

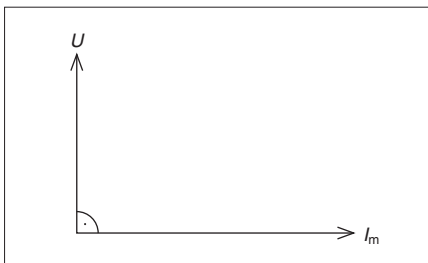
# Individuální kompenzace jalového výkonu

František Majda, elektrotechnik,  
Popovice u Kroměříže

Hovoříme-li o kompenzaci jalového výkonu, máme na mysli snižování zdánlivého výkonu na takovou hodnotu, aby přenos činného výkonu byl uskutečňován za co nejpriznivějších podmínek. Samotné slovo kompenzace je latinského původu a znamená vyrovnání, srovnání, odškodnění.

## Spotřebiče vyvolávající indukční zatížení sítě

Indukční zatížení sítě působí spotřebiče na střídavý proud, které pracují na základě magnetických účinků střídavého proudu. K vytvoření potřebného magnetizačního pole odebírají ze sítě magnetizační proud ( $I_m$ ), který je zpožděn o 1/4 kmitu ( $90^\circ$ ) za napětím (obr. 1). Spotřebič jdoucí naprázdno nekoná žádnou práci a odebírá jen magnetizační proud (jalový), zatěžuje síť indukčně (pomineme-li ztráty spotřebiče). Při přenosu jalového magnetizačního proudu vzniká na přenosovém vedení ztráta napětí a činného výkonu, aniž by spotřebič konal činnou práci. Zatížíme-li indukční spotřebič, například motor na hřídeli, koná činnou práci a odebírá činný proud ( $I_\xi$ ), který je ve fázi s napětím (obr. 2),



Obr. 1. Proud při zatížení naprázdno

a odebírá energii ze zdroje. Současně odebírá magnetizační proud, který potřebuje k buzení magnetizačního pole. Výsledný proud spotřebiče (motoru) je dán vektorovým součtem činného a jalového proudu:

$$I = \sqrt{I_\xi^2 + I_m^2}$$

Fázový posuv zdánlivého proudu za napětím je menší než 1/4 kmitu ( $\varphi$  je menší než  $90^\circ$ ).

## Trojúhelník výkonů

V trojúhelníku výkonů (obr. 3) můžeme znázornit průběh výkonů, o nichž hovoříme při kompenzaci jalového výkonu. Důležité pojmy pro výpočet jsou:

$\cos \varphi = P/S$  udává poměr mezi výko-

nem činným a zdánlivým a vyjadřuje se prostým číslem v rozmezí mezi 0 a 1. Čím je číslo bližší 1, tím lepší je poměr využitěho výkonu.



nos  $\varphi = 1$  znamená čistě činný výkon.

$\sin \varphi = Q/S$  je poměr mezi jalovým a zdánlivým výkonem, je to rovněž bezrozměrné číslo.

Mezi funkcemi sinus a cosinus platí následující vztah:

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$$

$$\cos \varphi = \sqrt{1 - \sin^2 \varphi}$$

$\operatorname{tg} \varphi = Q/P$  je poměr mezi jalovým a činným výkonem, je to rovněž bezrozměrné číslo. Tento poměr se používá pro výpočet velikosti kompenzačního výkonu.

$\operatorname{tg} \varphi$  se rovněž uvádí na fakturě dodavatele za dodanou elektrickou práci. Je rozhodující pro výpočet přírážky za řádně nevykompenzovaný výkon.

## Druhy kompenzace

### Centrální kompenzace

Nejčastějším způsobem kompenzace je způsob centrální (ústřední). Kompenzační zařízení je umístěno na vhodném místě obvykle v blízkosti hlavní rozvodny nebo blízko transformátoru. Kompenzační ústřednou protéká proud celého kompenzovaného výkonu. Tento způsob kompenzace má největší využití kompenzační baterie. Nevýhodou centrální kompenzace je to, že neodlehčuje od jalového proudu přívodní vedení od spotřebičů. Přívody musí být provedeny větším průřezem.

### Individuální a skupinová kompenzace

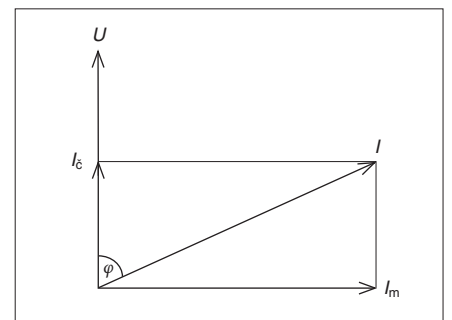
Při této kompenzaci je kompenzační kondenzátor umístěn přímo u spotřebiče (individuální kompenzace) nebo u skupiny spo-

třebičů (skupinová kompenzace). Potřebný kompenzační výkon je větší, protože využití kompenzačních kondenzátorů je menší. Většina spotřebičů je obvykle v provozu jen po část pracovní směny nebo jen několik dnů v měsíci.

### Výhody individuální (jednotlivé) a skupinové kompenzace

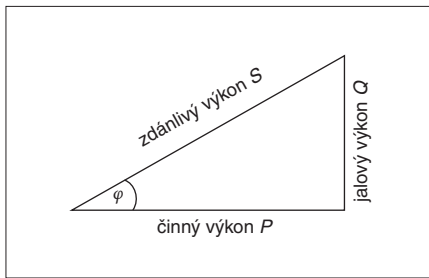
V provozu lze vytipovat počet spotřebičů většího výkonu (nebo skupinu spotřebičů), které jsou v provozu po celou směnu nebo po její větší část a jejich soudobý výkon dosahuje poloviny i více celkového odebíraného výkonu. Takovoto spotřebiče jsou obvykle sušárny, kompresory,

kotelny, odsávání, komínový ventilátor a jiné. Připojením kompenzačního kondenzátoru ke spotřebiči nebo skupině spotřebičů odlehčíme přívodní vedení do centrální rozvodny od jalové složky (viz obr. 4). Kondenzátor je vhodné připojit k motoru po jeho rozběhu nebo po zapnutí posledního motoru ze skupiny motorů. Na odlehčeném vedení od jalové složky stoupne napětí a zmenší se ztráty na přívodním vedení.

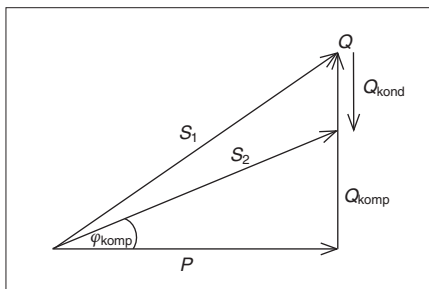


Obr. 2. Proud při zatížení

Příklad z praxe: Nábytkářská výrobní firma měla hlídanou hodnotu čtvrthodinového maxima 250 kW a největší obráběcí dílna měla příkon 90 kW. Tato byla do centrální rozvodny napojena kabelem AYKY 240 mm<sup>2</sup> o délce 80 m. Na tento kabel byly připojeny kromě obráběcích strojů i dva kompresory a dva ventilátory odsávání, všechny shodně o výkonu 22 kW, dále skupina ventilátorů sušárny dřeva. Proud v přívodním kabelu dosahoval hodnoty 200 až 220 A. Naměřený (vypočtený) účinník  $\cos \varphi$  byl 0,6. V závodě bylo k dispozici větší množství krabicových kon-



Obr. 3. Trojúhelník výkonů



Obr. 4. Princip kompenzace jalového výkonu kondenzátorem

denzátorů o velikosti 8 kvar. Tyto jsem připojil přímo k ventilátorům, dále ke skupině motorů sušárny a kompresorům a jeden k rozmitací pile. Kompresory běžely stále vždy 40 s odlehčeným výkonem (s odklopenou hlavou) naprázdno a 40 s v záběru. Příkon motoru při volnoběhu byl 4 kW a příkon při zatížení 20 kW. Při chodu kompresoru v záběru stoupl proud přívodního vedení z 200 na 220 A. Po připojení kondenzátorů poklesl proud v přívodním vedení na 150 A.

*Jaká úspora nastala v přívodním vedení?*

Hodnoty vedení: kabel AYKY 240 mm<sup>2</sup>, délka 80 m, konduktivita hliníku  $\gamma = 35 \text{ s}\cdot\text{m}^{-1}$ , porovnávané proudy 200 a 150 A.

$$\Delta P = (200^2 - 150^2) \times 3 \times 80 / (240 \times 35) = 500 \text{ W}$$

Další ztráty, které bylo k tomu možno přičíst, byl pokles ztrát na vedení k sušárně, kabelem AYKY 4 × 10 mm<sup>2</sup>. Kabel byl při doteku rukou znatelně teplý. Po kompenzaci ochladl.

Dále poklesem proudu od kompresoru a ventilátoru lze odhadnout uspořené ztráty na vedení 1 kW.

*Co přinese úspora 1 kW*

Uspoříme-li 1 kW, můžeme vyčíslit následné roční úspory:

- snížení čtvrt hodinového maxima: 150 Kč za měsíc × 12 měsíců = 1 800 Kč

- cena 2,50 Kč za 1 kW·h × 160 hodin měsičně × 12 měsíců = 4 800 Kč
- Celkem: 6 600 Kč.

### Příčina nízkého účinníku v dané provozovně $\cos \varphi = 0,6$

Obvyklý účinník v nábytkářském průmyslu bývá mezi 0,7 až 0,75. Samotná sušárna měla účinník 0,66. To je způsobeno předimenzováním motorů z důvodu vyšší teploty prostředí, jinak by motor po krátké době shořel. Proud skupiny motorů poklesl z 57 A na 42 A.  $\cos \varphi$  stoupl z hodnoty 0,66 na 0,88. Motory ventilátorů 22 kW měly příkon 13 kW. Největší spotřebič byla rozmitací pila italské výroby s motorem 45 kW a jmenovitým proudem 90 A. Tato pila měla dlouhou hřídel, na níž mohlo být současně až 8 listů pro rozřezávání (rozmitání) trámku na úzké lamely. Avšak na této pile byl využíván pouze jeden kotouč, který po celý den, měsíc a roky řezal stále jeden hranolek o síle 10 cm. Již od pohledu bylo zřejmé, že pila není řádně využívána, a že tedy motor je pro tento účel značně předimenzovaný. Proud pily vlivem nevytížení dosahoval 1/2 jmenovité hodnoty, to je asi 45 A.

### Provedené opatření

Motor měl rozběh hvězda-trojúhelník. Bylo provedeno zablokování tak, aby po rozběhu nedošlo k přepnutí do trojúhelníku. Tím došlo k poklesu příkonu jalového proudu na 1/3, tj. na 15 A. Motor měl jmenovitý účinník  $\cos \varphi = 0,86$ , z toho plyne  $\sin \varphi = 0,5$ , tzn. jalový proud tohoto motoru je  $0,5 \times 90 = 45 \text{ A}$ . Protože pila měla mechanický příkon menší než 1/3 jmenovitého výkonu, bylo možno pilu nechat trvale běžet v chodu zapnutém do hvězdy. Připojený kondenzátor 8 kvar snížil hodnotu jalového proudu na  $15 - 12 = 3 \text{ A}$ . Výsledný proud motoru dosahoval hodnoty přibližně 10 A.

Tímto opatřením lze odhadnout, že ztráty v motoru klesly o více než 1 kW. Pro tuto pilu jsem navrhoval zaměnit motor 45 kW za motor 6 – 7,5 kW, kterých bylo několik ve skladu. Navrhovaný záměr nebyl realizován. Firma později zkrachovala.

### Individuální kompenzace – obvykle používaná

Běžně se kompenzují zářivková svítidla, jejichž účinník bývá 0,52, na hodnotu 0,95.

Příklad: *Jak velký kompenzační kondenzátor musí být připojen k zářivkovému svítidlu 36 W + 7 W tlumivka?*

$$Q_c = P(\text{tg } \varphi - \text{tg } \varphi_{\text{comp}}) = 43 \times (1,64 - -0,32) = 43 \times 1,32 = 56 \text{ V}\cdot\text{A}_r$$

Připojený kondenzátor pak má hodnotu kapacity:

$$C = \frac{Q}{2\pi f U^2 10^{-6}} = \frac{56}{2\pi \times 50 \times 230^2 \times 10^{-6}} = 3,37 \mu\text{F} = \text{po zaokrouhlení } 3,5 \mu\text{F}$$

Rozšířil se nešvar, kdy zhotovitel instalace objednává nekompensovaná svítidla, protože tím ušetří. Někdy se to zdůvodňuje tak, že svítidla budou kompenzována centrálně. U sazeb, kde se nepožaduje kompenzace jalového výkonu, zaplatí spotřebitel za zvýšený jalový výkon a ztráty vyšší platbou za zvýšenou proudovou hodnotu hlavního jističe.

*Jak velké jsou ztráty na vedení nekompensovaném proti vedení kompenzovanému?*

$$x = (0,95/0,52)^2 = 3,3$$

Pokud bychom chtěli snížit ztráty nekompensovaného vedení na stejnou hodnotu jako u kompenzovaného, museli bychom zvýšit průřez vedení 3,3krát.

Provozovatel distribučního transformátoru je povinen provádět kompenzaci jalového výkonu tohoto transformátoru obvykle velikostí 5 % ze zdánlivého výkonu. Tzn. že transformátor zdánlivého výkonu 100 kV·A musí mít připojen kompenzační kondenzátor 5 kvar.

V minulosti, do konce 60. let, kdy se žňový výmlat neprováděl jako dnes na poli, ale ve stacionárních mlátičkách umístěných uprostřed nebo na konci obce, byl motor mlátičky opatřen kompenzačním kondenzátorem. Venkovní vedení bylo měděné, ale slabého průřezu. Kompenzační kondenzátor tak účinně prováděl snížení ztrát (napětové úbytky). K motoru byl připojen kondenzátor, na němž bylo napsáno  $3 \times 110 \mu\text{F}$ , což odpovídá velikosti 5 kvar v zapojení do y.

### Závěr

Investice do individuální kompenzace má návratnost v řádu několika let, často i do jednoho roku. Se stoupající cenou elektrické energie se návratnost zrychluje. Uváženě provedená kompenzace má své opodstatnění. ☒

**AUTOMA** články aktuálních i minulých čísel časopisu AUTOMA najdete na [www.odbornecasopisy.cz](http://www.odbornecasopisy.cz)