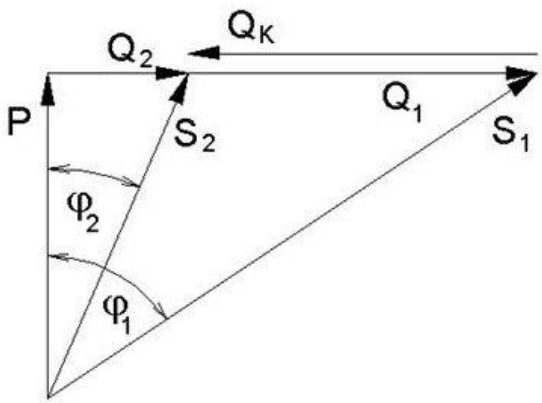
České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Katedra elektroenergetiky

Kompenzace jalového výkonu

A0M15EZS – Elektrické zdroje a soustavy

Důvody kompenzace

- většině případů jsou odběry induktivního charakteru
- definice účiníku (při zanedbání deformační, pulzační a skrytý):
- $\cos\varphi = \frac{P}{S}$ $\quad P = S.\cos\varphi \quad Q = S.\sin\varphi$
- Kompenzací jalového výkonu pak rozumíme snížení odběru induktivního jalového výkonu pomocí dodatečných technických opatření na předepsanou hodnotu, tj. požadovaný účiník v rozmezí cosφ = 0,95-1.



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

$$\lambda = \frac{P}{S} = \cos\varphi_{ekv}$$

Spotřebiče jalového výkonu

- Asynchronní motory
  - jalový výkon je potřebný k vytvoření točivého magnetického pole statoru a k pokrytí rozptylového magnetického toku
  - zvětšení odebíraného jalového výkonu a zhoršení účiníku s klesajícím zatížením motoru
  - při chodu naprázdno (60-70% příkonu motoru při plném zatížení)

$$Q = Qo + Qz \cdot \left(\frac{P}{P_N}\right)^2$$

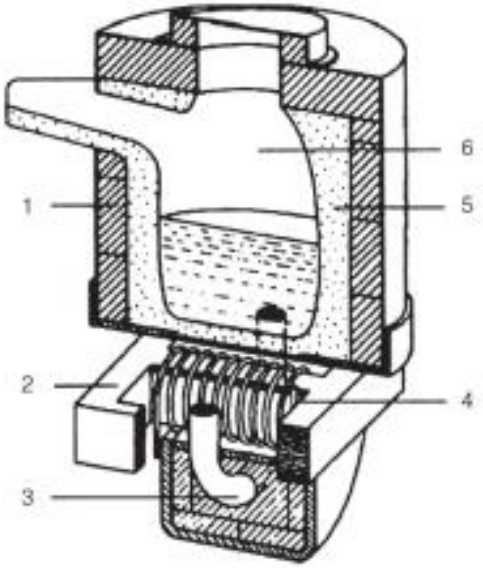
- Asynchronní generátory
  - asynchronní generátory odebírají z rozvodné sítě značný jalový indukční výkon pro vytvoření magnetického pole

Spotřebiče jalového výkonu

- Transformátory
  - tvořen z jalového výkonu při chodu naprázdno (1 - 3,5% S_{TN})
  - $Q = Q_0 + u_k \left(\frac{I}{I_N}\right)^2$
  - při chodu transformátoru naprázdno $\cos\varphi_0$ = 0,1 - 0,2
  - kompenzace se vyžaduje středo- a velkoodběratelů (na sekundární straně transformátoru)
  - při průměrném zatížení 70 % S_N je celkový jalový výkon 4 – 6 % S_N
  - $Q = 0{,}01 . I_0 . S_{TN}$

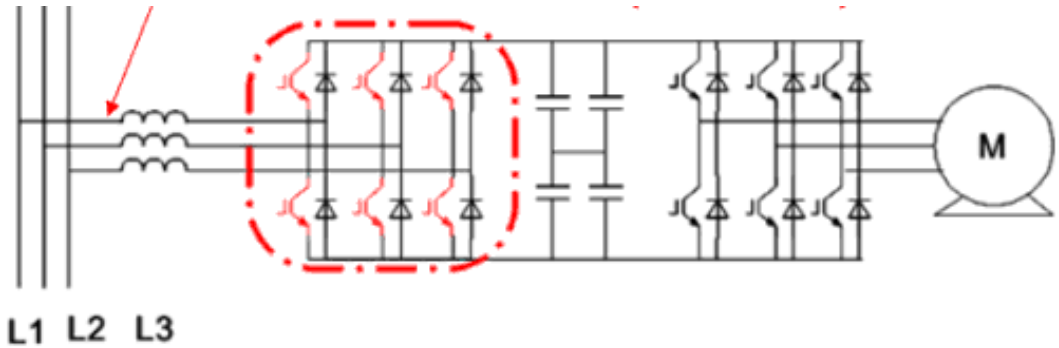
Obloukové a indukční pece

- zařízení je jedno z nejproblematičtějších z hlediska jejich zpětných vlivů na síť
- kromě odběrů výkonů s nízkými hodnotami účiníku vykazují velkou proměnlivost odebíraného výkonu
- stabilní hoření a dosažení požadovaného výkonu na oblouku je podmíněno účiníkem mezi $\cos\varphi_0 = 0{,}7 - 0{,}86$



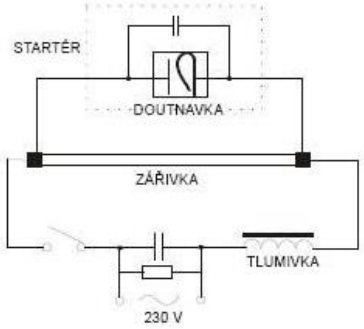
Výkonové polovodičové měniče

- řízené a neřízené usměrňovače, měniče frekvence se stejnosměrným meziobvodem, přímé měniče frekvence, fázově řízené střídavé spínače
- řízený polovodičový usměrňovač pro řízení ss motorů
  cosφ = 0,5 a horší
- střídač s neřízeným usměrňovačem (ss meziobvod, PWM) cosφ = 0,95
- Pro řízený polovodičový usměrňovač pro regulaci ss motorů platí, že účiník se zhoršuje s hloubkou regulace otáček a nepřímo s velikostí ss napětí naprázdno U_{d0} při úhlu řízení tyristorů α = 0.



Spotřebiče jalového výkonu

- výbojková a zářivková svítidla



- svařovací transformátory
- zátěže s rychle se měnícím odebíraným jalovým výkonem (svařovací lisy, bodovky)
- reaktory pro omezení zkratových proudů

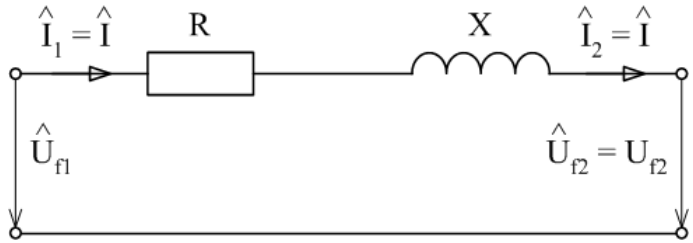
Venkovní a kabelová vedení

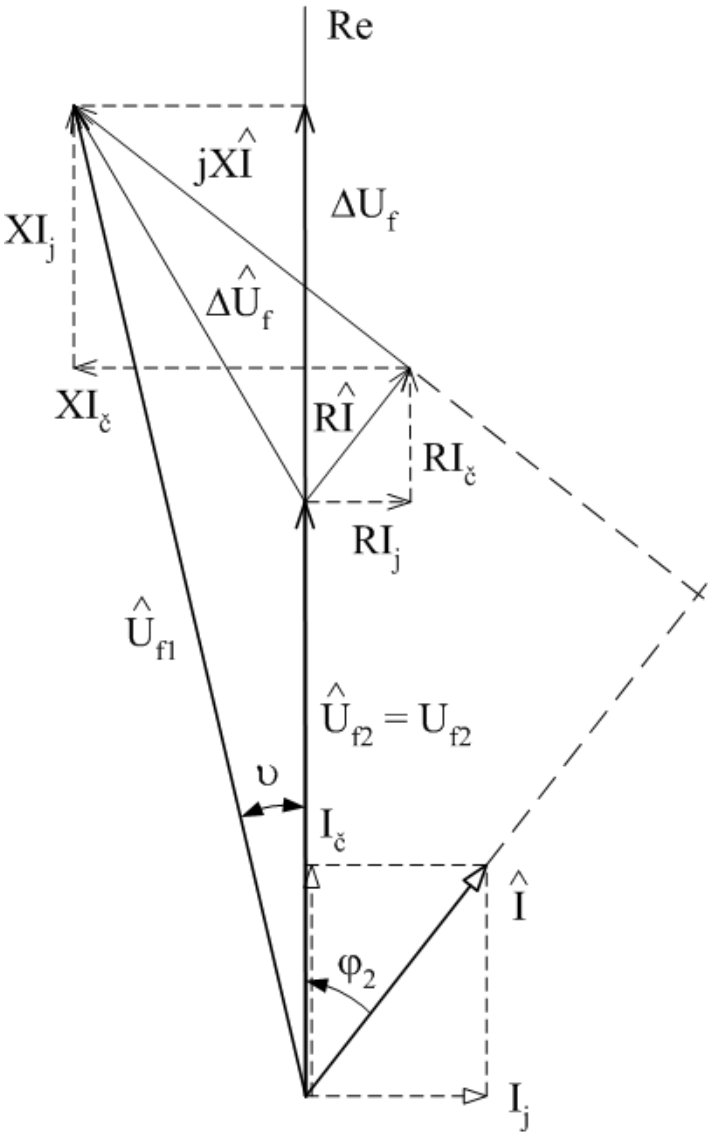
- u venkovních vedení (pod 200km) převládá indukční složka a kapacitní je zanedbatelná
- kabelových vedení převládá naopak vliv kapacity (kapacita roste čím větší je průřez žil)
- tato vlastnost kabelových sítí může vést při nesprávně provozovaných kompenzačních zařízeních k nebezpečnému nárůstu kapacitního výkonu hlavně v sítích VN

Důsledky odběrů se špatným účiníkem

- **zvýšení nákladů na prvky elektrizační soustavy**
  tj. vedení, transformátory, elektrické rozvodny apod. musí být dimenzovány na velikost zdánlivého proudu, který je 1/cosφ krát větší než proud činný
- **snížení využití generátorů -** jalový induktivní proud odběru zeslabuje buzení generátoru a je třeba zvýšit budící proud, tím dochází ke zvětšení tepelných ztrát v rotoru a budiči a ke zvýšení zkratového proudu při poruše. Opačná situace vzniká při překompenzování v odlehčené síti, neboť značně odbuzený stroj by mohl vypadnout ze synchronismu a způsobit zvýšení horní přípustné hodnoty napětí, proto je nutné pracovat s induktivním účiníkem cosφ = 0,95 až 0,98
- **zvýšení tepelných ztrát** v ohmických odporech prvků elektrické soustavy, které jsou závislé na druhé mocnině zdánlivého proudu, tj. rostou s druhou mocninou převrácené hodnoty účiníku (např. při cosφ = 0,7 jsou dvakrát větší než při cosφ = 1)
- **zvětšení úbytku napětí v síti** způsobený zdánlivým proudem I s fázovým posunem φ na impedanci sítě, tj. na činném odporu R a reaktanci X je
  $\Delta U = RI \cos\varphi + XI \sin\varphi$
- **zhoršení zkratových poměrů v síti** způsobené zvýšením buzení generátorů, tj. dochází ke zvětšení nárazového zkratového proudu a nesymetrické ss složky a v důsledku toho ke zhoršení vypínacích podmínek a namáhání vypínačů

Úbytek napětí





Komplexní úbytek napětí

$$\Delta\hat{U}_f = \hat{Z}_1\hat{I} = (R + jX)(I_č \mp jI_j)\begin{matrix}\text{IND}\\ \text{KAP}\end{matrix}$$

$$\Delta\hat{U}_f = RI_č \pm XI_j + j(XI_č \mp RI_j)\begin{matrix}\text{IND}\\ \text{KAP}\end{matrix}$$

velikost fáze

$$\Delta U_f = \frac{R3U_fI_č \pm X3U_fI_j}{3U_f} = \frac{RP \pm XQ}{3U_f}$$

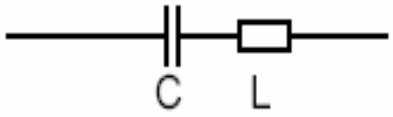
Způsoby zlepšování účiníku

- **správným návrhem a provozováním zdrojů, přenosové soustavy a spotřebičů**:
  - dimenzování transformátorů
  - volba jmenovitého napětí
  - využití synchronních motorů
  - správné dimenzování asynchronních motorů a omezení jejich chodu naprázdno
  - odstranění nehospodárných regulačních pohonů

- **použitím kompenzačních zařízení**, které jsou zdrojem jalového kapacitního výkonu

Dělení kompenzačních zařízení

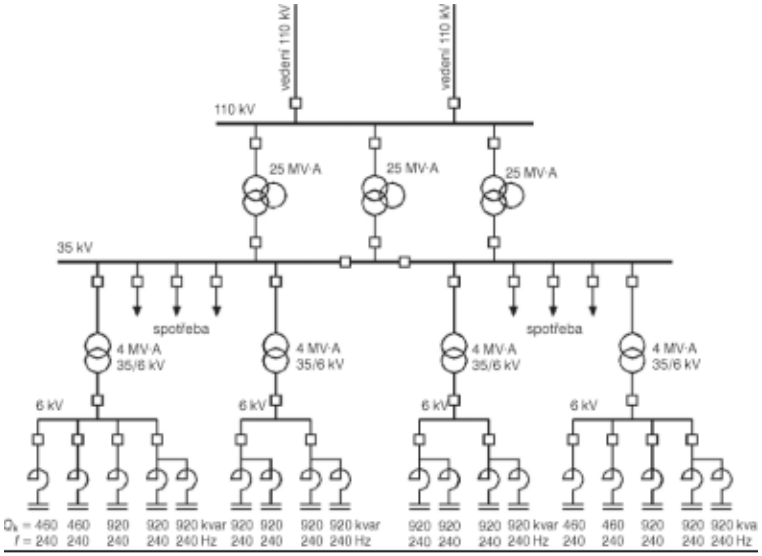
- **podle principu činnosti:**
  - **rotační** (synchronní kompenzátor)
  - **statické** (kondenzátor připojený přímo na síť nebo hrazený tlumivkou, kompenzační filtr tvořený sérioparalelním zapojením L – C, příp. i rezistorů)



  - **polovodičové** (např. proudový měnič s nucenou komutací a kondenzátorem ve ss obvodu – viz. aktivní filtry)

Dělení kompenzačních zařízení

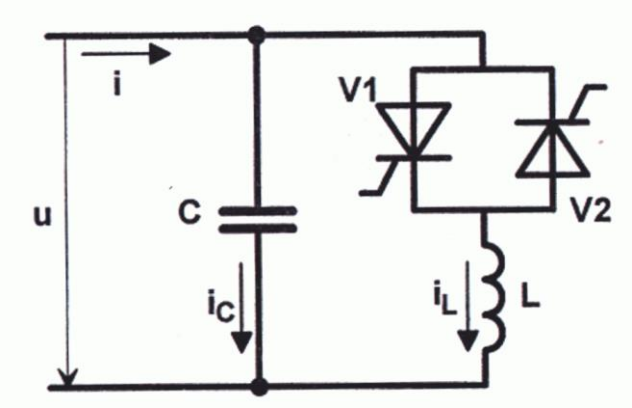
- **podle způsobu regulace:**
  - **kompenzátory s konstantním výkonem**, tj. neregulované kondenzátorové baterie
  - kompenzační filtry spínané samostatným spínačem nebo společně s kompenzovaným spotřebičem (individuální kompenzace asynchronních motorů nebo transformátorů)
  - **kompenzátory se stupňovitou regulací**, tzn. samostatně spínané kondenzátory pomocí stykačů NN (speciální stykače pro spínání kapacit) ovládaných regulátorem účiníku moderní konstrukce nebo bezkontaktních polovodičových spínačů se speciální regulací pro omezení přechodných dějů při spínání kondenzátorů pro VN pomocí vakuových vypínačů nebo stykačů



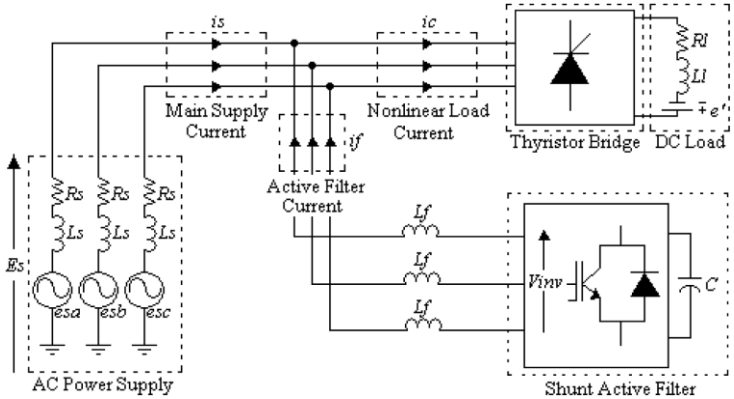
Obr. 4. Schéma připojení kompenzátorů do průmyslové sítě

Dělení kompenzačních zařízení

- **podle způsobu regulace:**
  - **kompenzátory s plynulou regulací** jedná se o synchronní kompenzátory, statické kompenzátory doplněné paralelně připojenou dekompenzační fázově řízenou tlumivkou

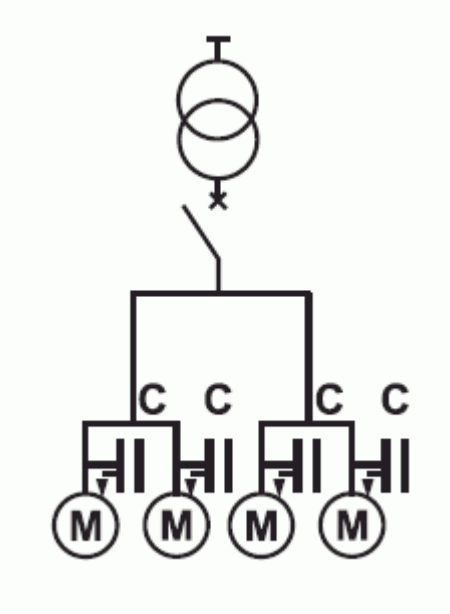


  - **aktivní filtry** – nový technický prostředek umožňující eliminovat energetické rušení, zejména kolísání napětí v provozech s výraznými dynamickými odběry jalového výkonu (např. svařovny, obloukové pece apod.) a současně snižovat obsah harmonických.

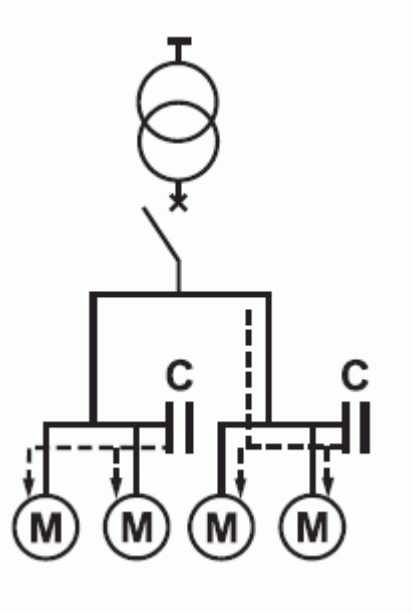


Dělení kompenzačních zařízení

- **podle umístění kompenzátoru:**
  - **individuální**, kdy je kondenzátor připojen přímo na svorkách spotřebiče jalového výkonu nebo je společně s ním připínán k síti samostatným stykačem (vhodné pro velké motory, které pracují delší dobu nebo trvale) – nutná vhodná volba kompenzačního výkonu, nebezpečí samobuzení a přepěťových jevů

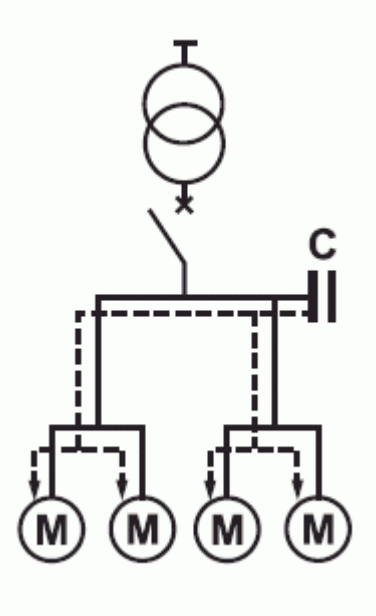


  - **skupinová**, kdy je regulovaný kompenzátor připojen na přípojnicích rozváděče skupiny spotřebičů, vzhledem k soudobosti chodu spotřebičů vychází kompenzační výkon menší



Dělení kompenzačních zařízení

- **podle umístění kompenzátoru:**
  - **centrální**, regulovaný kompenzátor je připojen na přípojnice vstupní trafostanice, vzhledem k soudobosti chodu spotřebičů vychází kompenzační výkon opět menší



  - **smíšená**, tj. kombinace dříve uvedených způsobů

Použitá literatura

- http://www.emcos.cz
- http://www.emgzlin.cz
- http://www.ege.cz
- http://www.circutor.com
- http://www.schneider-electric.cz/