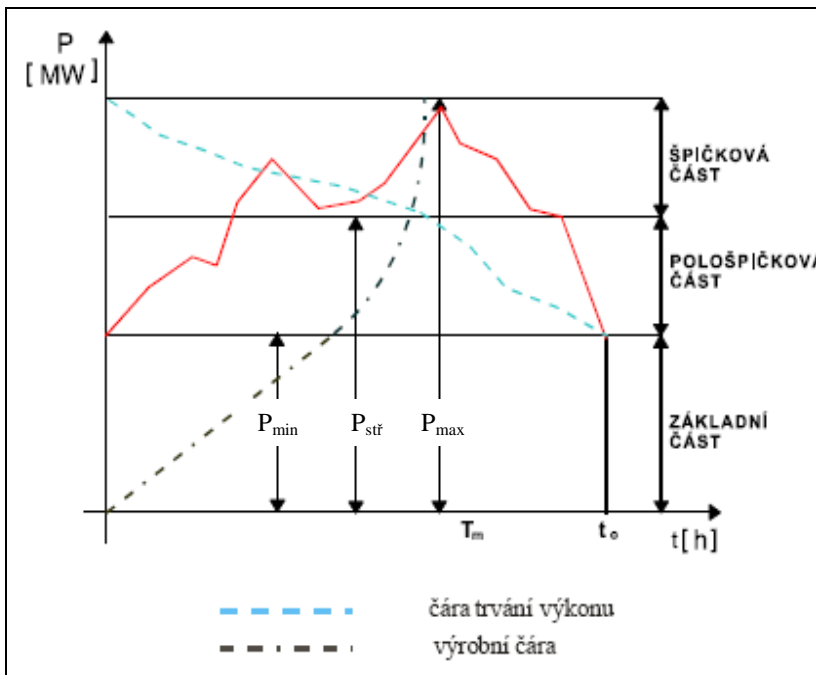


1. Denní diagram zatížení (DDZ), typický tvar, doba využití maxima, doba plných ztrát, strategie pokrývání DDZ, základní, střední, špičkové zatížení. Hejtmánková



Špičkové pásmo

- přečerpávací vodní elny (Dalešice, Dlouhé stráně)
- paroplynové elny (Vřesová)

Pološpičkové pásmo

- klasické tepelné elny
- akumulční vodní elny (Vltavská kaskáda - Lipno, Orlík, Slapy, Štěchovice)

Základní pásmo

- vodní průtočné elny
- jaderné elny (Dukovany, Temelín)
- klasické tepelné elny (Tisová, Pruněřov, Tušimice, Počerady, Ledvice, ...)

Celkové množství $W_c = \int_0^{t_0} P dt$ - vyrobené energie [MWh] - množství dodaného výkonu za sledované období

Střední zatížení $P_s = \frac{W_c}{t_0}$ - podíl celkové výroby a celkového [MW] počtu hodin sledovaného období pak $W_c = t_0 \cdot P_s$ [MWh], což je v DZ obdélník o stranách P_s , t_0

Doba využití maxima $T_m = \frac{W_c}{P_{max}}$ čas, který by elektrárna potřebovala k vyrobení [h/den, rok] množství energie dané příslušným DZ,

kdyby po celou dobu dodávala max. (pohotovostní) výkon pak $W_c = P_{max} \cdot T_m$ [MWh], což je v DZ obdélník o stranách P_{max} , T_m

Zatěžovatel $z = \frac{T_m}{t_0} = \frac{P_s}{P_{max}}$ - poměr počtu hodin doby využití maxima [-] ku celkovému počtu hodin sledovaného období

Doba plných ztrát je def. jako doba, za kterou by se při maximálním přenášeném výkonu ztratilo ve vedeních během sledovaného období stejné množství elektrické energie jako při proměnlivém zatížení:

$$T_z = \frac{W_{cz}}{P_{maxz}}$$

2. Tepelné elektrárny, zjednodušené schéma, účinnost a zvyšování účinnosti. T-s, i-s diagram vodní páry, oběhy.

Možné způsoby výroby elektrické energie v současnosti:

Schejbal - Dvorský

- termodynamická přeměna energie jaderného paliva a spalování fosilních paliv v mechanickou energii a následně elektrickou - jaderné a klasické tepelné (tepelné na fosilní paliva) elektrárny
- přeměna mechanické polohové a kinetické energie vody v mechanickou energii a následně elektrickou - vodní elektrárny
- přeměna slunečního záření na elektrickou energii (přímo nebo zprostředkovaně) - sluneční, větrné, slapové
- geotermické, ...

Většina elektráren se provozuje za využití parního pochodu, který využívá energii paliva k výrobě páry o vysokém tlaku a teplotě, což obojí je pro vysokou účinnost nutné. Přenosu tepla z paliva se využívá k odpařování kotelní vody a k přehřátí páry. V parní turbíně pára expanduje a v turbíně dochází k tlakové ztrátě. Podíl tlakové ztráty závisí na teplotě chladicího média. Nejvyšší tlak je spojen s maximální elektrickou účinností. Ke kondenzaci páry je zapotřebí ochlazení. U kondenzačních elektráren a u kogeneračních závodů nebo závodů z kombinovanou výrobou tepla a elektřiny se používá k odstranění kondenzační energie z páry chladících technik. Aby mohl kotel vyrábět páru, potřebuje zdroj tepla o dostatečné výši teploty. Fosilní palivo využívané k výrobě páry se za tímto účelem obvykle spaluje přímo v topeništi nebo spalovací komoře kotle. Generátor páry by mohl tepelnou energii využívat také ve formě odpadního tepla z jiného pochodu. U kombinovaných zařízení se za tímto účelem využívá odpadního tepla z plynové turbíny k předehřevu vzduchu, nebo předehřevu páry

Nejdůležitějšími faktory při zvyšování účinnosti jsou; nejvyšší možná teplota a tlak pracovního média. V moderních závodech se částečně odčerpaná pára přehřívá jedno nebo více stupňovými ohříváky. Zlepšení tepelné účinnosti díky přehřívání je v praxi 2 až 4 %. Proto se používá jen u velkých elektrárenských bloků, kde navíc zlepšuje termodynamickou účinnost.

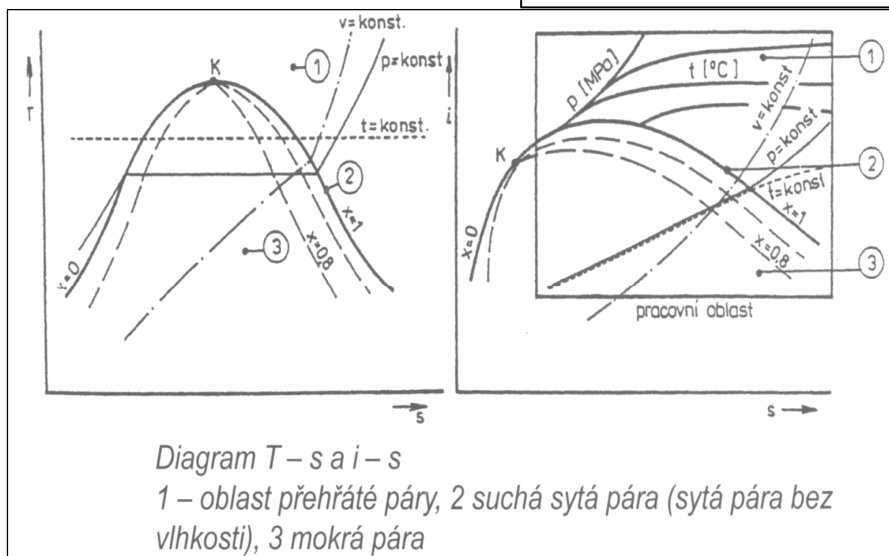
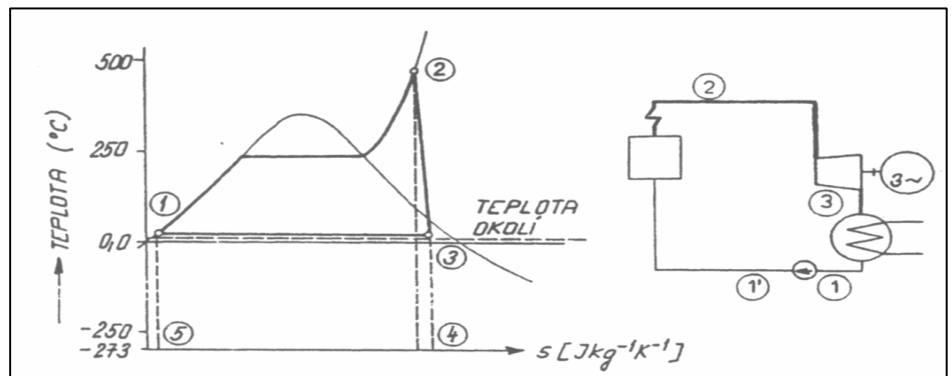
Dělení kotlů

- dle typu paliva: tuhá, plynná, kapalná
- dle tlaku páry (nízkotlaké, vysokotlaké, nadkritické)
- dle výparníku (bubnové - s přirozeným oběhem nebo s nuceným oběhem, průtočné - pro $p_a > 13$ MPa)
- dle spalovacího zařízení (roštové, práškové, fluidní, cyklónové)

Ztráty v kotli:

- ztráta chemickou a mechanickou nedokonalostí spalování
- ztráta nedokonalým využitím uvolněného tepla (ztráta komínová, teplem tuhých zbytků, sdílením tepla do okolí)

Teplota přehřáté páry 530 °C; tlak 16 MPa



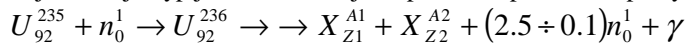
3. Princip jaderné elektrárny, jednotlivé typy jaderných elektráren. Jaderné reaktory, typy reaktorů (Schejbal)

Jaderné elektrárny

Vychází ze získání energie změnou hmotnosti při jaderných reakcích dvou typů:

- štěpením velmi těžkých jader
- jadernou fúzí velmi lehkých jader

Nejužívanější typ jaderné reakce je štěpení izotopů uranu teplenými neutrony:



Teplota syté páry 250 °C o tlaku 4,5 MPa

Schéma JE:

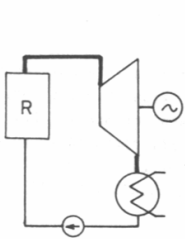
R - reaktor

PG - parogenerátor

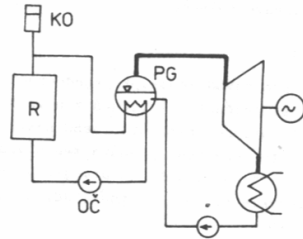
OČ - oběhové čerpadlo

KO- kompenzátor objemu

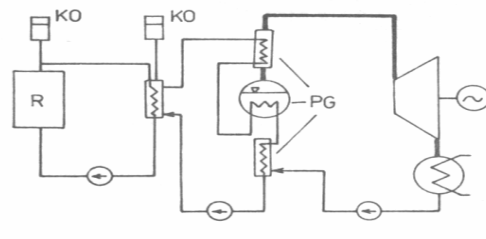
- přehříváč páry a separátor vlhkosti



Jednookruhová JE



Dvouokruhová JE



Tříokruhová JE

U nás se používají dvouokruhové JE s tlakovodními reaktory VVER-440 a VVER-1000, využívající jako moderátoru i chladiva lehkou vodu.

- **Primární okruh a palivo v jaderných elektrárnách**

Jako palivo využívají obě jaderné elektrárny oxid uraničitý (UO₂), mírně obohacený o štěpitelný izotop 235 uranu. Zatímco v přírodním uranu je tohoto izotopu asi 0,7 %, palivo ho obsahuje 2-4 %).

V aktivní zóně reaktoru vzniká štěpením jader uranu teplo, které je ihned odváděno chladicí demineralizovanou vodou. Ta zároveň slouží jako moderátor neutronů. Příměs kyseliny borité (max. 12 g na litr vody) navíc přispívá i k regulaci výkonu reaktoru. Ohřátá voda cirkuluje v primárním okruhu jaderné elektrárny s pomocí čerpadel.

- **Sekundární okruh elektrárny a parogenerátory**

Voda přichází do parogenerátorů, kde předává své teplo sekundárnímu okruhu. V každém bloku jaderné elektrárny Dukovany je parogenerátorů šest, v jednotlivých blocích jaderné elektrárny Temelín pak po čtyřech.

V parogenerátorech jaderné elektrárny předává voda primárního okruhu své teplo sekundárnímu okruhu, který je rovněž uzavřený a naplněný demineralizovanou vodou. V parogenerátorech se sekundární voda mění na páru a ta následně pohání turbíny. Jaderná elektrárna Dukovany disponuje u každého reaktoru dvěma turbogenerátory o elektrickém výkonu 220 MW, jaderná elektrárna Temelín pak má v každém bloku místně jediný turbogenerátor o elektrickém výkonu 1000 MW.

- **Terciální okruh a chladicí věže elektrárny**

Za turbínami, v kondenzátorech, se pára sráží na povrchu titanových trubek s pomocí chladicí vody terciálního (chladicího) okruhu. Chladicí okruh je vyveden do chladicích věží, ve kterých se voda samovolně ochlazuje odparem. Do ovzduší tak uniká pouze čistá vodní pára.

Teplota syté páry 250 °C; tlak 4,5 MPa

- **Jaderný reaktor PWR, VVER**

Tlakovodní reaktor PWR nebo ruský typ VVER je dnes ve světě nejrozšířenějším typem jaderného reaktoru (asi 57 %).

Tento typ pracuje jak v jaderné elektrárně Dukovany, tak v jaderné elektrárně Temelín. Původně byl vyvinut v USA, později koncepci převzalo Rusko. Pohon jaderných ponorek.

- **Jaderný reaktor BWR**

Varný reaktor BWR je druhým nejrozšířenějším typem. Reaktory BWR jsou jednookruhové.

- **Těžkovodní reaktor CANDU**

Těžkovodní reaktor CANDU byl vyvinut v Kanadě a exportován také do Indie, Pákistánu, Argentiny, Koreje a Rumunska. Palivem je přírodní uran ve formě oxidu uraničitého, chladivem a moderátorem těžká voda D₂O.

- **Jaderný reaktor Magnox GCR**

Plynem chlazený reaktor Magnox GCR se používá ve Velké Británii a Japonsku.

- **Jaderný reaktor AGR**

Pokročilý plynem chlazený reaktor AGR se zatím používá výhradně ve Velké Británii.

- **Jaderný reaktor RBMK**

Reaktor typu RBMK (známá je také zkratka LWGR) se používá výhradně na území bývalého SSSR. Elektrárna je dvouokruhová. Moderátorem je grafit, který obklopuje kanály.

- **Jaderný reaktor HTGR**

Vysokoteplotní reaktor HTGR patří k velmi perspektivním typům jaderných reaktorů. Bezpečnost typu je na vysoké úrovni.

- **Jaderný reaktor FBR** Rychlý množivý reaktor FBR pracuje v Rusku (BN-600 v Bělojarsku), ve Francii

Vodní elektrárny - vychází ze získání energie z potenciální, tlakové a kinetické energie vody.

Dělení VE:

dle systému soustředění energie: přehradní a jezové, derivační, přečerpávací, přílivové

- dle tlaku vody: nízkotlaké ($E_V \leq 200 \text{ J/kg}$), středotlaké ($E_V \leq 1000 \text{ J/kg}$), vysokotlaké
- dle charakteru provozu: průtočné, akumulární, přečerpávací
- dle typu použité turbíny

Dělení vodních turbin:

- dle způsobu přenosu energie:
 - o rovnotlaké (veškerý přetlak přeměněn na rychlost vody ještě před oběžným kolem)(tzv. akční)
 - o přetlakové (částečná přeměna přetlaku ještě v oběžných kolech)(tzv. reakční)
- dle průtoku oběžným kolem:
 - a) centrifugální (vnitřní vtok, proudění od hřídele)(Founeyronova)
 - b) centripetální (s vnějším vtokem, proudění ke hřídeli)(historická Francisova)
 - c) axiální (Kaplanova)
 - d) radiálně - axiální (moderní Francisova)
 - e) diagonální (Dériazova)
 - f) se šikmým průtokem (Turgo)
 - g) tangenciální (Peltonova)
 - h) s dvojitým průtokem (vstup centripetálně, výstup centrifugálně)(Bánkiho)
- dle vstupní části: spirální, kašnová, kotlová, násosková, přímoproudá
- dle polohy hřídele: horizontální, vertikální, šikmé (menší přímoproudé)
- dle konstrukce:
 - o Francisova - přetlaková, radiálně-axiální, nebo centripetální, regulované rozváděcí lopatky
 - o Kaplanova - přetlaková, axiální, regulované rozváděcí i oběžné lopatky
 - o Peltonova - rovnotlaká, tangenciální,

Peltonova – velký spád (od 100 až 1000 m) – malý průtok – nemůže pracovat v čerpadlovém režimu

Francisova – menší spád (od 50 až 500 m) – větší průtok

Kaplanova – malý spád(1 až 100 m) – velký průtok

Potenciální energie $E_H = g \cdot (h_1 - h_2)$

Tlaková energie $E_P = \frac{(p_1 - p_2)}{\rho}$

Kinetická energie $E_V = \frac{1}{2}(v_1^2 - v_2^2)$

celková energie $E_C = E_H + E_P + E_V$

$P = Q \cdot \rho \cdot E_C$

$$P = \frac{A}{t} \rightarrow \frac{F \cdot s}{t} \rightarrow \frac{m \cdot a \cdot s}{t} \rightarrow \frac{V \cdot \rho \cdot a \cdot s}{t} \rightarrow P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h$$

$P = \frac{A}{t}$ [w; J; s] výkon = práce za čas

$A = F \cdot s$ [J; N; m/s²] práce = síla po dráze

$F = m \cdot a$ [N; kg; m/s²] síla = hmotnost x zrychlení

$m = V \cdot \rho$ [kg; m³; kg/m³] hmotnost = objem x hustota

$Q = \frac{V}{t}$ [m³/s] průtok m³ za sekundu

- Q [m³/s] průtok m³ za sekundu
- ρ [kg/m³] hustota vody 1kg=1l=1dm³
- g(a) [m/s²] tíhové zrychlení 9,81
- H [m] rozdíl hladin

5. Napěťové a proudové poměry v sítích z hlediska uzlu systémů (Hejtmánková, Schejbal)

Dělení sítí z hlediska zapojení uzlu transformátoru

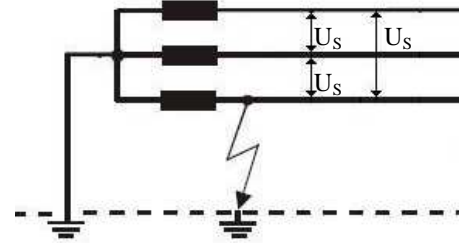
1. **Sítě s uzemněným nulovým bodem** soustava účinně uzemněná
2. **Sítě s uzemněným nulovým bodem přes impedanci (Petersonova tlumivka)**
3. **Sítě s izolovaným nulovým bodem**

soustava neúčinně uzemněná

Soustava účinně uzemněná VVN

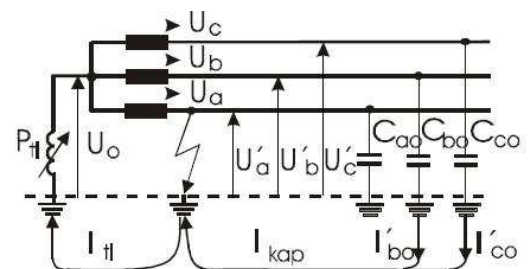
- síť má všechny nulové body transformátorů propojeny přímo se zemí
- při spojení jedné fáze se zemí uvažujeme čistě induktivní proud (tj. zanedbáváme R)

Výhoda - napětí zdravých fází vůči zemi zůstává na fázové hodnotě → možno dimenzovat vedení na fázové napětí (levnější), napětí v uzlu transformátoru je nulové. Nevýhoda - teče značný zemní (zkratový) proud → vedení musí být rychle odpojeno. Při poruše jedné fáze – jedнопólový zkrat – musí dojít k okamžitému vypnutí. 80% všech poruch je pouze v jedné fázi, proto je zaveden systém OZ, (opětovné zapnutí), a proto je v každé fázi samostatně ovládaný vypínač. Dvoufázový provoz 3.fázové soustavy je možný, ale přenášený výkon klesne na $\frac{S}{\sqrt{3}}$



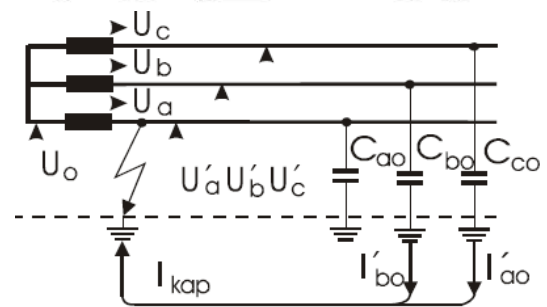
Soustava neúčinně uzemněná VN

Při poruše teče do místa zemního spojení zemní kapacitní proud. Zhášecí tlumivka zpravidla omezí tyto proudy bez působení vypínače.



Soustava izolovaná VN

Uzly vinutí transformátoru nejsou na uvažované straně spojeny se zemí. Při spojení jedné fáze se zemí vzroste napětí v uzlu vinutí transformátoru vůči zemi na fázové, napětí zdravých fází vzroste vůči zemi na napětí sdružené. Velká výhoda - síť je možno dále provozovat. Nevýhody - vedení musí být dimenzováno na sdružené napětí místem spojení se zemí teče kapacitní proud (R -zanedbáváme) daný kapacitami zdravých fází vůči zemi. Přesáhne-li 10 A. může nastat přerušení vodiče tepelným působením proudu → odpojení vedení vznikají značná přepětí (na zdravých fázích) → může dojít k dvoufázovému zemnímu zkratu → odpojení vedení

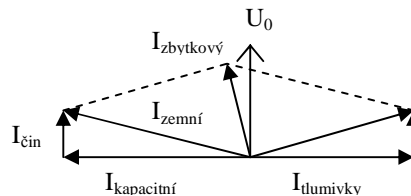
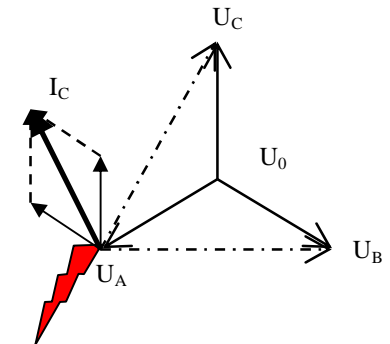


Napěťové a proudové poměry:

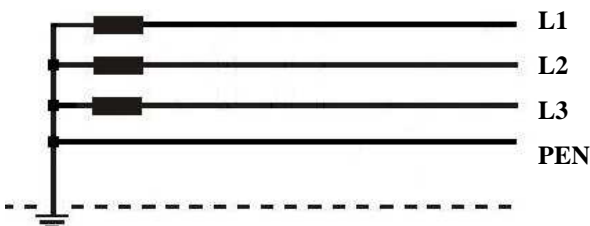
Napětí zdravých fází C, B stoupne na hodnotu sdruženou

Důsledky:

Vedení je třeba izolovat na hodnotu sdruženého napětí. Izolaci transformátoru je rovněž třeba dimenzovat na sdružené napětí U_s . Napěťové nastavení bleskojistek musí být o 25% větší než v systémech přímo uzemněných. Izolace rozveden musí být rovněž vyšší, spínací přepětí dosahují hodnot vyšších.



Soustava s uzemněným uzlem zdroje NN



Velké zkratové proudy. Odpojení od zdroje pomocí nadproudových jističích prvků (pojistky, jističe) v závislosti na velikosti impedance smyčky.

Systém TN-C-S, systém TN-S – rozdělení PEN vodiče na samostatný PE (ochranný vodič) a N (střední vodič)

Důležitá kritéria pro dimenzování :

- nízké pořizovací i provozní náklady
- velkou přenosovou schopnost
- odolnost proti vlivům okolí
- bezpečnost vůči osobám i věcem
- prostorovou nenáročnost
- hospodárnost provozu atd.

Mnohé z těchto vlastností můžeme ovlivnit volbou vhodného druhu a správným dimenzováním vedení

Průřez vodičů silnoproudého elektrického rozvodu musí být takový, aby:

- se vedení nadměrně neoteplovalo, tj: provozní teplota vodičů nebyla vyšší než je dovoleno ↔ zatížení vodiče může být pouze tak velké, aby nebyla překročena dovolená provozní teplota vodiče
- vedení bylo hospodárné → hustota proudu ve vodiči byla v hospodárných mezích
- vedení (vodiče) bylo dostatečně mechanicky pevné → vodiče se nesmějí přetrhnout
- nedocházelo k příliš vysokým úbytkům napětí (ΔU ve stanovených mezích), aby spotřebiče pracovaly správně
- vedení odolávalo dynamickým a tepelným účinkům zkratových proudů
- byla zajištěna správná funkce ochrany před nebezpečným dotykovým napětím

Má-li průřez vedení vyhovět všem těmto podmínkám, rozhodne o něm ta, podle které vychází průřez největší. Nejčastěji to bývá přípustné oteplení.

Při praktickém výpočtu → určíme průřez vodiče podle podmínky a) a kontrolujeme podle ostatních

V některých případech nemusí být splněny všechny uvedené podmínky → uvedeno v normách pro dimenzování (např. ČSN 34 16 10) „Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách“

Dimenzování vedení podle oteplení (dovolené provozní teploty, dovoleného proudového zatížení) $S_{průřez} = \frac{I_k \cdot \sqrt{t}}{k}$

I_k =ekvivalentní, k =součinitel závislý na materiálu jádra

Dovolená provozní teplota závisí na:

- konstrukci a materiálu vodiče
- izolaci vodiče
- teplotě prostředí, v němž je vodič uložen
- je možno ji najít v tabulkách
- určujeme ji podle skutečného proudového zatížení

Dimenzování vodičů podle hospodárnosti (podle hospodárné hustoty proudu) $S_{průřez} = k \cdot I_p \cdot \sqrt{T}$

S =průřez jedné fáze, k =součinitel závislý na materiálu jádra, I_p =výpočtový proud, T =doba plných ztrát za rok

Na výpočtu průřezu vodičů závisí výše pořizovacích a provozních nákladů:

- při nedostatečném průřezu přibývá poruch a ztrát energie → zkracuje se životnost vedení
- předdimenzování průřezu je nevhodné → zvětšují se náklady

Dimenzování vedení podle mechanické pevnosti

Vzhledem k mechanické pevnosti vedení je třeba provádět kontrolu, aby průřez vodiče nebyl menší než je nejmenší dovolený průřez vodiče. Ten je jednoznačně určený pro jednotlivé druhy vedení a způsob uložení vodičů např. ČSN 33 2000-5-52, PNE 33 3301-02

Některé druhy vedení jsou při montáži i za provozu vystaveny mechanickému namáhání. Jsou to hlavně venkovní vedení, ale i pohyblivé přírůdky, vedení na pracovních strojích v pojízdných prostředcích apod. → pro ně platí příslušné předpisy, které stanoví zmíněné minimální průřezy. Je možné sem zahrnout i odolnost proti dynamickému namáhání, které vznikne při zkratu

Dimenzování podle dovolených úbytků napětí: V rozvedech kde $\cos \varphi < 0,5$ $\Delta U = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi + \frac{(R \cdot I \cdot \sin \varphi - X \cdot I \cdot \cos \varphi)^2}{2 \cdot U_f}$

V rozvedech kde $\cos \varphi \geq 0,5$ $\Delta U = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi$

Vodiče jednotlivých částí rozvodu musí být dimenzovány tak, aby při předpokládaném zatížení nevznikl na svorkách spotřebičů nedovolený pokles napětí → má nepříznivý vliv na funkci spotřebičů

!Kontrola úbytků napětí se provádí hlavně u vodičů nn !

Konkrétní požadavky týkající se velikosti úbytků napětí jsou obsaženy v různých technických normách ČSN

Dimenzování vedení s ohledem na účinky zkratových proudů

$F = k \cdot \frac{I_{dyn}^2}{a} \cdot l \cdot 10^{-7} \rightarrow$ síla působící na vodič při zkratu $M_0 = \frac{F \cdot l}{10} \rightarrow$ ohybový moment v poli s podpěrkami

$w_0 = \frac{b^2 \cdot h}{6} \rightarrow$ průřezový modul vodiče $\sigma = \frac{M_0}{w_0} \rightarrow$ namáhání vodiče

Správně navržené vedení musí odolávat:

- dynamickým účinkům zkratových proudů
- tepelným účinkům zkratových proudů

!Správným návrhem vlastní konstrukce, vedení a jištění lze omezit pravděpodobnost vzniku zkratu, nelze ho však zcela vyloučit!

7. Způsoby výpočtu vedení vvn, vn, nn, úbytky napětí, výkonu, fázorové diagramy. (Hejtmánková, Schejbal)

Před provedením výpočtu sítě – nutno ji nadefinovat (i v případě, že využíváme počítačový program)

Pro optimální volbu řešení jsou důležité **zjednodušující předpoklady** → sestavit náhradní schéma tak, aby co **nejvěrněji** kopirovalo **skutečnost** a pomohlo k jednoduchému řešení:

1) Souměrná síť

- pasivní parametry (R, L, C, G)- pro každou fázi stejné
- aktivní parametry (základní U, I) - stejně velké, posunuté o 120°, 240°

! Náhradní obvod můžeme tvořit **pro jednu fázi!**

2) Přepočítání na jednu napěťovou úroveň

Síť s více úrovněmi napětí – schéma tvoříme **pro jednu** → přepočítání parametrů prvků na toto napětí.

Přepočítáváme na tu napěťovou úroveň, kde nás zajímá nějaký problém (např. zkratové poměry).

Přepočítáváme **přes transformátory**, které jednotlivé sítě spojují:

Transformátor rozdělíme na:

- jeho impedanci (admitanci)
- ideální transformátor charakterizovaný převodem → platí: vstupní a výstupní výkon se rovná, tj. $S_1 = S_2$

3) Máme dvě možnosti řešení náhradního schématu:

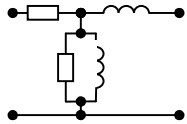
- ve **fyzikálních** hodnotách, tj. s pojmenovanými jednotkami (všechny prvky sítě si vyjádříme v [S] [Ω] výsledky [A], [V], [W][W])
- v **poměrných** (procentních) hodnotách:(všechny prvky sítě uvažujeme v poměrných [p.j.] či procentních [%] jednotkách) [procentní = poměrná x 100]

Exaktní řešení - pomocí telegrafních rovnic

Blondeovy konstanty

$$U_1 = A \cdot U_2 + B \cdot I_2$$

$$u + \frac{\partial u}{\partial x} dx$$

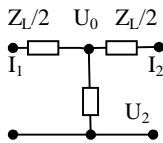


$$i - \frac{\partial i}{\partial x} dx$$

$$I_1 = C \cdot U_2 + D \cdot I_2$$

Přibližné řešení

T článěk



podélná impedance -

$$Z_L = R + j\omega Lp$$

příčná admitance -

$$Yq = G + jB$$

G – lze zanedbat z důvodu výtečných izolačních materiálů

$$\text{Úbytek napětí } \Delta U = |\bar{U}_1| - |\bar{U}_2|$$

Při výpočtu ΔU v sítích nn a vn, můžeme příčnou admitanci \bar{Y} zanedbat. Uvažujeme pouze s R odporem a L indukčností.

Výpočet ΔU pro rozvody kde $\cos \varphi < 0,5$

$$\Delta U_f = |\bar{U}_{1f}| - |\bar{U}_{2f}| = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi + \frac{(R \cdot I \cdot \sin \varphi - X \cdot I \cdot \cos \varphi)^2}{2 \cdot U_f}$$

Výpočet ΔU pro rozvody kde $\cos \varphi \geq 0,5$ (převažuje v distribuční soustavě) ve fázových hodnotách:

$$\Delta U = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi$$

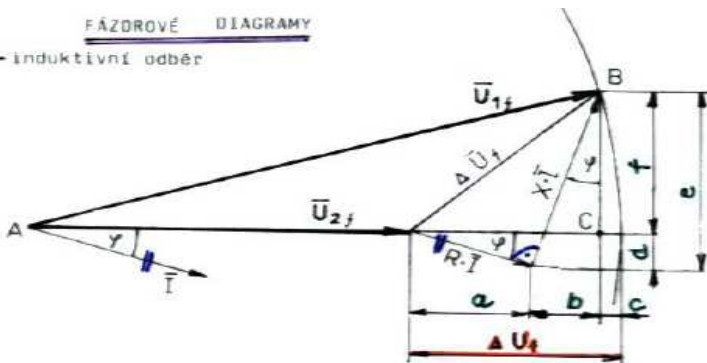
Výkon vedení 1f.AC

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

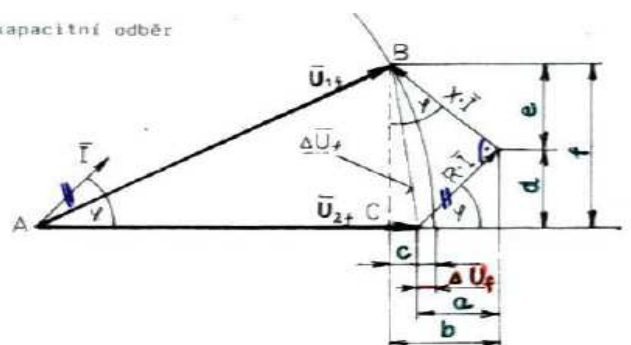
Výkon vedení 3f.AC

$$P = 3 \cdot U_f \cdot I \cdot \cos \varphi \rightarrow P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

FÁZOROVÉ DIAGRAMY
- induktivní odběr



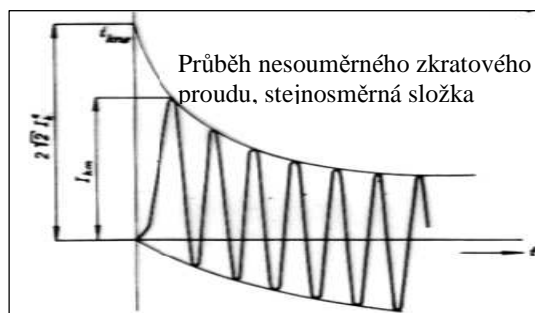
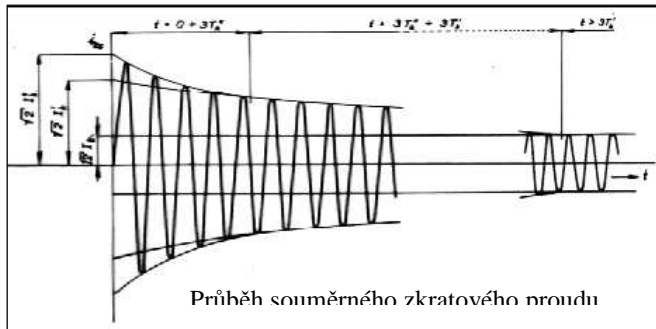
- kapacitní odběr



8. Postup při výpočtu zkratového proudu, charakteristické průběhy, složky, impedance, náhradní schéma.

Postup výpočtu I_k

- ze schématu zapojení (při nejnejpříznivější konfiguraci) vytvoříme náhradní schéma s impedancemi buď v $[\Omega]$, nebo v poměrných jednotkách (vztahených na zvolený vztahný výkon S_v a vztahené napětí $U_v = U_n$ v místě zkratu), tyto impedance musí být přepočteny na 1 napěťovou úroveň
- z náhradního schématu určíme celkovou impedanci zkratového obvodu, tj. impedanci mezi místem zkratu a zemí
- podle uvedeného vztahu vypočteme I_k''



Počáteční rázový zkratový proud I_k''

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = \frac{c \cdot S_v}{z_k \cdot \sqrt{3} \cdot U_v}$$

U_n = jmenovité napětí v místě zkratu

Z_k = zkratová impedance $[\Omega]$

z_k = zkratová impedance [p.j]

c = konstanta

Určit přesný průběh ss složky je téměř nemožné → při řešení zkratových poměrů vycházíme z hodnoty zkratového proudu pro souměrnou střídavou, tzv. rázovou složku v okamžiku vzniku zkratu.

Zkratové poměry v sítích potřebujeme znát:

- pro volbu elektrických přístrojů a dimenzování rozvodného zařízení (např. přípojnic) v elektrických stanicích
 - pro dimenzování elektrického vedení na účinky zkratových proudů
- pro volbu a nastavení ochran, které zkraty vypínají
 - pro volbu pojistek, jističů apod.

Obecné dělení poruch:

Souměrné: - třífázový zkrat

Nesouměrné: a) příčné (mezi uzlem a zemí)

- jednofázové

- dvoufázové

- 2f zemní

b) podélné (mezi 2 uzly)

- přerušeni jedné nebo více fází

Druhy zkratů: - 3f (souměrný)

- 2f; 2f. zemní,

- 1f (nesouměrné)

Pozn.: V sítích vn (s uzlem transformátoru izolovaným nebo neúčinně uzemněným – přes zhášecí tlumivku) se nejedná o jednofázový zkrat, ale o jednofázové zemní spojení → proud se uzavírá jen přes kapacity (viz úvodní přednáška)

Dále rozlišujeme zkraty:

a) **blízký** zdroje proudu (důležitý vliv alternátoru)

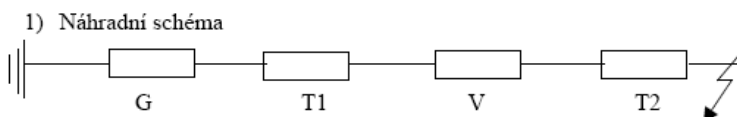
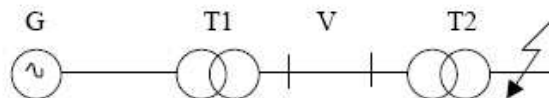
b) **vzdálený** od zdroje proudu (důležitý vliv soustavy)

Průvodní jevy zkratu:

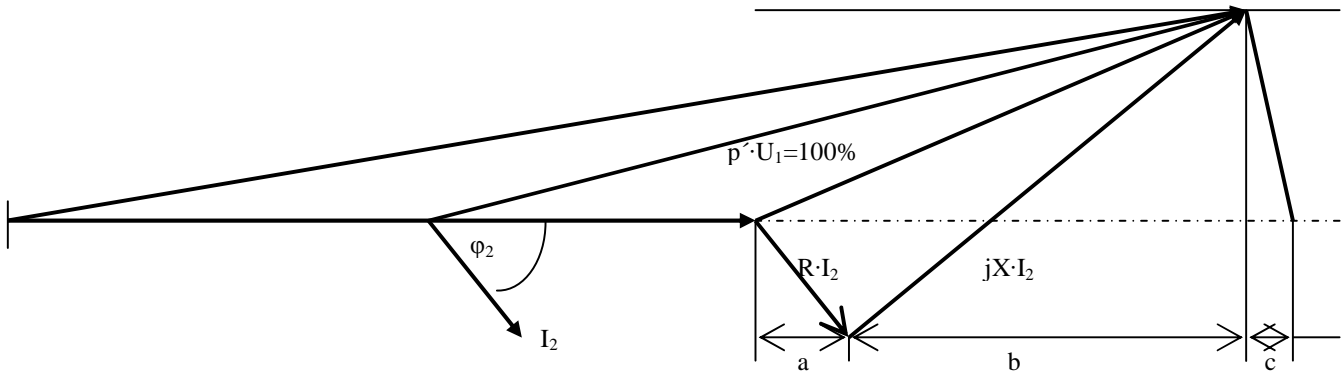
- zmenšuje se impedance postižené části
- zvětšují se proudy
- zmenšuje se napětí v místech zkratu → uvažujeme obvykle dokonalý zkrat (napětí v místě zkratu v poškozených fázích je nulové).

Nejvíce je ohroženo místo zkratu, kde protéká mnohonásobek provozního proudu → může způsobit nějakou závažnější poruchu → nutno zjistit jaké tepelné a mechanické účinky zkrat může mít a navrhnout správně zařízení (předejdeme poškození zařízení)

Při dimenzování a navrhování prvků sítě se vychází z výpočtu tzv., počátečního rázového zkratového proudu I_k''



9. Úbytek napětí na transformátoru, náhradní schéma, chod naprázdno, chod nakrátko, napětí nakrátko.



$$a = u_{r\%} \cdot \cos \varphi_2 \quad b = u_{x\%} \cdot \sin \varphi_2$$

Obscný vztah pro výpočet úbytku napětí na transformátoru

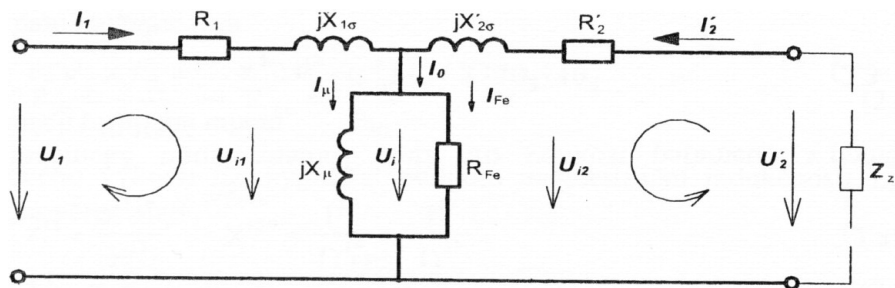
$$\Delta u_{T\%} = k_x \cdot (u_{r\%} \cdot \cos \varphi_2 \pm u_{x\%} \cdot \sin \varphi_2) + \frac{k^2_x \cdot (u_{x\%} \cdot \cos \varphi_2 \pm u_{r\%} \cdot \sin \varphi_2)^2}{200}$$

Vztah pro hrubý odhad výpočtu úbytku napětí na transformátoru

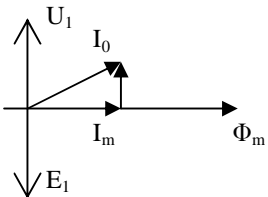
$$\Delta u_{T\%} = u_{x\%} \cdot \sin \varphi_2$$

Celkový úbytek napětí (+ induktivní; - kapacitní)

$$\Delta u = u_r \cdot \cos \varphi_2 \pm u_x \cdot \sin \varphi_2$$



Náhradní schéma transformátoru ve tvaru T-článku



Transformátor naprázdno

Po připojení napětí na primární svorky (sekundár je rozpojen) protéká transformátorem magnetizační proud I_m (budící proud)

Transformátor nakrátko svorky sekundárního vinutí jsou spojeny nakrátko – zkrat.

Nárazový zkratový proud = $I_{k(náraz)} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot I_k$ I_k = trvalý zkratový proud. Nárazový zkratový proud přechází na trvalý jehož hodnota je určena činným R a jalovým X odporem transformátoru. Obě tyto složky tvoří impedanci Z transformátoru nakrátko.

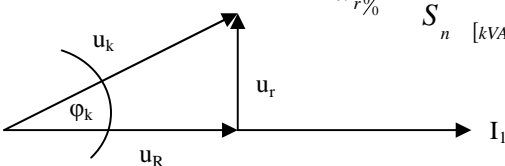
Trvalý zkrat – chod nakrátko $I_k = \frac{U_1}{Z}$ Vzhledem k malé hodnotě impedance Z , je I_k velmi velký (může poškodit transformátor)

Hodnotu trvalého zkratového proudu určíme měřením napětí nakrátko $u_k = \frac{Z \cdot I_1}{U_1} \cdot 100[\%] \rightarrow \left| S_n = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_n \rightarrow I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} \right|$

$$\rightarrow \text{potom} \quad I_k = \frac{100}{u_k} \cdot I_n = \frac{100}{u_k} \cdot \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}$$

Složky napětí nakrátko:

$$u_{r\%} = \frac{Z_n [kW]}{S_n [kVA]} \cdot 100$$



10. Paralelní spolupráce transformátorů, hodinové číslo.

Stanovuje ČSN IEC 60076

Pro paralelní spolupráci transformátorů musí být splněno:

1. stejný převod „p“ ($\Delta\varepsilon = 0,5\%$)
2. stejné napětí nakrátko ($u_k \pm 10\%$)
3. stejný hodinový úhel
4. stejný sled fází
5. přibližně stejné výkony (1:3 až 1:3,5)

ad)1

$$I_1 = \frac{\Delta\varepsilon \%}{u_{k1} + u_{k2}} \cdot I_n \quad \Delta\varepsilon = \text{chyba převodu}$$

ad)2

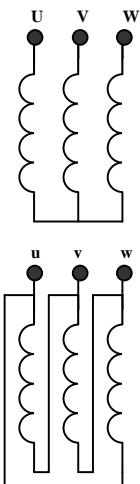
Při různém u_k netečou vyrovnávací proudy, ale transformátor s menším u_k převezme větší část zatížení

ad)3

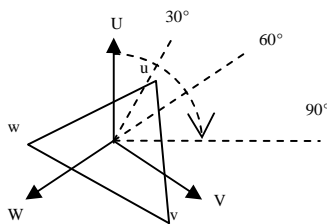
Při rozdílném hodinovém čísle nelze porovnat – pouze v některých případech lze dosáhnout spolupráce.

Hodinový úhel:

Posun fáze napětí mezi primárním a sekundárním vinutím stejné fáze. Fázový posun 30° se nazývá 1 hodina. Měření fázového posunu od vyšší strany k nižší ve směru sledu fází. Různou kombinací zapojení (Y, D, Z) začátku a konce vinutí lze dosáhnout 9 různých úhlů natočení. Hodinové číslo je štičková hodnota. Uvádí se za písmena označující zapojení primárního a sekundárního vinutí



$30^\circ = 1 \text{ hodina}$
 $3 \times 30^\circ = 3 \text{ hodiny}$



$$S_{\text{skupinový výkon}} = S_1 + \frac{u_{k1}}{u_{k2}} \cdot S_2$$

$$\chi = \frac{S_{\text{skupinový}}}{S_{\text{zátěžit}}} \cdot 100\% = \frac{S_1 + \frac{u_{k1}}{u_{k2}} \cdot S_2}{S_1 + S_2}$$

Př. Jaké napětí nakrátko musí mít transformátor S_1 jenž má pracovat paralelně s transformátorem S_2 aby využití skupiny bylo 95%

$$S_1 = 315 \text{ kVA} \quad P_{1\text{PREVOD}} = 22/0,4 + 0,4\% \quad DY1 \quad u_{k1} = ?$$

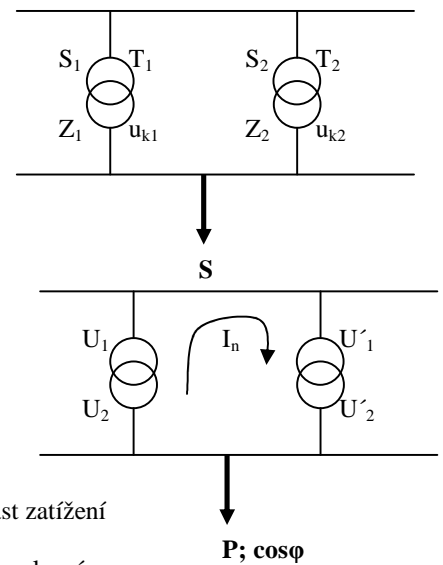
$$S_2 = 800 \text{ kVA} \quad P_{2\text{PREVOD}} = 22/0,4 \pm 0\% \quad DY1 \quad u_{k2} = 5,4\%$$

$$u_{k1} = u_{k2} \left(1 + 0,1 \frac{S_2 - S_1}{S_2 + S_1} \right) = 5,6\% \quad +10\% u_{k1} = 1,1 \cdot 5,6 = 6,16\% \quad -10\% u_{k1} = 0,9 \cdot 5,6 = 5,04\%$$

Př. Určit ustálený zkratový proud transformátoru $I_k'' = ?$

$$S_n = 1600 \text{ kVA}, \quad u_k = 5\% \quad \text{Převod} = 22/0,4 \text{ kV} + 2\% \quad DY1$$

$$I_k = \frac{100\%}{5\%} \cdot I_n \quad I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_s} \quad \Rightarrow 2309 \text{ A}$$



11. Specifika řízení elektrizačních sítí

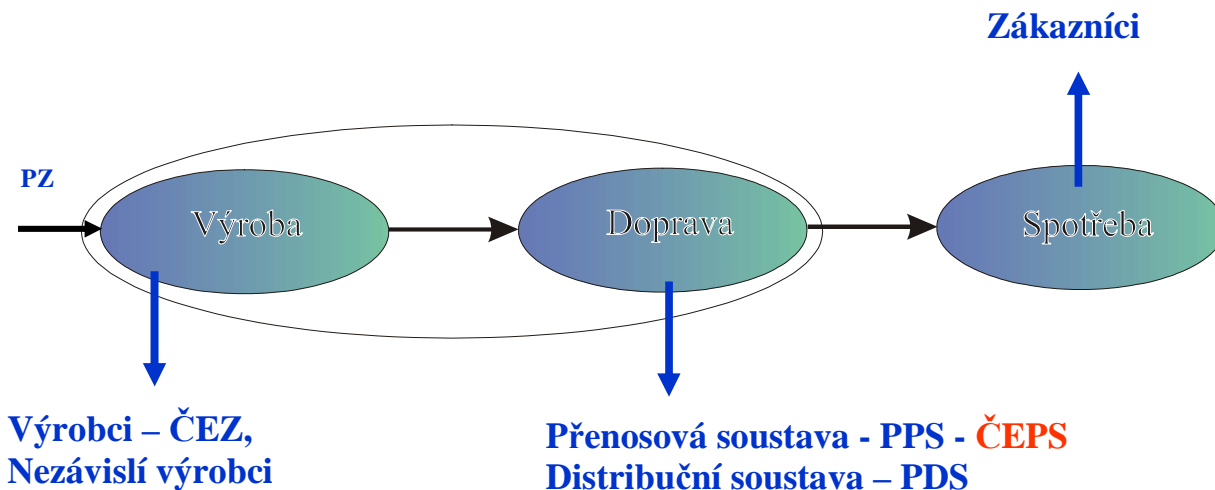
Definice řízení - zásah do průběhu procesů v zájmu účelového ovlivnění jejich průběhu a důsledků ke kterým vedou. Je to aktivita, jejímž nezbytným, ale nikoliv postačujícím znakem je rozhodování, tj. volba varianty z předem neznámé množiny variant řešení.

Členění energetických systémů:

Řízený systém výroby el. energie - elektrárenská soustava

Řízený systém dopravy el. energie - přenosová, distribuční soustava el.energie

Řízený systém výroby, dopravy a spotřeby el.energie - elektroenergetická soustava = elektrizační soustava (ES)



Obr. č. 1 Fyzikální fungování ES

Elektrická energie má jako zboží specifické vlastnosti. Je to integrovaný produkt se standardními užitnými parametry (napětí, kmitočet, spolehlivost...), které jsou výsledkem celého řetězce energetických přeměn a procesů od vstupu primárních zdrojů energie do výroby až po výstup do odběrného zařízení spotřebitele.

Kupujeme popř. prodáváme tzv. „elektrickou práci“ $A = W = P \cdot t$ [Ws].

Neskladovatelnost elektřiny (střídavého proudu) vyžaduje nepřetržitou rovnováhu zdrojů a spotřeby v reálném čase, kterou nemůže zajišťovat trh, ale systémová dispečerská služba. V ES musí být vyrovnaná energetická bilance : **výroba = dodávka = spotřeba.**

Problémy zajištění požadované spotřeby

- Zákazník nedokáže přesně stanovit velikost odběru
- Výroba a doprava musí reagovat na nespécifikovaný odběr
- Nutnost řízení (regulace) procesu zajištění nepřesně stanoveného odběru
- Porucha (výpadek) v systému výroby a dopravy vede k ohrožení funkčnosti soustavy

Systémy v Evropě byly vybudovány na národní bázi, a postupně propojeny mezi sebou za účelem zejména výpomocných dodávek v případech nouze a usnadnění regulačních procesů. Později pak i za účelem mezinárodních obchodních výměn. Základním kamenem evropského nazírání na elektroenergetiku se stal princip elektřiny jako „veřejného statku“ a dodávky elektřiny jako „veřejné služby“. To znamenalo, že tomuto produktu byla přiřčena zásadní důležitost pro společnost a jeho výroba a dodávka podléhaly zvláštním pravidlům pod kontrolou státu.

Proces řízení dodávky a spotřeby (výroby):

Dlouhodobé řízení - koncepční (energetická) politika – prognózování vývoje – opatření k zajištění dostatečné výroby

Krátkodobé řízení – realizace koncepce (hodnocení koncepce, přijímání nápravných opatření)

Operativní řízení (dispečerské řízení) - operativní plánování (odhad spotřeby v čase) - řízení výroby a dodávky v reálném čase

Řízení energetiky:

Centrální (jednotné, plánovité) - dosažení maximální účinnosti, dobrého rozvoje, minimálních ztrát, minimálních nákladů.

Řízené trhem (nabídkou a poptávkou) - trh vyřeší vzájemný vztah mezi – nabídkou (zdroji) a poptávkou (spotřebou) Až do počátku devadesátých let minulého století fungovalo jednotné řízení historicky vyvinutých energetických systémů.

Pojmy :

ES - vzájemně propojený soubor zařízení pro výrobu, přenos, transformaci a distribuci elektřiny, včetně elektrických přípojek a přímých vedení, a systémy měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky

Přenosová soustava -vzájemně propojený soubor vedení a zařízení 400 kV, 220 kV a vybraných vedení a zařízení 110 kV, uvedených v příloze Pravidel provozování přenosové soustavy, sloužící pro zajištění přenosu elektřiny pro celé území České republiky a propojení s elektrizačními soustavami sousedních států, včetně systémů měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky; přenosová soustava je zřizována a provozována ve veřejném zájmu.

Úkoly přenosové soustavy - **Přenos elektřiny** – plynulý

- **Vyrovnání odchylek** výroba/spotřeba – smluvní závazky min.1 den předem, přenosová kapacita, P regulační. Využití systémových složek k vyrovnání a řešení provoz.situací.
- **Údržba, obnova a rozvoj** zařízení.

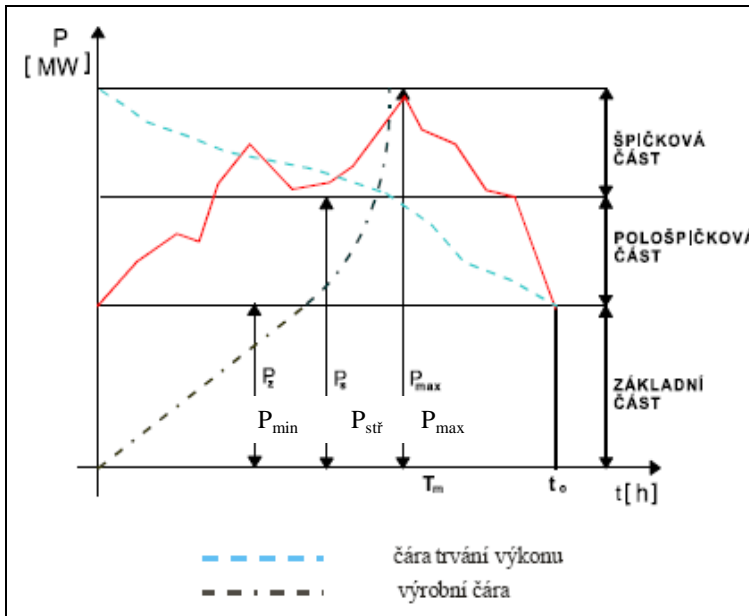
Distribuční soustava - vzájemně propojený soubor vedení a zařízení 110 kV, s výjimkou vybraných vedení a zařízení 110 kV, která jsou součástí přenosové soustavy, a vedení a zařízení o napětí 0,4/0,23 kV, 3 kV, 6 kV, 10 kV, 22 kV nebo 35 kV sloužící k zajištění distribuce elektřiny na vymezeném území České republiky, včetně systémů měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky; distribuční soustava je zřizována a provozována ve veřejném zájmu

12. Charakteristické ukazatele elektrizační soustavy (diagramy zatížení, doba využití)

Ukazatele: Frekvence, napětí, přenášený výkon

Diagramy zatížení: Roční, týdenní, denní

Jinak si myslím, že je to stejné jako ot. 1.



Špičkové pásmo

- přečerpávací vodní elny (Dalešice, Dlouhé stráně)
- paroplynové elny (Vřesová)

Pološpičkové pásmo

- klasické tepelné elny
- akumulční vodní elny (Vltavská kaskáda - Lipno, Orlík, Slapy, Štěchovice)

Základní pásmo

- vodní průtočné elny
- jaderné elny (Dukovany, Temelín)
- klasické tepelné elny (Tisová, Prunčřov, Tušimice, Počerady, Ledvice, ...)

Celkové množství $W_c = \int_0^{t_0} P dt$ - vyrobené energie [MWh] - množství dodaného výkonu za sledované období

Střední zatížení $P_s = \frac{W_c}{t_0}$ - podíl celkové výroby a celkového [MW] počtu hodin sledovaného období pak $W_c = t_0 \cdot P_s$ [MWh],

což je v DZ obdélník o stranách P_s , t_0

Doba využití maxima $T_m = \frac{W_c}{P_{max}}$ čas, který by elektrárna potřebovala k vyrobení [h/den, rok] množství energie dané příslušným DZ,

kdyby po celou dobu dodávala max. (pohotový) výkon pak $W_c = P_{max} \cdot T_m$ [MWh], což je v DZ obdélník o stranách P_{max} , T_m

Zatěžovatel $z = \frac{T_m}{t_0} = \frac{P_s}{P_{max}}$ - poměr počtu hodin doby využití maxima [-] ku celkovému počtu hodin sledovaného období

Doba plných ztrát je def. jako doba, za kterou by se při maximálním přenášeném výkonu ztratilo ve vedeních během sledovaného období stejné množství elektrické energie jako při proměnlivém zatížení:

$$T_z = \frac{W_{CZ}}{P_{maxZ}}$$

Elektroenergetika

13. Možnosti regulace v elektrizačních sítích (na straně spotřeby, výroby a dopravy)

MMEE př.6

Řízení probíhá podle základní bilanční rovnice:

$$\vec{S}_V(t) = \vec{S}_S(t) + \vec{S}_Z(t) + \vec{S}_a(t)$$

Blokové sch.bilanční rovnice →

Podmínky regulace – udržení bil.rovnice ES :

1. Dostačující P instal. – základní podm.

2. Dostačující P regul. – pro vyrovnání zatížení/výroba.

ME př.Regulace na straně spotřeby

• Určující je bilance činného výkonu, která se promítá do

změny kmitočtu. ES – Evropa zařízení jsou konstruovány pro provoz při jmenovitém kmitočtu 50 Hz.

• Kvalitu elektrické energie určují provozní parametry kmitočet f a napětí U .

Problémy při časové realizaci rovnice

• V systému se vyskytne porucha, která naruší rovnováhu rovnice.

• I když je plánována (předpokládána) spotřeba, která se zajišťuje pokrytím nelze ji vždy určit přesně (vypínání a připínání spotřebičů)

Výkonové výrobní zálohy

Řízení spotřeby (Demand – Side Management – DSM)

Usměrnování poptávky po elektrické energii obvykle technickými nebo ekonomickými nástroji.

Technické prostředky - hromadné dálkové ovládání (HDO), dálkové ovládání spotřebičů. Umožňuje přizpůsobení odběru těchto spotřebičů možnostem elektrizační soustavy a ekonomickým potřebám distribučních společností - elektrotepelná zařízení.

Ekonomické nástroje - vhodná volba tarifů za elektrickou energii (zvýhodnění odběru v obdobích kdy je to z hlediska celé ES výhodné).

Řízení zatížení (Load Management – LM)

Nedochází ke změně celkové poptávky, ale jen k jejímu přesunu. Řízení spotřeby opatřeními na ovlivňování poptávky se netýká pouze elektřiny. Prostředky řízení spotřeby můžeme rozdělit na

Přímé prostředky

- hromadné dálkové ovládání a akumulátory energie,

- stavy nouze a v poruchových stavech: regulační plán a vypínací plán, automatické frekvenční odlehčování podle frekvenčního plánu, jiné smluvně zajištěné prostředky.

Nepřímé prostředky

- programy úspor energie

- zlepšení účinnosti elektrických spotřebičů a systém tarifů za elektřinu.

MMEE př.10

Řízení na straně dopravy – regulační syst.sloužby PS

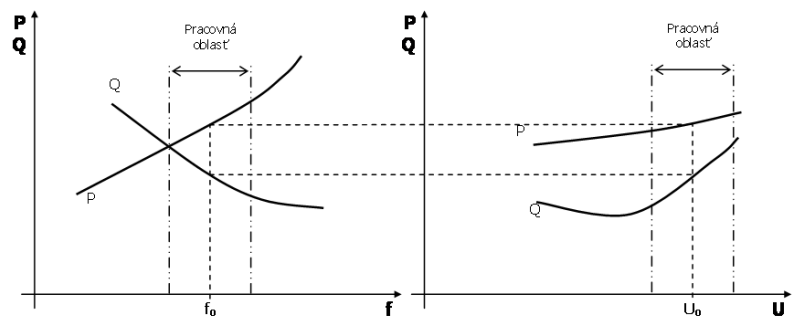
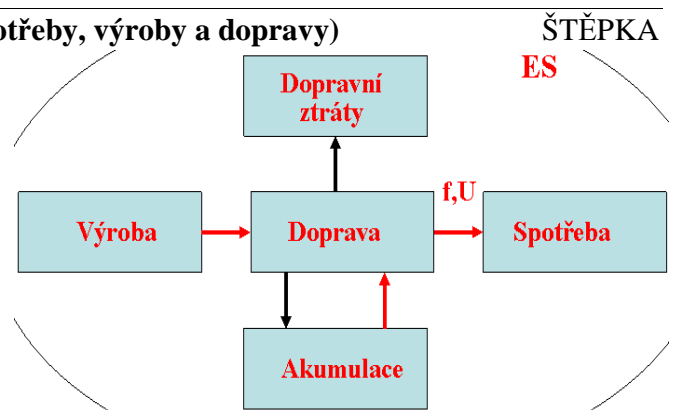
a) Udržování primární regulační zálohy

Primární regulace f - zvýšení (snížení) výkonu a tím zastavení poklesu (vzrůstu) frekvence do 30-ti sekund.

V propojené ES je služba primární regulace f založena na tzv. principu solidarity.

b) Sekundární regulace frekvence a předávaných výkonů

Je centrálně koordinovanou systémovou službou, zajišťovanou provozovatelem PS, jejímž cílem je udržovat frekvenci na jmenovité hodnotě a saldo předávaných výkonů s propojenými soustavami na sjednané hodnotě.



Statické charakteristiky zátěže

Založena na tzv. principu neintervence - každá z propojených soustav disponuje takovým výkonem zdrojů (záložních výkonů), kterým je schopna v každém okamžiku zajišťovat rovnováhu mezi výkonem zdrojů a zatížením příslušné soustavy. Reaguje pouze sekundární regulace f a P postižené soustavy (tedy soustavy, která nerovnováhu vyvolala). Měla by obnovit zadané hodnoty frekvence a předávaných výkonů do 15 min. od okamžiku vzniku výkonové nerovnováhy.

c) Terciární regulace P

Slouží pro uvolnění výkonu, který byl použit v rámci činnosti sekundární regulace f a P. Kromě bloků v točivé záloze se podílejí i následující opatření:

- rychle startující záloha - 30-ti minutová záloha,
- výpomoc ze synchronně pracující soustavy,
- změna zatížení (ZZ).

d) Zajištění provozní zálohy

e) Sekundární regulace napětí a jalových výkonů - (ASRU) je automatická lokální služba udržování zadaného napětí v pilotním uzlu PS

f) Terciární regulace napětí a jalových výkonů - centralizovaná automatická služba koordinující zadaná napětí v pilotních uzlech pro bezpečný a ekonomický provoz ES jako celku.

g) Zajištění stability přenosu - centralizovaná automatická služba koordinující zadaná napětí v pilotních uzlech pro bezpečný a ekonomický provoz ES jako celku.

h) Obnovování provozu po úplném nebo částečném rozpadu soustavy (ztrátě napájení) - proces skládající se z najetí blok" bez podpory napětí ze sítě (start ze tmy), postupné obnovy napětí sítě a napájení odběratel" dle předem určených priorit a dále z ostrovního provozu částí sítě a jejich postupného sfázování.

i) Zajištění kvality napěťové sinusovky

Řízení na straně výroby – ???

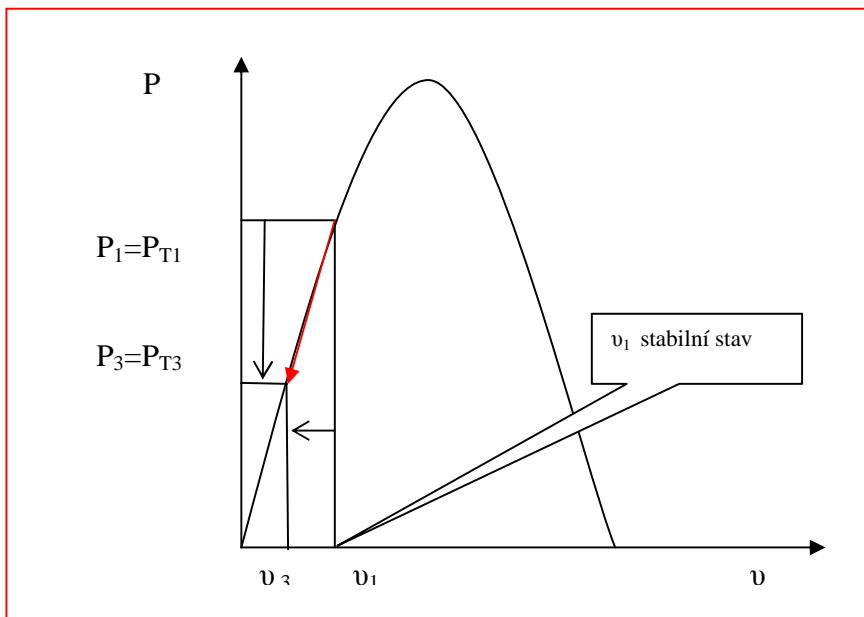
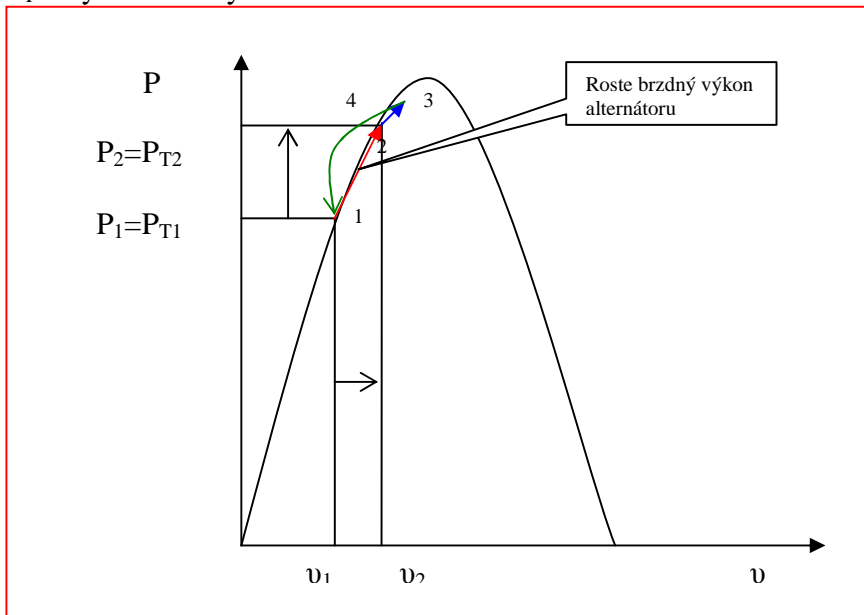
Volba typů zdrojů – zatížení pološpičkové a špičkové dle diagramů zatížení (JE, vodní E)

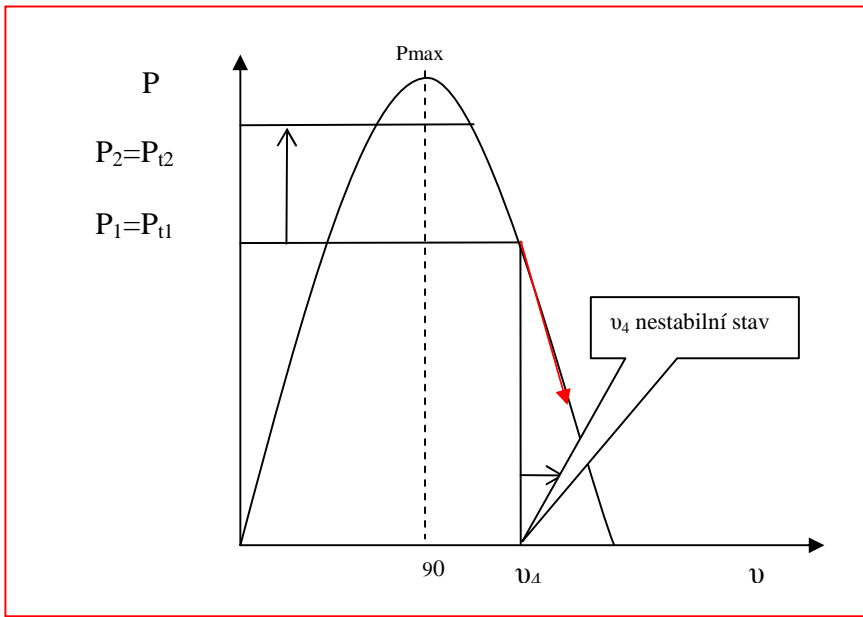
Elektroenergetika:

14. Statické charakteristiky zdrojů a spotřebičů

Statická stabilita alternátoru s hladkým rotorem pracující do sítě

P_T – výkon turbíny





$P_T > P \Rightarrow v$ se zvětšuje $P = (E \cdot U_S / X_{12}) \cdot \sin v$

$P_T < P \Rightarrow v$ se zmenšuje

Statická stabilita alternátoru pracující do sítě je schopnost systému nalézt při nekonečně malých a nekonečně pomalých změnách zátěžného úhlu, výkonu turbíny, parametru přenosu činného výkonu, nebo jiných veličin, které tyto parametry ovlivňují, nový stav s konstantním zátěžným úhlem, čili synchronní stav.

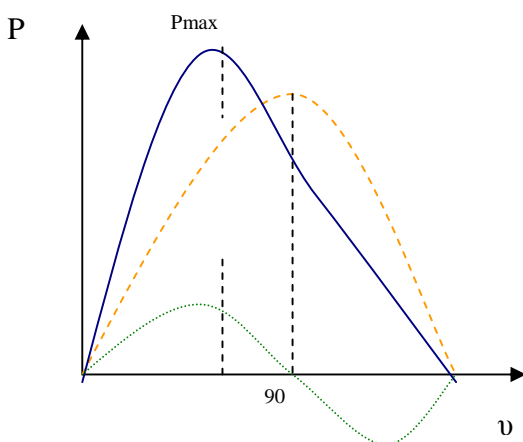
Podmínka statické stability:

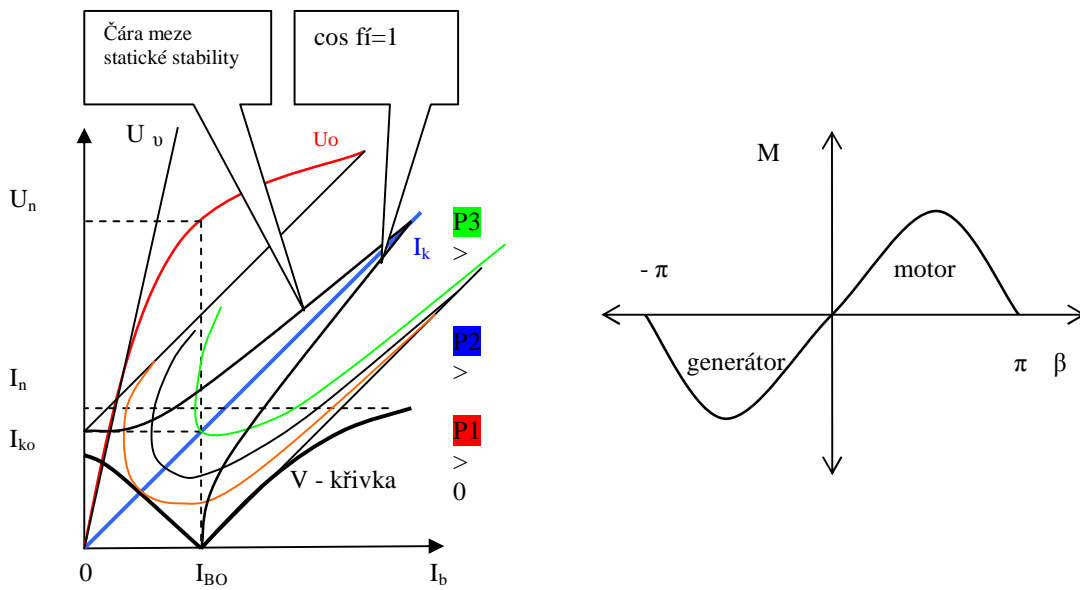
$$dP / d v > 0$$

$$-90^\circ < v < 90^\circ$$

při poklesu zátěže přibudít

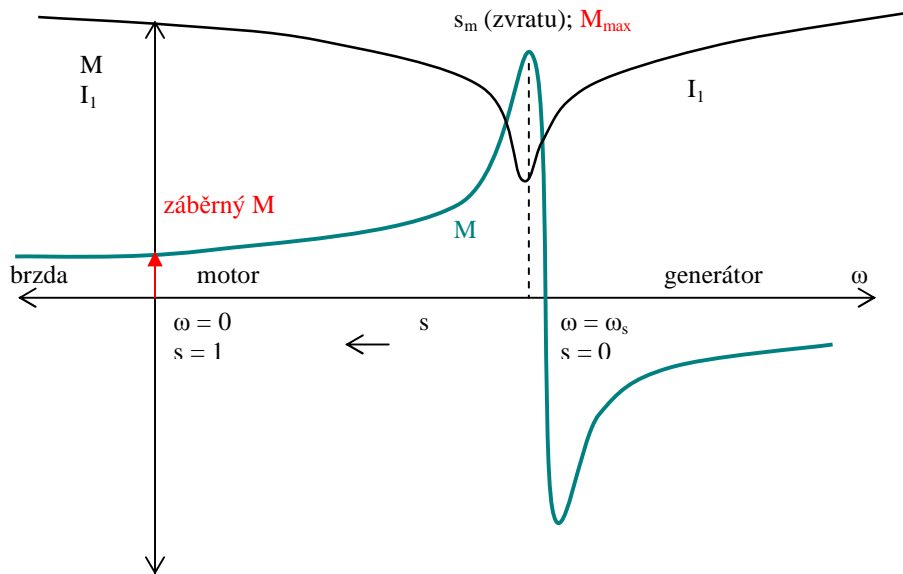
S vyniklými póly – P_{max} o něco větší a nastává při úhlu menším než 90°





Při buzení menším, než udává čára meze stability by stroj ztratil synchronní moment. V krajním případě by se motor zastavil a generátor by se rozběhl na nekontrolovatelné otáčky.

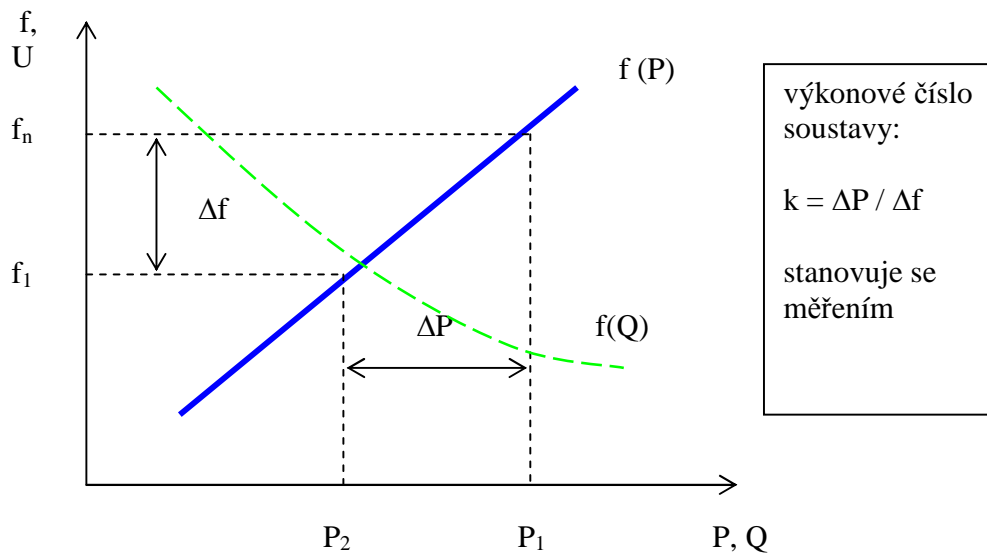
Asynchronní stroj



Změnou odporu v rotoru (kroužkové motory) se zaoblí sklez zvratu a narůstá záběrný moment (těžké rozběhy). Při dalším zvyšování R_s moment klesá, ale zároveň klesá záběrný proud (menší vliv na poklesy napětí v síti). Klecové motory se řeší tvarem drážky rotoru (vytlačování proudu k povrchu vodiče na základě rotorového kmitočtu).

14. Statické charakteristiky zdrojů a spotřebičů (Dvorský: +MR 10.11.2006)

a) statická charakteristika zátěže

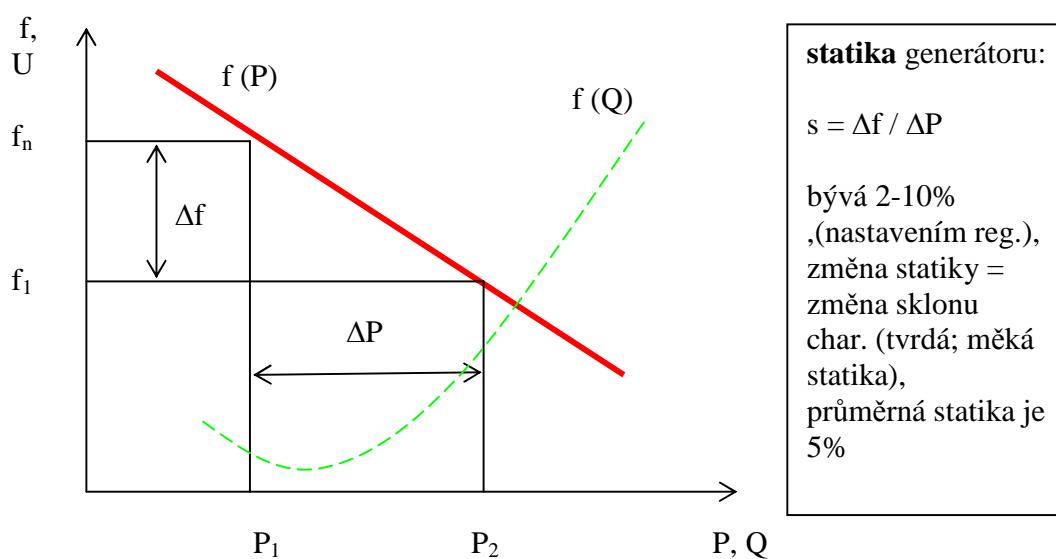


s poklesem f se snižuje výkon v soustavě (f - se hlídá mezi ES a U - v energet. soustavě) ostatní soustavy přispívají podle velikosti výkonového čísla k , c_i – koef. účasti, $P_i = c_i \cdot P_c$

UCTE – 3000 MW; ČR – 150-200 MW

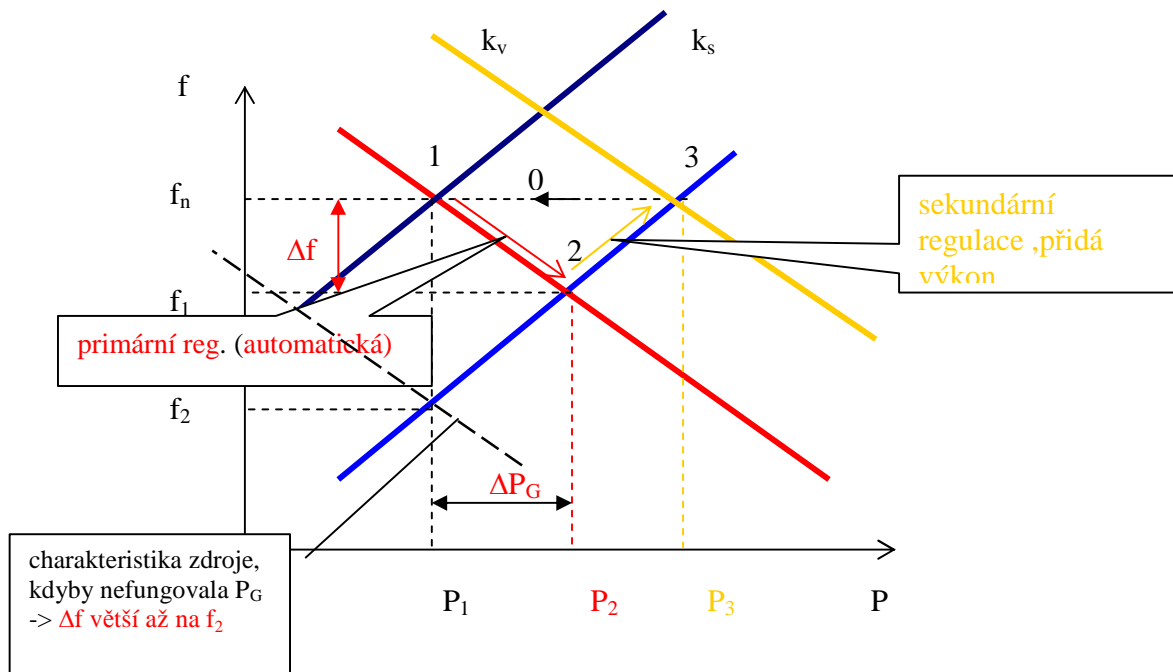
k - v praxi 1-3% (při poklesu f o 1% poklesne zatížení o 1-3%)

b) statická charakteristika zdrojů



Př. Porucha frekvence 0,1 Hz vyvolá u TG o výkonu 220 MW s nastavenou statikou 5% změnu výkonu TG o 8,8 MW.

Primární a sekundární regulace ES



působením aut. primární regulace je vyrovnán výkon mezi zátěží a spotřebou (1->2), ale zůstává kvazistatická reg. odchylka Δf , musí zapůsobit sekundární regulace (2->3), aby uvolnila výkonovou rezervu primární regulace a dorovnal frekvenci na f_n

při odlehčení soustavy funguje proces primární reg. obráceně

15. Regulace frekvence v el. sítích

Primární: V propojené ES je primární regulace frekvence založena na tzv. principu solidarity. Při poruše výkonové rovnováhy mezi zatížením a výkonem zdrojů se na obnovení výkonové rovnováhy podílejí všechny zdroje propojené soustavy, která jsou do primární regulace zapojeny v jednotlivých regulačních oblastech. Účelem primární regulace frekvence je tudíž zvýšit (snížit) výkon a tím zastavení poklesu (vzrůstu) odchylky frekvence v časovém intervalu několika sekund.

$$\Delta P = -\lambda \Delta f \quad [\text{Mw}, \text{MW/Hz}, \text{Hz}]$$

Δf – stacionární odchylka frekvence

λ – výkonové číslo regulační oblasti

Základní povinnost provozovatelů PS je zjištění výkonové zálohy.

Výkonové zálohy pro primární regulaci frekvence každé z regulačních oblastí se stanoví jako standard udávající, jak velký výpadek výkonu má být pokryt činností primární regulace frekvence. Každá regulační oblast udržuje pro ni stanovenou souhrnou výkonovou zálohu na primární regulaci frekvence s danou sumární charakteristikou.

Δf do 100 mHz zregulovat do 15 sek

100-200 mHz zregulovat do 30 sek

$P_i = C_i \cdot P_c$ C_i – koeficient i-té oblasti E – roční výroba v propojené soustavě

$P_i = \frac{E_c}{E_i} \cdot P_c$ P_i – primární regul. rezerva E_i – roční výroba v i-té oblasti

P_c – celkový výkon (P_c v UCTE = 300 MW) rezervovaný výkon prim. regulace, čím větší soustava, tím větší příspěvek na primární regulaci. Každá soustava přispívá podle C_i , které se stanovuje jednou za rok (~ 15. října). Na činnost primární regulace frekvence navazuje sekundární regulace frekvence.

Sekundární: automaticky udržuje frekvenci na jmenovité hodnotě a výkonovou rovnováhu regulačních oblastí. Je zajišťována automaticky sekundárním regulátorem frekvence a předávaných výkonů, který je umístěn na dispečinku ČEPS. Na sekundární regulátor jsou připojeny terminály elektráren s bloky poskytujícími (PPS). Regulátor pracuje v principu NEINTERVENCE – výkonovou nerovnováhu. Vyrovná pouze postižené oblasti, kde vznikla nerovnováha.

$$G = \Delta P + K \Delta f \quad [\text{MW}, \text{MW}, \text{MW/Hz}, \text{Hz}]$$

ΔP – odchylka předávaných výkonů, K – nastavený parametr

Sekundární regulační proces trvá jen několik minut a je nezávislý na primární regulaci.

Působí na vybrané turbíny elektráren, které jsou do ní zapojeny

Automaticky dálkově ovládá regulaci P turbíny z regul. Oblasti

Musí být aktivována jen v té regul. Oblasti, ve které došlo k nerovnováze mezi výrobou a spotřebou nejpozději do 30 s po vzniku odchylky, ukončení regulace do cca 15 min.

Terciární:

1) Podpora pro udržení potřebné sekundární regulační zálohy.

2) Změna výkonu bloku na základě požadavku provozovatele PS

TR možno rozdělit na 2 způsoby:

1) Bloky zařazené do SR – regulace uskutečněna změnou pásma pro SROV.

2) Bloky nezařazené do SR – změna výkonu bloku uskutečněna rychlostí garantovanou pro TR.

Elektroenergetika:

16. Měření frekvence v ES, stanovení směrodatné regulační odchylky

Měření frekvence probíhá v důležitých bodech sítě, tzn. výrobní, rozvodny, předávací místa atd.

V dnešní době je měření automatizováno a je prováděno většinou převodníky frekvence na proudovou smyčku (někdy jsou výstupy využity pro regulační procesy). Hodnoty frekvence jsou zobrazovány digitálními ukazateli. Pro provozní orientační zobrazení frekvence se lze setkat i s jazýčkovými kmitočtoměry. Jazýčkový kmitočtoměr je tvořen řadou jazýčků s odlišnými rezonančními frekvencemi; jazýček, který se rozkmitá s maximální amplitudou určuje frekvenci v síti.

Frekvence je základní ukazatel kvality elektřiny v celé propojené soustavě a sleduje se následovně:

Směrodatná odchylka

Na vyhodnocení tohoto parametru se každou sekundu měří a zaznamenává skutečná hodnota frekvence f_i a porovnává se se žádanou hodnotou $f_n = 50\text{Hz}$.

Z hodnot v 15-minutovém intervalu se vypočítá směrodatná odchylka σ .

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - f_n)^2} \text{ [mHz]}$$

kde je n - počet vzorků frekvence během uvažované 15-minutové periody,
 f_n - žádaná jmenovitá frekvence.

Kvalita frekvence elektřiny v daném měsíci vyplývá ze statistického vyhodnocení σ -hodnot pro každou čtvrt hodinu vyhodnocovaného měsíce. Kvalita frekvence v rámci jednoho měsíce se považuje za uspokojivou, pokud hodnoty směrodatné odchylky příslušného měsíce v 90 % leží pod hodnotou 40 mHz, 99% leží pod hodnotou 60 mHz, 1% může být nad hodnotou 60 mHz.

Počet korekcí synchronního času

Sleduje se čas za měsíc kdy je na regulátorech nastavená frekvence 49,99 resp. 50,01 Hz pro synchronizaci času sítě s astronomickým časem. Celková délka korekčního času za měsíc nemá být víc než 8 dní.

17.Regulace předávaných výkonů a frekvence v propojených elektrizačních soustavách

Primární: V propojené ES je primární regulace frekvence založena na tzv. principu solidarity. Při poruše výkonové rovnováhy mezi zatížením a výkonem zdrojů se na obnovení výkonové rovnováhy podílejí všechny zdroje propojené soustavy, která jsou do primární regulace zapojeny v jednotlivých regulačních oblastech. Účelem primární regulace frekvence je tudíž zvýšit (snížit) výkon a tím zastavení poklesu (vzrůstu) odchylky frekvence v časovém intervalu několika sekund.

$$\Delta P = -\lambda \Delta f \quad [\text{Mw}, \text{MW/Hz}, \text{Hz}]$$

Δf – stacionární odchylka frekvence

λ – výkonové číslo regulační oblasti

Základní povinnost provozovatelů PS je zajištění výkonové zálohy.

Výkonové zálohy pro primární regulaci frekvence každé z regulačních oblastí se stanoví jako standard udávající, jak velký výpadek výkonu má být pokryt činností primární regulace frekvence. Každá regulační oblast udržuje pro ni stanovenou souhrnou výkonovou zálohu na primární regulaci frekvence s danou sumární charakteristikou.

P_c -celkový výkon (P_c v UCTE = 300MW) rezervovaný výkon prim. regulace, čím větší soustava, tím větší příspěvek na primární regulaci. Každá soustava přispívá podle C_i , které se stanovuje jednou za rok (~ 15. října). Na činnost primární regulace frekvence navazuje sekundární regulace frekvence.

Sekundární: automaticky udržuje f sekvenci na jmenovité hodnotě a výkonovou rovnováhu regulační oblasti. Regulace je zajištěna automaticky sekundárním regulátorem f a P , který je umístěn na dispečinku ČEPS. Na sekundární regulátor jsou připojeny terminály elektráren s bloky poskytujícími (PpS) a terminály v hraničních rozvodnách měřící předávaný výkon. Regulátor pracuje v principu NEINTERVENCE – výkonovou nerovnováhu. Vyrovná pouze postižené oblasti, kde vznikla nerovnováha.

$$G = \Delta P + K \Delta f \quad [\text{MW}, \text{MW}, \text{MW/Hz}, \text{Hz}]$$

ΔP – odchylka předávaných výkonů, K – nastavený parametr = λ

Při obnovování výkonové rovnováhy navazuje sekundární regulace f a P na primární regulaci f tak, aby postupně nahradila výkon, který byl poskytnut na principu solidarity v propojené soustavě. Proces sekundární regulace je realizován vysláním žádané hodnoty výkonu ze sekundárního regulátoru na bloky poskytující PpS SR.

Musí být aktivována jen v té regul. oblasti, ve které došlo k nerovnováze mezi výrobou a spotřebou nejpozději do 30 s po vzniku odchylky, ukončení regulace do cca 15 min.

MMEE př.6

SYSTÉMOVÉ SLUŽBY PS (SyS)

1) Udržování kvality elektřiny - využívá následující technicko organizační prostředky:

o Udržování souhrnné výkonové zálohy pro primární regulaci frekvence

o Sekundární regulace U, f a P

o Terciární regulace napětí

o Zajištění kvality napěťové sinusovky a stability přenosu

Kritéria pro posuzování kvality elektřiny vycházejí z platných technických norem.

2) Udržování výkonové rovnováhy v reálném čase - využívá následující technicko organizační prostředky:

o Sekundární regulace f a P

o Terciární regulaci výkonu

o Využití dispečerské zálohy

Kritéria pro posuzování kvality udržování výkonové rovnováhy a salda předávaných výkonů

MMEE př.10

Systémové služby (k čemu to je)

• Zajištění kvality a spolehlivosti dodávek elektřiny na úrovni přenosové soustavy

– Kvalita :

• Frekvence

• Napětí

• Obsah vyšších harmonických

– Spolehlivost

• Dodržení podmínek salda přenášených výkonů (vnější spolehlivost ES)

• Dodržení parametrů nepřerušitelnosti dodávky do odběrních míst

Systémové služby (co to je)

Mezi systémové služby na úrovni přenosové soustavy patří:

• a) Udržování primární regulační zálohy

Primární regulace f - zvýšení (snížení) výkonu a tím zastavení poklesu (vzrůstu) frekvence do 30-ti sekund.

V propojené ES je služba primární regulace f založena na tzv. principu solidarity.

• b) Sekundární regulace frekvence a předávaných výkonů

Je centrálně koordinovanou systémovou službou, zajišťovanou provozovatelem PS, jejímž cílem je udržovat frekvenci na jmenovité hodnotě a saldo předávaných výkonů s propojenými soustavami na sjednané hodnotě.

Založena na tzv. principu neintervence - každá z propojených soustav disponuje takovým výkonem zdrojů (záložních výkonů), kterým je schopna v každém okamžiku zajišťovat rovnováhu mezi výkonem zdrojů a zatížením příslušné soustavy. Reaguje pouze sekundární regulace f a P postižené soustavy (tedy soustavy, která nerovnováhu vyvolala). Měla by obnovit zadané hodnoty frekvence a předávaných výkonů do 15 min. od okamžiku vzniku výkonové nerovnováhy.

• c) Terciární regulace P

Slouží pro uvolnění výkonu, který byl použit v rámci činnosti sekundární regulace f a P. Kromě bloků v točivé záloze se podílejí i následující opatření:

- rychle startující záloha - 30-ti minutová záloha,

- výpomoc ze synchronně pracujících soustav,

- změna zatížení (ZZ).

• d) Zajištění provozní zálohy

• e) Sekundární regulace napětí a jalových výkonů - (ASRU) je automatická lokální služba udržování zadaného napětí v pilotním uzlu PS

• f) Terciární regulace napětí a jalových výkonů - centralizovaná automatická služba koordinující zadaná napětí v pilotních uzlech pro bezpečný a ekonomický provoz ES jako celku.

• g) Zajištění stability přenosu - centralizovaná automatická služba koordinující zadaná napětí v pilotních uzlech pro bezpečný a ekonomický provoz ES jako celku.

- h) Obnovování provozu po úplném nebo částečném rozpadu soustavy (ztrátě napájení) - proces skládající se z najetí blok" bez podpory napětí ze sítě (start ze tmy), postupné obnovy napětí sítě a napájení odběratel" dle předem určených priorit a dále z ostrovního provozu částí sítě a jejich postupného sfázování.
- i) Zajištění kvality napěťové sinusovky

Systémové služby (komu a jak jsou dodávány)

- Ve skutečnosti jsou spíš odebírány než dodávány
- Frekvence a napětí jsou odebírány všemi spotřebiteli, připojenými k ES a to ve stejném rozsahu
- Frekvence a napětí jako systémové parametry jsou čerpány v nezměněném rozsahu i v případě, že připojený spotřebitel si vyrábí elektřinu ve svém vlastním zařízení
- Spolehlivost dodávky je čerpána všemi stejně resp. v rozsahu jeho připojovací kapacity (i když má pro různé subjekty různou hodnotu)

Systémové služby (kým a jak jsou obvykle placeny)

- Všemi spotřebiteli těchto služeb (všemi kteří je využívají a čerpají) v sazbách,
 - koneční zákazníci
 - samovýrobci propojení s ES
 - v určitém rozsahu spotřebitelé v ostrovech,
 které jsou vybírány provozovateli distribučních soustav

ČEPS - PODPŮRNÉ SLUŽBY PPS (PpS)

K zajištění „systémových služeb“ (SyS).

- Primární regulace f (PR) – sekundová
- Sekundární regulace P bloku (SR)
- Rychle startující záloha – 10-ti minutová záloha (QS10)
- Terciární regulace P bloku (TR) – 30-ti minutová rezerva
- Rychle startující záloha – 30-ti minutová záloha (QS30)
- Dispečerská záloha (DZ) – hodinová až denní rezerva
- Výpomoc ze synchronně pracující soustavy
- Změna zatížení (ZZ)
- Sekundární regulace U/Q (SR_U/Q)
- Rychlé snížení výkonu – 30 min. záloha (ZSV_30)
- Poskytování záložního jalového výkonu
- Schopnost ostrovního provozu
- Schopnost startu ze tmy
- Poskytnutí napětí ze zahraniční soustavy (dále MMEE př.č.6 od str.47)

18. Systémové a podpůrné služby. (na úrovni přenosové soustavy- zajišťuje ČEPS)

Systémové služby: - slouží k zajištění bezpečného a spolehlivého provozu PS, kvality přenosu el. energie a k zajištění požadavků pro provoz ES ČR vyplývajících z mezinárodní spolupráce v rámci UCTE.

1) Udržování kvality elektřiny.

Služba využívá tyto technicko organizační prostředky:

- Udržování souhrnné výkonové zálohy pro primární regulaci frekvence
- Sekundární regulace f a P
- Sekundární regulace napětí
- Terciální regulace napětí
- Zajištění kvality napět'ové sinusovky
- Zajištění stability přenosu

2) Udržování výkonové rovnováhy v reálném čase.

Služba využívá tyto technicko organizační prostředky:

- Sekundární regulace f a P
- Terciální regulace výkonu
- Využití dispečerské zálohy

3) Obnovení provozu

Využívá se plán obnovy, schopnost ostrovního provozu, start ze tmy.

4) Dispečerské řízení

Podpůrné služby: - slouží k zajištění systémových služeb, poskytovateli jsou uživatelé PS

- 1) Primární regulace f bloku
- 2) Sekundární regulace P bloku
- 3) Terciální regulace P bloku
- 4) Rychle startující 10-ti minutová záloha
- 5) Dispečerská záloha
- 6) Změna zatížení
- 7) Snížení výkonu
- 8) Sekundární regulace U/Q
- 9) Schopnost ostrovního provozu
- 10) Schopnost startu ze tmy

20. Regulace napětí v elektrizační síti (primární, sekundární, terciální)

Primární regulace napětí – na svorkách alternátoru – má za úkol udržovat zadanou hodnotu napětí na svorkách alternátoru. Je osazena na elektrárenských blocích o výkonu 100 MW a víc. Je realizována pomocí automatického regulátoru napětí.

Sekundární regulace – jejím úkolem je udržování U/Q v pilotních uzlech soustavy na hodnotách určených terciální regulací napětí. Je realizován pomocí automatického regulátoru napětí ARN a automatického hladinového regulátoru transformátoru HRT. Reaguje na odchylku skutečného a zadaného U v pilotním uzlu a určí potřebný jalový výkon pro její vyrovnání. Akční veličinou je změna zadané hodnoty vyráběného Q nebo změna zadané hodnoty U primárních regulátorů, která je rozesílána na jednotlivé elektrárny, ovládané systémem ARN. Cílem HRT je udržet hladinu napětí na sekundární straně transformátoru na zadané hodnotě.

Terciální regulace – úkolem je koordinovat toky jalových výkonů a velikost napětí pro bezpečný a ekonomický provoz ES jako celku. Podmínkou bezpečného provozu je zachování nezbytné točivé rezervy jalového výkonu rozmístěné v síti nejen pro aktuální provozní stav, ale i pro zachování stability systému v případě náhlých změn, jako je výpadek velkého bloku, změna topologie, nebo prudký nárůst zatížení (pro řešení poruchových stavů). Tato regulace zajišťuje optimální provoz prostřednictvím zadaných hodnot napětí pro ARN v pilotních uzlech, optimální skladby kompenzačních prostředků (např. kompenzačních tlumivek), případně změny převodu vybraných transformátorů, které mají významný vliv na rozdělení toku Q mezi jednotlivými napěťovými úrovněmi. Terciální regulátor je umístěn na dispečinku provozovatele přenosové soustavy.

Zdroj informací – kodex přenosové soustavy bezpečnost provozu a kvalita na úrovni PS (plán obrany proti šíření poruch v přenosové soustavě)

21. Prostředky pro regulaci U v elektrizační soustavě

- regulace napětí v přenosové soustavě (ČEPS)
- regulace napětí v DS (pomocí dispečerských oblastí)

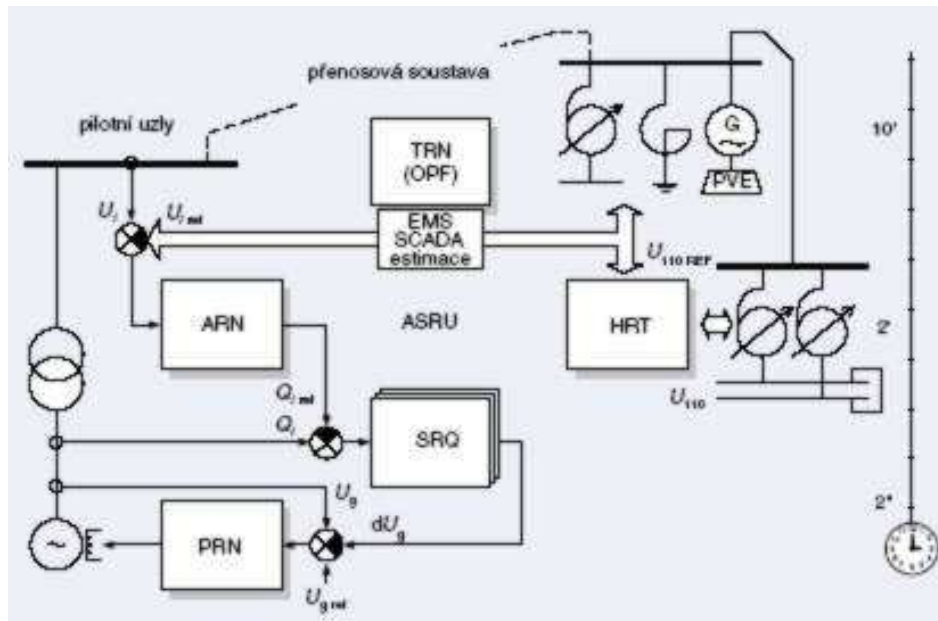
Regulace napětí v přenosové soustavě (ČEPS)

Používá se primární i sekundární regulace napětí

Primární reg.-provedená prostřednictvím buzení alternátoru

Sekundární reg.-udržování napětí v pilotních uzlech sítě 400+/-5%

Prostředky-buzení alternátoru nebo přepínání odboček TR. Regulace napětí je řízena z centrálního dispečinku viz obr.



ARN-automatický regulátor napětí

SRQ-sekundární regulátor jalového výkonu

PRN-primární regulátor napětí

Regulace napětí v DS (pomocí oblastních dispečinků)

- napětí u spotřebitele musí být v příslušných mezích
- provádí se udržování napětí v požadovaných uzlech

Regulace napětí se provádí:

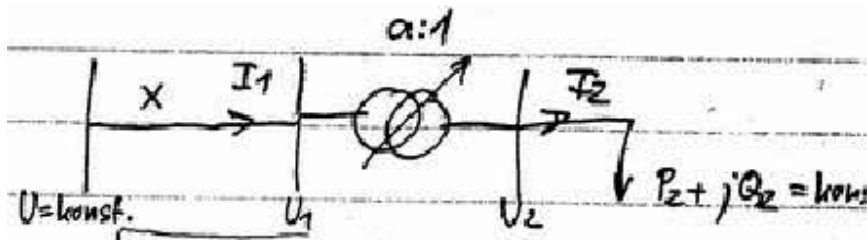
- buzením alternátorů, které pracují do DS
- přepínáním odboček traf
- nemůžeme uvažovat kompenzační baterie

V sítích existuje tzn.terciální regulace napětí- v př.ekonomického hodnocení se snažíme rozdělit regulační výkon mezi alternátor a prostředky zapojené do soustavy tak, aby tok Q byl minimální. To má za následek minimální ztráty a optimální přenášené výkony.

Prostředky pro regulaci v ES

- Trafa-regulace transformátoru 400 (220)/110kV, 110/22kV

-přepínání odboček



$$\Delta U = X \cdot I_1 = X \cdot \frac{I_2}{a} = X \cdot \frac{Q_2}{a \cdot U_2} \quad U_2 = U - \Delta U = U - X \frac{Q_2}{a \cdot U_2}$$

a....převod trafů

Závislost napětí na převodu

$$U_2 = \frac{U \pm \sqrt{U^2 - 4XQ_2}}{2a}$$

Pro zvýšení napětí musím snížit odbočku!

b) Zdroje jalového výkonu

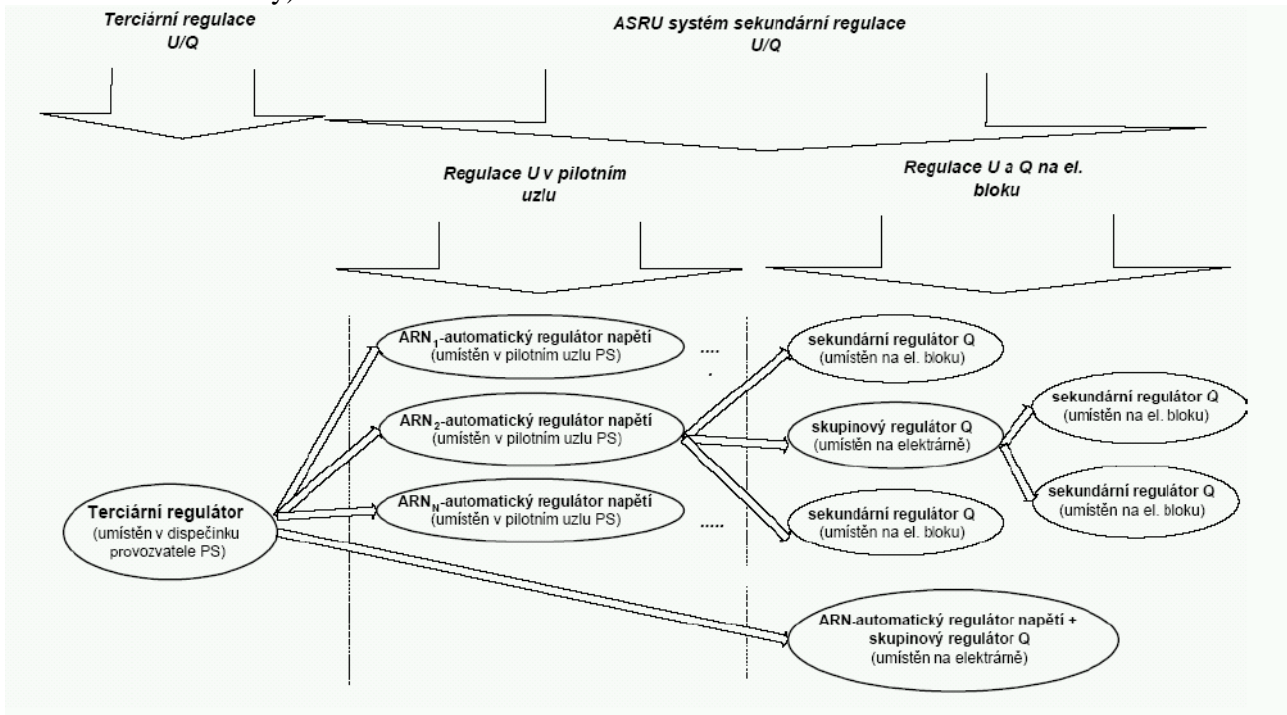
Patří sem synchronní generátory, statické kompenzátory, kondenzátorové baterie. Cílem je zvyšování hodnoty jalového výkonu nejlépe až u místa spotřeby. To má za následek to, že na vedení nevznikají takové úbytky napětí

c) Úprava podélné reaktance vedení –zapojení sériových kondenzátorů

Provozní kritéria pro U a Q

Koncepce regulace napětí taková, jaká je přijatá a aplikovaná v ES ČR. Je postavena na třístupňové hierarchii:

- terciální regulace-na úrovni celé regulované soustavy
- sekundární regulace napětí-na úrovni jednoho uzlu soustavy
- primární regulace napětí-na úrovni jednoho bloku výroby (elektrárny, teplárny nebo závodní elektrárny)



1-22, Způsoby kompenzace jalového výkonu v elektrizační síti

Základní pojmy a vztahy

Účinník

Účinník je cosinus úhlu fázového posunu mezi napětím a proudem. Uvažuje se první harmonická. Dle nařízení Energetického regulačního úřadu je přípustný účinník 0,95 – 1.

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Odebírá-li spotřebitel elektrickou energii s účinníkem mimo daný limit, jsou mu účtovány přírážky.

Činný výkon

Uvažujeme třífázovou soustavu

$$P = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi = S \cdot \cos \varphi$$

Zdánlivý výkon

$$S = U \cdot I \cdot \sqrt{3} = \frac{P}{\cos \varphi} = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Jalový výkon

$$Q = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \sin \varphi = \sqrt{S^2 - P^2}$$

Kompenzační výkon Q_c

$$Q_c = Q_p - Q_k$$

Výkon po kompenzaci Q_k

$$Q_k = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_k$$

Proud spotřebiče

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_f}$$

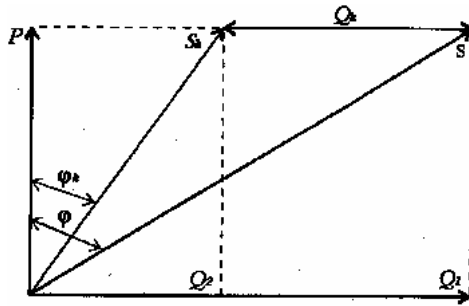
Proč kompenzovat

Kompenzací jalového výkonu je možno sledovat několik cílů:

- 1) zlepšení účinníku
- 2) zmenšení zdánlivého příkonu
- 3) zvětšení využití činného příkonu
- 4) zlepšení napěťových poměrů
- 5) zmenšení ztrát při přenosu

Zlepšení účinníku

Dle rozhodnutí ERÚ není penalizován odběr, který má účinník 0,95 až 1. Většina spotřebičů, především motorů mají účinník podstatně horší. Výpočet kompenzačního výkonu je možno odvodit z fázorového diagramu obr. 1.



Obr. 1. Fázorový diagram pro zlepšení $\cos \varphi$

- P činný výkon
S zdánlivý výkon před kompenzací
S_k zdánlivý výkon po kompenzací
- Q₁ jalový indukční výkon před kompenzací
Q₂ jalový indukční výkon po kompenzací
Q_k kompenzační výkon
φ úhel před kompenzací
φ_k úhel po kompenzací

Jalový výkon [kVar] je možno vypočítat z činného výkonu [kW] násobeného tangitou úhlu. Platí tedy vztahy:

$$Q_1 = P \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

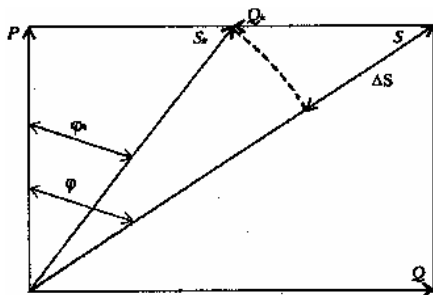
$$Q_2 = P \cdot \operatorname{tg} \varphi_k$$

Je znám výkon před kompenzací a požadovaný výkon po kompenzací. Potřebný kompenzační výkon je jejich rozdíl:

$$Q_k = Q_1 - Q_2$$

Zmenšení zdánlivého příkonu

Řešení vyplývá z fázorového diagramu obr. 2



Obr. 2. Fázorový diagram pro zmenšení zdánlivého výkonu

- P činný výkon
- S zdánlivý výkon před kompenzací
- S_k zdánlivý výkon po kompenzaci
- ΔS rozdíl zdánlivého výkonu

Q_1 jalový indukční výkon před kompenzací

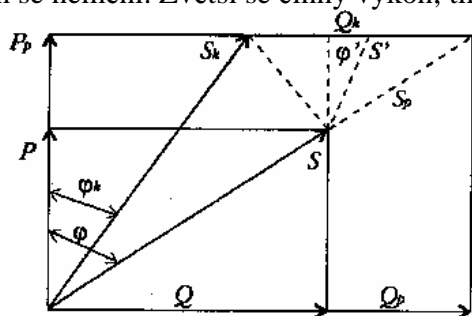
- Q_2 jalový indukční výkon po kompenzaci
- Q_k kompenzační výkon
- φ úhel před kompenzací
- φ_k úhel po kompenzaci

Rozdíl zdánlivého výkonu ΔS se určí jako zdánlivý výkon před kompenzací minus zdánlivý výkon po kompenzaci

$$\Delta S = S - S_k$$

Zvětšení činného výkonu

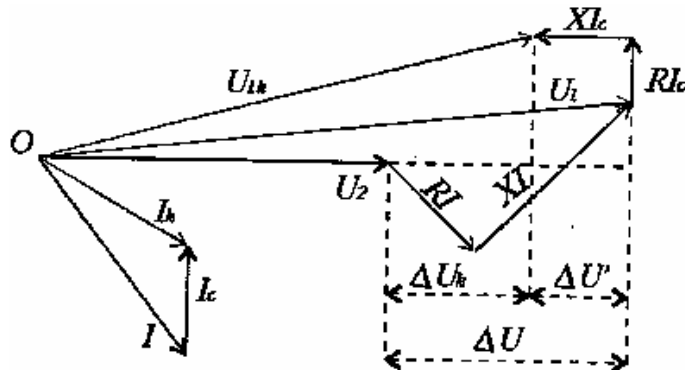
Zdánlivý výkon se nemění. Zvětší se činný výkon, tím se lépe využije elektrické zařízení



Obr. 3. Diagram pro zvětšení činného výkonu

- P činný výkon
- P_p činný výkon zvýšený
- Q_p jalový výkon zvýšený

Zlepšení napěťových poměrů



Obr. 4. Fázorový diagram kompenzovaného vedení

U_1 napětí na začátku nekompenzovaného vedení
 U_{1k} napětí na začátku kompenzovaného vedení

I_c **kapacitní proud odebíraný na konci vedení**

$R I_c$ úbytek napětí na vedení vyvolaný kapacitním proudem

ΔU úbytek napětí před kompenzací

$\Delta U'$ úbytek napětí po kompenzací

Zmenšení ztrát při přenosu

Ztracený výkon na přenosovém vedení je dán jeho odporem a procházejícím proudem. Pro jednu fázi platí:

$$P_z = R \cdot I^2$$

Vykompenzováním se sníží proud přenášený vedením, zmenší se i ztráty. Pro výpočet se předcházející vzorec upraví

$$P_{zk} = R \cdot I_k^2$$

Zmenšení ztrát vzniklých při přenosu je možno určit jako rozdíl ztrát před a po kompenzací

$$\Delta P_z = P_z - P_{zk} = R(I^2 - I_k^2)$$

Požadujeme-li znát zmenšení ztrát v procentech, použije se vztah:

$$\Delta P_{z\%} = \frac{\Delta P_z}{P_z} \cdot 100$$

Přehled druhů kompenzace

Technicky je možno kompenzaci rozdělit na dva základní druhy: podélnou neboli sériovou a příčnou neboli paralelní.

Sériová kompenzace

Kompenzační kondenzátory jsou v sérii se spotřebičem a prochází přes ně pracovní proud. Používá se pro vedení VN a VVN. V systémech NN u svářeček.

$$Q_c = UI_c = \frac{I_c^2}{\omega C} = I_c^2 \cdot X_C$$

| | |
|----------|---------------------------------|
| Q_c | výkon kondenzátoru |
| U | napětí na svorkách kondenzátoru |
| I_c | proud kondenzátorem |
| X_c | kapacitní reaktance |
| ω | frekvence |

Proud I_c procházející kondenzátorem, je zároveň proud zátěží a zároveň proud vedením. Změnou proudu se změní výkon kondenzátoru. Rovněž napětí na kondenzátoru se mění, ale bez zpoždění.

Paralelní kompenzace

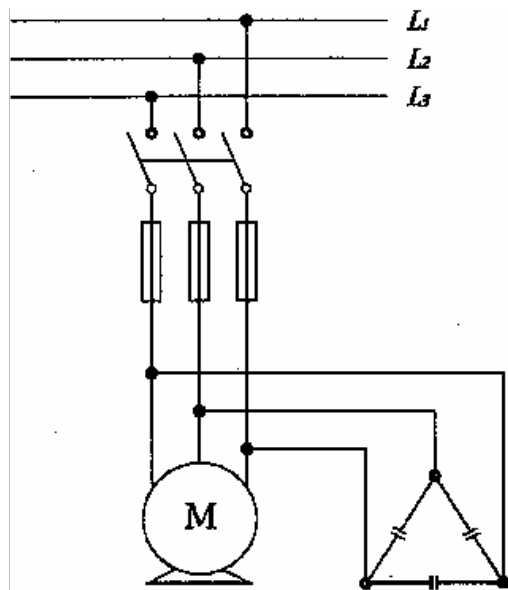
Jak název napoví, jsou kompenzační prvky připojeny ke spotřebiči paralelně. Podle možných variant je možno tento druh kompenzace rozdělit do 4 skupin:

- 1) individuální neboli jednotlivá
- 2) skupinová
- 3) centrální
- 4) smíšená

Individuální kompenzace

Individuální kompenzaci řeší norma ČSN 33 3080. Z hlediska kompenzace je možno považovat tento systém za nejvýhodnější a norma uvádí, že se musí individuální kompenzaci dávat přednost.

Princip je založen na tom, že každý spotřebič indukčního výkonu je samostatně kompenzován vhodně dimenzovaným kondenzátorem, což je zobrazeno na obr. 5.



Obr. 5. Individuální kompenzace

Vzhledem ke skutečnosti, že kondenzátory pro soustavu NN jsou z výroby vybaveny odpojovači, (výrobky ZEZ Žamberk), připojují ke spotřebiči bez jištění. Je tak zajištěno jejich vybíjení přes kompenzovaný spotřebič. Na ostatních napěťových hladinách se musí kondenzátory jistit vhodnými jisticími prvky.

Výhody individuální kompenzace:

Indukční výkon se kompenzuje přímo u spotřebiče. Je-li zvolena odpovídající velikost kapacity, jsou ztráty na vedení minimální.

Kompenzační kondenzátor se zapíná a vypíná zároveň se spotřebičem, je zaručeno, že při správně navržené kapacitě nedojde k překompenzování sítě.

Kondenzátor je přímo spojen se spotřebičem, při vypnutí se přes něj vybíjí, nehrozí nebezpečí zbytkového náboje

Velikost kapacitního výkonu má přesně odpovídat velikosti indukčního výkonu spotřebiče. Odpadá řídicí automatika, spínací a další prvky, což velmi přispívá ke spolehlivosti.

Nevýhody individuální kompenzace

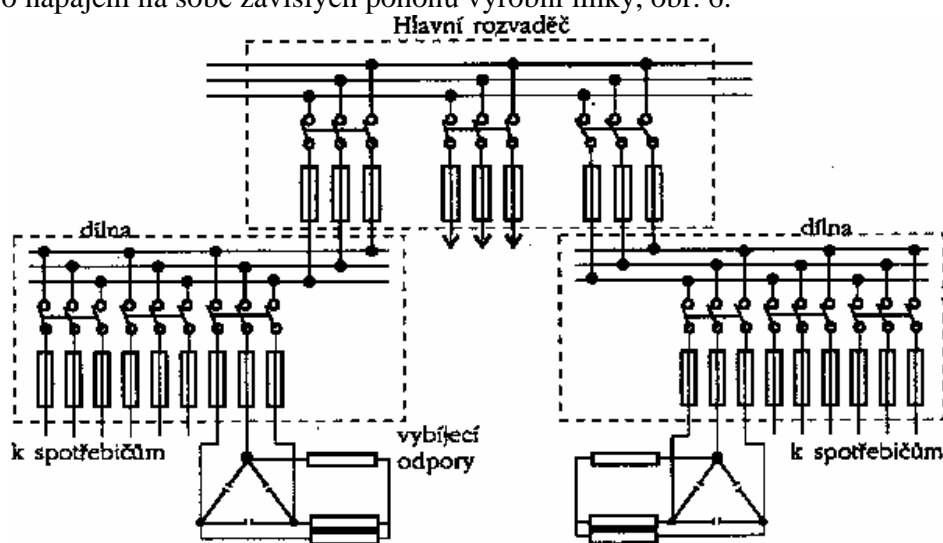
Využití kondenzátorů je závislé na využití spotřebiče.

Individuální kompenzace vychází dražší.

Vzhledem ke skutečnosti, že jednotlivé spotřebiče bývají rozptýleny po provozu, je kontrola a údržba jednotlivých prvků individuální kompenzace náročnější.

Skupinová kompenzace

Nejvíce se používá u systému nízkého napětí. Kompenzují se jednotlivé podružné rozváděče, které slouží pro napájení na sobě závislých pohonů výrobní linky, obr. 6.



Obr. 6. Skupinová kompenzace

Kapacitní výkon pro celou skupinu se obvykle připíná s posledním spínaným motorem, anebo s největším motorem výrobního bloku. Velikost kondenzátorů se volí s ohledem na soudobý výkon, nikoli instalovaný. Velikost soudobého výkonu se zjistí měřením.

Skupinovou kompenzací se sníží indukční výkon na úseku vedení mezi hlavním rozváděčem a kompenzovaným podružným. Není tedy kompenzováno vedení mezi kompenzovaným rozváděčem a motorem.

Výhoda:

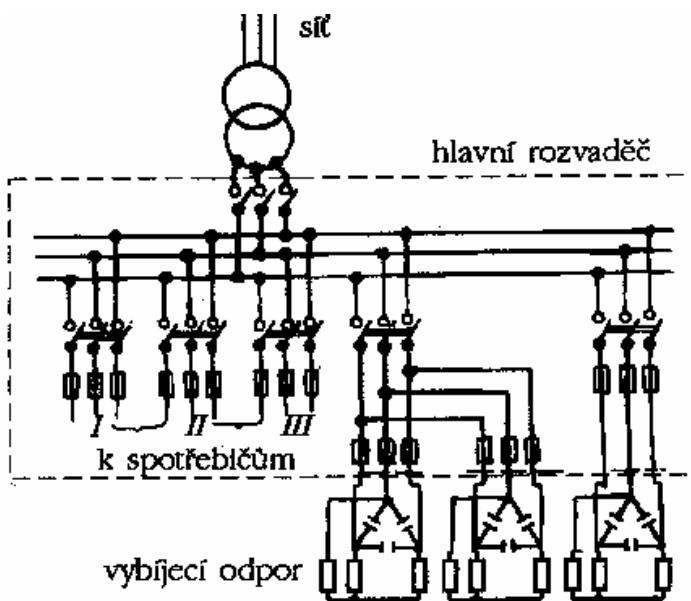
Je zapotřebí menší počet kondenzátorů, než by bylo použito při jednotlivé kompenzaci, což má příznivý vliv na cenu.

Nevýhoda:

Zapínání jednotlivých kondenzátorů je nutné vhodným způsobem řídit, systém musí být vybaven vhodnými spínacími, jistícími prvky a regulačním systémem.

Centrální kompenzace

Při centrální kompenzaci obr. 7, se indukční výkon celého odběru kompenzuje na jednom místě, a to v hlavní rozvodně.



Obr. 7. Centrální kompenzace

Kondenzátory se připojují na sběrný rozvodny. Velikost dodávaného kapacitního výkonu se mění s počtem připojených kondenzátorů. Vše je řízeno automatikou.

Výhoda tohoto systému je v tom, že je vše na jednom místě. Systém se snadno kontroluje.

Nevýhoda je ve větší složitosti, jsou nutné kondenzátorové rozvaděče vybavené příslušnou regulační technikou. Nejsou kompenzovány jednotlivé vývody ke spotřebičům.

Smíšená kompenzace

Nejčastější způsob kompenzace účinníku je smíšená kompenzace. Odběratel využívá všechny tři možnosti. Individuální kompenzací se kompenzují velké motory, které jsou trvale v chodu. Sestavy s menšími motory pracující kratší dobu se mohou kompenzovat skupinovou kompenzací. Centrální kompenzace se uplatní v hlavní rozvodně, takže výsledný účinník odpovídá normě.

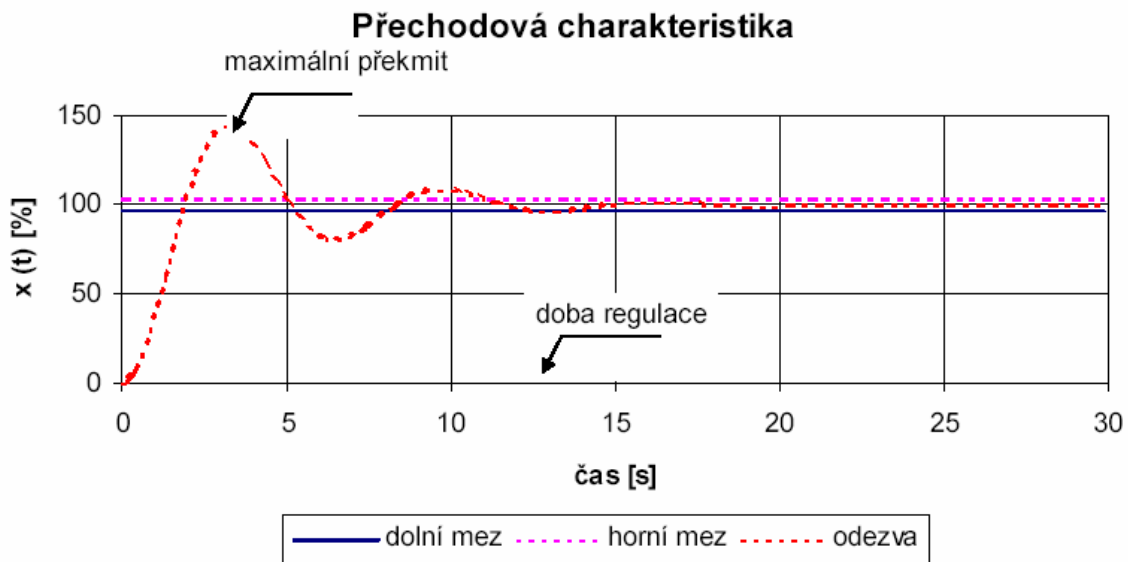
23. Způsob hodnocení kvality regulačního procesu.

Nejčastěji je hodnoceno několik ukazatelů, které charakterizují kvalitu regulačních procesů. Jedná se o :

1. **přesnost regulace** - udává v jakých mezích udržuje regulační obvod regulovanou veličinu
2. **doba regulace** (doba odezvy) - je doba, která uplyne od počátku poruchy do okamžiku, kdy se regulované veličiny technologického procesu dostanou na žádané hodnoty s danou přesností
3. **maximální odchylka regulované veličiny** (maximální překmit) - je největší hodnota přeregulování v odezvě uzavřeného regulačního obvodu na skokovou změnu zadané veličiny
4. **počet přeregulování po dobu regulace** - je roven počtu extrémů (maxim, minim) po dobu regulace, jejichž hodnota leží vně pásma přesnosti regulace
5. **kvadratická regulační plocha** - je integrál definovaný vztahem:

$$I = \int_0^{\infty} [e(t)e(\infty)]dt$$

Význam výše popsanych pět parametrů je zřejmých z úplné dynamické charakteristiky, která je na obrázku ve tvaru odezvy na jednotkový skok.



24. Funkce dispečerského řízení v ES a DS.

Dispečerské řízení zajišťují dispečinky.

Dispečerské řízení se dělí na:

- a) dispečerské řízení PS
- b) dispečerské řízení DS
- c) dispečerské řízení výroben
- d) dispečerské řízení konečných zákazníků a obchodníků

Dispečerské řízení zahrnuje:

- a) příprava provozu PS, DS a výroben, včetně zajištění systémových služeb
- b) řízení provozu PS, DS a výroben
- c) technické hodnocení provozu PS a DS včetně systémových služeb
- d) vydávání dispečerských pokynů

Příprava provozu:

- provádí analýzu spolehlivosti a zabezpečení provozu soustavy
- stanovuje záměry provozu soustavy včetně velikosti a struktury podpůrných služeb potřebných k zajištění systémových služeb

Operativní řízení:

- uskutečňuje záměry stanovené přípravou provozu při současném řešení vlivu nepředvídatelných provozních událostí v PS a v DS

Technické hodnocení:

- analyzuje dispečerské řízení výroby el. energie, přenosu a distribuce elektřiny.

Dispečerské pokyny:

- a) provozní instrukce dispečinku provozovatele PS a provozovatelů DS
- b) pokyny dispečera dispečinku PS a pokyny dispečerů dispečinků DS

25. Řízení ES v krizových podmínkách.

Stavem nouze v elektroenergetice je omezení nebo přerušení dodávek elektřiny na celém území ČR nebo v její části v důsledku:

- a) živelných událostí,
- b) opatření státních orgánů za nouzového stavu, stavu ohrožení státu nebo válečného stavu
- c) havárií na zařízení pro výrobu, přenos a distribuci elektřiny,
- d) smogové situaci podle zvláštních předpisů,
- e) teroristického činu.

Stav nouze pro celé území státu vyhláší provozovatel PS – hromadné sdělovací prostředky.

Stav nouze pro část území státu vyhláší provozovatel DS a oznamuje provozovateli PS a ministerstvu.

Při stavech nouze a při hrozících stavech nouze jsou všichni odběratelé, fyzické a právnické osoby podnikající v energetice povinni podřídit se omezení spotřeby nebo dodávky elektřiny.

Při stavech nouze jsou provozovatelé PS a DS oprávněni využít zařízení odběratelů.

Likvidaci následků v PS a DS řídí odstraňují provozovatelé soustav.

Regulační plán – zpracováváno dispečinkem PS v součinnosti s dispečinkem DS stanový postup a rozsah omezení spotřeby odběratelů připojených k PS a k DS o napětí vyšším než 1 kV.

Vypínací plán - zpracováváno dispečinkem PS v součinnosti s dispečinkem DS stanový postup a vypínané výkony při rychlém a krátkodobém přerušení dodávky odběratelům při likvidaci systémových či lokálních poruch v soustavě. (obsahuje 10 stupňů č.21-30)

Frekvenční plán - zpracováváno dispečinkem PS v součinnosti s dispečinkem DS stanový postup pro předcházení a řešení stavu nouze spojeného s havarijní změnou kmitočtu přerušit dodávek odběratelům a odpojováním výroben od sítě působením frekvenčních relé, která jsou instalovaná na výrobnách, na zařízeních PS a DS, na zařízeních odběratelů.

REGULAČNÍ STUPNĚ: vyhláší provozovatel PS prostřednictvím provozovatelů DS

Základní stupeň: - normální provozní stav soustav s vyrovnanou bilancí a výkonovou rezervou

RS č1: - nutí odběratele k striktnímu dodržování sjednaných hodinových hodnot výkonu v odběrovém diagramu vzhledem k situaci v soustavě blízké stavu nouze.

RS č2: - snížení odebíraného výkonu u odběratelů ze zařízení PS nebo ze zařízení DS s napětím vyšším než 52 kV (s účinností do 30 minut).

RS č3: - snížení odebíraného výkonu u odběratelů ze zařízení DS s napětím vyšším než 1 kV se sjednanou hodnotou odebíraného výkonu nad 1 MW (s účinností do 30 minut).

RS č4: - snížení odebíraného výkonu u odběratelů ze zařízení DS s napětím vyšším než 1 kV se sjednanou hodnotou odebíraného výkonu nad 150 kW (s účinností do 4 hodin).

RS č5: - snížení odebíraného výkonu dalšími odběrateli se sjednanou hodnotou odebíraného výkonu nad 150 kW (s účinností do 4 hodin).

RS č6: - snížení odebíraného výkonu u odběratelů na hodnotu bezpečného minima s účinností do 1 hodiny.

RS č7: - snížení odebíraného výkonu u odběratelů na hodnotu bezpečného minima s účinností do 8 hodiny.

RS 2-7 se nevztahují na zdravotnictví, obrana státu, telekomunikace a pošty, vodohospodářství, výroba potravin a nápojů, MHD, veřejná drážní doprava, Policie ČR, hasičský záchranný sbor, výroba tepla, technologie pro dodávku el. energie, zajištění jaderné bezpečnosti, dále dle krizového plánu.