

## Základy kompenzace

Prvky rozvodné soustavy (zdroje, vedení, transformátory, spotřebiče, spínací a jistící komponenty) jsou obecně vzato impedance a jejich náhradní schéma můžeme sestavit pomocí základních elementů - rezistor, indukčnost, kapacita (R, L, C, G). Jak je všeobecně známo, střídavá elektrická energie se nedá akumulovat a teče z místa jejího přebytku (zdroj) do místa jejího nedostatku (spotřebič). Na elementech spojovací cesty (vedení, pojistky, spínače, ...) potom v důsledku protékajícího proudu vznikají úbytky na napětí a ztráty "Jouleovým" teplem. Veškeré komponenty této přenosové cesty musí být dimenzovány na celkový proud (zdánlivý – v komplexním tvaru), který se skládá z činné a jalové složky.

Činná složka se ve spotřebičímění na práci, kdežto jalová se pouze přelévá z místa přebytku do místa nedostatku (slouží především k vytváření elektromagnetických polí) a proto je jalová energie nazývána "fluktuální". Pro její výrobu není nutná vyšší potřeba primárního zdroje energie (například vyšší spotřeba páry v turbíně).

Jalový výkon je takový výkon, který se za vektorem napětí buď předbíhá o 90°a nebo opoždjuje. Jalový výkon, který je 90°za vektorem napětí nazýváme **indukční jalový**, výkon 90°před vektorem napětí pak nazýváme **indukční kapacitní**.

## Úvod

Za normálních provozních podmínek některé elektrické zátěže (např. elektromotory, svářečky, zářivková svítidla či obloukové pece) nevyžadují od zdroje pouze dodávku činné, ale také jalové energie. Tato energie je sice nutná ke správnému provozování zátěže, není však přeměněna v užitečnou práci a proto je považována za nežádoucí zátěž, která se přenáší mezi zdrojem a spotřebičem. Výkon přeměněný na užitečnou práci nazýváme výkonem činným, celkovou zátěž se zahrnutím výkonu jalového (a výkonu deformačního, způsobeného existencí harmonických) nazýváme výkonem zdánlivým. Zdánlivý výkon se vypočte podle vztahu:

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad [\text{VA}] \quad (\text{rov. 1})$$

kde P je výkon činný [kW] a Q výkon jalový [kvar]

Účinník dPF (anglicky Displacement Power Factor) představuje  $\cos\phi$ , úhlu fázového posunu mezi 1. harmonickou napětí a proudem. Existence harmonických vyšších řádů zvyšuje zdánlivý výkon. Se zahrnutím tzv. deformačního (distorzního výkonu) D se výkon zdánlivý vypočte podle vztahu:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad [\text{VA}] \quad (\text{rov. 2})$$

Tzv. opravdový účinník PF (anglicky Power Factor), který v sobě zahrnuje i deformační výkon, se pak vypočte podle vztahu:

$$\lambda = \frac{P}{S} \quad [-] \quad (\text{rov. 3})$$

O podílu jalové složky na celkovém zdánlivém výkonu vypovídá účinník ( $\cos\phi$ ). V případě, že účinník je roven 1, přenáší se pouze činná složka, zdánlivý výkon je roven činnému a provoz energetického zařízení je nejvíce ekonomický (minimální úbytky napětí, ztráty výkonu – optimální využití přenosové soustavy). Z tohoto důvodu je stanovena v zákoněč. 458/2000 Sb. závazná hodnota účinníku odebíraného výkonu – tzv. neutrální hodnota v rozmezí 0,95 induktivního charakteru až 1,00.

Nejběžnější spotřebiče elektrické energie v průmyslových sítích mají induktivní charakter, v první řadě jsou to elektrické pohony. Plně zatížený motor pracuje s účinníkem 0,7 až 0,9 (záleží na jeho velikosti, typu a technologické úrovni zpracování), ale přiběhu naprázdno může mít účinník roven až 0,3.

## Harmonické frekvence

S rostoucími požadavky na řízení pohonů dochází ke značnému nasazování regulovaných pohonů napájenými z řízených polovodičových usměrňovačů a statických měničů kmitočtu. Tyto jsou spolu s dalšími nelineárními spotřebiči (výbojkové a zářivkové osvětlení, elektronické předřadníky, svařovací agregáty – zejména bodové, záložní zdroje, počítače, různá elektronická zařízení pracující na principu přerušování napěťové křivky a podobně) zdrojem harmonických, které svým příspěvkem zvyšují zatížení prvků rozvodné soustavy. Harmonické proudy mají frekvenci rovnou celistvým násobkem základní frekvence (50 Hz), například 3. harmonická má frekvenci 150 Hz, 5. harmonická má frekvenci 250 Hz, atd.

Aby odběratel elektrické energie byl tzv. "bezproblémový", musí podle výše citovaného zákona odebírat elektrickou energii s účinníkem v mezích neutrální hodnoty 0,95 ind. až 1,00, to znamená, že jednak musí své zařízení kompenzovat, ale na druhé straně nesmí překompenzovat. Dále nesmí provozem svého zařízení zpětně působit na kvalitu dodávané elektřiny – nesmí ovlivňovat funkci řídicí, měřicí a zabezpečovací techniky a činnost systému hromadného dálkového ovládání (HDO). "Kvalita" elektrické energie je definována

v podnikových normách energetiky řady PNE 33 34 30-..., respektive ve standardu ČSN EN 50 160, kde jsou uvedeny i kompatibilní úrovně jednotlivých harmonických napětí a celkové zkruslení sinusovky napětí na jednotlivých napěťových hladinách. To znamená, že musí eliminovat harmonické, které vznikají v jeho odběrném zařízení.

## Shrnutí

Výsledkem provedené kompenzace je finální snížení odebíraného zdánlivého výkonu a snížení proudu procházejícího napájecím vedením. Účinek kompenzace se projeví vždy jen v napájecí části elektrické sítě, za místem připojení směrem ke spotřebiči se na napájecích poměrech ale nic nemění.

**To je hlavní význam kompenzace.** Napájecí část směrem ke zdroji se proudově odlehčí a tím se získá možnost dalšího zatížení vedení, ale také se zlepšují napěťové poměry a hlavně se sníží ztráty ve vedení.

Ztráty výkonu pro třífázové vedení stanovíme vztahem:

$$\Delta P = 3 \cdot R \cdot I^2 \text{ [W]}$$

kde R je odpor vedení (stanovíme podle délky, průřezu amérného odporu) a I procházející proud. Snížení nákladů na elektrickou energii může být dosaženo zvýšením účinníku na ekonomičtější úroveň.

Snížením zdánlivého výkonu (zvýšením účinníku) se sníží přenášený zdánlivý výkon a odlehčí se elektrické vedení. Uvolněná kapacita může být využita pro připojení nové zátěže bez nutnosti instalace nového vedení.

Snížení zátěže součástí distribuční sítě pomocí kompenzace jalového výkonu vede k prodloužení jejich životnosti.

## Metody kompenzace

Jedním z nevyhodnějších opatření pro snižování ztrát přepřenosu elektrické energie je paralelní kompenzace. Kapacitní jalový výkon připojených správně dimenzovaných kondenzátorů kompenzuje induktivní jalový výkon vyžadovaný elektrickou zátěží. Tím dochází k redukci jalového výkonu odbíraného ze zdroje. Tento princip se nazývá kompenzace jalového výkonu (anglicky Power Factor Correction)

Nejčvyklejší metody kompenzace jalového výkonu jsou:

**Individuální kompenzace (Single or Fixed PFC)** – kompenzační zařízení je v tomto případě připojeno na přímo na svorky spotřebičea nebo v jeho blízkosti. Tím je odlehčeno celé vedení od zdroje po spotřebič. Dosažené úspory jsou nejvyšší, hospodárnost kompenzace však závisí na využití spotřebiče. Individuální kompenzace je typická pro stále provozovanou zátěž s konstantním příkonem např. kompenzace asynchronních motorů, transformátorů, zářivek a výbojek atd.

**Skupinová kompenzace (Group PFC)** – kompenzační zařízení je připojeno na přípojnicích rozvaděče pro skupinu spotřebičů, například kompenzace na hlavních rozvaděčích v průmyslových závodech. V tomto případě je odlehčen úsek vedení od tohoto rozvaděče ke zdroji. Vlivem nesoudobosti provozu spotřebičů vychází kompenzační výkon menší než při individuální kompenzaci každého spotřebiče a je již nutná jeho regulace.

**Centrální kompenzace (Bulk PFC)** – je typická pro rozsáhlé elektrické systémy s volatelní zátěží, obvykle je připojena v hlavní rozvodně závodu na přípojnicích vstupní trafostanice. Vlivem nesoudobosti spotřebičů opět klesá potřebný kompenzační výkon, rovněž je nutná regulace. Kondenzátorové baterie jsou spínány regulátorem podle aktuálního požadavku kompenzačního výkonu.

**Kombinovaná kompenzace (Combined PFC)** –představuje kombinaci předchozích variant.

## Výpočet kompenzačního výkonu

Kompenzační výkon potřebný k dosažení požadovaného účinníku se vypočte podle vztahu:

$$Q_c = P \cdot (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \quad \text{[kvar]} \quad (\text{rov. 4})$$

Kde Q<sub>c</sub> je požadovaný kompenzační výkon kondenzátoru, P činný výkon zátěže kW, cosφ<sub>1</sub> původní účinník před korekcí a cosφ<sub>2</sub> cílový účinník.

Pokud známe spotřebu činné energie A [kWh], jalové energie B [kvarh] a počet provozních hodin zátěže[h], můžeme původní účinník cosφ<sub>1</sub> vypočítat podle vztahu:

$$\cos \varphi_1 = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{B}{A}\right)^2 + 1}} \quad [-] \quad (\text{rov. 5})$$

a nebo pro  $\text{tg} \varphi$  platí:

$$\text{tg} \varphi = \frac{B}{A} \quad [-] \quad (\text{rov. 5a})$$

Průměrný činný výkon zátěže pak vypočteme:

$$P = \frac{A}{t} \quad [\text{kW}] \quad (\text{rov. 6})$$

Stanovíme cílový účinník  $\cos \varphi_2$ , (např. podle požadavku rozvodných závodů 0,95-0,98, v případě kombinované kompenzace podle umístění kompenzačního prvku). Výkon kondenzátorové baterie potřebný ke změně fázového posuvu pak zjistíme dosazením do rovnice 4.