

Regulace frekvence v ES

Jedním ze základních problémů zajištění plynulé dodávky elektrické energie je relativní neskladovatelnost elektřiny. Výroba musí probíhat v době, kdy se uskutečňuje spotřeba. V každý časový okamžik musí být v ES udržována rovnováha mezi výrobou a spotřebou elektřiny:

$$S_v(t) = S_s(t) + S_z(t) + S_a(t)$$
$$\text{Výroba} = \text{spotřeba} + \text{ztráty} + \text{akumulace}$$

Zdánlivý výkon je součtem činné a jalové složky, přičemž činný výkon se transformuje v elektrických spotřebičích do jiné energetické formy (kinetická, tepelná), jalová složka je použita pro umožnění transformace (vytvoření magnetického pole) a není transformována, ale putuje od zdroje ke spotřebiči a zpět.

Pro udržení této výkonové rovnice se musí v ES provádět regulace. Jak je vidět z rovnice lze provádět regulaci:

- na straně výroby (regulací výkonu výroby)
- na straně spotřeby (regulací změny zatížení)

Proto aby mohla být provedena regulace je nezbytné mít k dispozici:

1. Dostatečnou hodnotu výkonu (jeden z předpokladů spolehlivého provozu **ES**)
2. Dostatečné množství regulačního výkonu (nezbytný ke kompenzaci poruch v rovnováze mezi zatížením a výkony zdrojů. Může být jak na zdrojové straně, tak i na straně spotřeby a akumulace)

Druhá podmínka určuje, že jednotlivá zařízení, jak na straně výroby, tak i na straně spotřeby musí mít schopnost poskytovat regulační služby, které lze rozdělit na:

1. Statické regulační služby:
 - reprezentující výkony jejichž nasazení se plánuje – změny probíhají ve velkém rozsahu při malých rychlostech změny
2. Dynamické regulační služby:
 - zahrnující výkony jejichž nasazení nelze plánovat – změny probíhají v malém rozsahu při velkých rychlostech

Zařízení která poskytují jsou schopna poskytovat regulační službu mají různé schopnosti vyplývající z možnosti:

1) Rychlostí změny výkonu v_p :

$$v_p = \frac{\Delta P}{dt} [MW / min], v_q = \frac{\Delta Q}{dt} [MW_r / min]$$

rychlost změny jalového výkonu se u jednotlivých zdrojů, na rozdíl od změny činného výkonu závislém na druhu transformačního řetězce realizovaného v elektrárenském zdroji, moc neliší.

2) Regulačním pásmem RP (MW), RQ (MW_r)

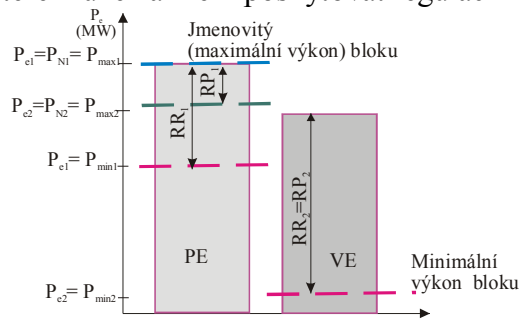
rozsah výkonu, v němž lze s danou rychlostí změny výkonu regulovat. – obr.1:

$$P_{el} = P_g = P_{g,max1} - P_{g,max2} [MW]$$

3) Regulačním rozsahem RR (MW, MW_r) - - obr.1

$$P_{el} = P_g = P_{g,max1} - P_{g,min1} [MW]$$

rozsah výkonu, v němž lze být i pomalou rychlostí měnit výkon.
 4) Dobou, během které může zařízení poskytovat regulační službu.



obr.1: Regulační rozsahy elektrárenského bloku

Regulace na straně spotřeby

Dále se budeme zabývat pouze regulací činných výkonů = regulace frekvence.

Regulaci na straně spotřeby se nazývá **řízení spotřeby elektřiny**

Základním předpokladem je, že se není úkolem omezovat spotřebu (restriktivní opatření), ale pouze ji usměrňovat (motivační opatření) prostřednictvím:

- technických prostředků
- ekonomickými nástroji.

Z *technických prostředků* se nejvíce rozšířilo **hromadné dálkové ovládání (HDO)**, které se používá pro řízení spotřeby elektrotepelných spotřebičů. **HDO** umožňuje přizpůsobení těchto spotřebičů možnostem **ES** a ekonomickým potřebám distribuční společnosti.

Z *ekonomických nástrojů* se využívá tarifování elektřiny (cena elektřiny není jednotná v průběhu diagramu zatížení, ale rozdělena do tarifních pásem), které zvýhodňují odběr v obdobích, kdy je to z hlediska celé ES výhodné.

Prostředky pro řízení spotřeby lze rovněž rozdělit na:

- přímé
- nepřímé

Mezi *přímé prostředky* patří:

- HDO,
- akumulátory elektřiny,
- prostředky používané ve stavech nouze a poruchových stavech:
 - regulační plán a vypínací plán,
 - automatické frekvenční odlehčování podle frekvenčního plánu,
 - jiné smluvně zajištěné prostředky.

Mezi *nepřímé prostředky* patří:

- programy úspor energie a zlepšení účinnosti elektrických spotřebičů a systémy tarifů za elektřinu.

HDO

Původní filozofie použití akumulčních elektrotepelných spotřebičů (nabíjení jednotně v době nočního provalu diagramu zatížení (**DDZ**) vede při větším rozšíření těchto spotřebičů ke zhoršení tvaru **DDZ** dané oblasti. Jejich soudobost, typická pro začátek nabíjení, byla příčinou vzniku nočního špičkového zatížení, které v určitých oblastech převýšilo denní maximální zatížení. Začalo se používat frekvenční spínání spotřebičů podle potřeby **DDZ**. Bylo dosaženo

určitých úspěchů které spočívaly ve snížení poměru maximálního a minimálního zatížení **DDZ** a zvýšila se doba využívání maxima v lednu.

Akumulace energie

Je to proces umožňující „uskladnění energie“ na vhodném místě, ve vhodné formě, tak aby byla připravena pro příští použití ve vhodný čas v požadované kvantitě a kvalitě. Zařízení pro akumulaci energie se obecně označuje jako **akumulátor**.

V současné době se považuje za nejdůležitější tyto základní způsoby akumulace energie:

- Kvantitativní akumulace:
zásoby pevných, kapalných nebo plyných paliv
- Tepelná akumulace:
akumulace energie ve formě tepla. Této akumulace využívají tepelné akumulátory, které představují buď speciální zařízení, nebo běžné součásti technologických celků (dlouhé teplovody), které umožňují využít akumulovaného tepla pro přeměnu na jiný druh energie (obvykle elektrické)
- Chemická nebo elektrochemická akumulace:
akumulace elektřiny ve formě chemické energie a využívá se v chemických bateriích nebo akumulátorech.
Akumulátory využívají přeměnu elektřiny na chemickou energii, kterou je možno v případě potřeby transformovat zpět na elektřinu.
- Mechanická akumulace:
využívá potenciální (gravitační) energii nebo kinetickou energii v zařízeních umožňující přeměnu této formy energie na jinou formu vhodnější pro praktické použití.
V elektroenergetice se tento způsob využívá:
 - akumulačních vodních elektráren (**AVE**) - prostá mechanická akumulace
 - přečerpávacích vodních elektráren (**PVE**) - využívají přeměnu elektřiny na potenciální energii, která v případě potřeby se změní zpět na elektřinu
 - setrvačníky, které lze využít pro krátkodobé vyrovnání bilanční rovnice.
 - zásobníky stlačeného vzduchu (plynu) – nejsou prakticky využívány
- Elektromagnetická akumulace:
akumulace energie formou elektromagnetického pole kolem supravodivých vodičů.

Regulace na straně výroby

Bilanční rovnováha ES je dorovnáována elektrárenskými zdroji. V rozsahu svých **RR** mají **RP**, které se využívají pro regulaci frekvence v síti. Tato regulace se provádí ve třech stupních.

1. Primární:
automatické přizpůsobování výkonu zdrojů požadovanému zatížení.
2. Sekundární:
vyrovnání frekvence na jmenovitou hodnotu 50 Hz.
3. Terciární:
obnovení **RP** pro primární a sekundární regulaci.

Změny frekvence v ES

Změna frekvence může být způsobena:

- *na straně zásobovacího systému ES*
V **ES** se vyskytne porucha v plánované výrobě elektřiny, výkonová hodnota byla předem nasmlouvána mezi výrobcí a odběrateli.

Porucha je stav zařízení, při němž došlo ke ztrátě jedné nebo více jeho základních funkcí, a to způsobem, který vyžaduje opravu.

Poruchy v **ES** se dělí na:

- poruchy na výrobním zařízení (elektrárny) - vedou k narušení výkonové bilance a následnému působení regulačních procesů na elektrárnách vedoucích k její vyrovnání
- poruchy na zařízení sítí (rozvodu) - vedou ke změně zapojení soustavy

Z pohledu poruch je soustava standardně navrhována dle kritéria ***n-1***. Tzn., že jakýkoliv výpadek jednoho z N prvků ES nesmí narušit její jmenovitý provoz.

Zvláštním případem je tzv. systémová porucha, která je vždy doprovázena omezením spotřeby a výroby a zpravidla vede k rozdělení soustavy na ostrovy s následným působením frekvenčního odlehčování.

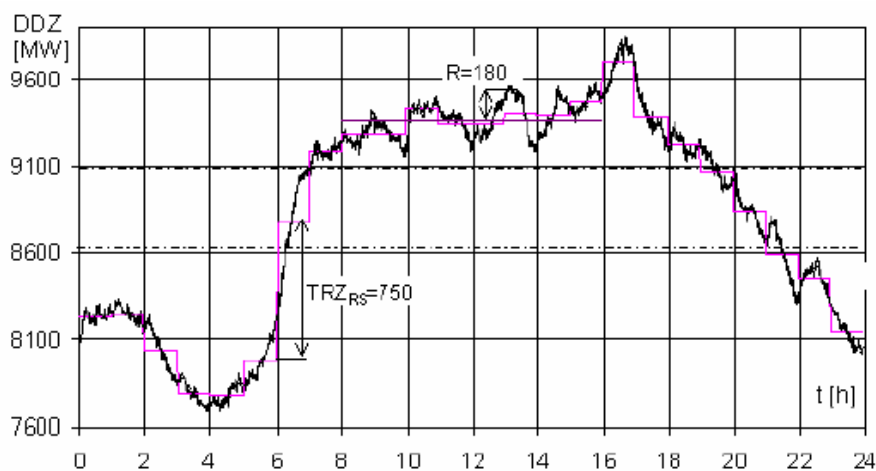
Porucha může nebo nemusí být doprovázena omezením výroby nebo spotřeby. Pokud je porucha doprovázena omezením výroby nebo spotřeby, mluvíme o **výpadku**.

- *na straně spotřeby:*
 - pomalé změny zátěže 0,5 – 3,5 % max diagramu zatížení soustavy za 1 minutu
 - náhodné změny – zapínací a vypínací procesy zatížení v ES 0,005 – 0,3 Hz za 1-15 sekund
 - skokové zatížení (pece, bagry) 0,03 Hz

Potřebná výkonová záloha zdrojů v **ES** (primární, sekundární a terciální regulaci frekvence) vyrovnává odchylky pohotového výkonu (výkon, který je v daném okamžiku k dispozici) a zatížení od jejich očekávaných hodnot. Tato odchylka může být způsobena:

- při prodloužení naplánované údržby,
- podprůměrné dostupnosti vody,
- nadprůměrných poruchách,
- odchylkách od průměrných meteorologických podmínek
- očekávaného národohospodářského vývoje

Pokrytí plánovaného (nasmlouvaného) **DDZ** a skutečného zatížení v **ES** je ukázáno na obr. 2.



obr.2: Systémová odchylka ES

Nasmlovaný diagram (fialové obdélníky) se stanovuje na den dopředu na každou hodinu. Skutečný diagram je průběh černé křivky. Z diagramu je vidět, že např. v 7 hodině je nasmlovaná hodnota výkonu o 750 MW větší než v 6 hodině. Dále je vidět, že maximální odchylka mezi plánovaným zatížením a skutečným v **DDZ** je v 13 hod na hodnotě 180 MW.. Pokrývání odchylek zatížení vůči smluvnímu diagramu zatížení provádí provozovatel přenosové soustavy koordinací systémových služeb sekundární a terciární regulace f a P. • Zajišťuje rovnováhu mezi nabídkou výkonu (výkon na straně zdrojů) a poptávkou výkonu (příkon na straně spotřebičů) v el. soustavě. Rozhodující ve výkonové bilanci je vztah mezi pohotovým výkonem zdrojů a zatížením spotřebičů, který určuje (ve skutečnosti) nebo je určován (v plánu). Bilance se sestavuje pro hodinu, den, týden, měsíc a rok, přičemž se pracuje s průměrnými hodnotami sledovaného období.

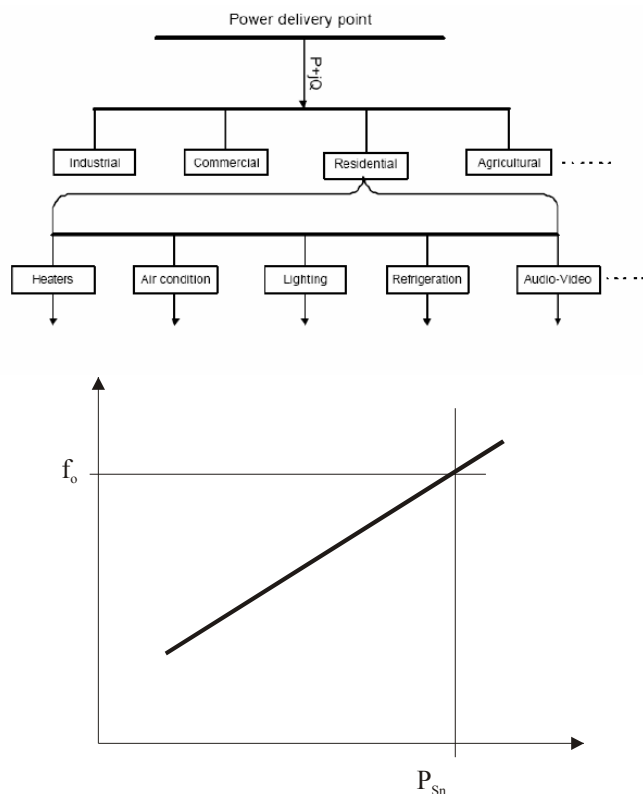
Statická charakteristika zátěže (spotřebičů)

Protože výkon spotřebičů zapojených ve spotřebě elektřiny (obr.3) je frekvenčně a napět'ově závislý, dochází se změnou frekvence a napětí ke změně odebíraného výkonu spotřebiči podle statických charakteristik zátěže. Změna činného a jalového výkonu v místě odběru při změně frekvence je dána:

$$P(U, f) = P(U) \cdot [1 + k_{Pf} \cdot (f - f_0)],$$

$$Q(U, f) = Q(U) \cdot [1 + k_{Qf} \cdot (f - f_0)],$$

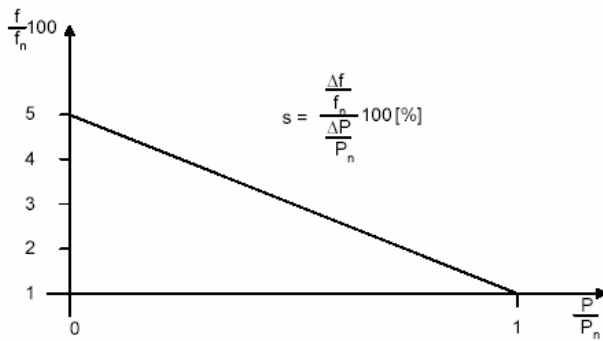
k_{Pf} a k_{Qf} jsou příslušné citlivostní součinitele na kmitočet



obr.3: Statické charakteristiky spotřebičů

Statická charakteristika generátorů

Výkony generátorů se změnou frekvence mění také podle jejich statické charakteristiky (otáčková – proporcíální regulace) – obr.4. Se změnou frekvence zvyšují nebo snižují výkon.

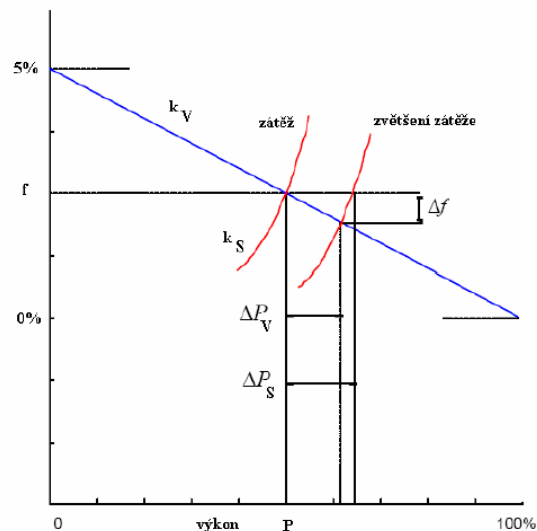


obr.4: Statická charakteristika generátorů

Z této charakteristiky lze odvodit vliv poruch frekvence v elektrizační soustavě na činný výkon turbogenerátoru (**TG**). Např. porucha frekvence 0,1 Hz vyvolá u **TG** o výkonu 220 MW s nastavenou statikou 5 % změnu výkonu **TG** o 8,8 MW.

Primární regulace frekvence

Spojením statické charakteristiky zátěže a generátorů (výroby) dostaneme:



obr.5: Primární regulace f

- pracovní bod (f, P)
- zvětšení zátěže
- nový pracovní bod při snížené frekvenci
- zvýšení výkonu nepokrývá celý výpadek
- rozdíl je samoregulační efekt zátěže

Primární regulace frekvence v ES je tedy.

Automatické přizpůsobování výkonu turbín pouze podle odchylky frekvence v síti. Regulace musí působit samočinně a musí splňovat následující body:

- proporcionalního charakteru, prováděná prostřednictvím regulátoru výkonu turbíny respektive otáček, čímž je zajištěna rovnováha mezi výrobou a spotřebou elektrické energie. Regulátor výkonu turbíny přizpůsobuje výkon generátoru podle vztahu:

$$S = -\frac{\Delta f}{\Delta P_G} \cdot \frac{P_{G,n}}{f_n} [\%; Hz; MW] .$$