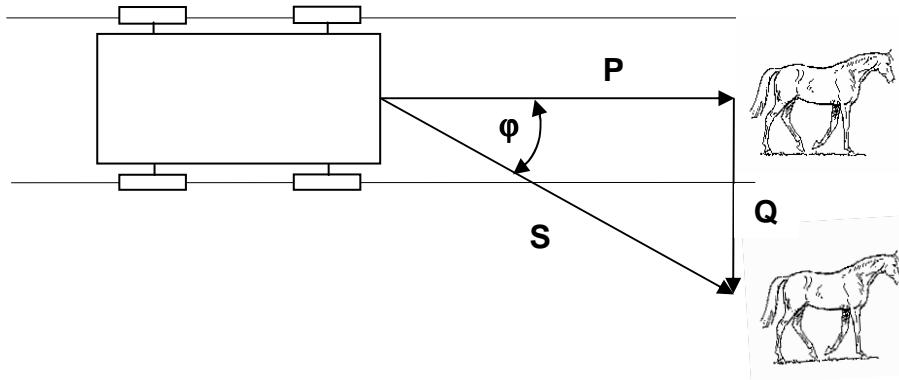


Kompenzácia jalového výkonu

I. Úvod

Prvky rozvodnej sústavy (zdroje, transformátory, vedenia, spínacie a istiace komponenty, spotrebiče) sú všeobecne impedancie a ich náhradnú schému môžeme zostaviť pomocou základných elementov - rezistor, indukčnosť, kapacita (R, L, C). Striedavá elektrická energia sa nedá akumulovať a tečie z miesta jej prebytku - zdroj do miesta jej nedostatku - spotrebič. Na elementoch spojovacej cesty (vedenia, poistky, spínače, ...) potom v dôsledku pretekajúceho prúdu vznikajú úbytky napätia a straty "Joulovým" teplom. Všetky komponenty tejto prenosovej cesty musia byť dimenzované na celkový prúd, ktorý sa skladá z činnnej a jalovej zložky. Činnná zložka sa v spotrebiči mení na prácu, jalová sa iba „prelieva“ z miesta prebytku do miesta nedostatku. (slúži predovšetkým k vytváraniu elektromagnetických polí). O podieli jalovej zložky na celkovom zdanlivom výkone vypovedá účinník - $\cos \varphi$. Pojmy – činný, jalový výkon a účinník možno približne vysvetliť na príklade podľa nasledujúceho obrázku:



Obrázok 1

Kôň ťahá voz v smere koľajníc a teda ťažná sila koňa pôsobí v smere pohybu voza. Keďže medzi koľajnicami a kolesami voza v tomto prípade existuje len pomerne malé trenie, pohybuje sa voz ľahko a tak prakticky celý výkon koňa sa potrebuje len na pohyb voza. Ak však kôň z nejakej príčiny nemôže ťahať voz v smere koľajníc, musí prekonávať aj zvýšené trenie medzi kolesami a koľajnicami, čo si vyžaduje väčšiu silu S koňa. Pritom ale veľkosť a náklad voza zostali rovnaké. Keďže sily S, P, a Q sú úmerné výkonom, možno namiesto sily brať do úvahy výkon resp. prácu. Väčší výkon S koňa sa skladá z pôvodného výkonu P, ku ktorému pribudol ďalší výkon Q – jalový – na prekonanie trenia kolies na koľajniciach. Takže celkový výkon S rozdelíme na činný P – výkon potrebný na priamy pohyb voza a jalový Q – výkon na pohyb voza nepotrebný. Kosínus uhla medzi P a S je účinník - $\cos \varphi$.

Ak je účinník rovný 1, prenáša sa iba činná zložka, zdanlivý výkon je rovný činnému a prevádzka zariadenia je najviac ekonomická (minimálne úbytky napätí, straty výkonu – najoptimálnejšie využitie prenosovej sústavy). Z tohto dôvodu sú v našom regióne stanovené záväzné hodnoty účinníka odoberaného výkonu v rozmedzí 0,95 induktívneho charakteru až 1,00, teda uhol φ musí byť v rozmedzí $0^\circ - 18^\circ$.

Najbežnejšie spotrebiče elektrickej energie v priemyselných sieťach majú induktívny charakter a to v prvom rade elektrické pohony. Plne zaťažný motor pracuje s účinníkom 0,7 až 0,9 (záleží na jeho

veľkosti, type a technologickej úrovne spracovania), ale pri behu naprázdno môže byť účinník rovný až 0,3.

Pre úplnosť si však zopakujeme základné pojmy používané v oblasti kompenzácie jalového výkonu:

Zdanlivý výkon:

$$S = U * I = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Účinník $\cos \varphi$ je kosínus uhla fázového posunu medzi 1. harmonickou napätia a prúdu (anglický výraz je displacement Power Factor, skratka dPF).

S rastúcimi požiadavkami na riadenie pohonov dochádza ku značnému nasadzovaniu regulovaných pohonov, napájaných z riadených polovodičových usmerňovačov a frekvenčných meničov. Tieto sú spolu s ďalšími nelineárnymi spotrebičmi (výbojkové a žiarivkové osvetlenie, elektronické predradníky, zväracie agregáty – hlavne bodové, záložné zdroje, počítače, rôzne elektronické zariadenia pracujúce na princípe prerušovania napäťovej krivky) zdrojom harmonických, ktoré svojim príspevkom zvyšujú zaťaženie prvkov rozvodnej sústavy. V sieťach s nelineárnymi spotrebičmi sa teda okrem prúdu základnej harmonickej I_1 (50 Hz) vyskytujú harmonické prúdy, ktorých frekvencia je násobkom základného kmitočtu a nazývame ich I_2, I_3, I_4, \dots atď. (druhá, tretia, štvrtá, ... harmonická). Prítomnosť týchto harmonických navyšuje zdanlivý výkon. Potom celkový zdanlivý výkon je:

$$S = U * I = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}$$

kde

D je tzv. deformačný výkon, ktorý reprezentuje vplyv harmonických.

Skutočný účinník

$$\lambda = \frac{P}{S}$$

je účinník, ktorý v sebe zahŕňa aj tzv. deformačný výkon, teda vplyv harmonických prúdov a napätí. (anglický výraz je Power Factor, skratka PF).

II. Súčasná legislatíva

Dodávateľ el. energie podľa typu sadzby a zmluvných podmienok účtuje príplatky za nevykompenzovaný jalový odber elektrických zariadení uskutočňovaný s účinníkom iným než $\cos \varphi = 0,95$, až $\cos \varphi = 1$ (indukčný). Problematika je obsiahnutá v nasledovných legislatívnych dokumentoch:

Energetický zákon – Zákon č. 656 z roku 2004

Rozhodnutie ÚRSO pre jednotlivé distribučné spoločnosti o cene za prístup do distribučnej sústavy a distribúciu elektriny pre regulovaný subjekt, (časť - tarify za transformačné straty , jalovú energiu a určené podmienky, tarify za nedodržanie zmluvných hodnôt.

Pri meraní v reálnom čase je penalizovaná i nevyžiadaná dodávka jalovej energie - tj. prekompenzovanie.

Ustanovenia týchto záväzných dokumentov teda preberajú do svojich podmienok o dodávke elektrickej energie všetky distribučné spoločnosti a prostredníctvom svojich prevádzkových správ ich uplatňujú voči všetkým odberateľom elektrickej energie. Vo výnimočných prípadoch (napr. Odber realizovaný v blízkosti energetickej rozvodnej stanice) je medzi dodávateľom a odberateľom dohodnuté pásmo tzv. neutrálneho účinníka. Všeobecne však každý odberateľ je povinný jalový odber kompenzovať.

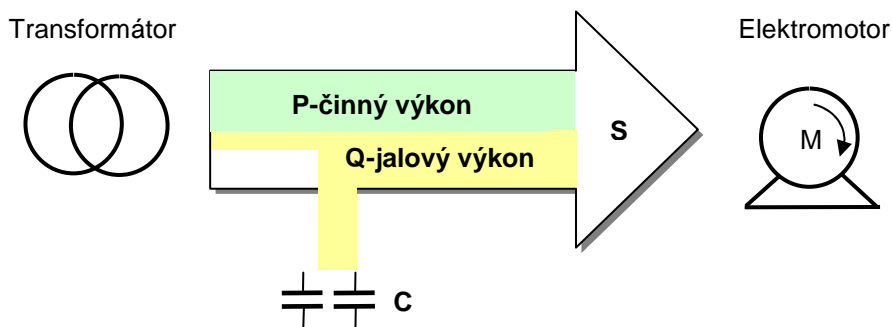
III. Kompenzácia jalovej energie, metódy kompenzácie

Aby sa eliminovali straty pri prenose elektrickej energie ako ukazuje obrázok č. 2 a aby odberateľ elektrickej energie bol tzv. "bezproblémový", mal by podľa vyššie citovanej legislatívy odoberať elektrickú energiu s účinníkom v medziach neutrálnej hodnoty 0,95 ind. až 1,00, to znamená, že mal by svoje zaradenie kompenzovať, ale na druhej strane nesmie prekompenzovávať.

Pred kompenzáciou:



Po kompenzácii:



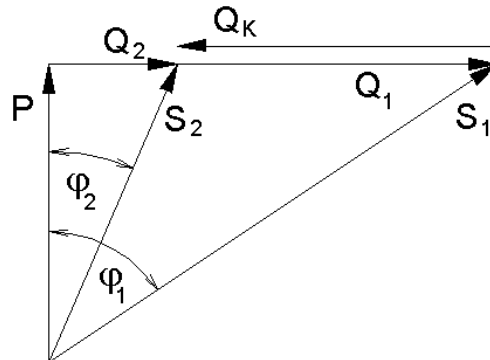
Obrázok 2

Z hľadiska pripojenia do siete rozlišujeme kompenzácie:

- individuálne (jednotlivé) – kompenzačné zariadenie je v tomto prípade pripojené priamo na svorky spotrebiča alebo v jeho tesnej blízkosti. Od jalového výkonu je odľahčená celá elektrizačná sústava od zdroja až po spotrebič. Úspory strát sú najvyššie, avšak využitie kompenzačného prostriedku je závislé od prevádzkovania kompenzovaného zariadenia. Používa sa hlavne na kompenzovanie magnetizačného prúdu transformátorov a asynchrónnych motorov, kompenzáciu žiarivkových a výbojkových svietidiel.
- skupinové – kompenzačné zariadenie je pripojené na prípojnicach rozvádzača pre skupinu spotrebičov. Napríklad je to kompenzácia na hlavných rozvádzačoch vn/nn v rozvodoch priemyselných podnikov. V tomto prípade je odľahčený úsek vedenia od tohoto rozvádzača ku zdroju. Vzhľadom na súdobý chod spotrebičov s indukčným aj kapacitným charakterom, vychádza kompenzačný výkon menší a je nutná jeho regulácia.
- centrálna – kompenzácia je pripojená na prípojnice vstupnej trafostanice podniku. Vzhľadom k súdobosti chodu spotrebičov opäť klesá potrebný kompenzačný výkon. Rovnako je nutná regulácia a v niektorých prípadoch je potrebné riešiť kompenzáciu na úrovni vysokého napätia, čo predstavuje vyššie náklady.
- kombinovaná – je kombináciou predchádzajúcich variánt

IV. Stanovenie výkonu kompenzačného zariadenia

Z nameraných hodnôt bez kompenzácie, resp. z hodnôt uvedených v projekte (veličiny označené indexom 1) a požadovaných hodnôt (index 2) vypočítame potrebný kompenzačný výkon zariadenia – kompenzačného rozvádzača. Na nasledujúcom obrázku je znázornený fázorový diagram pred a po inštalácii kompenzačného rozvádzača pri rovnakom činnom výkone.

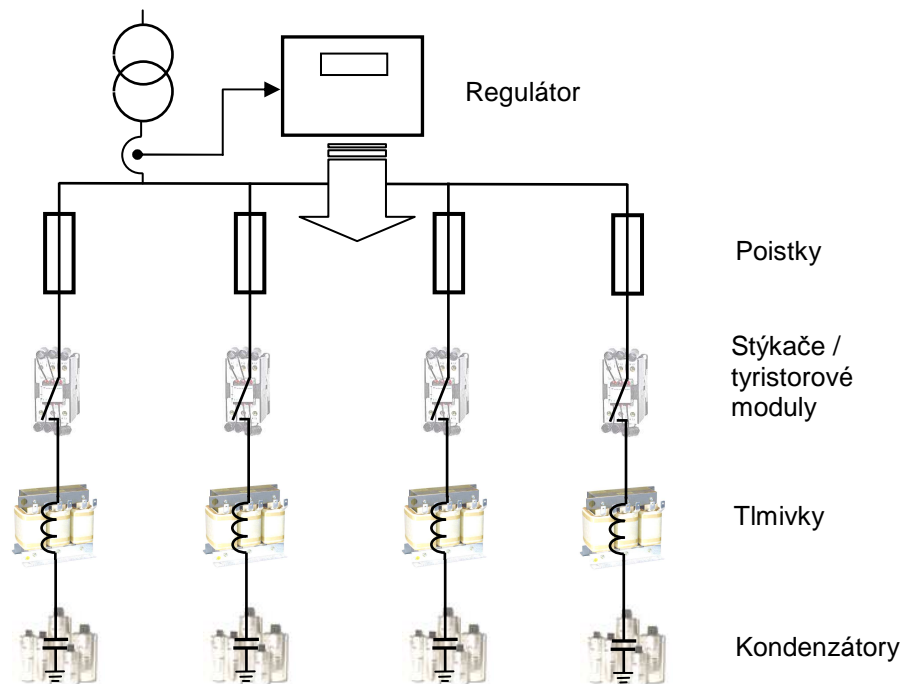


Obrázok 3

$$Q_K = Q_1 - Q_2 = P * (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2)$$

V. Zloženie kompenzačného rozvádzača

Zloženie – štruktúra kompenzačného rozvádzača je znázornená na obrázku 4:



Obrázok 4

VI. Zásady pre návrh kompenzačného rozvádzača

Kompenzačný rozvádzač musí byť navrhnutý vzhľadom k prostrediu, v ktorom bude pracovať, závisí hlavne od technologického vybavenia firmy. Preto je potrebné najprv získať čo najväčší prehľad a informácie o danom odbere. Niektoré charakteristické prvky odberov:

- pomalé zmeny odoberaného výkonu
- rýchle zmeny odoberaného výkonu (bodové zväračky, žeriavy, obrábacie stroje kovov ...) obvykle sprevádzané výskytom harmonických, pretože spínanie sa napríklad realizuje bezkontaktnými polovodičovými prvkami
- charakteristika odberu (induktívny – klasické výrobné podniky, kapacitný - administratívne budovy s počítačovými sieťami a záložnými zdrojmi)
- prostredie v rozvodni

VII. Kompenzácia jalovej energie a kvalita elektrickej energie

Ako bolo vyššie spomenuté, V sieťach s nelineárnymi spotrebičmi sa okrem prúdu základnej harmonickej I_1 (50 Hz) vyskytujú aj iné harmonické prúdy. Prítomnosť týchto harmonických navyšuje zdanlivý výkon. Najviac používaným parametrom určujúcim zastúpenie vyšších harmonických v sieťach je takzvaný koeficient *THD* – THD_U (skreslenie napätia) a THD_I (skreslenie prúdu). Tento koeficient určuje efektívnu hodnotu vyšších harmonických vo vzťahu k základnej harmonickej.

Pokiaľ je koeficient THD_U nameraný v mieste, kde sa má pripojiť kompenzačný rozvádzač väčší ako 3%, odporúča sa inštalovať tzv. chránenú kompenzáciu. Zvýšený obsah harmonických totiž spôsobuje zvýšenie prúdu prechádzajúceho kondenzátormi, lebo jeho impedancia klesá so zvyšovaním frekvencie. To môže zapríčiniť poškodenie kondenzátorov a vznik požiaru. Aby sme ich ochránili pred vplyvom vyšších harmonických, je potrebné do obvodu pridať tlmivku. Tlmivka spolu s kondenzátorom tvorí sériový rezonančný obvod, ktorý sa ladí tak, aby sériová rezonančná frekvencia bola pod najnižšími harmonickými objavujúcimi sa v zariadení.

V závislosti od množstva harmonických a od ich vzájomného pomeru sa navrhuje stupeň zatlmenia kompenzačných stupňov. V špeciálnych prípadoch to môžu byť ladené pasívne alebo aktívne filtre.

VIII. Záver

Použitie kompenzácie odôvodňuje nielen jej ekonomická výhodnosť (minimalizovanie poplatkov za nesprávnu kompenzáciu), ale čoraz častejšie aj eliminovanie negatívnych vplyvov na iné zariadenia v rámci energetického uzla (odstránenie rušenia, flikrov, poklesu napätia...)