

### 13. **Budící systémy alternátorů**

Budící systémy alternátorů zahrnují tyto komponenty:

- Systém zdrojů budícího proudu (budič)
- Systém regulace budícího proudu (regulátor)
- Systém odbuzování (odbuzovač)

Na budící systémy jsou kladeny vysoké požadavky, které musí zajistit za veškerých okolností, které mohou během provozu nastat včetně poruchových a přechodných dějů. Tyto nároky jsou s vyšším jednotkovým výkonem a konstrukčními omezeními (nižší zkratový výkon) s ohledem na statickou a dynamickou stabilitu alternátoru ještě stoupají. Výkon budící soustavy je mezi 0.3 a 0.6 % jmenovitého výkonu alternátoru (např. blok 235 MVA má budič 1100 kW).

Požadavky na budící soustavy jsou tyto:

- Vysoká provozní spolehlivost (vyšší než vlastní alternátor), většinou tedy obsahuje rezervní budič. Spolehlivost ovlivňuje zejména systém kroužkového sběracího ústrojí a zajištění buzení vlastního budiče
- Plynulá a rozsáhlá regulace budícího proudu a napětí pro zajištění celého provozního rozsahu alternátoru s rezervou stropu pro destabilizační přechodné děje (pro rotační budiče 1.6 až 1.8  $U_{fN}$ , pro nezávislé tyristorové budiče 1.6  $U_{fN}$  a pro závislé až 2  $U_{fN}$ ).
- Dostatečná rychlost změny budícího napětí charakterizovaná tzv. odezvou budiče naprázdno - střední rychlost změny poměrného napětí budiče za prvních 0.5 sec ( $v = 0.5$  až 2)
- Dostatečná rychlost odbuzení alternátoru při náhlém výkonovém odlehčení nebo poruše

Další požadavky na regulátory budícího proudu:

- Udržování žádané velikosti svorkového napětí alternátoru a dodávky jalového výkonu nezávisle na činném zatížení (včetně nouzových a poruchových stavů) minimálně pro spolehlivých chod vlastní spotřeby bloku
- Udržování rozdělení jalového zatížení u paralelně pracujících bloků
- Hlídaní meze podbuzení jako limitu statické stability chodu alternátoru

Typy zdrojů budícího proudu:

- Systém s rotačním budičem
- Statický budící systém s kroužky na hřídeli
- Statický budící systém bezkroužkový

Dle primárního zdroje budícího napětí rozlišujeme systémy:

- Nezávislý (zdrojem derivační vinutí nebo pomocný budič, budící napětí a tedy i proud jsou nezávislé na napěťovém stavu vlastní spotřeby)
- Závislý (zdrojem budící transformátor z vlastní spotřeby)(při napájení ze svorek alternátoru je při najíždění nutno na buzení nejprve přivést puls minimálně 0.1  $U_N$  po dobu minimálně  $3T_{D0}'$  - cca 30 sec.)

$$\overline{B'C} = \Delta u_B$$

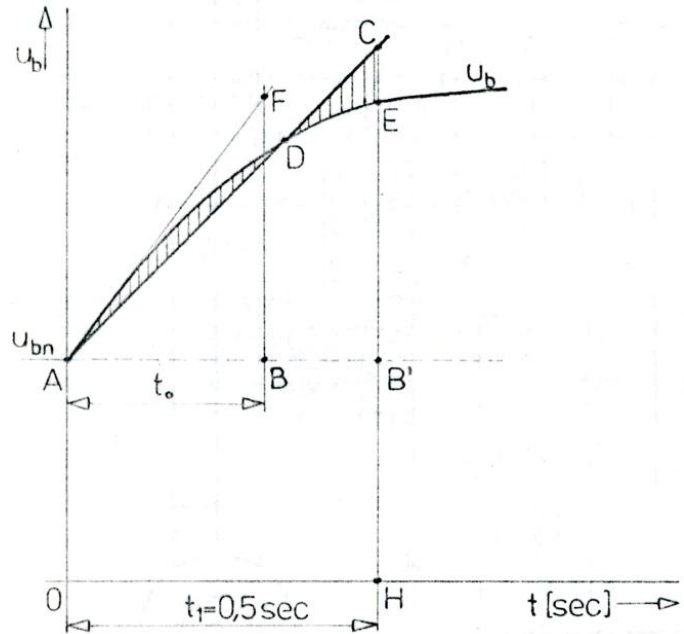
$$\overline{BH} = u_{BN} = 1'$$

$$\frac{\Delta u_B}{u_{BN}} = \frac{\Delta u_B}{0.5} = 2\Delta u_B [ ]$$

$$\overline{BF} = \Delta u_{B0}$$

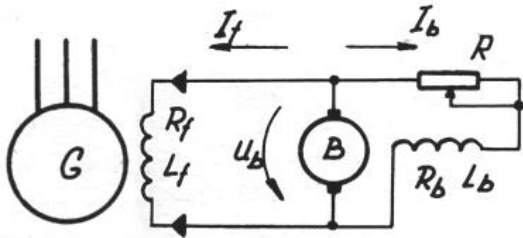
$$v_{B0} = \frac{u_{BN}}{t_0} = \frac{\Delta u_{B0}}{t_0} [\text{sec}^{-1}]$$

$$v_{B0} > v_B$$



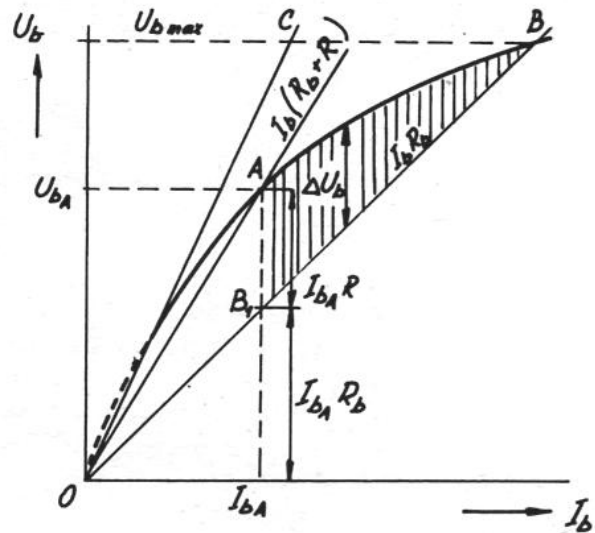
### Budící soustavy s rotačním budičem

Použití pro výkony alternátorů do 125 MVA.



Pracovní bod „A“ určen vnější magnetizační charakteristikou 0B a charakteristikou sériových odporů  $I_b \cdot (R_b + R)$ .

Pracovní bod při  $R \rightarrow 0$  je „B“ určující  $U_{bMAX}$ . Se zatěžováním roste sklon přímkové charakteristiky.



Rychlost růstu napětí budiče při nárazovém přibuzení ( $R \rightarrow 0$ ) (jedná se o ss obvod):

$$U_b = i_b \cdot (R_b + R) + \frac{d\Psi_b}{dt}$$

$$U_b = i_b \cdot R_b + \frac{d\Psi_b}{dt}$$

$$\Psi_b = L_b \cdot I_b = L_b \frac{U_b}{R_b} = T_b \cdot U_b$$

$$T_b = \frac{L_b}{R_b}$$

$T_b$  - časová konstanta derivačního vinutí budiče

$$U_b = i_b \cdot R_b + T_b \frac{dU_b}{dt}$$

$$\frac{dU_b}{dt} = (U_b - i_b \cdot R_b) \frac{1}{T_b} = \frac{\Delta U_b}{T_b}$$

Označili jsme rozdíl charakteristik  $\Delta U_b = U_b - i_b \cdot R_b$

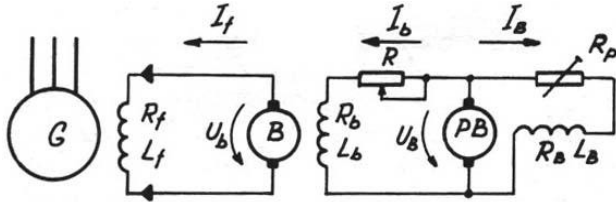
$$t = T_b \int_{U_{bA}}^{U_{bMAX}} \frac{dU_b}{\Delta U_b}$$

Doba je nepřímo úměrná rozdílové ploše charakteristik.

Změna budícího napětí je lepší u vysokootáčkových strojů, proto u hydroalternátorů je budič poháněn asynchronním pohonem napájeným z vlastní spotřeby.

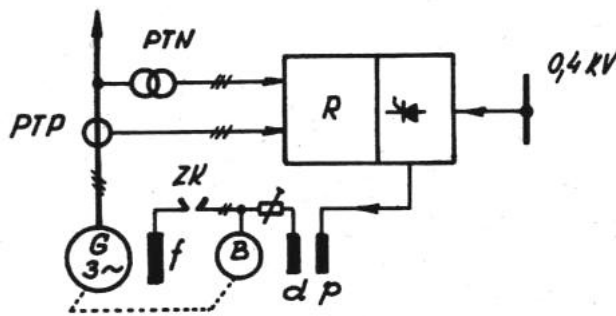
Systém neumožňuje plynulou regulaci pro malé hodnoty budícího proudu a má sníženou spolehlivost zejména vlivem komutátoru.

### Budící soustavy s rotačním budičem a pomocným budičem



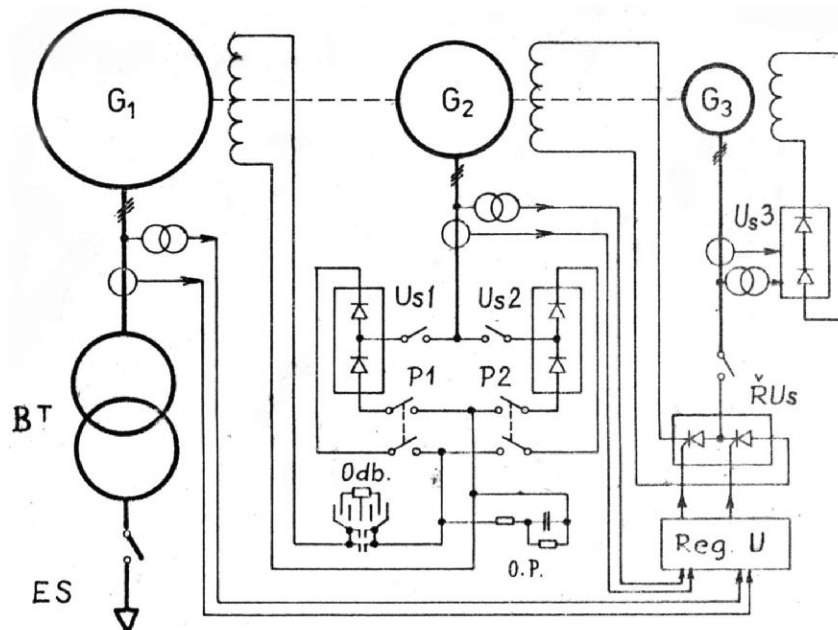
Provozní spolehlivost je ještě horší (tentokrát dokonce dva stroje s komutátorem), ale je dobrá plynulost regulace napětí a rychlost nárazového přibuzení je vyšší.

### Budící soustavy s rotačním budičem a přidavným budícím vinutím



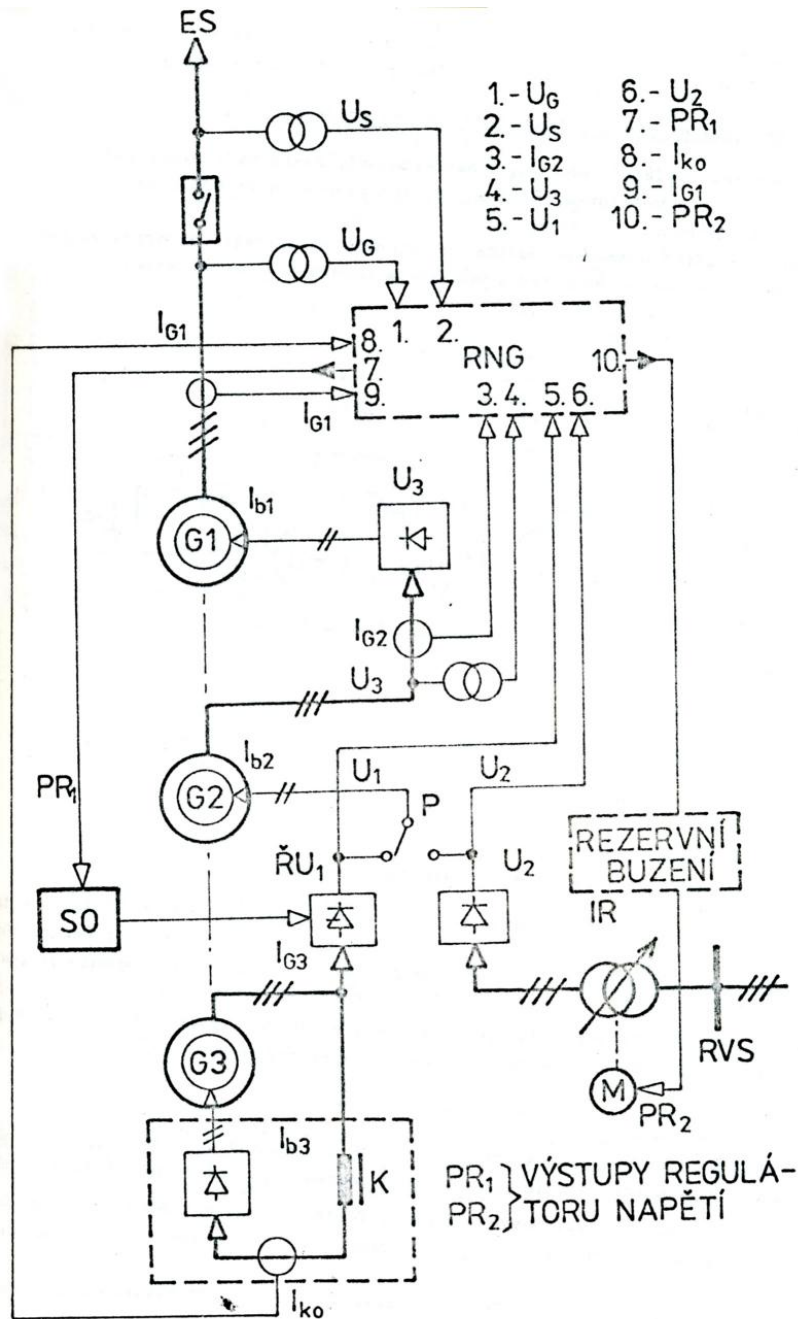
Derivační budící vinutí je nastaveno přibližně na stav alternátoru naprázdno. Usměrňovač přidavného vinutí ovládaný regulátorem je napájen z vlastní spotřeby. Budič vinutí alternátoru je vybaveno zhášecí komorou pro odbuzování.

### Budící soustavy s rotačním střídavým budičem a neřízeným usměrňovačem



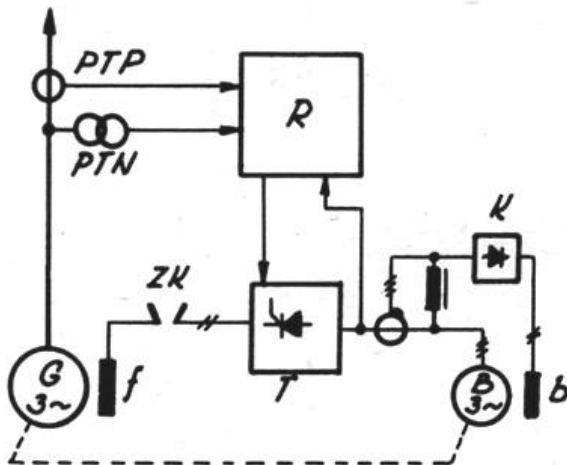
Střídavý budič G2 (alternátor) napájí přes neřízený zdvojený trojfázový můstkový usměrňovač  $U_{s1}$  a  $U_{s2}$  hlavní budící vinutí. Regulace je provedena řízeným usměrňovačem ŘUs v obvodu buzení G2 napájeném pomocným střídavým budičem G3. Budící vinutí kromě odbuzovače obsahuje i ochranný přepětový blok. Výhodou tohoto řešení je konstrukčně vyšší možný výkon budiče, s jednodušší údržbou a spolehlivější koncepcí díky absenci komutátoru. Využívá se u bloků 200 MW. Toto zapojení neumožňuje odbuzení reverzací napětí budiče.

**Budící soustavy s rotačním střídavým budičem a neřízeným usměrňovačem a rezervním buzením**



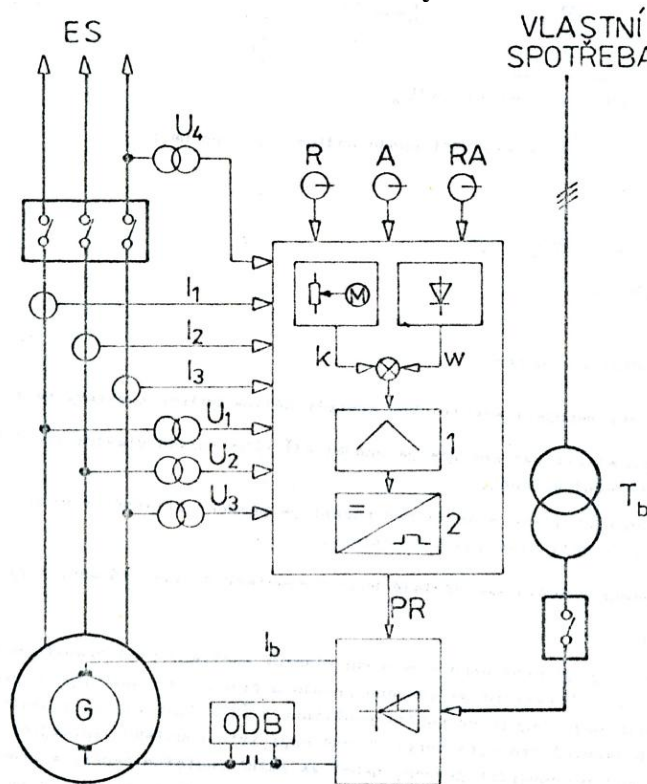
Obdobné řešení navíc buzení střídavého budiče G2 je alternativně možné přes transformátor IR z vlastní spotřeby. Řešení je také využíváno u bloků 200 MW.

### Budící soustavy s rotačním střídavým budičem a řízeným usměrňovačem



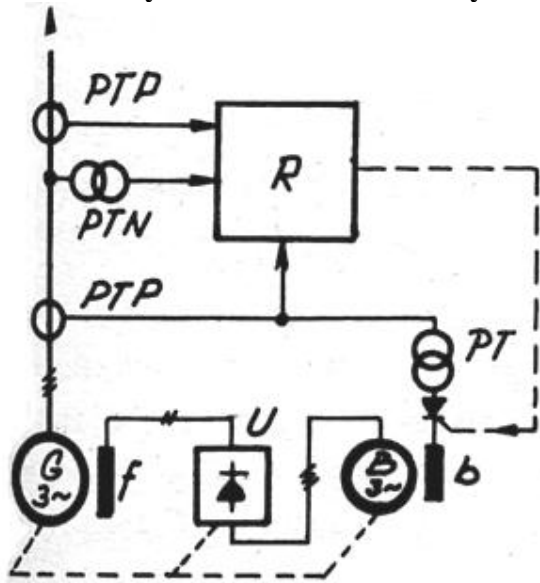
Pomocný střídavý budič „K“ je nezávisle regulován na konstantní napětí (proudová fázová kompaundace). Tyristorový řídicí systém zvyšuje regulační dynamiku. Lze pracovat i se záporným budícím napětím a lze tedy provádět odbuzování invertorovým chodem v kombinaci se zhašecí komorou. Vyšší je i účinnost budícího systému. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady nutně předimenzovaných thyristorových bloků (pro případ zkratu v ES a výpadku některého z nich). Tato konstrukce využita u 500 MW bloku.

### Budící soustavy s budícím transformátorem a řízeným usměrňovačem



System má podobné vlastnosti jako předchozí s tou nevýhodou, že při výrazném poklesu napětí v síti (zejména při zkratu) se ztrácí současně možnost intenzivně přibudit a alternátor se dostává do nebezpečí ztráty synchronismu. Proto je tento systém doplňován jak regulací s proudovou fázovou kompaundací, tak snahou napájení buzení z co nejvíce nezávislé sítě.

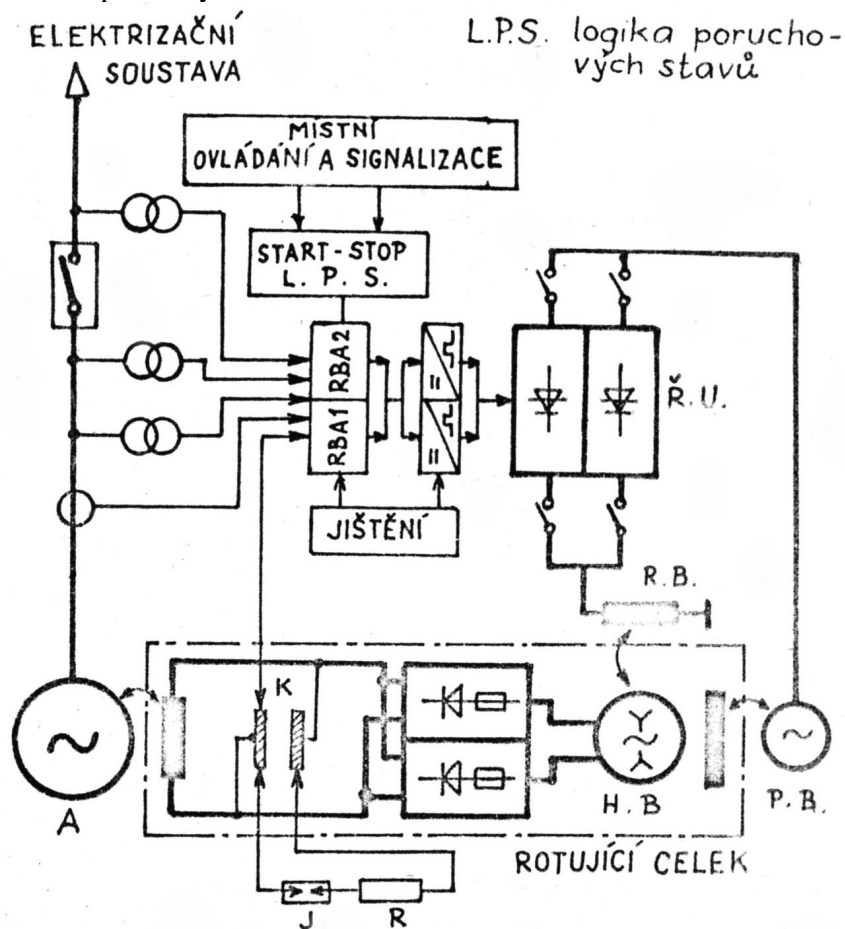
### Budící soustavy bezkroužkové s neřízeným usměrňovačem



Největší výhodou je odstranění pohyblivých kontaktů z hlavního budícího obvodu (přenos nepotřebuje kroužky a kartáče) neboť na rotoru je umístěn nejen usměrňovač, ale i střídavý zdroj (alternátor v inverzním provedení se střídavým vinutím na rotoru a buzení na statoru).

Buzení budícího stroje přes transformátor proudu je výhodné při blízkých zkratech, napětí je usměrněno řízenými tyristory. Výhodou je vysoká spolehlivost, nevýhodou menší dynamika regulace buzení oproti řízenému usměrňovači. Odbuzení je rovněž pomalé, proto se využívá jen u menších výkonů.

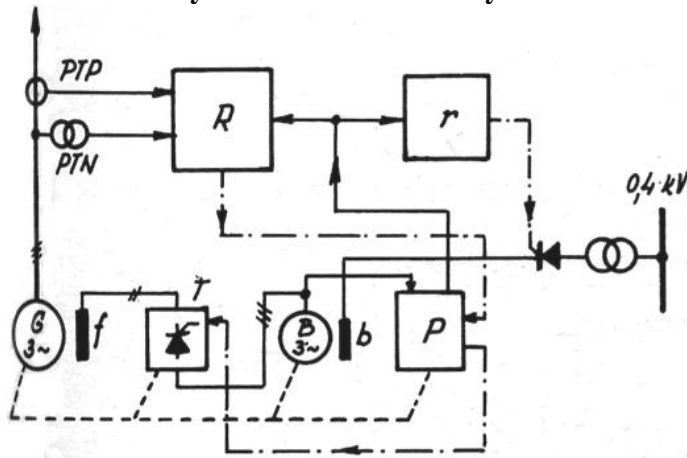
Upravená varianta s pomocným budičem:



Pro měření velikosti napětí a přepět'ové chránění v hlavním budícím obvodu je nutno instalovat pomocné kroužky. Budící proud se měří nepřímo přes vzduchové cívký v mezipólovém prostoru rotoru hlavního budiče.

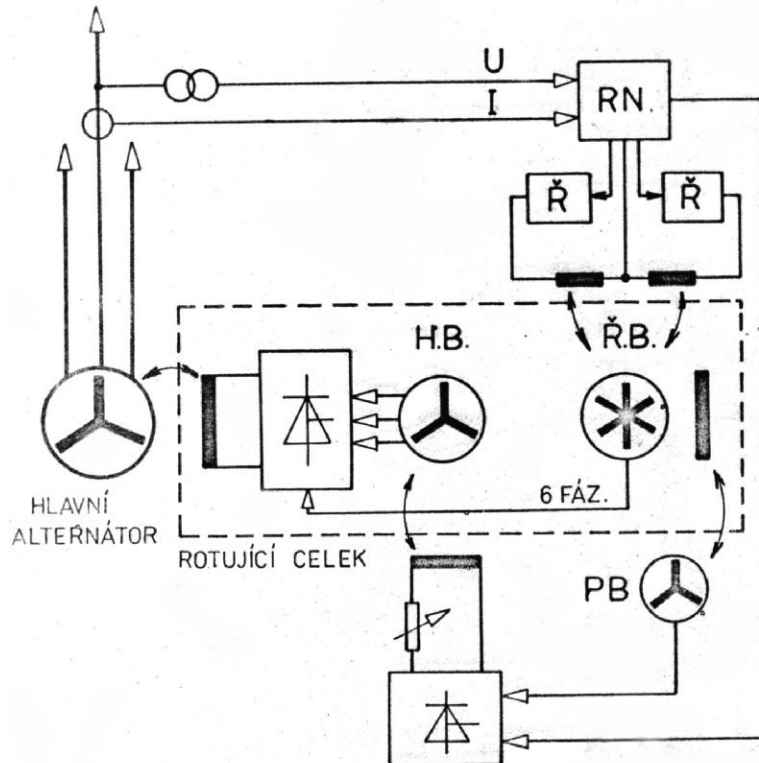
Pro snížení časové konstanty buzení je hlavní budič v šestipólovém provedení (pracuje na 150 Hz). Konstrukce diod musí být dostatečně předimenzovaná z důvodu jejich problematické údržby.

### Budící soustavy bezkroužkové s řízeným usměrňovačem

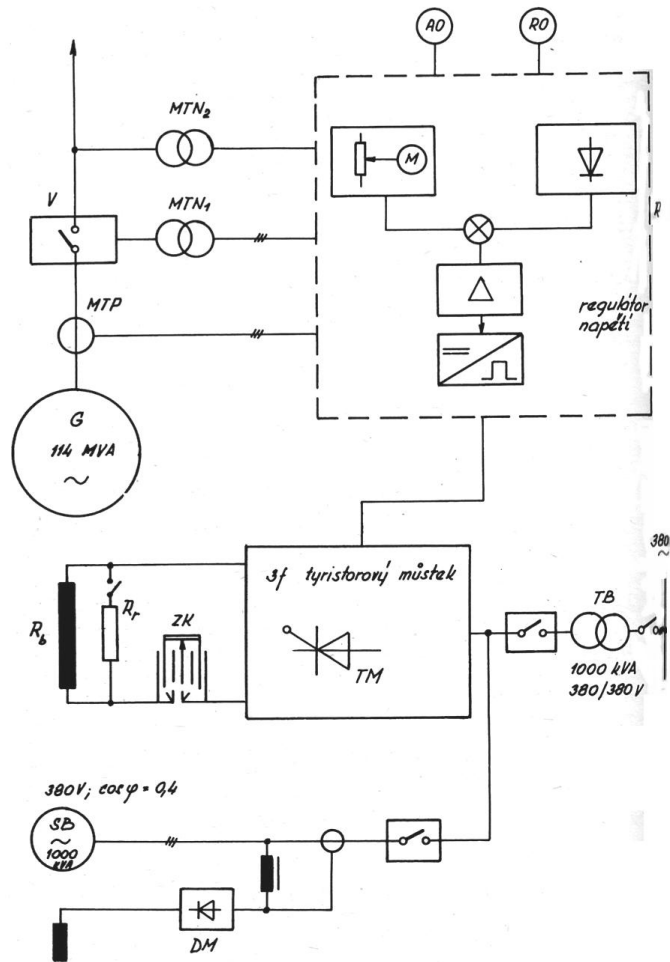


Informace z a na rotor se přenáší přes vícekanálový převodník „P“. Výhodou je větší dynamika regulace buzení a možnost odbuzování invertorovým chodem. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady i vzhledem k mechanickému namáhání rotorových komponent.

Převodník řešen např. jako šestikanálový řídicí budič s buzením v podélné i příčné ose.



Existují i konstrukční řešení s rotujícím transformátorem (závislý zdroj) s ještě lepší dynamikou, ale to vyžaduje přenášení veškerého budícího výkonu přes vzduchovou mezeru.



U reverzních hydroalternátorů je navíc nutno zajistit asynchronní chod při motorickém rozběhu.

Příklad zapojení pro vodní elektrárnu Dalešice, kde odpor  $R_r$  se zapojuje právě při rozběhu:

### Vlastnosti budících systémů

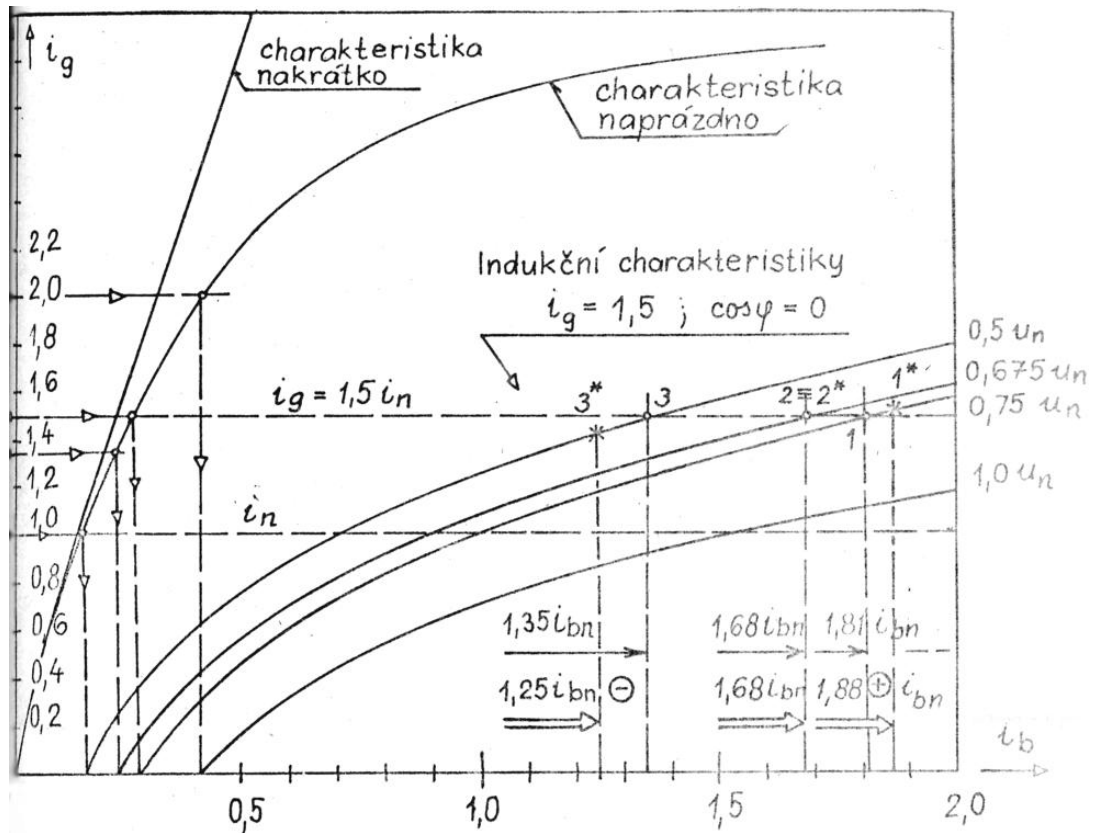
Z mnoha kladených požadavků na budící systémy je nejdůležitější udržení statické a dynamické stability chodu alternátoru, tedy jeho synchronního chodu se sítí při blízkých zkratech, poruchách buzení a askokových změnách zatížení. Dynamické chování vyžaduje řešení pohybové rovnice pro zátěžný úhel:

$$J \frac{d^2 J}{dt^2} + D \frac{dJ}{dt} = \frac{P_T - P_{EL}}{w},$$

kde D je činitel tlumení daný především účinkem tlumiče alternátoru a dále činnými odpory přes které se uzavírají proudy. Řešení takové rovnice nutně zahrnuje i analýzu chování turbíny a jejího regulátoru a navíc je třeba řešit mnoho reprezentativních případů.

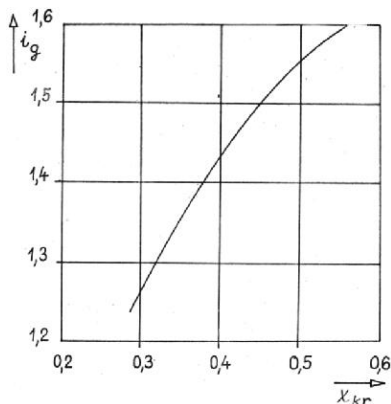
Ověření statické stability regulátoru buzení se omezuje na určení minimální tzv. „reaktance přenosu“  $X_{KR}$  (od alternátoru do místa vzniku zkratu) při které je systém ještě stabilní, čili buzení je schopno udržet požadovaný statorový proud alternátoru a zátěžný úhel nepřekročil hranici kdy dodávaný činný výkon v závislosti na něm začne klesat. Toto má význam zejména u závislých systémů buzení, kde svorkové napětí alternátoru ovlivňuje velikost budícího napětí a je tedy nutno počítat s vyšší rezervou (poměrná stropní hodnota budícího napětí  $K_S$  až 2.5). Bohužel je závislost statorových veličin na budícím proudě nelineární, takže velikost  $X_{KR}$  je závislá ne požadovaném zkratovém proudě.





Pro požadovaný zkratový proud  $i_G$  a konkrétní zkratovou reaktanci  $x_K$  určíme svorkové napětí generátoru:  $u_G = i_G \cdot x_K$ . Maximální hodnota budícího proudu při daném svorkovém napětí  $i_B = K_S \cdot u_G$  porovnáme s s potřebnou hodnotou budícího proudu z indukční charakteristiky a jejich rozdíl označíme  $\Delta i_B$ . Pro hodnoty při různě „elektricky vzdálených“ zkratech a tedy různých  $x_K$  při  $K_S = 2.5$  získáme tabulku:

$i_G$	$x_K$	$u_G$	Maximální dosažitelný $i_B$	Potřebný $i_B$	Rezerva $\Delta i_B$	Relace $x_K$ a $x_{KR}$
1.5	0.50	0.75	1.88	1.81	0.07	$x_K > x_{KR}$
1.5	0.45	0.68	1.68	1.68	0.00	$x_K \approx x_{KR}$
1.5	0.33	0.5	1.25	1.35	-0.10	$x_K < x_{KR}$



Se snižujícím se potřebným proudem alternátoru klesá i hodnota kritické reaktance  $x_K$  při kterých je tento proud ještě udržitelný, tedy zkratmůže být elektricky bližší alternátoru.