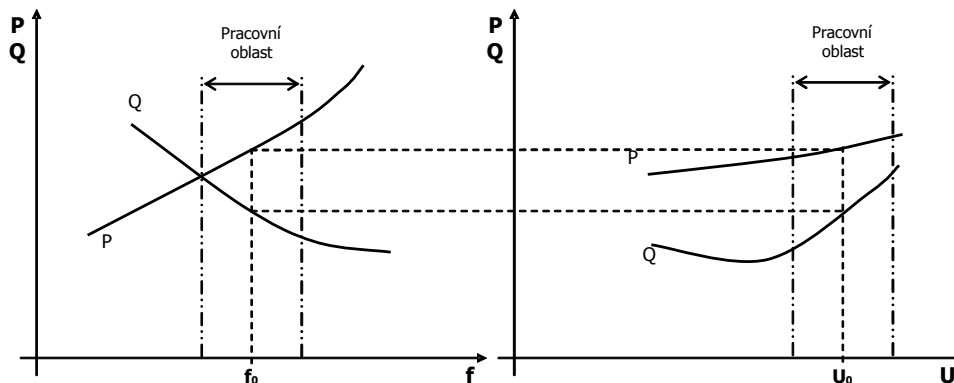


Regulace napětí v ES

Základní princip regulace U v ES si ukážeme na definici statických charakteristik zátěže

Je zřejmé, že výkon odebíraný spotřebitelem je závislý na frekvenci a napětí na přípojnicích spotřebitelů. Tyto závislosti se nazývají statické charakteristiky frekvence a napětí. Jsou to graficky nebo analyticky vyjádřené závislosti činného resp. jalového výkonu jako funkce frekvence a napětí, obr. 1.



Obr.1: Statické charakteristiky zátěže

To lze zapsat:

$$P = F(f, U) \text{ a } Q = F(f, U) \quad (1)$$

Bilance výkonů v ES platí jen pro určité hodnoty frekvence a napětí v soustavě. Při jejich změnách dochází k změnám vyráběných resp. spotřebovaných výkonů. Platí to i opačně: při změně dodávaných výkonů resp. změně zatížení v ES dochází k změně frekvence a napětí.

Funkční závislost změn napětí a frekvence při změně výkonů můžeme zjistit rozložením statických charakteristik do Taylorovy řady (členy s derivacemi vyšších řádů zanedbáme):

$$P = P_0 + \frac{\partial P}{\partial f} \Delta f + \frac{\partial P}{\partial U} \Delta U \quad (2)$$

$$Q = Q_0 + \frac{\partial Q}{\partial f} \Delta f + \frac{\partial Q}{\partial U} \Delta U \quad (3)$$

P_0, Q_0 - je výchozí hodnota celkového činného resp. jalového zatížení soustavy

Označme změny činného resp. jalového výkonu na svorkách generátorů ES jako $\Delta P_G, \Delta Q_G$. Pak můžeme psát že:

$$\Delta P_G = \frac{\partial P}{\partial f} \Delta f + \frac{\partial P}{\partial U} \Delta U \quad (4)$$

$$\Delta Q_G = \frac{\partial Q}{\partial f} \Delta f + \frac{\partial Q}{\partial U} \Delta U \quad (5)$$

Soustava rovnic (4) a (5) nám určuje vztah mezi změnami výkonů na svorkách generátorů a změnami parametrů kvality elektřiny. Řešením této soustavy dostaneme:

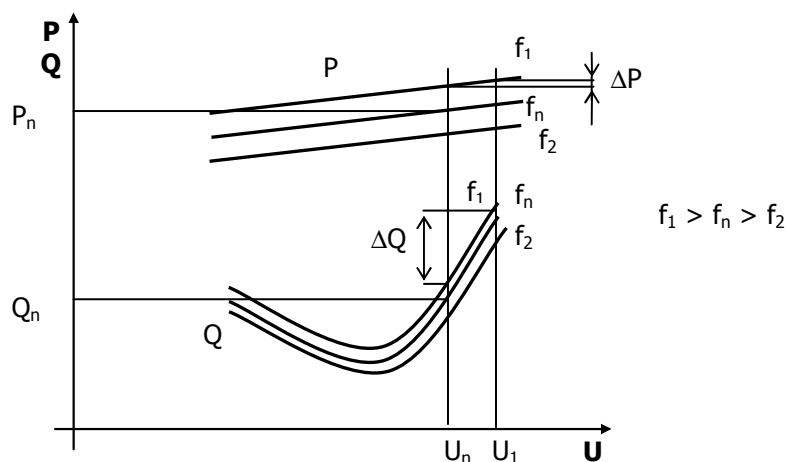
$$\Delta f = \frac{\begin{vmatrix} \Delta P_G & \frac{\partial P}{\partial U} \\ \Delta Q_G & \frac{\partial Q}{\partial U} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \frac{\partial P}{\partial f} & \frac{\partial P}{\partial U} \\ \frac{\partial Q}{\partial f} & \frac{\partial Q}{\partial U} \end{vmatrix}} = \frac{\Delta P_G \cdot \frac{\partial Q}{\partial U} - \Delta Q_G \cdot \frac{\partial P}{\partial U}}{\Delta} \quad (6)$$

$$\Delta U = \frac{\begin{vmatrix} \frac{\partial P}{\partial f} & \Delta P_G \\ \frac{\partial Q}{\partial f} & \Delta Q_G \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{\Delta Q_G \cdot \frac{\partial P}{\partial f} - \Delta P_G \cdot \frac{\partial Q}{\partial f}}{\Delta} \quad (7)$$

Kde:

$$\Delta = \frac{\partial P}{\partial f} \cdot \frac{\partial Q}{\partial U} - \frac{\partial P}{\partial U} \cdot \frac{\partial Q}{\partial f} \quad (8)$$

Analýzou rovnic (8) a (9) je možné dojít k závěru, že narušení bilance činného výkonu způsobuje změnu především frekvence a narušení bilance jalového výkonu způsobuje změnu napětí ES. Toto tvrzení je patrné z obr.2, kde jsou znázorněné statické charakteristiky zatížení jako funkce napětí (parametrem je frekvence).



Obr.2: Statické charakteristiky zátěže

Z obr.2 je patrné že:

- charakteristiky pro činné výkony P leží daleko od sebe, to znamená, že při změně frekvence f (při určitém napětí U) se značně změní činný výkon, přičemž naopak změnou napětí U se činný výkon P příliš nemění,
- charakteristiky pro jalové výkony Q leží blízko sebe, to znamená, že při změnách frekvence f se jalový výkon Q příliš nemění, ale jalový výkon Q se značně mění se změnou U .

Uvedené vlastnosti ES umožňují analyzovat její chování odděleně pro závislost $P = F(f)$ a $Q = F(U)$. Přitom je potřebné si uvědomit, že frekvenci v ES charakterizuje vyrovnanost bilance činných výkonů v celé ES, ale napětí vyrovnanost jalových výkonů jen v dané oblasti.

Proto frekvence je celo-systémový (globální) provozní parametr ES, ale napětí je místný (lokální) provozní parametr ES.

Jinými slovy frekvence je v propojených soustavách regulována společně, ale napětí si reguluje (udržuje) každá soustava samostatně.

Analýza chování ES při změně f byla provedena v předchozích přednáškách., tj. zabývali jsme se regulací f .

Vliv změny napětí na zatížení

Spotřebiče provozované v ES jsou navrhované na jmenovitou (nominální) hodnotu napětí. Každé větší odchylna napětí jmenovité hodnoty má obvykle nepříznivé důsledky na tyto spotřebiče. Nap. změna napájecího napětí asynchronních motorů v rozmezí 5 až +10 % U_n způsobí změnu rychlosti až o 2,5 %, přičemž se mění činný a jalový výkon a také životnost motorů. Při snížení napětí se snižuje svítivost žárovek, na druhé straně zvýšení napětí podstatně snižuje jejich životnost. Odchylna napětí od nominální hodnoty má podstatný vliv i na provoz synchronních generátorů a synchronních kompenzátorů. Výkon těchto zařízení je závislý na hodnotě statorového proudu a napětí na jejich svorkách.

Vliv změny napětí na parametry elektrických zařízení.

Změna výkonu kondenzátorové baterie:

$$Q_k = \omega \cdot C \cdot U^2 \quad (9)$$

kde ω - uhlová rychlost
 C - kapacita kondenzátorové baterie

V tomto případě snížení napětí způsobí podstatnému snížení generovaného jalového výkonu kondenzátorovou baterií.

Zvýšení ztrát transformátorů vlivem zvýšení/snížení napětí, v důsledku nárůstu magnetizačního proudu a tím zvýšení činných a jalových ztrát naprázdno:

$$\Delta P_0 = \Delta P_n \left(\frac{U_n}{U} \right)^2 \quad (10)$$

$$\Delta Q_0 = \Delta Q_n \left(\frac{U_n}{U} \right)^2 \quad (11)$$

kde ΔP_n a ΔQ_n - činné a jalové ztráty při jmenovitém napětí U_n
 U - skutečné hodnota napětí

Zvýšené ztráty na vedeních:

$$\Delta P = \Delta P_n \left(\frac{U_n}{U} \right)^2 + \Delta P_k \left(\frac{U}{U_n} \right)^m \quad (12)$$

kde P_k - ztráty způsobené korónou
 m_u - koeficient zahrnující povětrnostní podmínky $0 \leq m \leq 10$

V přenosových sítích ≥ 400 kV jsou ztráty způsobené korónou porovnatelné se ztrátami vlivem zatížení.

Jalové ztráty na vedeních:

$$\Delta Q = \Delta Q_n \left(\frac{U_n}{U} \right)^2 - Q_B \left(\frac{U}{U_n} \right)^2 \quad (13)$$

kde ΔQ - celkové jalové ztráty na vedení
 ΔQ_n - jmenovité jalové ztráty na vedení při U_n
 Q_B - nabíjecí výkon vedení při U_n
 U skutečné napětí na vedení

Vzhledem na uvedené negativní vlivy je potřebné napětí držet v určitých mezích – povolené tolerance. Přípustné odchylky napětí předpisují příslušné normy.

Je tedy nutné provádět v jednotlivých ES regulaci napětí.

Jak bylo řečeno a zdůvodněno bude se regulace napětí v ES provádět regulací jalových výkonů v ES.

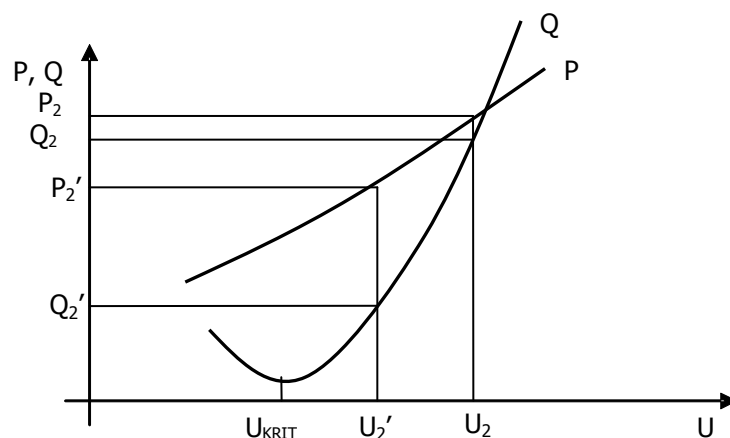
V ES musí v každém časovém okamžiku musí být dodržena bilance jalových výkonů.

$$\sum_i Q_g + \sum_i Q_B + \sum_i Q_{kz} = \sum_i Q + \Delta Q \quad (14)$$

Kde: $\sum Q_g$ - celkový generovaný jalový výkon na elektrárnách
 $\sum Q_B$ - celkový nabíjecí výkon vedení
 $\sum Q_{kz}$ - celkový jalový výkon kompenzačních zařízení
 $\sum Q$ - celkový jalový výkon zatížení (včetně vlastní spotřeby elektráren a rozvodů)
 ΔQ - celkové jalové ztráty výkonu v ES

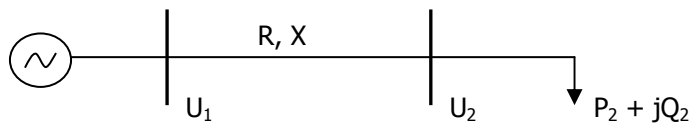
Táto bilance v ES je neustále držena vzhledem ke změně generovaného jalového výkonu a změně spotřebovaného jalového výkonu.

Statické charakteristiky zatížení v závislosti od napětí $P, Q = F(U)$ jsou patrné z uvedené na obr.3.



Obr.3: Statické napěťové charakteristiky zátěže

Závislost bilanční rovnováhy na napětí v ES si ukážeme na jednoduchém přenosu zobrazeném na obr.4.



Obr.4: Schéma přenosu

Předpokládejme že v nikterém časovém okamžiku je v ES (obr.4) držena bilance jalových výkonů, a napětí na počátku vedení je U_1 a na konci U_2 . Těmto napětím odpovídá zatížení na konci vedení P_2, Q_2 (v souladu se statickými charakteristikami obr.3).

Napětí na konci pak je:

$$U_2 = U_1 - \frac{P_2 \cdot R + Q_2 \cdot X}{U_2} \quad (15)$$

Jestliže se sníží napětí z nějakého důvodu na začátku vedení na hodnotu U_1' , dojde k snížení napětí i na konci vedení na hodnotu U_2' a tím i k snížení odběru na P_2' a Q_2' (obr.3).

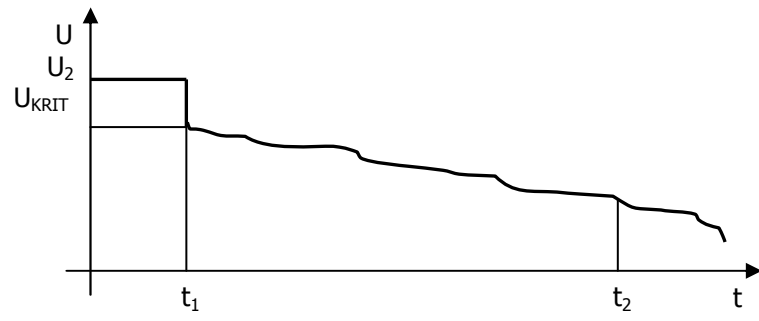
$$U_2' = U_1' - \frac{P_2' \cdot R + Q_2' \cdot X}{U_2'} \quad (16)$$

Při změně napětí o 1 % U_n dojde ke změně činného výkonu P o 0,6 - 2 % a Q o 2 - 5 %. Při snížení napětí U_1 se sníží i úbytek napětí $\Delta U (U_2 - U_2' < U_1 - U_1')$.

V tomto průpade při změně zatížení spotřebičů v souladu se statickými charakteristikami dojde k samoregulačnímu efektu zatížení vlivem změny napětí. Těmto novým hodnotám U_1' a U_2' odpovídají nové podmínky bilance jalového výkonu.

Samoregulační efekt se projeví jen do hodnoty U_{KRIT} (obr. 5). Jestliže napětí klesne pod tuto hodnotu, regulace bude opačná, t.j. snížení napětí vyvolá zvýšení jalové spotřeby zatížení a tím i zvýšení úbytku napětí a dalšímu snížení napětí U_2 . V takovémto případe dochází k lavině napětí a nedodržení bilance jalového výkonu. Průběh laviny napětí je znázorněný na obr.5, kde t_1 - čas snížení napětí na hodnotu U_{KRIT} , $t_2 - t_1$ je čas charakterizující proces Laciny (trvá jenom několik vteřin). Výsledkem laviny napětí je narušení stability zatížení, které se odrazí v samoodlehčení spotřebitelů. Po jejich vypnutí se napětí ustálí. Hodnota kritického napětí pro uzly se smíšeným charakterem zatížení je $U_{KRIT} = 0,8 - 0,75 U_n$. Lavina napětí může proběhnout v celé ES nebo v jej jednotlivých uzlech.

Přenos jalového výkonu v ES je spojený se značnými úbytky napětí a jalovými ztrátami, vzhledem na velké reaktance vedení a transformátorů. Proto jestliže je generovaný velký jalový výkon v jednom uzle ES ještě to neznamena, že zabezpečíme potřebné napětí v ostatních uzlech. V tomto případe je potřebné bilanci jalových výkonů dodržet nejen pro celou ES, ale i pro každý uzel ES zvlášť.



Obr.4: Průběh laviny napětí