

Kompenzace účinníku

Kompenzace účinníku patří mezi základní prostředky ke snížení ztrát. Kompenzaci účinníku musí každý odběratel provádět, aby nebyl postižen přirážkou k ceně elektrické energie dodavatelem.

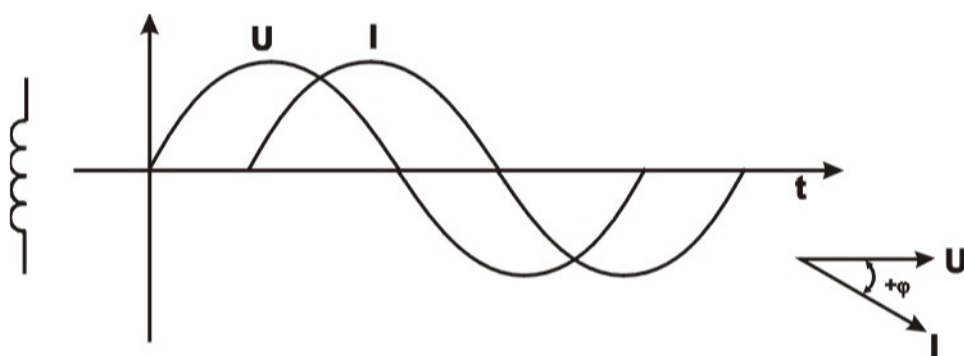
Jak již bylo uvedeno podílí se na činných ztrátách i jalová složka proudu. Cílem kompenzace účinníku je minimalizovat jalovou složku proudu a tím snížit hodnotu ztrát.

(Pozn. Jedná se o tzv. paralelní kompenzaci, sériová kompenzace vedení se provádí málo, a proto zde nebude popisována.)

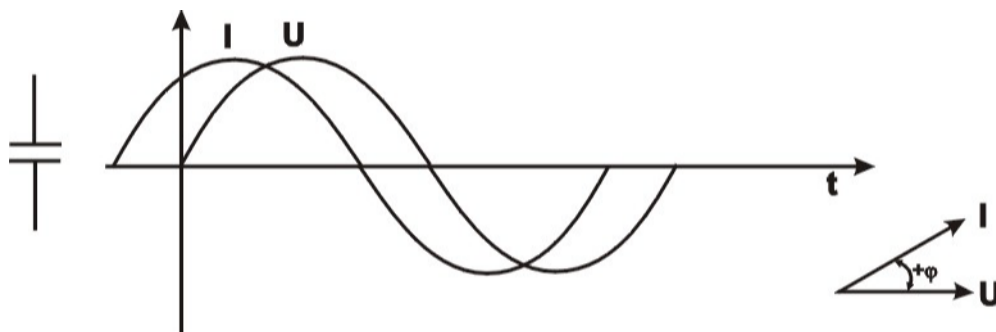
Účinník je funkce $\cos\varphi$, kde φ je úhel mezi fázorem proudu a napětí. Účinník z hlediska výkonů je definován :

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \quad (5.1)$$

P ... činný výkon [kW]
S ... zdánlivý výkon [kVA]



Posuv napětí a proudu induktivních spotřebičů



Posuv napětí a proudu kapacitních spotřebičů

Protože se většinou měří činná a jalová energie (výkon), definuje se hodnota $\operatorname{tg} \varphi$.

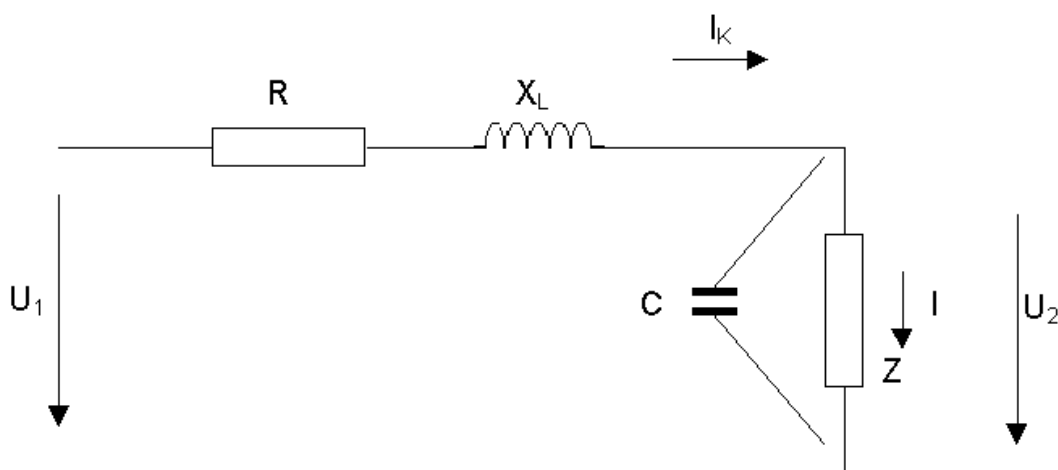
$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P} \quad (5.2)$$

Q ... jalový výkon [kvar]

Uvedená definice účinníku platí pouze na předpokladu sinusového průběhu proudu a napětí, není-li tato podmínka splněna, je definování složitější.

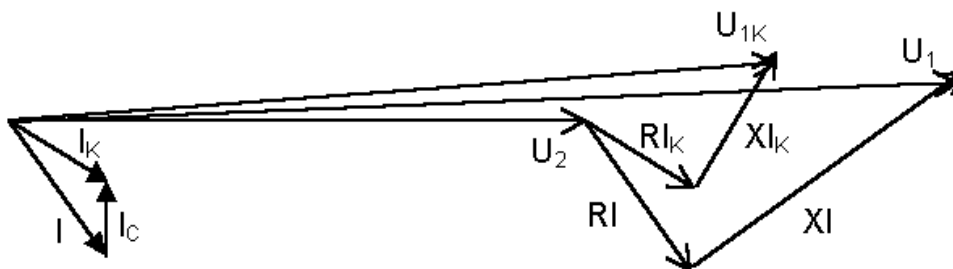
Většina spotřebičů v elektrických sítích (transformátory, indukční motory) má induktivní charakter, pro vytvoření magnetického pole je kromě činné složky nutná i jalová složka proudu. Proto je nutno tyto spotřebiče kompenzovat, dodat jim kapacitní jalový výkon. Tím, že se tento výkon dodá přímo u spotřebiče (např. připojením kondenzátoru paralelně ke spotřebiči), se zvýší průchodnost vedení a sníží se činné ztráty.

Základní situaci lze u paralelní kompenzace vyjádřit následujícím schématem :



Celý efekt paralelní kompenzace vyplývá z fázorového diagramu na obr. 5.2. Před kompenzací protéká vedením proud I . Tento proud protéká také zátěží (spotřebič Z) a vytváří na vedení příslušné úbytky napětí RI a $X_L I$. Po kompenzaci (připojení paralelního kondenzátoru) se vektorově sečte proud zátěže I s proudem kondenzátoru I_C , výsledný proud I_K pak protéká vedením a vytváří příslušné úbytky napětí RI_K a $X_L I_K$.

Tím dochází ke snížení úbytku napětí. Zároveň dojde ke snížení ztrát na vedení, protože absolutní hodnota proudu I_K je menší než absolutní hodnota proudu I . Tím se zároveň zvýší průchodnost vedení.



Při kompenzaci se nemění činná složka proudu, mění se pouze složka jalová z hodnoty I_J na hodnotu I_{JK} . Mění se rovněž úhel mezi napětím a proudem z hodnoty φ na hodnotu φ_K . Je definován tzv. koeficient kompenzace K a stupeň kompenzace K_P . Pro tyto hodnoty platí následující vztahy :

$$K = \frac{I_{JK}}{I_J} = \frac{\operatorname{tg} \varphi_K}{\operatorname{tg} \varphi} \quad (5.3)$$

$$K_P = 1 - K = \frac{I_C}{I_J} = \frac{\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_K}{\operatorname{tg} \varphi} \quad (5.4)$$

Je nutno stanovit potřebný kompenzační výkon, známe-li činný výkon spotřebiče, jeho účinník a hodnotu účinníku, který je požadován po kompenzaci. Pro jednu fázi platí :

$$Q_{CF} = U_F \cdot I_C = U_F^2 \cdot \omega C = P_F (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_K) \quad (5.5)$$

Pro trojfázovou síť :

$$Q_C = U_S^2 \cdot \omega C = P (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_K) \quad (5.6)$$

Je-li kompenzačním prostředkem kondenzátorová baterie, je ještě možno stanovit hodnotu kapacity kondenzátorů. U trojfázové soustavy může být kondenzátorová baterie zapojena buď do hvězdy nebo do trojúhelníka. Pro kapacitu jedné fáze kondenzátorové baterie zapojené do hvězdy platí :

$$C = \frac{Q_c}{\omega \cdot U_s^2} \quad [F; \text{var}; s^{-1}; V] \quad (5.7)$$

Pro zapojení kondenzátorové baterie do trojúhelníka platí :

$$C = \frac{Q_c}{3 \omega \cdot U_s^2} \quad [F; \text{var}; s^{-1}; V] \quad (5.8)$$

Aby byl dosažen stejný kompenzační výkon, je u zapojení do trojúhelníka zapotřebí třikrát menší kapacita kondenzátorů. V tomto zapojení jsou ale kondenzátory zapojeny na sdružené napětí, zatímco u zapojení do hvězdy jsou kondenzátory zapojeny na fázové napětí ($U_s = \sqrt{3} \cdot U_F$).

Kompenzací se sníží činné ztráty na vedení. Snížení činných ztrát tvoří rozdíl činných ztrát před kompenzací a po ní. Ztráty před kompenzací lze vyjádřit :

$$\Delta P = 3 R I^2 = \frac{R}{U_s^2} (P^2 + Q^2) \quad [W] \quad (5.9)$$

Po kompenzací je hodnota činných ztrát :

$$\Delta P_k = \frac{R}{U_s^2} [P^2 + (Q - Q_c)^2] \quad [W] \quad (5.10)$$

Rozdíl těchto dvou hodnot tvoří ztráty „ušetřené“ kompenzací účinníku. Tuto hodnotu lze po matematické úpravě vyjádřit následovně :

$$\Delta P_{u\dot{s}} = \frac{R}{U_s^2} Q_c (2Q - Q_c) \quad [W] \quad (5.11)$$

Stejnou hodnotu lze vyjádřit také z hodnoty činných ztrát před kompenzací a z hodnot fázového posuvu (úhel φ) před a po kompenzací :

$$\Delta P_{u\dot{s}} = \Delta P \left(1 - \frac{\cos^2 \varphi}{\cos^2 \varphi_k} \right) \quad [W] \quad (5.12)$$

Prostředky pro kompenzaci účinníku

Pro paralelní kompenzaci účinníku se používají následující technické prostředky :

A. Statické kondenzátory

Výhodou statických kondenzátorů jsou malé ztráty (0,3 – 0,5 % jmenovitého výkonu), menší náklady (oproti rotačním kompenzátorům), nemají rotační části. Nevýhodou je změna kompenzačního výkonu, která je v klasickém provedení možná pouze přepínáním a odpojováním jednotlivých kondenzátorů. Změna kompenzačního výkonu je v tomto případě skoková. Chceme-li plynulé řízení kompenzačního výkonu, je nutné použít tzv. fázové řízení.

Po připojení na napětí má jednofázový kondenzátor jalový výkon Q_c podle vztahu:

$$Q_c = U^2 \cdot \omega \cdot C$$

kde

ω ... úhlová rychlost (pro 50 Hz to je hodnota $100 \cdot \pi$),
 C ... kapacita kondenzátoru.

Dále víme, že

$$Q_c = U \cdot I$$

a z toho pak

$$Q_c = \frac{I^2}{\omega \cdot C}$$

kde U, I ... efektivní hodnoty napětí a proudu.

Pro trojfázový kondenzátor zapojený **do trojúhelníka** platí

$$Q_c = U^2 \cdot \omega \cdot 3 \cdot C_D$$

dále

$$Q_c = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$$

a z toho pak

$$Q_c = \frac{I^2}{\omega \cdot C_D}$$

Analogicky pro zapojení kondenzátorů **do hvězdy** platí

$$Q_c = U^2 \cdot \omega \cdot 3 \cdot C_Y$$

dále

$$Q_c = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$$

a z toho pak

$$Q_c = \frac{3 \cdot I^2}{\omega \cdot C_Y}$$

Podmínkou pro platnost předchozích výrazů je symetrie trojfázového zapojení, tj. stejné hodnoty všech kondenzátorů.

Kvalitu kondenzátorů výrazně ovlivňují ztráty. Ztráty sestávají z několika komponent, např. ztráty dielektrika, vnitřních pojistek, vybíjecích odporů, spojů atd. Ztráty jsou reprezentovány tangentou ztrátového úhlu kondenzátoru $\operatorname{tg}\delta$. Ten udává poměr mezi ekvivalentním sériovým odporem a kapacitní reaktancí kondenzátoru při specifikovaném sinusovém napětí a kmitočtu. Celkové ztráty kondenzátoru můžeme stanovit z rovnice:

$$P_z = Q_C \cdot \operatorname{tg}\delta,$$

pokud vycházíme ze sinusového průběhu napětí. Tangenta ztrátového úhlu je rozdílná pro různé technologie výroby. Tangenta ztrátového úhlu rovněž závisí na teplotě, a to tak, že roste nejenom s rostoucí teplotou, ale i s teplotou klesající pod 0 °C.

Pro neharmonický průběh je třeba uvažovat ztráty pocházející od všech harmonických. Potom pro celkové ztráty kondenzátoru platí:

$$P_S = \sum_{n=1}^{\infty} n \cdot Q_n \cdot \operatorname{tg}\delta_n = 2 \cdot \pi \cdot C \cdot \sum_{n=1}^{\infty} n \cdot U_n^2 \cdot f_n \cdot \operatorname{tg}\delta, \quad \text{kde}$$

n ... řád harmonické,
 U_n ... napětí harmonické,
 f_n ... kmitočet harmonické.

Velký vliv na životnost kondenzátorů má provozní teplota. Nadměrná teplota zrychluje elektrochemickou degradaci dielektrika. Velmi rychlé změny teploty mohou vyvolat degradaci částečnými výboji v dielektriku. Kde není možné zajistit vhodné podmínky chlazení, musí být použity kondenzátory speciální nebo s vyšším jmenovitým napětím.

Další významnou vlastností kondenzátorů je frekvenční závislost jejich impedance. Kapacitní reaktance X_C , která je jalovou složkou impedance, je dána vztahem:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C},$$

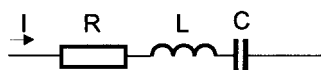
kde opět $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$.

Z toho vyplývá, že se zvyšujícím se kmitočtem reaktance klesá. Připojíme-li tedy kondenzátor do sítě, kde budou kromě zdrojů proudu základního kmitočtu i zdroje harmonických, bude pro ně tento kondenzátor představovat velmi nízkou impedanci. Celková efektivní hodnota proudu protékaného kondenzátorem vlivem harmonických vzroste a tento proud bude přetěžovat jednak samotný kondenzátor, ale i části sítě mezi zdrojem harmonických a kondenzátorem.

Prosté kondenzátory lze použít pro kompenzaci jalového výkonu v sítích nízkého i vysokého napětí s malými úrovněmi energetického rušení, tj. v sítích, kde podíl instalovaného výkonu nelineárních spotřebičů nepřesahuje 10 až 15% výkonu napájecího transformátoru.

Chráněné kompenzační sekce

Základní zapojení kompenzačního obvodu lze redukovat na velmi jednoduchý sériový článek RLC. Toto zapojení je popisováno v každé příručce a učebnici elektrotechniky. Přesto řada odvození a z nich prakticky použitelné vztahy běžně publikovány nejsou. Proto je zopakujeme a provedeme některé úpravy pro praktické potřeby.



Jednoduchý sériový RLC článek

Je zřejmé, že součástky dle obr. jsou schopny funkce v širokém spektru kmitočtů, v němž mají zvláštní postavení jmenovitý pracovní kmitočet f_N a rezonanční kmitočet f_r .

Zavedeme nejprve pomocné veličiny:
řád harmonické (ve vztahu k oběma kmitočtům) n , takže **rezonance** nastává při:

$$n_r = \frac{f_r}{f_n}$$

a činitel zatlumení:

$$p = \frac{1}{n_r^2}$$

Ochranné tlumivky se aplikují za podmínky, že $X_L \ll X_C$, takže:

$$X_L = -p \cdot X_C$$

Činitel zatlumení p se udává buď v poměných číslech [-], nebo v procentech [%].

Je vhodné, zda kompenzační kondenzátory jsou ve spojení Y nebo D, je však výhodné veškeré úvahy provádět ve vztahu k napětí fázovému, a tedy počítat s fázovými reaktancemi kondenzátoru (X_{CN}), fázovými reaktancemi tlumivek (jedna cívka X_{LN}) a fázovým napětím U_{FN} pro běžné veřejné sítě je $U_{FN} = 400 \cdot \sqrt{3} = 231 \text{ V}$.

Reaktance kompenzačního článku:

$$X_{LC} = (1 - p) \cdot X_C$$

Reaktance kompenzačního článku (kondenzátoru s příslušnou ochrannou tlumivkou) je při $f < f_r$ vždy nižší než výchozí reaktance kondenzátoru.

Kompenzační kondenzátory se u nás obvykle optimalizují na kmitočet $f_N = 50 \text{ Hz}$ a napětí $U_{CN} = 440 \text{ V}$, čímž se respektuje i zvýšení napětí vlivem reaktance předřazených tlumivek nebo sítě. Hodnotu reaktance určíme z udané hodnoty reaktivního výkonu pro všechny fáze:

$$X_C = \frac{U_{CN}^2}{Q_C}$$

Výkon kondenzátoru při jiném fázovém napětí:

$$Q_C = 3 \cdot U_F^2 \cdot \frac{1}{X_C}$$

a při jiném kmitočtu ω_2 a jiném napětí (U_2):

$$Q_2 = Q_1 \cdot \frac{U_2^2 \cdot \omega_2}{U_1^2 \cdot \omega_1} = Q_1 \cdot \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 \cdot \frac{f_2}{f_1}$$

Tento vztah je možno použít např. při přepočtu kompenzačního výkonu kondenzátoru, jehož jmenovitá hodnota napětí je jiná než napětí sítě.

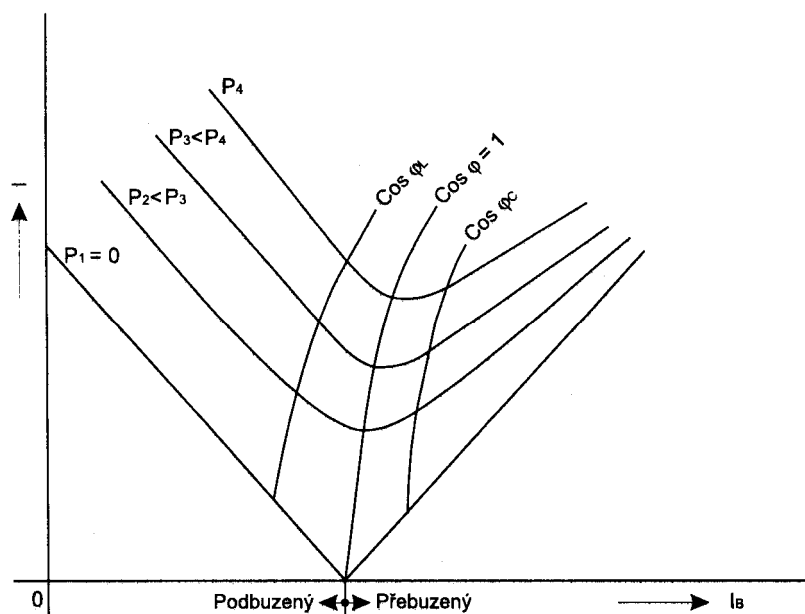
B. Rotační kompenzátory

Rotační kompenzátory jsou synchronní motory, které běží naprázdno v přebuzeném stavu. Kompenzační výkon se mění plynule buzením těchto strojů, což je výhoda těchto kompenzátorů. Nevýhodou jsou poněkud větší činné ztráty (2 – 8 % jmenovitého výkonu) a přítomnost rotačních částí. Oproti statickým kompenzátorům jsou rotační kompenzátory náročnější na údržbu.

C. Synchronní motory

Synchronní motory v přebuzeném stavu rovněž dodávají do sítě jalovou energii. Jejich hodnocení je shodné se synchronními kompenzátory s tím rozdílem, že ještě předávají mechanický výkon na hřídeli.

Synchronní elektromotory se používají v aplikacích, kde lze očekávat poměrně stabilní zátěžný moment, tedy například pro pohony čerpadel, kompresorů, ventilátorů, rotačních pecí apod. Měníme-li velikost budícího proudu při stálém napájecím napětí o stálém kmitočtu, je za předpokladu konstantního zátěžného momentu stálý i činný výkon motoru. Změnou velikosti budícího proudu ale můžeme měnit účinník odběru motoru, a to jak v oblasti induktivní, tak i v oblasti kapacitní. Závislost proudu statoru na budícím proudu při stálém výkonu má tvar tzv. V-křivek – viz obrázek.



Obr. 5 V-křivky synchronního stroje

K dosažení stálého účinku při různém zatížení je třeba vhodným způsobem řídit budící proud. Regulátory, jimiž se synchronní motory často osazují, mohou zajistit chod motoru i při změnách činného zatížení buď z konstantním účínkem, nebo konstantním jalovým výkonem.

Těchto vlastností synchronních motorů lze velmi účelně využít ke kompenzaci jalového výkonu paralelně připojených spotřebičů. V případě, že je to ekonomicky zdůvodnitelné jsou pro kompenzaci jalového výkonu používány synchronní kompenzátory. Jsou to vlastně synchronní motory pracující naprázdno, tedy z minimálním činným výkonem a relativně z velkým rozsahem regulace jalového výkonu.

Synchronní stroje sloužící ke kompenzaci jalového výkonu jsou převážně konstruovány pro hladiny vysokého napětí – obvykle pro síť 6 kV. Přestože budící soupravy synchronních strojů tvoří moderní a velmi rychlé řízené usměrňovače, je i ve spojení s rychlými regulátory jalového výkonu odezva na potřebu změny jalového výkonu zatížena jistým zpožděním. Synchronní stroje jsou tedy zcela nevhodné ke kompenzaci spotřebičů, jejichž spotřeba jalového výkonu se dynamicky mění, jako například u obloukových pecí, dynamicky řízených reverzačních stejnosměrných pohonů apod. V těchto případech dochází v době, než synchronní stroj díky zpoždění zvýší svůj kompenzační výkon, k nedokompenzování, zatímco ještě po jistou dobu, kdy již potřeba kompenzačního výkonu pominula, dále tento výkon dodává. To má negativní dopad na výsledné kolísání napětí, které na změnách jalového výkonu závisí.

Vzhledem k vysokým jednotkovým výkonům synchronních strojů (přibližně od 1 do 15 Mvar) a pomalejší regulaci jalového výkonu oproti jiným kompenzačním zařízením se tyto stroje využívají jako centrální kompenzace velkých průmyslových sítí. Připojují se k přípojnícím podružných průmyslových rozvodů 6 kV nebo přes samostatný transformátor 22/6 kV k přípojnícím hlavních rozvodů.

Kompenzace jalového výkonu pomocí synchronních strojů je v poslední době v útlumu. Provoz synchronních strojů je spojen se spotřebou činné energie, vyššími nároky na údržbu zařízení a v neposlední řadě vyššími nároky na obestavěný prostor a jeho vybavenost oproti kompenzačním zařízením statickým.

Shrnutí.

Volba jednotlivých typů kompenzačních prostředků závisí na velikosti potřebného jalového výkonu, na hladině napětí, ve které ke kompenzaci dochází, a na rychlosti změny kompenzované zátěže.

Pro ustálený odběr, kde se nemění potřeba kompenzačního výkonu s časem, jsou nejvhodnějším kompenzačním prostředkem statické kondenzátory.

Pro proměnlivé zatížení, kde se mění potřeba kompenzačního výkonu s časem poměrně pomalu, jsou vhodné rotační kompenzátory. Velikost kompenzačního výkonu se mění změnou budicího proudu. Pro rychlé změny potřeby kompenzačního výkonu nejsou rotační kompenzátory vhodné, projevuje se zde setrvačnost rotoru.

Pro nejrychlejší změny zatížení, kdy musí kompenzátor velmi rychle měnit dodávaný kompenzační výkon, je nejvhodnější fázově řízený kompenzátor.

Způsoby řízení kompenzačního výkonu

1. Stupňovitě řízené kompenzátory

U stupňovitého řízení výkonů je důležitou otázkou volba počtu a velikostí stupňů. Tato otázka platí jak pro kompenzátory kontaktní, tak pro bezkontaktní na hladinách nízkého i vysokého napětí. Volba počtu stupňů závisí na reálné velikosti jednoho stupně, celkovém potřebném kompenzačním výkonu a na žádané hodnotě vykompenzování, obvykle $\cos\varphi_0 \geq 0,95$, neboli $\operatorname{tg} \varphi_0 \leq 0,33$. Pak musí být v ideálním případě a pro stupně se stejným kompenzačním výkonem, splněn vztah:

$$\frac{Q_L - N \cdot Q_{C1}}{P} \leq \operatorname{tg} \varphi_0$$

kde

Q_L ... jalový induktivní výkon zátěže při činném výkonu P ,

Q_{C1} ... jalový výkon jednoho kompenzačního stupně,

N ... počet stupňů.

Z předchozí nerovnosti je možno určit vztah pro počet stupňů kompenzátoru N :

$$N \geq \frac{Q_L - P \cdot \operatorname{tg} \varphi_0}{Q_{C1}}$$

1.1.Kontaktní

Regulované kontaktní kompenzátory pracují na principu přímého připínání kondenzátorů nebo chráněných kompenzačních sekcí, popř. jejich skupin na kompenzovanou síť podle povelů regulátoru jalového výkonu.

Kontaktní kompenzátory s prostými výkonovými kondenzátory se běžně používají v sítích, kde se nevyskytují harmonické složky proudu a kde nejsou kladeny vysoké nároky na rychlost kompenzace.

Při použití klasických stykačů je jejich velkým nedostatkem možnost vzniku přechodových jevů při nedefinovaném kontaktním připojení kondenzátoru na síť. Velké proudové rázy mohou dosahovat až třicetinásobku hodnot jmenovitých proudů.

Další velkou nevýhodou kontaktních kompenzátorů způsobenou nesynchronním spínáním je vznik rušivých jevů při sepnutí jako zpětný vliv na napájecí síť. Často způsobují impulsní rušení citlivých elektronických zařízení, měřicí a regulační techniky, elektronických vah, výpočetní techniky atd. Tyto nevýhody jsou částečně eliminovány předřazením ochranných tlumivek a zejména použitím moderních spínacích kontaktních prvků.

1.2.Bezkontaktní

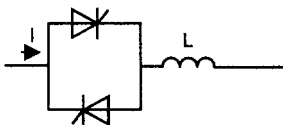
Tam, kde jsou kladeny vyšší nároky na rychlost změny jalového výkonu, je možno použít místo stykačů bezkontaktní spínače. Současně je nutno použít rychlejší regulátor jalového výkonu. Kondenzátorům se zde zpravidla předřazují ochranné tlumivky.

Rychlost regulace závisí na algoritmu, který používá regulátor jalového výkonu. V praxi je výhodné použít podobný regulační proces jako pro kompenzátory kontaktní. Připínání a odepírání jednotlivých stupňů kompenzátoru je pak podobné, pouze se děje podstatně rychleji.

2. Plynule řízené - pasivní

(S dekompenzačními členy)

Plynulé řízení jalového proudu je možné uskutečnit řízením proudu procházejícího tlumivkou. Použije-li se fázově řízený tyristorový spínač v antiparalelním zapojení, získáme základní zapojení výkonového obvodu dle obr. 8.

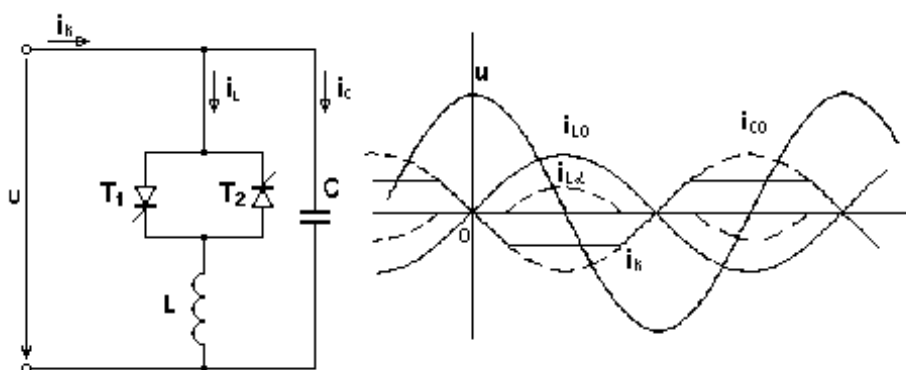


Fázové řízení proudu při induktní zátěži

Tento, pro jednoduchost jednofázový obvod umožňuje měnit čistě induktivní proud od nulové hodnoty až do plné hodnoty dané impedancí tlumivky L .

Chceme-li řídit kapacitní proud, nelze použít fázově řízený spínač a tlumivku pouze nahradit kondenzátorem. Problémem jsou přechodové jevy.

Řešení je však prosté, stačí když se paralelně k původnímu obvodu spínače a tlumivky připojí kondenzátor.

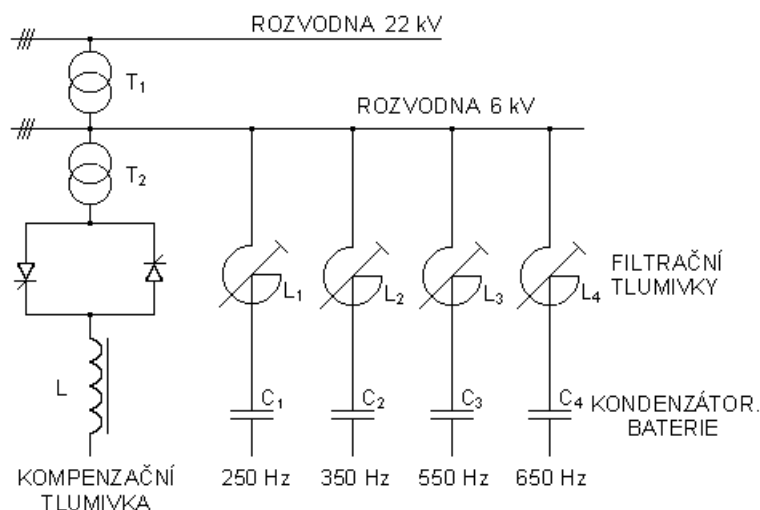


Základním problémem je fakt, že z hlediska přepětových jevů nelze bez potíží spínat kondenzátor pomocí antiparalelně zapojených tyristorů (nebo pomocí triaku). Proto je spínána indukčnost a kapacita (kondenzátor) je zapojen trvale. Velikost kompenzačního výkonu je závislá na úhlu zpoždění sepnutí tyristorů α .

Při maximálním otevření ($\alpha = 0$) je proud indukčností a kapacitou stejný, proudy jsou v protifázi, takže výsledný kompenzační výkon je nulový. Při „zavírání“ proudu i_L se projeví vliv kapacitního proudu i_C a kompenzátor začne dodávat kompenzační proud i_k . Princip je patrný z časových průběhů proudů a napětí na obr. 5.3.

V současné době se problém kompenzace účinníku spojuje s filtrací vyšších harmonických napětí a proudů. Kompenzační kondenzátor je nahrazen filtry příslušných vyšších harmonických (v podstatě jsou to sériové rezonanční obvody, které způsobují pro danou harmonickou v rezonanci zkrat). Pro základní harmonickou mají tyto filtry kapacitní charakter, jsou tedy také prostředkem pro kompenzaci účinníku.

Jedna z možností zapojení takové filtračně kompenzační baterie je na následujícím obrázku.



Filtry filtrují komponenty harmonických vlastního kompenzátoru a současně i soustavu, kterou kompenzují. Vhodné je použít v každé fázi kompenzační filtr na 5., 7. a dále na 11. a 13. harmonickou. Dimenzování filtrů a jejich poměrné rozdělení závisí zejména na charakteru kompenzované nelineární zátěže. Pro představu uvedme vhodné poměrné rozdělení kompenzačního výkonu pro řízený šestipulsní usměrňovač, které je pro filtry 5., 7., 11. a 13. harmonické v poměru 3 : 2 : 1 : 1.

Správné nadimenzování kompenzačního filtru u plynule řízeného kompenzátoru je velice důležité a má rozhodující vliv na funkčnost, spolehlivost a životnost celého kompenzátoru.

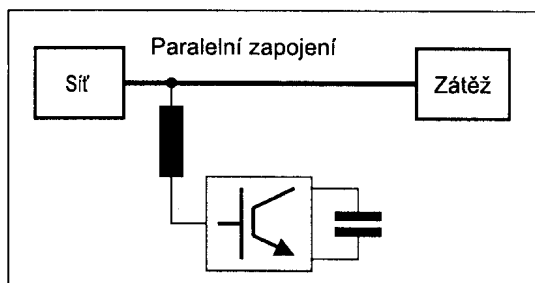
3. Plynule řízené – aktivní

Aktivní filtry lze chápat jako paralelně nebo sériově zapojené generátory řízené vhodným regulačním systémem tak, aby i v dynamických stavech byla zajištěna požadovaná kompenzace nevhodných harmonických složek. Způsobem zapojení aktivního filtru do sítě pak lze vylepšit proud, napětí nebo obojí. Podle těchto požadavků lze aktivní filtry dělit na paralelní (derivační), sériové a kombinované.

3.1.Paralelní aktivní filtr

Paralelní aktivní filtr tvoří řízený generátor proudu zapojený paralelně k zátěži. Je schopen odstranit nežádoucí harmonické proudy tím způsobem, že generuje shodné složky opačného směru a zavádí je do sítě. Výsledný proud je potom zbaven zvolených harmonických. Tímto způsobem se filtruje proud odebíraný ze sítě, a tím se také upravují deformace napětí způsobené zátěží. Takto je možné v každém okamžiku uskutečnit selektivní kompenzaci podle okamžitého výskytu harmonických složek bez nebezpečí, že dojde k nežádoucí rezonanci. Generováním jalové složky první harmonické proudu je paralelní aktivní filtr schopen provádět velmi rychlou kompenzaci jalového proudu, popřípadě pomocí sousledných a nesousledných složek upravovat nesymetrickou zátěž na symetrickou. Pomocí řídicích algoritmů lze tyto vlastnosti libovolně kombinovat.

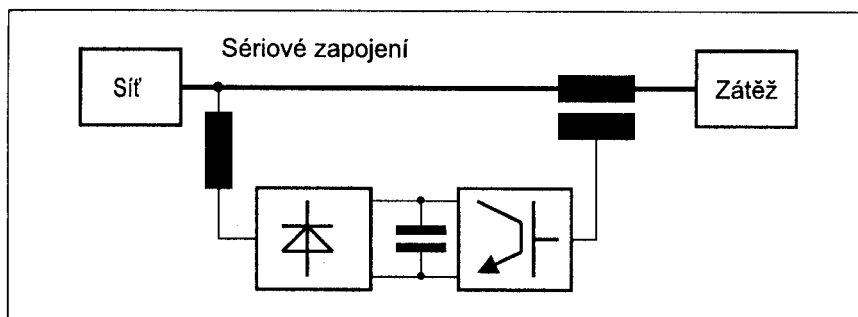
Generátor proudu či napětí může být tvořen můstkovým zapojením polovodičových spínačů (IGBT). Jedná se o shodné zapojení s můstkem střídače pro regulovaný pohon, tzn. že ve třífázovém provedení obsahuje šest spínačů a zdroj proudu či napětí. V praxi se však osvědčil typ s napěťovým zdrojem tvořený kondenzátory. Vhodným spínáním tranzistorů můstku lze dosáhnout požadovaného tvaru proudu tekoucího do filtru. Tento proud však obsahuje velké množství harmonických v oblasti spínací frekvence (jednotky až desítky kHz). Proto je nutné zařadit mezi vývody aktivního filtru a napájecí síť pasivní filtr pracující jako dolní propust.



Paralelní aktivní filtr a jeho připojení do sítě

3.2.Sériové aktivní filtry

Aktivní sériový filtr je zapojen mezi svorky sítě a svorky spotřebiče a je tvořen generátorem napětí. Tento filtr umožňuje upravit přiváděné napětí na požadovaný tvar.



Sériový aktivní filtr a jeho připojení do sítě

Podobně jako upravuje paralelně zapojený filtr proud, je zde upravováno napětí. To znamená, že filtr má schopnost udržovat amplitudu napětí, kompenzovat poklesy i špičky, odstraňovat harmonické, zajišťovat symetrické rozložení napětí, ale také dodávat energii při výpadku napájecího napětí (za podmínky, že je filtr napájen nezávislým zdrojem).

Z popsaných vlastností obou způsobů zapojení je zřejmé, že derivační filtry upravují vlastnosti sítě směrem od zátěže ke zdroji (vyrovnávají rušivé účinky zátěže). Sériové filtry upravují síť směrem od napájecí strany ke spotřebiči - dodávají zátěži kvalitnější napětí.

3.3.Kombinované aktivní filtry

Oba způsoby je možné zkombinovat v jeden celek, čímž vznikne systém zajišťující jak vhodné napětí v místě připojení filtru, tak i definovaný odebíraný průběh proudu.

4. Kombinované

Předchozí uvedené principy kompenzátorů jalového výkonu je samozřejmě možné vhodným zapojením vzájemně kombinovat. V praxi se používá kombinace plynule řízeného pasivního kompenzátoru a stupňového bezkontaktního kompenzátoru. Tato sestava byla dříve u nás vyráběna pod označením PLYCOS + SYNCOS.

V současné době se nabízí kombinace kompenzátoru stupňového a aktivního filtru. Díky vlastnostem aktivního filtru by bylo možné použít kompenzátor pomalejší kontaktní s chráněnými sekcemi a výkon aktivního filtru použít hlavně pro vykompenzování deformačního výkonu.

Způsoby kompenzace účinníku

Podle umístění kompenzačních prostředků se dělí kompenzace účinníku na kompenzaci :

- individuální,
- skupinovou,
- centrální.

Individuální kompenzace účinníku

Statické kondenzátory individuální kompenzace nízkého napětí se připojí buď na svorky motoru přímo nebo na výstupní doteky pojistek. U motorů vysokého napětí musí být kondenzátor opatřen pojistkami a vybíjecím zařízením. Kondenzátory se nevypínají, odpadá tedy údržba vypínacích zařízení, regulačních ústrojí atd.

Výhody tohoto způsobu kompenzace

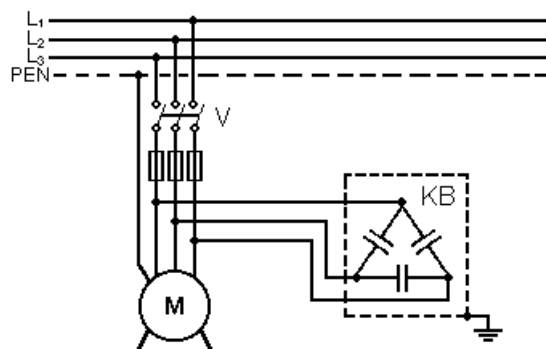
- induktivní výkon se kompenzuje přímo v místě vzniku,
- odlehčení přívodů a celé sítě, zmenšení ztrát ve vedení a úbytku napětí - největší ze všech způsobů kompenzace,
- při správně navržené kompenzaci nevznikne nebezpečí překompenzace,
- statický kondenzátor nepotřebuje zvláštní vypínač a u nízkého napětí ani pojistky a vybíjecí odpory,
- nevznikají spínací přepětí.

Naproti tomu existují i nevýhody :

- malé využití instalovaného výkonu kondenzátorů u strojů s malou dobou využití,
- obtížnější kontrola při rozptýleném umístění kompenzovaných zařízení.

Tento způsob kompenzace je vhodný hlavně pro málo zatížené a krátkodobě, ale často spouštěné asynchronní motory se špatným účinníkem.

Příklad takové kompenzace je uveden na obr.



Skupinová kompenzace účinníku

Statický kondenzátor nebo kondenzátorová baterie se u skupinové kompenzace připojuje na přípojnice skupinového rozváděče, který obvykle slouží pro spotřebiče jednotlivé dílny či objektu.

Výhody tohoto způsobu kompenzace :

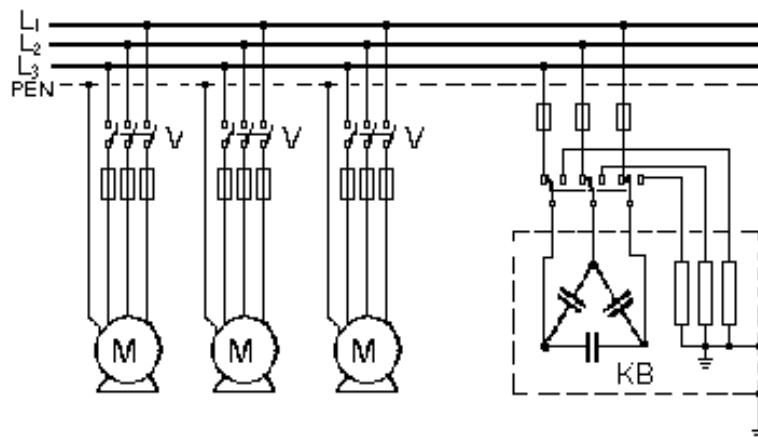
- velikost kapacitního výkonu je nižší než u individuální kompenzace vzhledem k soudobosti spotřebičů, tzn. lepší využití kondenzátorů,
- odlehčení napájecího vedení je až po skupinovou kompenzaci.

Nevýhody skupinové kompenzace účinníku :

- vedení od skupinového rozváděče ke spotřebičům nejsou proudově odlehčena a tedy v nich nevznikají úspory ztrát a nezíská se zlepšení úbytků napětí,
- kondenzátory musí mít vypínače, pojistky a vybíjecí zařízení,
- je nutná regulace kompenzačního zařízení.

Velice je tato kompenzace vhodná, pro různé výrobní linky s mnoha asynchronními motory.

Příklad skupinové kompenzace je na dalším obrázku.



Centrální kompenzace účinníku

Při centrální kompenzaci se kompenzuje induktivní výkon pro celý závod v jednom místě, obvykle v rozvodně.

Výhody centrální kompenzace účinníku :

- velikost kondenzátorové baterie je ve srovnání s předchozími způsoby vlivem nesusoučasnosti spotřebičů nejmenší a tedy využití je největší,
- kompenzační zařízení je přehledné - na jednom místě, tím je jeho kontrola snadnější.

Nevýhody centrální kompenzace účinníku :

- kondenzátorová baterie musí být opatřena složitou samočinnou regulací,
- rozvodná síť závodu není odlehčena od přenosu induktivního výkonu,
- obtížné zvětšování kompenzačního zařízení při rozšíření závodu.

V zájmu odlehčení části napájecího vedení se někdy připojuje kompenzační zařízení ne na hlavní, nýbrž na některý podružný rozváděč v místě největší spotřeby induktivního výkonu. Tento způsob kompenzace je zatím u nás nejrozšířenější.