

Řešení nestandardních potíží v elektrických průmyslových rozvodech

Ing. Miloš Molnár, EMCOS s. r. o.

1. Problematika rezonančních jevů

Vlivem kapacitního charakteru především venkovních sítí vvn a kabelových sítí vn dochází na některé rezonanční frekvenci ke změně původně indukčního charakteru impedance elektrické sítě základní harmonické na kapacitní. Protože se v síti vyskytují soustředěné kapacity v podobě nehrázených kondenzátorových baterií, vznikají rezonance i v sítích nn. Harmonické proudy zatěžují transformátor, nadřazenou síť a vlastní nehrázené kompenzační zařízení, které bývá dimenzováno pouze na zatížení základní harmonické, a hrozí tak jeho zničení. Navíc se v uzlu harmonické v okolí rezonanční frekvence zvyšuje harmonických napětí a následně dochází k rušení připojených spotřebičů.

Význam důsledné analýzy rozvodné soustavy při návrhu kompenzačních prostředků v prostředí s vysokým obsahem nelineárních spotřebičů a při nebezpečí výskytu rezonančních jevů je dokumentován na příkladu provozu, kde byl sledován vliv přívodního vedení vn a dále působení kompenzace vn na kvalitu napětí na straně nn.

Tato poměrně rozsáhlá rozvodná soustava (sít) s hlavním napájecím transformátorem 6,3 MV·A 22/6 kV byla napájena ze dvou přenosových vedení 22 kV s rozdílnými parametry. Součástí sledované sítě je dosti rozsáhlý rozvod 6 kV, spotřebiče 6 kV a více než dvacet transformátorů 22/0,4 kV. Největší potíže způsobovaly technologické linky osazené stejnosměrnými pohony, které tvořily převážnou část spotřeby elektrické energie. Centrální kompenzace byla původně řešena manuálně spínanými kondenzátorovými bateriemi 2 × 1 Mvar/6 kV v nechráněném provedení. Většina starých kompenzačních zařízení na straně nn byla vyměněna za chráněné kompenzační rozváděče s obvyklou rezonanční frekvencí $f_0 = 189$ Hz ($p = 7\%$). Postupem času se začaly objevovat náhodné poruchy na kompenzačních rozváděcích nn, osvětlovacích tělesech i na provozované technologii. Měření na sledované napěťové hladině 400 V byly prokázány zvýšené hodnoty harmonických složek napětí: THD_u (Total Harmonic Distortion, celkové harmonické zkreslení) vrcholově až 10 %, 5. harmonická až 14 %. Zároveň byla potvrzena sací schopnost instalované chráněné kompenzace – při vypnutí kompenzace vzrostlo harmonického zkreslení a THD_u dosahovalo až 15 %.

Z výsledků skutečného komplexního měření na straně nn a vn byla ve spolupráci

s ZČU Plzeň zpracována studie, ze které vyplynulo několik základních poznatků:

- zdroj harmonického rušení je uvnitř sledované rozvodné soustavy, charakter kompenzačních zařízení nn laděných na 189 Hz ovlivňuje frekvenci rezonance sítě (z frekvenční charakteristiky impedance jsou patrné sériové rezonance),
- na úroveň harmonických složek napětí má vliv také směr napájení z linek 22 kV (při ustáleném odběru se změnil obsah harmonických při přepínání přívodního vedení z jednoho směru na druhý),

5. harmonické interakce nechráněné kondenzátorové baterie 6 kV se vstupním transformátorem 22/6 kV. Dříve zaznamenané hodnoty THD_u až 3,5 % na hladině 22 kV již nebyly naměřeny a při provozu chráněné kompenzace se pohybovaly okolo THD_u = 1,6 %.

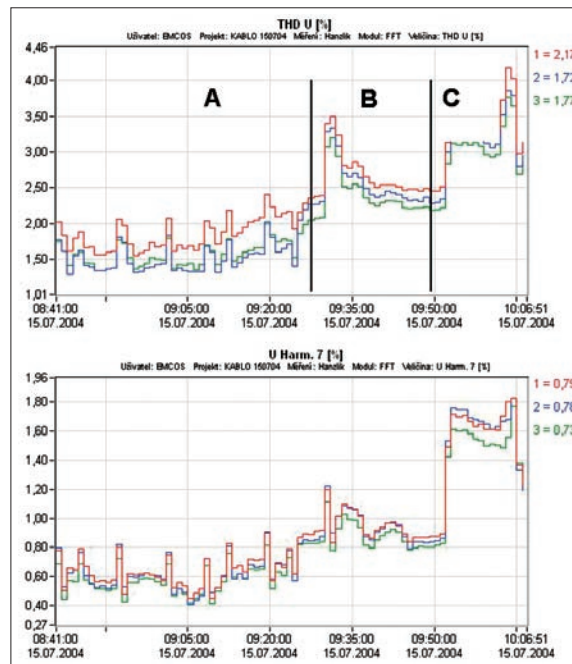
Předchozí náhodně se vyskytující poruchy na kompenzačních rozváděcích nn a v síti nn se po instalaci této chráněné kompenzační jednotky EF6 podařilo potlačit.

Na obr. 1 je dokumentován vliv kompenzačního zařízení na obsah harmonických složek napětí na hladině 6 kV; při funkci nové kompenzační jednotky se celkové zkreslení napětí pohybovalo okolo 1,5 %, bez kompenzace je zkreslení 2,5 až 3,5 % a při zapnutí původní nehrázené kondenzátorové baterie 1 Mvar přesáhlo zkreslení napětí THD_u 4 %, obdobně se chovala i křivka průběhu 7. harmonické napětí.

2. Snížení kapacitního výkonu kabelových rozvodů

K eliminaci kapacitního výkonu, který se ve zvýšené míře vyskytuje např. u rozsáhlých vysokonapěťových kabelových rozvodů, je vhodné použít dekompenzační zařízení připojené na straně nn. Potřebný dekompenzační výkon, způsob regulace a řazení regulačních stupňů se vždy navrhnou individuálně podle výsledků měření rozvodné soustavy. Dekompenzace probíhá řízeným spínáním indukčních stupňů. Pro zajištění jemnější regulace je někdy vhodné kombinovat dekompenzační (indukční) a kompenzační (kapacitní) stupně do jednoho funkčního celku.

Řešena byla např. dekompenzace rozsáhlých kabelových rozvodů, včetně atypického způsobu regulace v režimu dekompenzace a kompenzace. V dekompenzačních zařízeních typu ED (EVD) skříňové konstrukce byl použit regulátor QERP16. Pro jeho řízení byly využity výstupní impulsy z vysílacího elektroměru na straně vn – měření na předávacím bodě rozvodných závodů. Zvýšený ztrátový výkon zařízení byl v jednom případě částečně využit k temperování sousední rozvodny vn, nicméně v obecném případě je nut-



Obr. 1. Vliv kompenzačního zařízení na obsah harmonických složek napětí (A – chráněná kompenzace, B – bez kompenzace, C – původní nechráněná kompenzace)

- potvrzen byl negativní vliv nechráněné kompenzační baterie 6 kV na obsah harmonických složek na straně nn,
- nebezpečně velký obsah harmonických byl naměřen na 6 kV a částečně také na napěťové hladině 22 kV.

Proto byla navržena a realizována chráněná řízená kompenzační jednotka 6 kV řady EF6 o výkonu 2 300 kvar s vhodně laděnou rezonanční frekvencí 189 až 193 Hz. Následně byla mnoha kontrolními měřeními vyhodnocena funkce kompenzační jednotky a její vliv na rozvodnou soustavu. Potvrzeny byly očekávané technické parametry a výsledky matematického modelu, podle kterých měla dominantní vliv na vznik rezonancí v oblasti

né při projektování uvažovat s řádnou ventilační rozvodny.

3. Impulsní odběry – aplikace bezkontaktní kompenzace

V průmyslových provozech neustále roste počet rychle řízených indukčních spotřebičů, které jsou spínány na velmi krátkou dobu nebo v rychle se opakujících intervalech. Jde o zařízení pro bodové svařování, lisování, odstředování, stříhání, jeřáby nebo o zátěž způsobenou spouštěním a brzděním velkých pohonů. Časové intervaly se pohybují řádově od jednotek a desítek sekund až po několik period síťové frekvence. Průvodním jevem jsou kolísání napětí (flickr) a zvýšená hladina harmonických frekvencí. Klasická stykačová kompenzace nemůže (a vlastně ani nesmí) v těchto případech reagovat na tak krátké změny jalového výkonu. Moderní elektroměry však i takovéto odběry jalové energie registrují správně. Tvoří-li většinu spotřebičů měřeného odběru tyto rychle řízené technologie, není možné běžnou stykačovou kompenzací zajistit předepsané hodnoty účinnosti $\cos \varphi$. V takovémto případě je nezbytné použít zařízení se speciálním regulátorem s rychlým vyhodnocením účinnosti a tyristorovým spínáním kondenzátorových baterií – bezkontaktní kompenzátor STYKOS. Toto zařízení se vyznačuje vysokou rychlostí regulace, při spínání a odepínání nenastávají rušivé přechodné jevy a je vyloučeno překompenzování. Kondenzátorové baterie se používají v chráněném provedení, neboť indukční spotřebiče s rychlými změnami zátěže jsou vždy zdrojem harmonického rušení. Tímto způsobem je dosaženo vysoké spolehlivosti celého zařízení.

V praxi jsou takto řešeny případy koncepčně jednodušší (např. rozsáhlé jeřábové

dráhy nebo skupina výkonných lisů s relativně dlouhými pracovními cykly), ale i extrémní požadavky na kompenzaci svařovacího automatu s dobou trvání svaru čtyři periody (80 ms). Systém bezkontaktní kompenzace se dále s úspěchem používá v případě, kdy je vhodné spínací přechodné jevy zcela vyloučit. Takové požadavky mají např. nemocnice, velké banky, administrativní centra nebo letiště. Význam dostatečné rychlosti systému byl ověřen při kompenzaci provozu svařovacího stroje na výrobu armatur (drátěných sítí) do betonu. Svařovací automat s časovým intervalem svaru okolo 300 ms při opakování kratším než 1 s byl kompenzován bezkontaktním rozváděčem s regulátorem zahraniční výroby. Kompenzační rozváděč na první pohled pracoval správně, tj. při funkci svařování připínal i odpínal kompenzační stupně, přesto však průměrné hodnoty účinnosti $\cos \varphi$ naznačovaly chybnou funkci. Z průběhu svařovacího proudu a napětí na kondenzátorech během připnutí a odepnutí kompenzační baterie bylo patrné, že doba vyhodnocení a reakce je poměrně dlouhá (asi 11 period) a dochází ke zpoždění při spínání (nedokompenzování) i vypínání (překompenzování). Také opakovací frekvence 1 s regulátoru činila potíže, takže některý svar ani nezachytil. Proto byl také zaznamenán odběr jalové energie a výsledný účinník $\cos \varphi$ nebyl vyhovující. Odběr kapacitní jalové energie v tomto případě nebyl vyhodnocován.

Po instalaci regulátoru EFR7 se situace výrazně zlepšila. Bylo ověřeno, že během tří až čtyř period dochází k připnutí kondenzátorů. V průběhu této doby jsou vykonávány regulační fáze a po přivedení povelu k sepnutí čeká tyristorový spínač na první průchod napětí nulou. Obdobně po dokončení svaru jsou maximálně do tří period odpojeny kapacity.

Tímto bylo ověřeno, že tento systém zpětnovazební rychlé regulace regulátoru EFR7

je vhodný pro činnosti s dobou trvání alespoň deset period (200 ms). Čím je blíže k limitu tří až čtyř period, tím horší je poměr doby účinné kompenzace k době, kdy je překompenzováno, resp. nedokompenzováno. Pro intervaly kratší než 200 ms se doporučuje jinak řídit spínání kapacit, např. přímo ovládacími impulsy od indukčního spotřebiče, popř. pomocí proudového relé (čidla), které vyhodnocuje nárůst indukčního proudu apod.

Závěr

Zde popsané a podobné situace je vhodné řešit za spolupráce se specializovanou firmou, která poskytuje optimální řešení odpovídající velikosti a významu problému. Vždy jsou uskutečněna speciální měření pro získání potřebných údajů k teoretickému rozboru dané situace. Vlastní měření se vykonává podle potřeby u zdrojů a přijímačů rušení a na přenosové cestě. Nelze-li měřit v počáteční fázi projektu, je nutné provést kontrolní měření dodatečně a poté potvrdit nebo upravit navržená technická opatření.

Literatura:

- [1] HANZLÍK, J. – DOUBEK M.: *Praktické zkušenosti s návrhem a provozem kompenzačních zařízení*. In: Sborník VI. konference ERU 2004, EMCOS s. r. o., Teplice.
- [2] MOLNÁR, M. – HANZLÍK, J.: *Chráněná bezkontaktní kompenzace*. In: Sborník IV. konference ERU 2000, EMCOS s. r. o., Teplice.
- [3] MOLNÁR, M. – HANZLÍK, J.: *Nové směry v konstrukci kompenzačních rozváděčů*. In: Kompenzace 2001 – IV. odborný seminář Emcos, Teplice.



Ing. Miloš Molnár



V roce 1977 absolvoval ČVUT FEL obor silnoproudá elektrotechnika. Pracoval jako konstruktér a vývojový pracovník v Elektrotechnických závodech Teplice. Od roku 1993 je jedním z majitelů, jednatelů a pracovníků společnosti EMCOS s.r.o., kde vede oddělení vývoje a konstrukce. Současně se zabývá projektováním moderních kompenzačních prostředků a jejich aplikacím.

Tel. 736633747