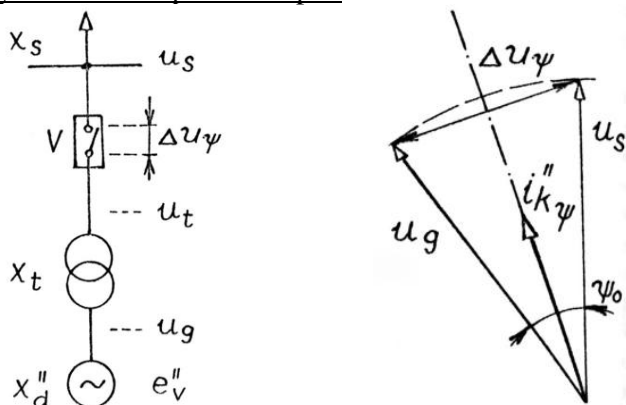
Proud bude induktivní zátěží pro alternátor jestliže bude před přifázováním $u_T > u_S$. V opačném případě bude induktivně zatížena síť (alternátor zatížen kapacitně). Proto se před přifázováním alternátor nepatrně přebuzuje.

Příklad dovolené odchylky velikosti napětí při nejnepříznivějším případě impedanční vazby, tedy zanedbání všech reaktancí kromě $x_D'' = 0.15$, a dovolené hodnotě proudu odpovídající jmenovitému je:

$$\Delta u = i_D'' \cdot x_D'' = 1 \cdot 0.15 = 15\%$$

V praxi se běžně fázíje při odchylce velikosti napětí 5%, při poruchách se výjimečně přípouští odchylka až 20%. Při výpočtu byla zanedbána stejnosměrná složka, jejíž hodnota je porovnatelná s i_D'' .

Odchylka fázového posuvu napětí



Uvažujeme pouze odlišnou fázi napětí a opět zanedbáváme činné složky impedancí.

Těsně pře fázováním je na vypínači alternátoru rozdílové napětí Δu_Ψ .

Uvažujeme-li opět síť jako zcela ideální zdroj, potom vzniklý přibližně činný proudový ráz bude omezen pouze reaktancí alternátoru a blokového transformátoru:

$$i_{K\Psi}'' = \frac{\Delta u_\Psi}{x_D'' + x_T} = \frac{2u_G}{x_D'' + x_T} \sin \frac{\Psi_0}{2}$$

Proudový ráz způsobí zpomalení soustrojí, pokud bude napětí generátoru před přifázováním přebíhat napětí sítě. V opačném případě bude soustrojí urychleno. Tyto proudové rázy jsou nebezpečnější, protože přímý mají vliv na moment stroje.

Příklad dovolené odchylky fáze napětí opět při nejnepříznivějším případě impedanční vazby, tedy zanedbání všech reaktancí kromě $x_D'' = 0.15$, a dovolené hodnotě proudu odpovídající jmenovitému je:

$$i_{K\Psi}'' = i_N = 1 = \frac{2u_G}{x_D''} \sin \frac{\Psi_0}{2} = \frac{2 \cdot 1}{0.15} \sin \frac{\Psi_0}{2} \Rightarrow \Psi_0 = 8.6^\circ$$

Při uvažování reaktance blokového transformátoru jsou podmínky příznivější. Proudové vznikající velkou chybou odchylky fáze při fázování mohou dosahovat značných hodnot. Provedeme porovnání s limitními proudy, na které alternátor musí být připraven během zkratu na jeho svorkách:

$$i_{KM} = K \sqrt{2} \cdot i_{KS0.01}'' \text{ kde pro tento případ je } K = 1.95$$

$$i_{KM} = K \sqrt{2} \frac{e_v''}{x_D''} = 1.95 \sqrt{2} \frac{1.1}{0.15} = 20.2$$

Největší proudový ráz přifázování by nastal při připojení v protifázi:

$$i_{K\Psi MAX}'' = \frac{2u_G}{x_D''} \sin \frac{\Psi_{0MAX}}{2} = \frac{2 \cdot 1}{0.15} \sin \frac{180^\circ}{2} = 13.3$$

Pokud budeme uvažovat nepříznivě pomalé odeznívání stejnosměrné složky, potom:

$$i_{K\Psi MAX} = 2\sqrt{2} \cdot i_{K\Psi MAX}'' = 4\sqrt{2} \frac{u_G}{x_D''} = 2\sqrt{2} \cdot 13.3 = 37.7 \approx 2i_{KM}$$

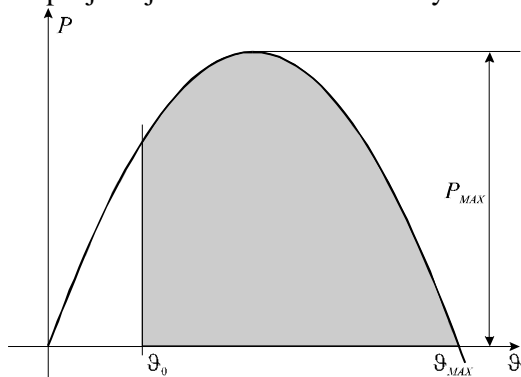
Uurčíme limitní hodnotu odchylky fáze, kdy proud je menší než zkratový:

$$i_{K\Psi MAX} = 4\sqrt{2} \frac{u_G}{x_D''} \sin \frac{\Psi_{0MAX}}{2} = i_{KM} = K\sqrt{2} \frac{e_V''}{x_D''}$$

$$\sin \frac{\Psi_{0MAX}}{2} = \frac{K}{4} \cdot \frac{e_V''}{u_G} \quad \sin \frac{\Psi_{0MAX}}{2} = \frac{1.95}{4} \cdot \frac{1.1}{1} \quad \Psi_{0MAX} = 64.9^\circ$$

Odchylka frekvence napětí

Obvykle se fázování provádí při nepatrně vyšších otáčkách soustrojí než by odpovídalo frekvenci sítě (o 0.1 až 0.2% jmenovité hodnoty) tak, aby přebytek kinetické energie se projevil jako dodávka činného výkonu a soustrojí se poněkud zbrzdilo.



Možný rozdíl frekvence odpovídá nutnosti udržet dynamickou momentovou rovnováhou a je omezen potencionálním brzdou energií, která je k dispozici, jinak by došlo k protočení soustrojí oproti synchronním otáčkám sítě.

$$\frac{1}{2} T_M \Delta w^2 \leq \int_{J_0}^{J_{MAX}} p_{MAX} \sin JdJ$$

$$T_M = \frac{J \cdot \Omega_N^2}{M_N}$$

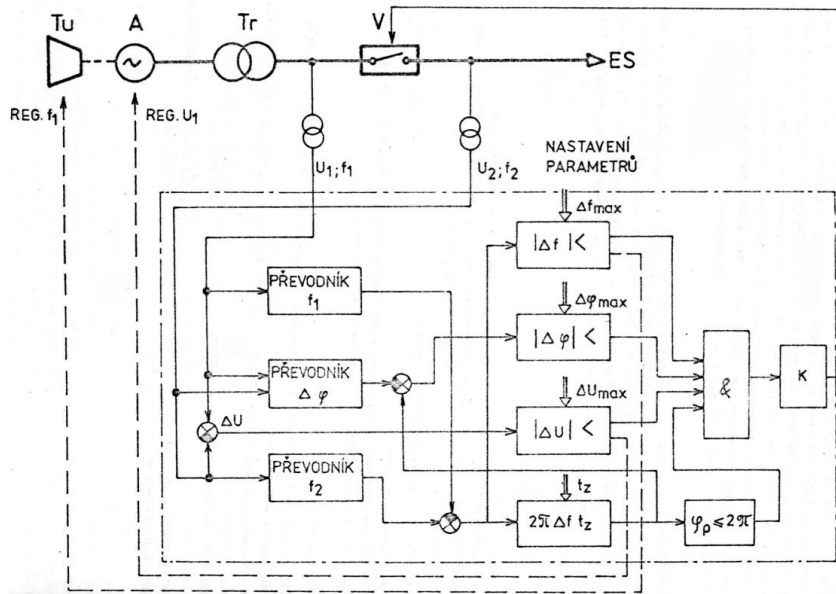
$$\Delta w_{MAX} = \sqrt{\frac{2}{T_M} \int_{J_0}^p p_{MAX} \sin JdJ} = \sqrt{\frac{2 \cdot p_{MAX}}{T_M} (1 + \cos J_0)}$$

Při ručním přifázování je povolená odchylka přibližně 3 až 6 otáček synchronoskopu (otáčejícího se rozdílovou frekvencí) za minutu (otáčka za 10 až 20sec.). Vlastní popud pro přifázování musí být vydán s jistým předstihem než soustrojí dosáhne tolerovaného fázového posuvu, tak aby se zohlednilo zpoždění vypínače a ovládacích prvků.

Výhody a nevýhody přesného fázování:

- Dochází k minimálním proudovým a momentovým rázům a tedy minimálnímu namáhání soustrojí
- Přifázování trvá poměrně dlouho, zvláště při mimořádných situacích v systému, kdy se je velikost tak, frekvence napětí mění
- Vyžaduje složitou a zručnou manipulaci, popřípadě komplikovanou automatiku

Při fázování fázovačem obsluha nastaví pouze stejnou velikost a frekvenci napětí, okamžik sepnutí volí automatika. Fázovač dále kontroluje rozdíl frekvence potřebný pro fázování. Při zcela automatickém fázování fázovač volí okamžik sepnutí a kontroluje rozdíl frekvence řízený synchronizátorem ovládajícím turbínu. Obsluha pak nastavuje pouze stejnou velikost napětí.



Předstih pro fázování pak musí být v mezích daných rychlostí vypínače t_Z :

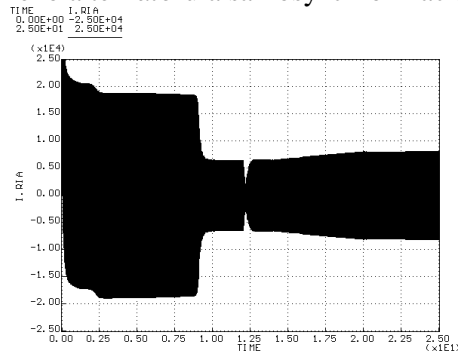
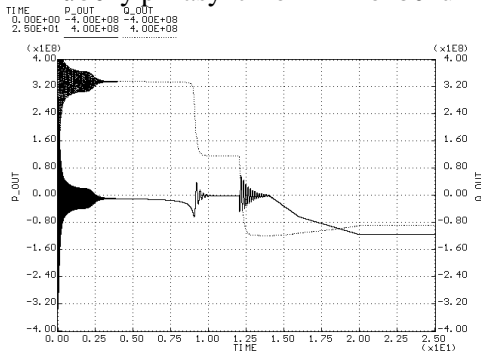
$$j_P = \Delta w \cdot t_Z = 2p \cdot \Delta f \cdot t_Z \leq 2p$$

tedy $\Delta f_{MAX} \leq \frac{1}{t_Z}$

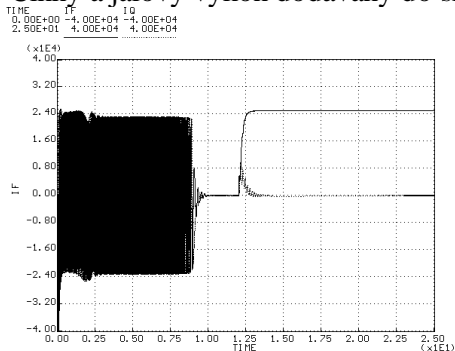
Samosynchronizace

V tomto režimu se alternátor přifázuje nenabuzený. Nejprve se soustrojí uvede turbínou na otáčky blízké synchronním (obrázky odpovídají asynchronnímu rozběhu). Síť musí hradit magnetizaci stroje a proudový náraz obsahuje dodávku induktivního výkonu ze sítě (na obrázcích část přibližně od 10 do 12.5 sec.). Teprve po připojení se alternátor přibudí a vtáhne do synchronismu (čas 12.5 sec. na obrázcích).

Průběhy při asynchronním rozběhu nenabuzeného alternátoru a samosynchronizaci:

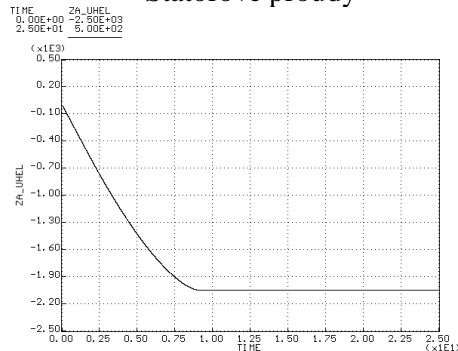


Činný a jalový výkon dodávaný do sítě



Rotorové proudy

Statorové proudy



Zátěžný úhel

Proudový jalový ráz má velikost:

$$i_K // = \frac{u_S}{x_C} = \frac{1}{x_C}$$

Při samosynchronizaci musí být budící vinutí uzavřeno přes odbuzený budič nebo odpor odbuzovače, aby při připojení na síť nedocházelo k přepětí na kroužcích. Ihned po připojení je nutno alternátor přibudit. Vtažení do synchronismu napomáhá poněkud reluktanční moment (daný magnetickou nesymetrií rotoru alternátorů s vyniklými póly).

Výhody a nevýhody samosynchronizace:

- Dochází nevyhnutelně k proudovým a momentovým rázům
- Vznik poklesu velikosti napětí ve vlastní spotřebě především při připojování na méně „tvrdou“ síť, nebo při přenosu výkonu přes velkou impedanci
- Rychlé přifázování i při nepříznivých podmínkách havarijního stavu sítě
- Jednoduchá manipulace bez složité automatiky

Pro uvedené klady a zápory se samosynchronizace využívá pouze při ojedinělých havarijních stavech v elektrizační soustavě, za normálních podmínek se provádí fázování přesně.