1. Synchronní stroj

1.1. Definice

- **synchronní stroj je točivý elektrický stroj využívající principu elektromagnetické indukce, jehož kmitočet je přímo úměrný otáčkám**
- **motor se otáčí otáčkami točivého pole, indukované napětí synchronního generátoru je úměrné otáčkám rotoru**

1.2. Rozdělení synchronních strojů:

a) synchronní generátory – alternátory

- **turboalternátory (2p=2, n=3000 ot/min)**
- **hydroalternátory (2p>2)**

(např.: n=75 ot/min,

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \Rightarrow p = \frac{60 \cdot f}{n} = \frac{3000}{75} = 40 \text{ pólů})$$

b) motory

- **otáčejí se synchronními otáčkami ($n = n_s$), nezávisle na zatížení**
- **když se překročí M_{max}, vypadnou ze synchronismu a zastaví se**
- **synchronní motory se samy nerozeběhnou**

c) synchronní kompenzátory

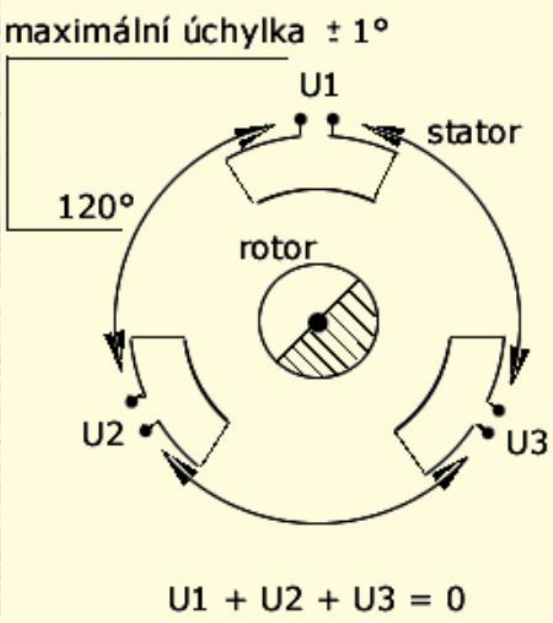
- **slouží ke kompenzaci účiníku elektrické sítě**
- **je to naprázdno běžící synchronní motor, který dodává do sítě pouze jalový výkon**

d) zvláštní synchronní stroje – konvertory, alternátory pro

1.3. Popis a uspořádání synchronního stroje

a) stator

- **má stejnou konstrukci jako stator asynchronního motoru → válec z elektrotechnických (dynamových) plechů, uvnitř jsou drážky, v drážkách je uloženo zpravidla třífázové měděné vinutí**
- **jednotlivé fáze jsou navzájem posunuty o 120º**
- **začátky a konce vinutí jsou vyvedeny na svorkovnici**



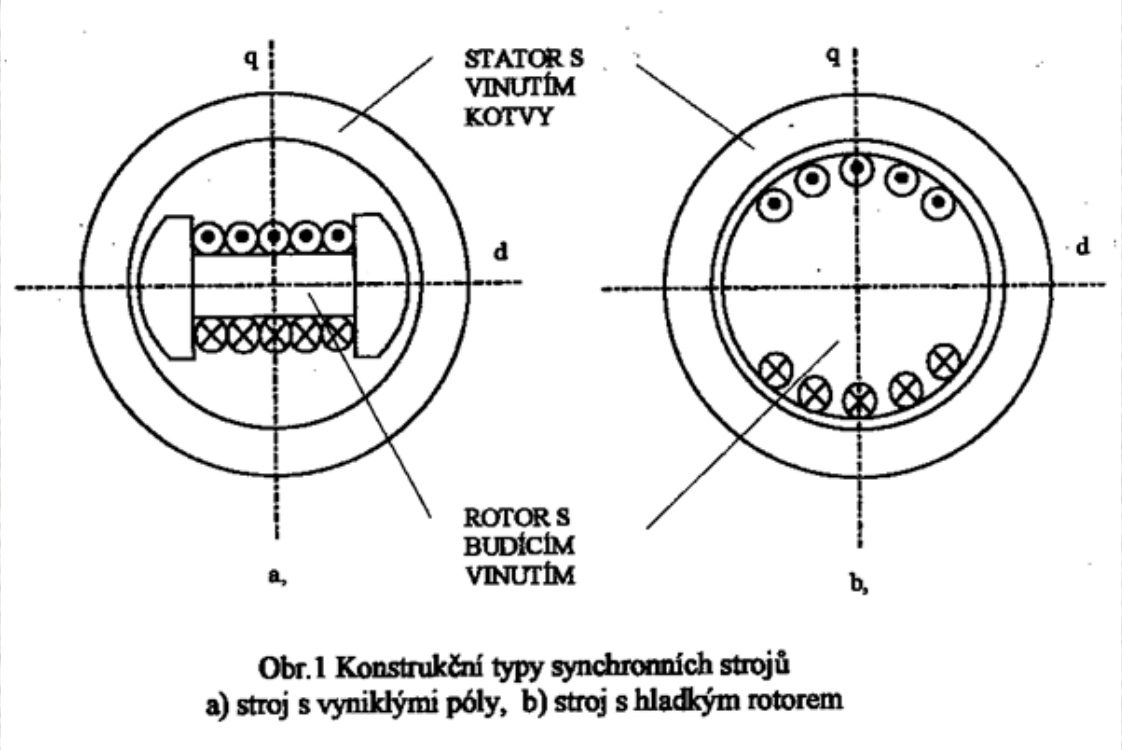
b) rotor

- **je tvořen soustavou pólů**
- **rotorové vinutí je buzeno stejnosměrným proudem → tím se vytvoří točivé magnetické pole**
- **toto pole protíná vinutí statoru, v němž se indukuje v každé fázi napětí, vzájemně pootočená o 120° (tak je tomu u generátoru, u motoru opačně)**
  - ❖ **napětí se indukuje na statoru, proto stator je kotvou**

1.4. Podle uspořádání rotoru se synchronní stroje dělí:

a) s vyniklými póly (vyjádřenými) – 2p ⇒ 4 → pomaloběžné

- **na hřídeli je nasunuto magnetové kolo, k němu jsou připevněny póly s pólovými nástavci**
- **na každém pólu je navinuto budící vinutí**
- **všechna vinutí jsou spojena do série, začátek a konec je připevněn ke dvěma kroužkům na hřídeli**
- **na kroužky dosedají kartáče, kterými se do vinutí přivádí stejnosměrný proud z budiče**



Obr.1 Konstrukční typy synchronních strojů
a) stroj s vyniklými póly, b) stroj s hladkým rotorem

b) s hladkým rotorem → rychloběžné

- **ocelový hladký válec, po obvodu jsou podélné drážky, které zabírají asi 2/3 obvodu válce**
- **budící vinutí se do drážek vkládá tak, aby vytvořilo závity kolem velkých pólů**
- **vinutí se v drážce uzavře nemagnetickými klíny, čela se zajistí bandážovacími kruhy z nemagnetické oceli**

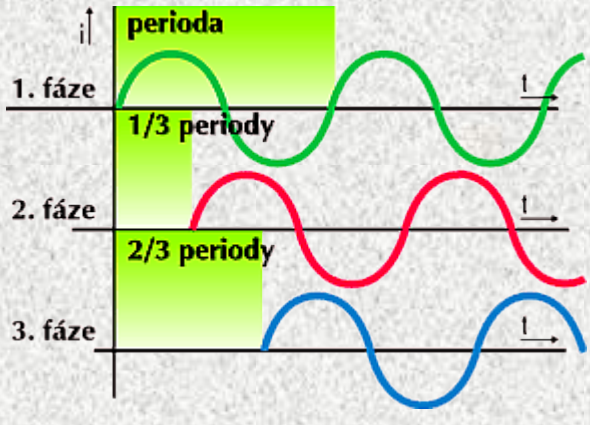
- tak vznikne válec s hladkým povrchem, který je nutný vzhledem k velkým otáčkám (3000 min^{-1})
- konce budícího vinutí procházejí ke kroužkům vývrtem ve hřídeli

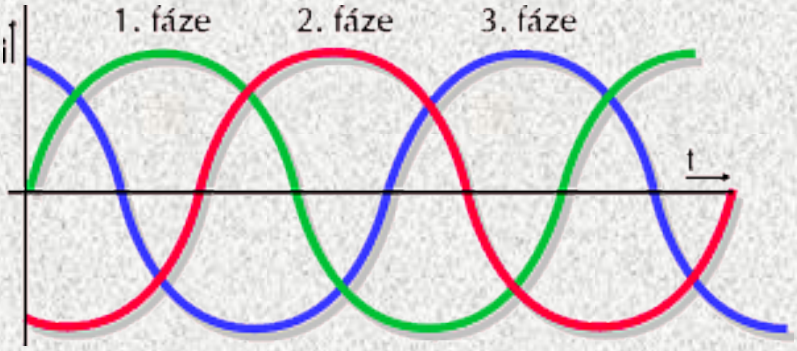
2. Generátory

- mechanickou energii na energii elektrickou přeměňují generátory, elektrické točivé stroje, pracují na základě elektromagnetické indukce
- mohou být synchronní, asynchronní nebo stejnosměrné
- generátor, který vyrábí střídavý proud, se nazývá alternátor
- generátor na výrobu stejnosměrného proudu jest dynamo.

2.1. Princip činnosti alternátoru

- budící vinutí je napájeno stejnosměrným proudem, rotorem otáčí poháněcí stroj (turbína, spalovací motor) => vzniká v rotoru točivé magnetické pole
- protože se rotor otáčí, magnetické pole rotoru protíná statorové vinutí (vzájemně pootočených o 120°) tři napětí sinusového průběhu stejné amplitudy, ale vzájemně fázově posunuté o 120° (tedy o 1/3 doby kmitu) a indukuje v něm napětí → na svorkách alternátoru se objeví střídavé trojfázové napětí





- ze statoru je odváděn třífázový proud
- velikost indukovaného napětí (základní, velice zjednodušený vztah)

$$U_i = B \,.\, l \,.\, v$$

B … indukce magnetického pole (T)
l … délka vinutí (m)
v … rychlost pohybu (m/s)

- obecně lze říct, že velikost napětí je přímo úměrná otáčkám
- velikost vyráběného napětí závisí na velikosti budicího proudu a otáčkách rotoru
- na otáčkách rotoru také závisí frekvence
- protože ta je v síti pevně stanovena (např. na 50 Hz), musíme velikost vyráběného napětí nastavovat pomocí budicího proudu
- aby indukované napětí mělo požadovanou frekvenci, musí mít rotor otáčky:

$$n_s = \frac{60 \,.\, f}{p}$$

n_S … synchronní otáčky rotoru (min^{-1})
f … frekvence střídavého napětí ($Hz=1s^{-1}$)
p … počet pólových dvojic rotoru

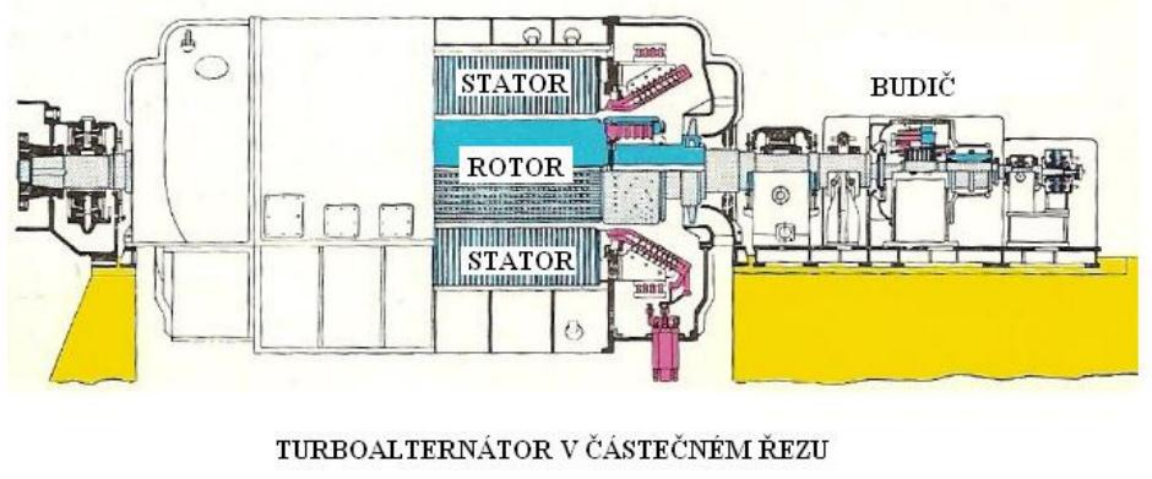
- připojíme-li k alternátoru nějaký spotřebič, začne statorovým vinutím procházet proud a vznikne točivé magnetické pole
- alternátor má vyrábět střídavé napětí a proud s frekvencí 50 Hz => rotor dvoupólového stroje udělá každou sekundu padesát otáček, za minutu má tedy 50 . 60 = 3 000 otáček
- jestliže má rotor 4 póly, stačí 1 500 ot./min

2.2. Synchronní alternátory

- alternátory se podle zařízení, které je pohání, dělí na turboalternátory, hydroalternátory a alternátory poháněné spalovacími motory
- podle konstrukce rotoru se synchronní stroje dělí na stroje s vyniklými póly (pro malé otáčky) a na stroje s hladkým rotorem (pro vysoké otáčky)
- na rotoru je umístěno budicí vinutí, které je napájené přes sběrací kroužky stejnosměrným proudem
- rotor může být zhotoven z plného materiálu (magnetické pole rotoru se nemění => není třeba brát v úvahu ztráty hysterezí a vířivými proudy) nebo složen z plechů
- stator i rotor musí mít stejný počet pólů

2.2.1. Turboalternátory

- turboalternátory pracují v tepelných elektrárnách a pohánějí je parní nebo plynové turbíny



TURBOALTERNÁTOR V ČÁSTEČNÉM ŘEZU

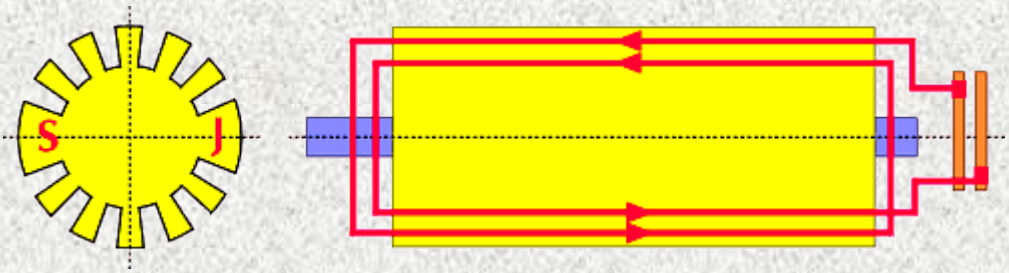
- výstupní frekvence f generovaného napětí je dána vztahem:

$$f = \frac{p \,.\, N}{60} \qquad (\mathrm{Hz}; -, m^{-1})$$

p … počet pólových párů (dvojic) rotoru

N … počet otáček za minutu

- mají vodorovný hřídel a jsou to rychloběžné stroje s 1 500 - 3 000 ot./min
- mají hladký rotor



- základními částmi alternátoru jsou nepohyblivý stator a na hřídeli se otáčející rotor
- synchronní alternátor má na statoru třífázové vinutí a na rotoru tzv. budicí vinutí
- turbína nebo jiný pohon otáčí rotorem a v jeho budicím vinutí prochází stejnosměrný proud, vzniká točivé magnetické pole, které v trojfázovém vinutí statoru vyvolá (indukuje) trojfázové střídavé napětí

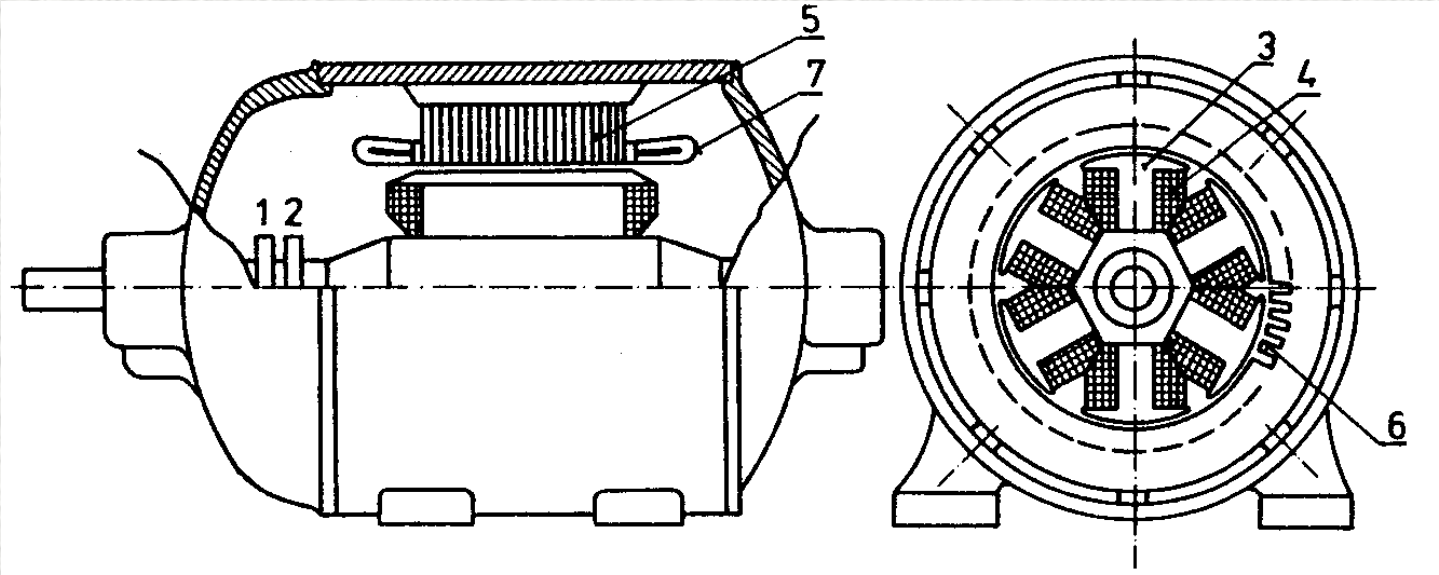


- druhé točivé magnetické pole vyvolá střídavý proud, který začne procházet trojfázovým vinutím statoru při připojení alternátoru ke spotřebiči
- stroj se nazývá synchronní, protože se obě točivá magnetická pole otáčejí se stejnými otáčkami → synchronně

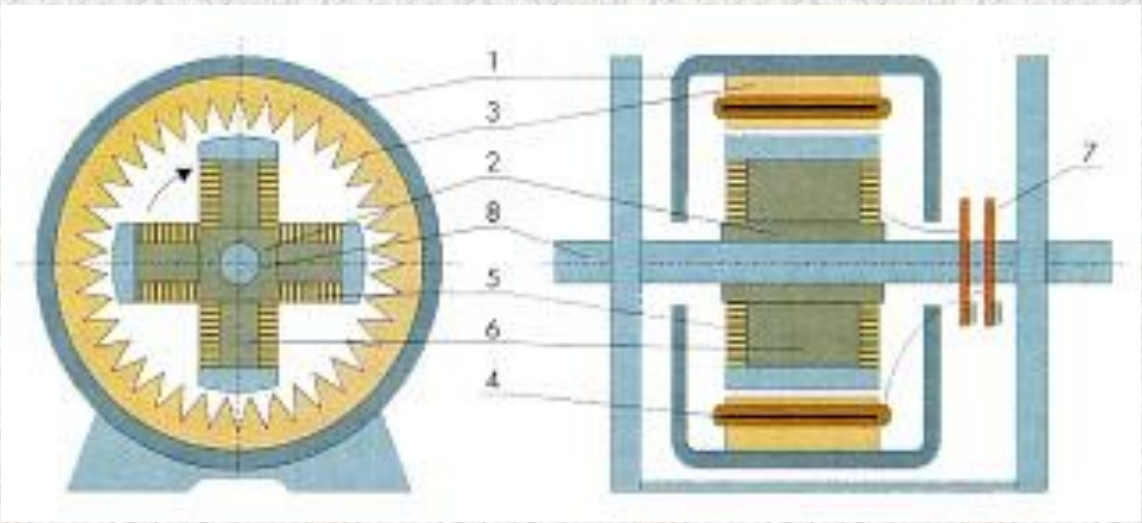
- **hladký rotor se používá u turboalternátorů, protože při otáčkách 3000/min dochází ke značným odstředivým silám**
- **kvůli velkému magnetickému odporu vzduchu je vzduchová mezera mezi rotorem a statorem velmi malá (milimetry)**
- **rotor je vyroben z jednoho kusu oceli a má tvar hladkého válce s podélnými drážkami po obvodu, ty zaujímají asi dvě třetiny obvodu a jsou souměrně rozloženy**
- **průměr rotoru turboalternátoru je maximálně 1 m**
- **v drážkách je uloženo budicí vinutí, které je napájeno stejnosměrným proudem**
- **vinutí rotoru a statoru je izolováno opředením (bavlnou, textilní páskou, papírem) a celý rotor i stator je napuštěn (impregnován) izolačním lakem (tzv. šelak)**
- **rotor turboalternátoru je obvykle dvoupólový**

2.2.2. Hydroalternátory

- **najdeme ve vodních elektrárnách ve spojení s vodními turbínami**
- **u hydroalternátoru se používá rotor s vyniklými póly**
- **většinou jsou pomaluběžné a bývají postaveny se svislými hřídeli**
- **jejich otáčky se pohybují od 100 do 1500 ot./min**



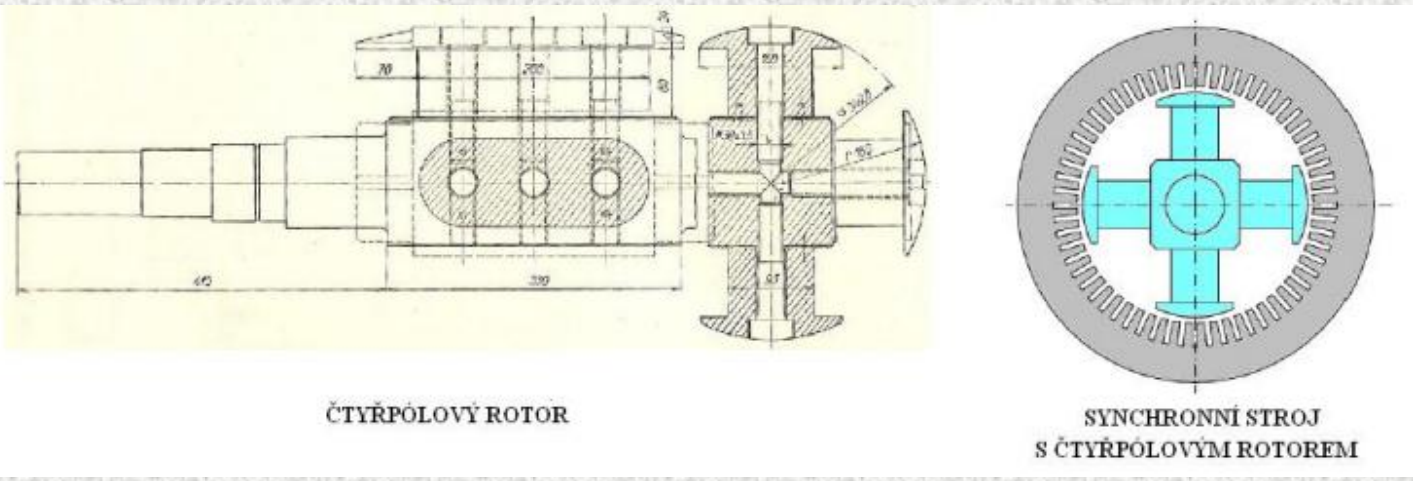
1, *2* kroužky budicího vinutí, *3* póly s pólovými nástavci, *4* budicí vinutí, *5* železo statoru, *6* statorové plechy, *7* vinutí statoru



1) stator, 2) rotor, 3) magnetický obvod statoru, 4) statorové vinutí, 5) rotorové vinutí, 6) póly, 7) sběrací kroužky, 8) hřídel.

- **ve statoru alternátoru, který se podobá dutému válci, je magnetický obvod složený z plechů, izolovaných lakem nebo papírem**
- **jsou v nich vytvořeny chladicí kanály, kudy vzduch nebo voda odvádí ztrátové teplo**
- **na vnitřním obvodu plechů jsou drážky s měděnými vodiči, které vytvářejí trojfázové vinutí**
- **začátky vinutí jsou připojeny na svorky alternátoru, odkud se střídavý elektrický proud odebírá a vede do rozvodny a dále ke spotřebitelům**

- konce vinutí jsou spojeny do uzlu



ČTYŘPÓLOVÝ ROTOR

SYNCHRONNÍ STROJ
S ČTYŘPÓLOVÝM ROTOREM

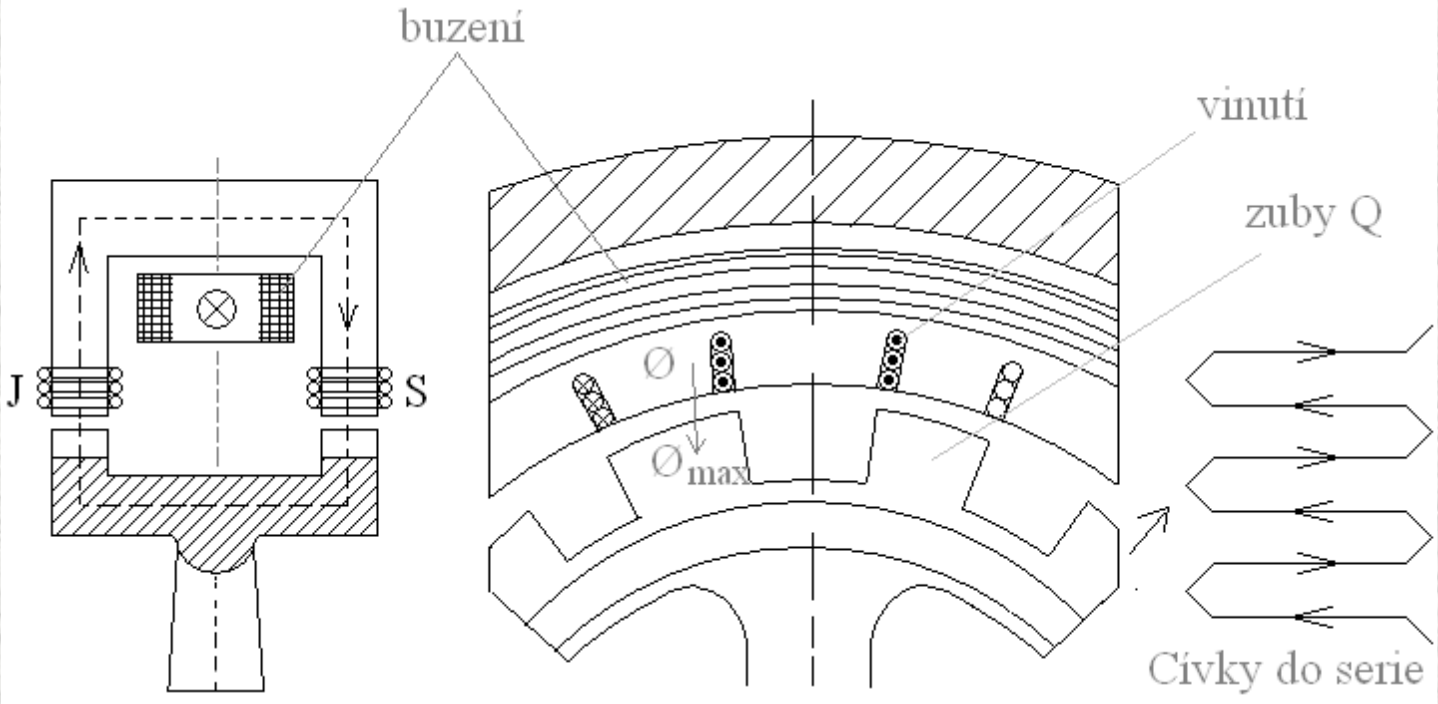
- konstrukce jeho statoru se liší od turboalternátoru velkým průměrem a malou délkou, protože hydroalternátor většinou je pomaluběžný stroj
- na hřídeli rotoru je magnetové kolo s příslušným počtem pólů (4 až 80)
- na jádře každého pólu je umístěna cívka budicího vinutí, do níž se přivádí stejnosměrný proud
- budicí cívky jsou spojeny tak, aby střídavě vznikaly severní a jižní póly
- budicí vinutí jsou připojena ke sběracím kroužkům, které jsou upevněny na hřídeli rotoru
- na kroužky dosedají kartáče, jimiž se do budicího vinutí přivádí stejnosměrný budicí proud z budiče, jenž zde vytváří stejnosměrné magnetické pole
- velké hydroalternátory mívají na rotoru ještě tlumič, který při nárazových zatíženích zamezuje tzv. kývání rotoru
- póly tlumiče jsou vždy z plechů a jeho vinutí se vyrábí z měděných nebo bronzových tyčí

2.2.3. Alternátory poháněné spalovacími motory

- jsou pomaluběžné stroje s velkým průměrem a malou délkou rotoru. Rotor pracuje většinou i jako setrvačník, pro zlepšení chodu pístových motorů.

2.2.4. Středofrekvenční generátory

- patří mezi zvláštní druh alternátorů
- používají se pro f = 250-20 000 Hz pro napájení indukčních pecí
- budicí cívka je uložena ve statoru
- rotor nemá žádné vinutí a na jeho obvodu jsou zuby
- při otáčení rotoru vzniká napětí s frekvencí úměrnou počtu zubů a otáčkám

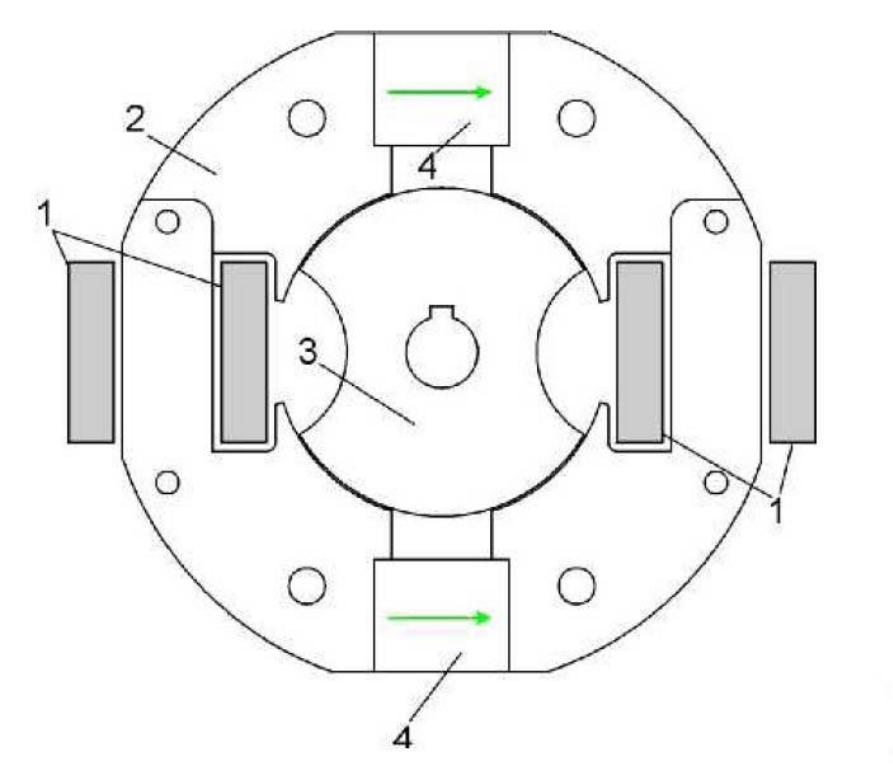


- otáčení rotoru způsobuje kolísaní indukčního toku Φ
- nakreslené poloze odpovídá maximální tok (R_{mag} je nejmenší)
- ocitne-li se proti zubu statoru drážka rotoru, je tok minimální

- **ve vinutí se proto indukuje elektromagnetická síla**
- **průběh U_i je značně nesinusový**
- **stejný princip je využit u tzv. drápkových generátorů – pro napájení spotřebičů v městské dopravě (alternátor v automobilu)**

2.2.5. Jednofázový alternátor

- **používá se např. pro napájení trakce f=16 ⅔ Hz nebo pro napájení malých spotřebičů, kde je odběr z 3 fázové sítě nemožný**
- **příkladem je alternátor v automobilu**



- ✓ **stator (2) se čtyřmi vyniklými póly obsahuje dvě cívky (1) a dva magnety (4)**
- ✓ **cívky i magnety jsou umístěny mezi dvěma vyniklými póly**
- ✓ **rotor je tvořen dvěma vyniklými póly, které jsou typicky širší než mezery mezi nimi**
- ✓ **to samé platí i pro póly statoru (2)**
- ✓ **šipky u magnetů znázorňují jejich magnetickou orientaci**

- ✓ **feromagnetický materiál statoru i rotoru je tvořen vzájemně izolovanými dynamoplechy, aby se snížily ztráty vířivými proudy**

2.3. Budič alternátoru

- **pro funkci synchronního alternátoru je nezbytný budič, který napájí budicí vinutí stejnosměrným proudem, jenž vyvolá magnetické pole rotoru**
- **jako budič se používá:**
  - **dynamo (generátor stejnosměrného proudu) umístěné na hřídeli synchronního stroje protože je tím zajištěn spolehlivý pohon a provoz buzení**
  - **usměrňovač, který napájí budicí vinutí ze střídavé sítě**
- **budicí napětí je 90V „SS“**

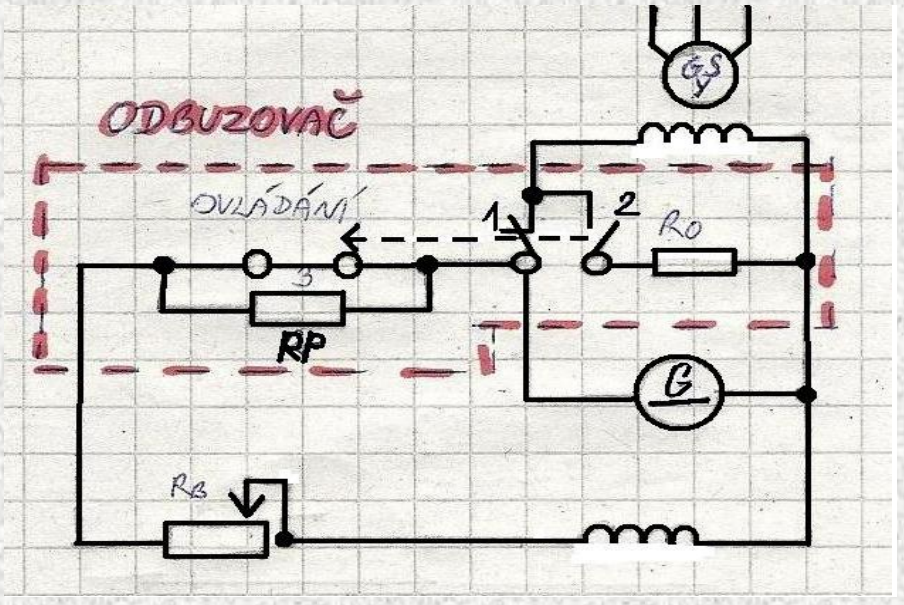
2.4. Odbuzovač

- **používá se k bezpečnému odstavení generátoru**
- **je to nazbytné vybavení synchronního stroje slouží k vypínání budícího „*I*“ při poruše stroje :**
  - **zkrat ve statorovém vinutí**
  - **zemní spojení**
  - **porucha izolace**
- **v případě těchto poruch musíme snížit indukované „*U*“ co nejrychleji na nulu, abychom omezily účinky zkratových „*I*“**
- **to je v praxi možné jen omezení budícího „*I*“ což nám umožnuje odbuzovač**
- **vztah pro elektromagnetickou indukci**

$$U_i = B \,.\, l \,.\, v$$

nám říká, že délku vinutí nemůžeme změnit a rychlost otáčení „*v*“ také nelze ihned změnit vzhledem k setrvačnosti motoru .

- můžeme změnit jen magnetickou indukčnost „*B*“, tak že přerušíme budící „*I*“ který protéká budícím vinutím
- energie magnetického pole budícího vinutí by při okamžitém budícího „*I*“ způsobila ve vypínacím kontaktu velké přepětí, které by mohlo zničit izolační vinutí
- proto jsou budící obvody synchronních strojů vybaveny odbuzovačem



2.5. Chlazení

- chlazení probíhá podle velikosti stroje malé výkony generátoru do 50 MW chlazení vzduchem, velké výkony nad 50 MW vodíkové chlazení, zde je nutné postavit zvláštní vodíkové hospodářství protože hrozí nebezpečí výbuchu
- vodík, proudí mezi vinutím prochází vlastním tělesem stroje do chladiče tam se ochladí a proudí zpět do stroje.

2.6. Regulace napětí generátorů

2.6.1. Regulace u strojů s budičem

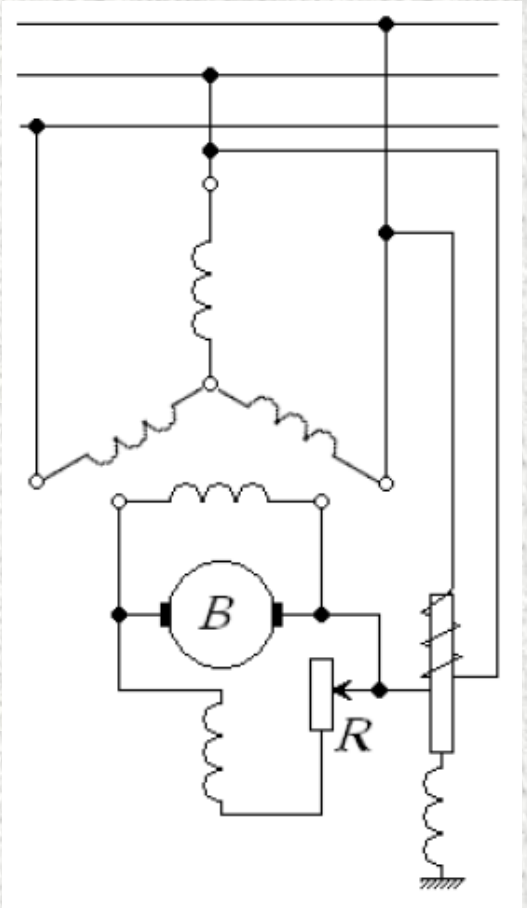
- **budič je derivační dynamo, pracující na společné hřídeli s generátorem**
- **budičem byly osazovány všechny starší stroje menších výkonů (cca 100MW) V současné době se přechází na jiné způsoby buzení (alternátory + usměrňovače). Regulace se provádí:**

a) ručním regulátorem

- **regulace se provádí v obvodu hladkého vinutí budiče**

b) samočinnými regulátory

- **snímá se napětí alternátorů, porovnává s požadovanou hodnotou a při poklesu napětí se stroj automaticky přibudí**
- **malé vodní elektrárny – diesel agregáty**
- **principielní uspořádání aut. regulace *U* u malých strojů**



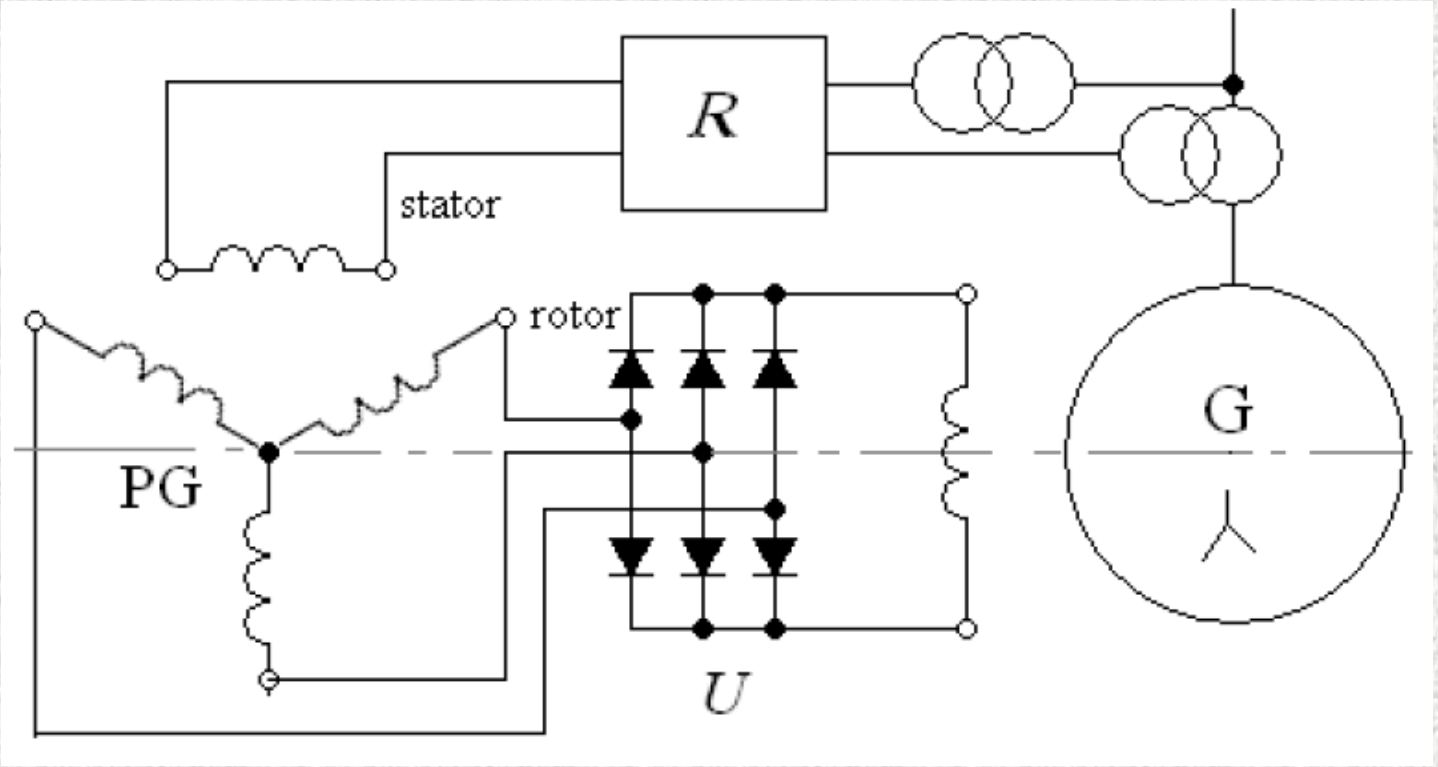
2.6.2. Regulace u strojů bez budiče

- v praxi bylo vytvořeno hodně systémů, závislých i nezávislých na otáčení buzeného generátoru
- používají se např. tyto způsoby:

a) stroj se budí z usměrňovače napájeného přímo ze stroje

b) stroj se budí pomocným 3fáz. alternátorem spojeným s usměrňovačem, vše na společné hřídeli
  - odpadá komutátor klasického budiče a dokonce i kroužky alternátoru

c) stroj se budí z řízených usměrňovačů



- jako budící jednotka je použito pomocného generátoru PG, který má třífázový rotor
- buzení je na statoru
- napětí G se řídí regulátorem R, který mění buzení PG
- napětí PG se usměrňuje 6ti usměrňovači a přivádí se bez kroužků na rotor G (vše na společné hřídeli)

3. Samostatně pracující alternátor

- využívá se např. v elektrocentrálách

a) spouštění:

1. roztočit na jmenovité otáčky
2. nabudit na jmenovité napětí
3. připojit k síti

b) běh:

- výkon generátoru i účiník jsou dány okamžitými poměry v síti
- podle okamžitého odebíraného výkonu se reguluje přívod energie, např. pomocí tachogenerátoru
- napětí na svorkách se reguluje změnou buzení.

c) zastavení:

1. odpojit od sítě
2. odbudit
3. zabrzdit

4. Paralelní chod alternátorů

- v energetických sítí spolupracuje vetší počet alternátorů které dodávají potřebnou energii
- je-li „*U*“ v síti nízké je také nízký výkon připojeních alternátorů v síti => musíme do sítě připojit další alternátor
- pro připojení (přifázování) alternátoru k síti se musí splnit podmínky:

1. stejný sled fází generátoru a sítě

- nastavuje se před prvním připojením k síti přiformování přípojný sběrnic

- **kontrola malým indukčním motorkem (musí se otáčet ve stejném směru jak při připojením na síť, stejně tak při připojení alternátoru) nebo ukazatelem sledu fází**

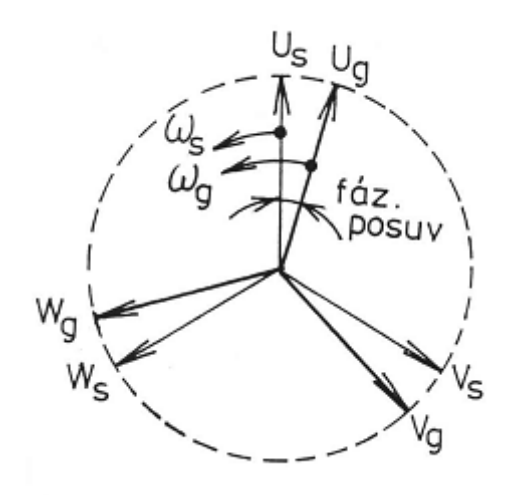
2. <u>stejné jmenovité napětí a tvar křivky</u> - umožní blokové transformátory

- **obě „*U*“ musí být ve fázi → jejich sinusové amplitudy musí procházet nulou ve stejném okamžiku**

3. <u>stejný kmitočet</u> - regulace otáček poháněného stroje

- **kmitočet, úroveň obou „*U*“ a fázový posun se musí kontrolovat a regulovat při každém připojení - fázování k síti**
- **fázování se provádí moderními fázovacími přístroji zcela v automatickém procesu bez zásahu lidské ruky**

4. <u>minimální fázový posuv mezi stejnojmennými fázemi sítí a generátoru v okamžiku sepnutí</u>

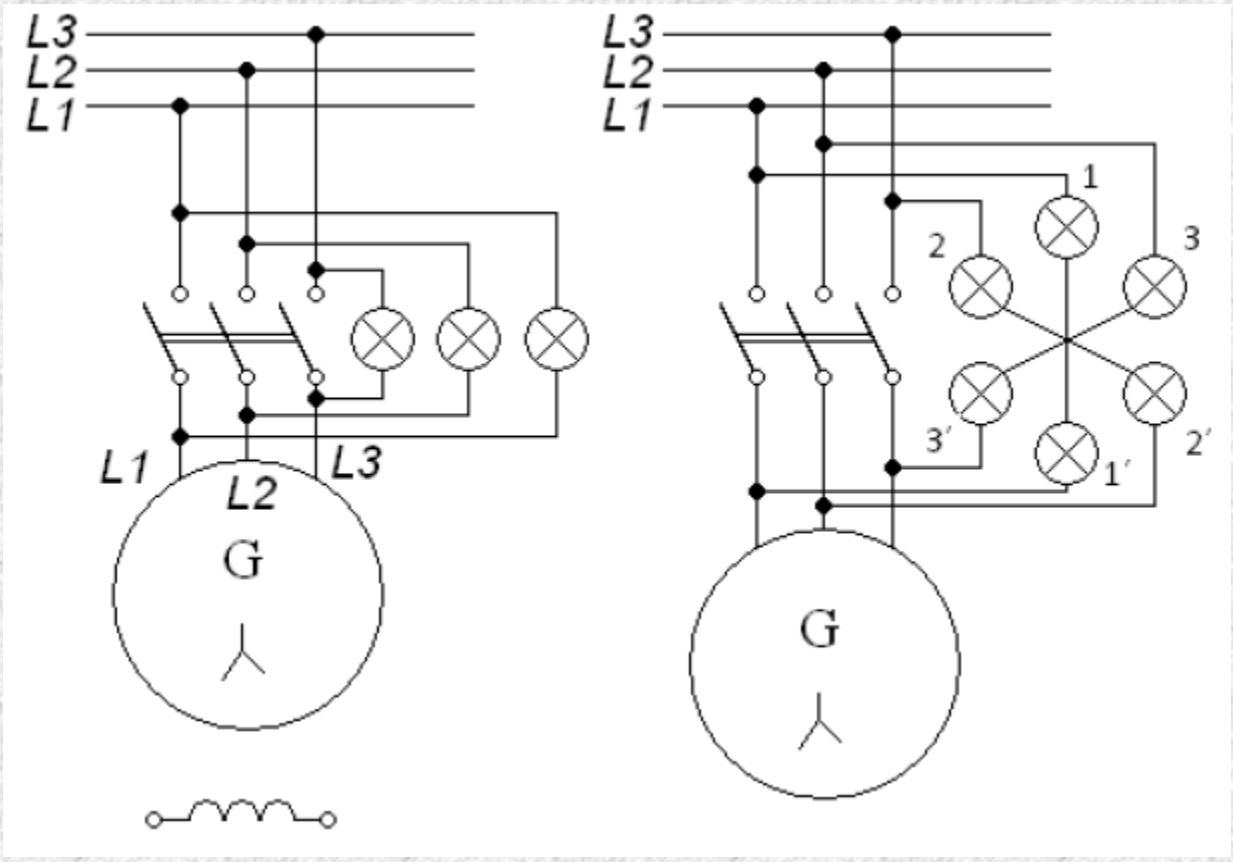


- **postup, při kterém se podmínky kontrolují, nazýváme fázování**

5. Fázování generátorů

- **rozumí se připojení ke společné síti v okamžiku, kdy jsou splněny podmínky 1-3 a splývají průběhy napětí generátoru a sítě = > napětí jsou stejná co do velikosti i fáze**
- **v opačném případě dojde k mechanickému a proudovému nárazu**
- **v elektrárnách se fázování děje automaticky, nebo pomocí synchronoskopů, v malých provozech se používají zapojení žárovek „na tmu“ nebo „na točivé světlo“**

na tmu: **na světlo:**



a) fázování na tmu:

- **všechny tři žárovky se zároveň rozsvěcují a zhasínají s kmitočtem rovným dvojnásobku kmitů amplitud rozdílu napětí**

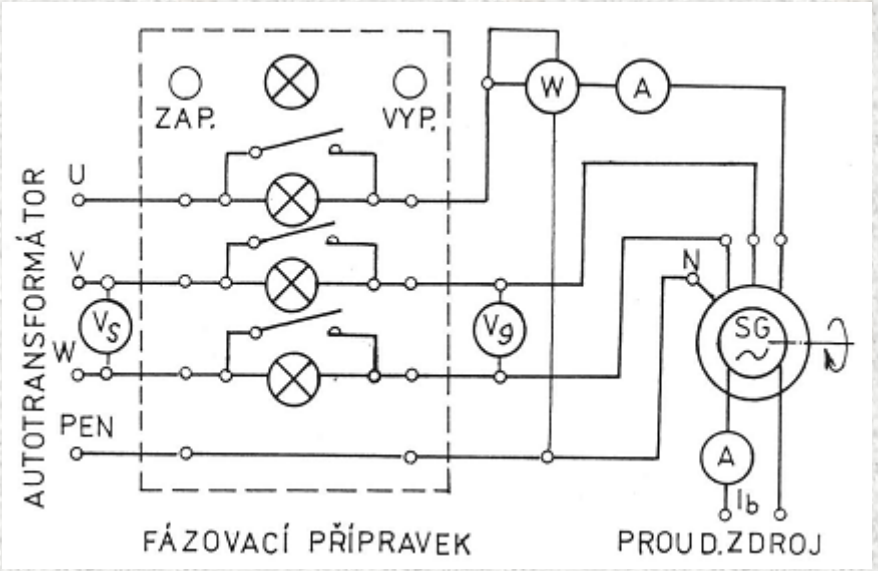
- **v okamžiku, kdy jsou všechny žárovky pohaslé, jsou splněny podmínky fázování a generátor je možno připojit k síti**

b) <u>fázování na světlo:</u>

- **žárovky a, a´ jsou zapojené „na tmu“ a žárovky b, b´, c, c´, jsou zapojené „na světlo“**
- **v okamžiku synchronismu žárovky a, a´ zhasnou a ostatní slabě svítí, jako by světlo po nich po okruhu obíhalo**
- **tento oběh v jednom nebo druhém směru udává, zda fázovaný stroj běží pomaleji nebo rychleji než je kmitočet sítě, na kterou se má připojit**

c) <u>měření pro splnění podmínek pro fázování:</u>

- **spolehlivé splnění podmínek pro fázování se zjistí následujícím měřením**
- **při fázování jsou stator synchronního stroje i síť připojeny na přístroje a přípravek pro fázování podle obrázku**



- **jiným přístrojem, sledovačem fází, což je v podstatě malý asynchronní motorek, určíme nejdříve sled fází**

- rotor tohoto přístroje se otáčí ve smyslu točivého pole v závislosti na sledu fází, které jsou vyznačeny na přístroji
- při chodu generátoru připojíme tři svorky sledovače ke svorkám sítě a poté k stejnojmenným svorkám generátoru
- pokud smysl otáčeni nesouhlasí, musíme na synchronním generátoru zaměnit dvě libovolné fáze, nebo v našem případě zaměníme smysl otáčení dynamometru
- zbývající podmínky kontrolujeme na přístrojích podle předcházejícího obrázku
- kmitočet napětí generátoru je dán jeho otáčkami podle vztahu

$$f = \frac{p \,.\, N}{60} \qquad (\mathrm{Hz}; -, m^{-1})$$

- kmitočet generátoru nastavíme změnou jeho otáček, tj. řízením na kotvě dynamometru tak, abychom dosáhli synchronních otáček
- napětí generátoru, které řídíme změnou budícího proudu generátoru, měřené voltmetrem V_G, nastavíme shodně s napětím sítě V_S
- předpokládáme u obou soustav sinusový tvar křivky napětí

- při stejných napětích sítě a generátoru ukazují žárovky rozdílové napětí způsobené fázovým posunem mezi stejnojmennými fázemi
- toto napětí je úměrné vzdálenosti koncových bodů stejnojmenných fázorů
- vzhledem k tomu, že ani kmitočet obou soustav nebude naprosto shodný, budou žárovky blikat v rytmu rozdílového kmitočtu a naším úkolem je dynamometrem nastavit dostatečný malý rozdíl kmitotů a hlavně vhodný okamžik, kdy napětí sítě a napětí generátoru mají stejnou fázi

- tím dosáhneme zhasnutí žárovek (fázování "na tmu") a synchronní stroj přifázujeme stisknutím tlačítka na fázovacím přípravku
- nezhasínají-li a nerozsvěcují-li se všechny tři žárovky souhlasně, znamená to, že sled fází sítě a alternátoru při daném smyslu otáčení není shodný

- od tohoto okamžiku neměníme na kotvě dynamometru rychle napětí, protože otáčky soustrojí jsou udržovány sítí a skokové změny zatížení by mohly způsobit porušení stability chodu a vypadnutí stroje ze synchronizmu

- po přifázování se seznámíme s možností řízení jalového a činného výkonu synchronního generátoru pracujícího paralelně se sítí
- mírně zvýšíme budicí proud synchronního generátoru, aby odpovídající proud statoru nepřekročil jmenovitý proud
- wattmetr při této změně ukazuje přibližně stálou výchylku a je tedy zřejmé, že se změnou statorového proudu se musí změnit i účiník ($P = 3\,U\,.\,I\,.\,\cos\varphi$ = konst.)
- budicím proudem synchronního stroje tedy řídíme jalový výkon

- zvýšení elektrického výkonu dodávaného synchronním strojem do sít dosáhneme zvýšením mechanického příkonu tj. mírným zvýšením napětí na kotvě dynamometru
- po tomto řídicím zásahu se otáčky nezvýší, ale zvýší se tok energie ze synchronního stroje do sítě (platí zákon o zachování energie)

- tato úvaha ukazuje základní princip přeměny energie v elektrárnách, kde pro zvýšení elektrického výkonu dodávaného do sítě je třeba zvýšit mechanický příkon zvýšením přítoku páry nebo vody turbínou, která je mechanicky spojena se synchronním generátorem
- protože do společné sítě dodává elektrickou energii mnoho alternátorů současně, musí se připojit k síti tak, aby nedocházelo k potížím
- musí se připojit paralelně, což znamená, že alternátor musí mít se sítí stejné napětí, stejnou frekvenci, obě napětí musejí být "ve fázi" , v každém okamžiku musejí být napětí stejné fáze sítě a alternátoru shodná a stejný sled fází (malý asynchronní trojfázový motor se po připojení na síť i k alternátoru musí otáčet ve stejném směru)
- v elektrické síti musí být stále konstantní napětí
- shodnost napětí sítě a alternátoru se zajistí změnou budicího proudu alternátoru
- rovnosti frekvencí se dosáhne regulací otáček
- po splnění všech podmínek lze alternátor připojit (přifázovat) k síti
- používají se dva způsoby: přesné fázování (přesná synchronizace) anebo asynchronní fázování (samosynchronizace)
- při přesném fázování musí dávat alternátor stejně velké napětí, jako je napětí v síti, nesmí být mezi oběma fázový posun a 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 přibudí se
- altemátor se tím sám vtáhne do synchronismu

- **přifázování se provádí většinou automatickými zařízeními, která ve vhodné chvíli alternátor k síti připojí**

6. Chod generátorů

- **přifázovaný generátor pracuje jako motor → energie ze sítě je větší než z pohonného stroje**
- **zatížení provedeme tak, že zvětšíme přívod energie do poháněcího stroje**
- **svorkové napětí je udržováno paralelní tvrdou sítí**
- **změnou buzení se reguluje jalový výkon podle požadavků dispečinku, změnou v přívodu páry se reguluje činný dodávaný výkon**
- **u samostatného generátoru nelze regulovat Φ změnou buzení – měnilo by se U!**
- **při přetížení generátoru na P_n , klesají n, f, U a stroj vypadne ze synchronismu a zastaví se**