

# VÝHODY TECHNICKY SPRÁVNĚ ŘEŠENÉ KOMPENZACE

J. Hanzlík, M. Doubek, EMCOS s. r. o.

Článek upozorňuje na výhody kvalifikovaně navržených a technicky správně provedených kompenzačních zařízení v porovnání s ekonomickými náhradami kompenzací. Zaměřuje se především na provozní zkušenosti s údržbou a opravami kompenzačních rozváděčů.

## 1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Rádi bychom dokumentovali na některých praktických ukázkách, jak je důležité věnovat náležitou pozornost prvotní analýze rozvodné soustavy, konstrukci a výrobě rozváděčů, ale i správnému nasazení a provozování kompenzace.

### 1.1. PROJEKT

Důležité je získat základní parametry soustavy: výkon transformátorů, počet a výkon kompenzačních zařízení a jejich stav a informace o spotřebičích. Není neobvyklé, že provozovatel zapomene na pevně připnutou kondenzátorovou baterii ve "sklepě", nebo že vedle přirážky za nedodržení předepsaného účinku platí také nemalé částky za nevyžádanou dodávku kapacitní energie.

### 1.2. KONSTRUKCE

Samostatnou kapitolu tvoří konstrukce kompenzačních zařízení. Trendem je neustálé snižování cen a tedy i výrobních nákladů. Výrobci jsou vystavováni pokušení používat lacinější kondenzátory (lacinější kondenzátor = méně dielektrika a tedy nižší životnost), lacinější tlumivky (= slabší Cu vinutí) nebo nainstalovat co největší výkon do co nejmenšího prostoru. Zvyšování hustoty výkonu (kvar/m<sup>3</sup>) má dva zásadní efekty: obtížný nebo zcela vyloučený servis - zaznamenali jsme již případy, kdy část kondenzátorů bylo možno vyměnit pouze horní stěnou a ostatní jen za pomoci rozbrušovačky. Druhým problémem je nárůst teploty uvnitř rozváděče. I přesto, že neustále snižují měrné ztráty jednotlivých komponent, některé fyzikální zákony nelze obejít. A právě zvýšená provozní teplota kondenzátorů se nejvíce podílí na snižování jejich životnosti, přičemž tato závislost má exponenciální charakter. Proto v našich konstrukcích klademe velký důraz na odvod ztrátového tepla - používáme výkonné ventilátory (až 700 m<sup>3</sup>/hod) a dvě termostatická čidla pro každou skříň. Tím je zajištěn odvod tepla mimo rozváděč. Dalším naším úkolem je přesvědčit projektanta či provozovatele, aby především v malých prostorech zajistil klimatizaci nebo ventilaci celé rozvodny. A bylo to právě letošní teplotně extrémní léto, které prověřilo tepelné dimenzování některých rozvodů. Právě tepelně nejcitlivější prvek - kondenzátor - má sice tzv. samoregenerační schopnost (při mikroprůrazu dielektrika dojde k lokálnímu zacelení a kondenzátor je schopen dalšího provozu), ale tato jistě dobrá vlastnost znamená vlastně jakýsi paměťový efekt. Po ukončení tepelného namáhání je již životnost zkrácena a postupem času může dojít k úplnému znehodnocení kondenzátoru.

### 1.3. PROVOZ

Při uvádění do provozu a zajišťování servisu kompenzačních zařízení je nezbytné dobře se seznámit s místem instalace a s požadavky provozovatele. Někdy je řešení jednoduché - např. mírné překompenzování lze v některých případech odstranit zkrácením regulačních časů. Ale některé fyzikální limity prostě obejít nelze - např. kompenzační rozváděč, projektovaný na činný odběr 1MW s regulačním stupněm 40kvar, nemůže zajistit potřebný účinek, když se počáteční fáze rozjezdu výroby s odběrem 50kW protáhne na několik měsíců. V těchto případech je jedinou možností dočasná úprava, spojená s diplomatickým jednáním o správné funkci kompenzace a o chybě v aplikaci.

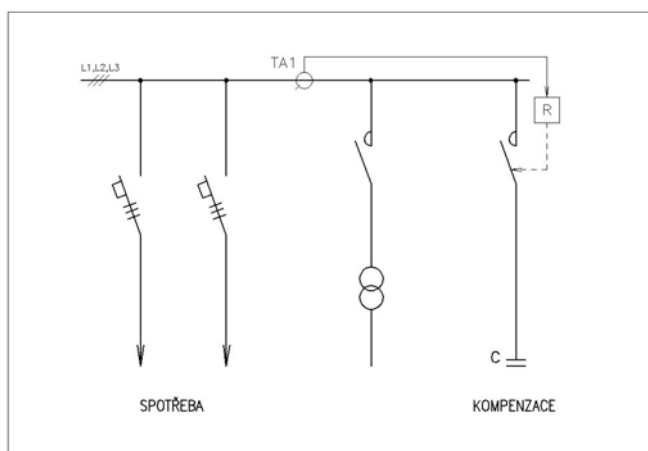
Iniciativní přístup provozovatele také dokáže způsobit vážné problémy. Pokud pro řízení kompenzace instaluje svůj proudový transformátor 4000/5A, musíme se smířit s tím, že při běžné citlivosti proudového vstupu regulátoru 20mA nemůže být první kompenzační stupeň menší než 10kvar. Pozor si musíme dát, když provozovatel mění pojistky v tyristorovém zařízení. Rozdíl ve vypínací charakteristice gR a gG obsluha snadno přehlédne ale polovodič při prvním přetížení rozdíl bezpečně zaznamená a shoří.

## 2. OBECNÉ CHYBY A OMYLY

Tak jako v ostatních oborech jde technika stále se zrychlujícím tempem kupředu, nevyhnul se technickým novinkám ani obor kompenzace. Nejvíce patrné je to asi u regulátorů: měření harmonických složek nebo teploty je již samozřejmostí, naprogramovat se dají všechny myslitelné regulační parametry, nebo naopak můžeme celou inicializaci svěřit automaticce. Objevují se i speciální funkce, používané v českém podnikatelském prostředí - zablokování regulace pro případ nezaplacení za dodávku kompenzace. Používané stykače jsou již výhradně v provedení s předřadnými odpory a lze konstatovat, že stykače se staly nejspolehlivějším prvkem kompenzačních rozváděčů. Tyristorové spínače pro rychlou kompenzaci má dnes ve výrobním programu několik výrobců. Pokud budeme hodnotit námi používané spínací bloky, vývojem bylo dosaženo vysoké spolehlivosti, především díky speciálnímu procesoru, který přesně řídí okamžik sepnutí. Se stále se zvyšujícím podílem chráněné kompenzace byly zdokonaleny také ochranné tlumivky, u kterých se podařilo snížit výkonové ztráty a tepelné čidlo zabráňuje přetížení odpojením celého stupně. Nejdůležitější prvek - kondenzátor zaznamenal také dramatický vývoj. Po opuštění technicky velmi dobrého impregnanu na bázi PCB, který měl jeden závažný nedostatek - byl karcinogenní a nedal se jednoduše zlikvidovat, přešli výrobci na olejovou impregnaci. Olej již není tak nehořlavý, ale má stále dobrou tepelnou vodivost. Poté však podlehlí výrobci tlaku uživatelů, kterým se nelíbilo, že v případě poškození nádoby může něco vytéci a při vzpomínce na PCB dali přednost kondenzátorům v suchém provedení. I přesto, že vlastní ztráty jsou dnes v průměru menší než 5W na kvar, je kondenzátor v tomto provedení citlivý na provozní teplotu, jak bylo uvedeno výše. Posledním vývojovým produktem jsou kondenzátory s dielektrikem tvořeným inertním plynem. Vzhledem k relativně krátké době produkce nejsou doposud s tímto typem dlouhodobější provozní zkušenosti.

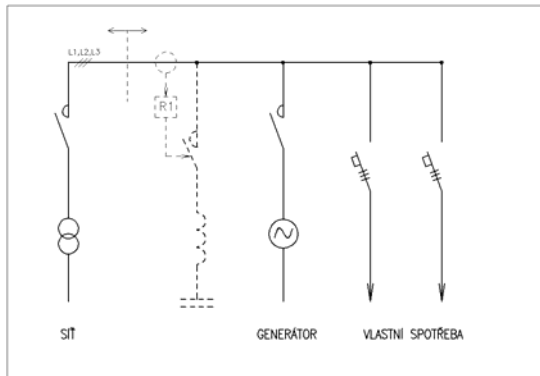
Pokud shrneme uvedené hodnocení, jsou používané komponenty relativně spolehlivé a tak vzniká prostor pro neméně nebezpečný prvek, kterým je lidský faktor.

V projektech se občas objevují různé kombinace chybného připojení kompenzace, které je schématicky naznačeno na obrázku 1. Na první pohled je zřejmé chybné umístění proudového transformátoru. Kompenzace sepne plný výkon, protože jí chybí zpětná informace o kapacitním proudu.



Obrázek 1.

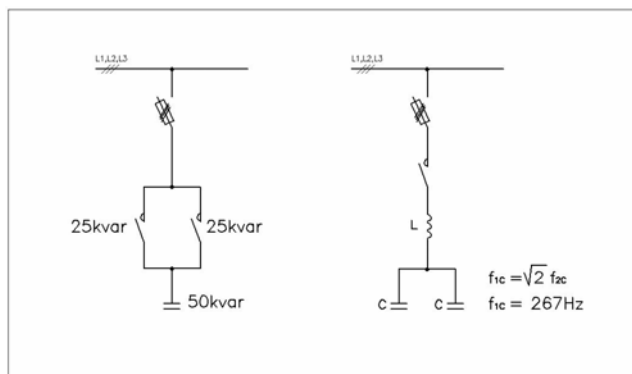
Technicky zajímavé situace nastávají také v případě soustavy, která má kromě spotřebičů svůj vlastní zdroj elektrické energie, podle schéma na obrázku 2. Pokud se vlastní spotřeba pohybuje okolo výkonu asynchronního generátoru, dochází v místě připojení na vnější síť střídavě k dodávce nebo odběru. V takových případech nejsou výjimkou hodnoty účinníku třeba  $\cos\varphi=0,2$ . Je to většinou způsobeno velkou jalovou energií, potřebnou k buzení generátoru, při zanedbatelném činném odběru. Řešením je kompenzace v napájecím bodě, osazená kvalitním regulátorem, který si poradí s fázovým posunem ve všech čtyřech kvadrantech.



Obrázek 2

Vlastní konstrukce kompenzačních zařízení také skrývá některé záludnosti, především pro méně zkušené uživatele.

Zapojení na obrázku 3 vpravo je nebezpečné především při poruše jednoho z paralelních kondenzátorů. Dojde tím k rozladění výkonového obvodu a k nebezpečnému zvýšení rezonanční frekvence, v případě nejběžnějšího kmitočtu 189Hz se posuneme na 267Hz. Menší míru pochopení mezi odbornou veřejností ovšem nachází obvod na obrázku 3 vlevo. Vlivem časového posunu sepnutí obou stykačů dochází k přetěžování rychlejšího z nich a je pouze otázkou času, kdy dojde k destrukci prvního a následně i druhého stykače.



Obrázek 3

### Rozdíl mezi instalovaným a kompenzačním výkonem

Ve své praxi se občas setkáváme s chybnou interpretací výkonu chráněných kompenzačních rozváděčů. Je to způsobeno tím, že štítkové hodnoty instalovaných kondenzátorů udávají v součtu vyšší výkon, než je skutečný kompenzační výkon, který dostáváme při zapojení na síť 400V. Např. pro běžné parametry  $p=7\%$ , kondenzátor  $U_n=440\text{V}$  je poměr skutečného a instalovaného výkonu 1:1,125. Pokud projektant s investorem nemají v této problematice jasno, vzniká prostor pro výrobce kompenzačních zařízení a jejich někdy svérázný výklad. Situaci ještě komplikuje skutečnost, že zahraniční výrobci mají kompenzační L-C stupně obvykle projektovány tak, abychom pro síť

400V obdrželi celistvé násobky (např.  $4 \times 25\text{kvar} = 100\text{kvar}$ ). V českých zemích jsou nejvíce rozšířeny L-C obvody vycházející z řady kondenzátorů 6,25-12,5-50kvar/440V. Kompenzační výkony jsou potom skládány z hodnot 5,5-11-22kvar (např.  $9 \times 11\text{kvar} = 99\text{kvar}$ )

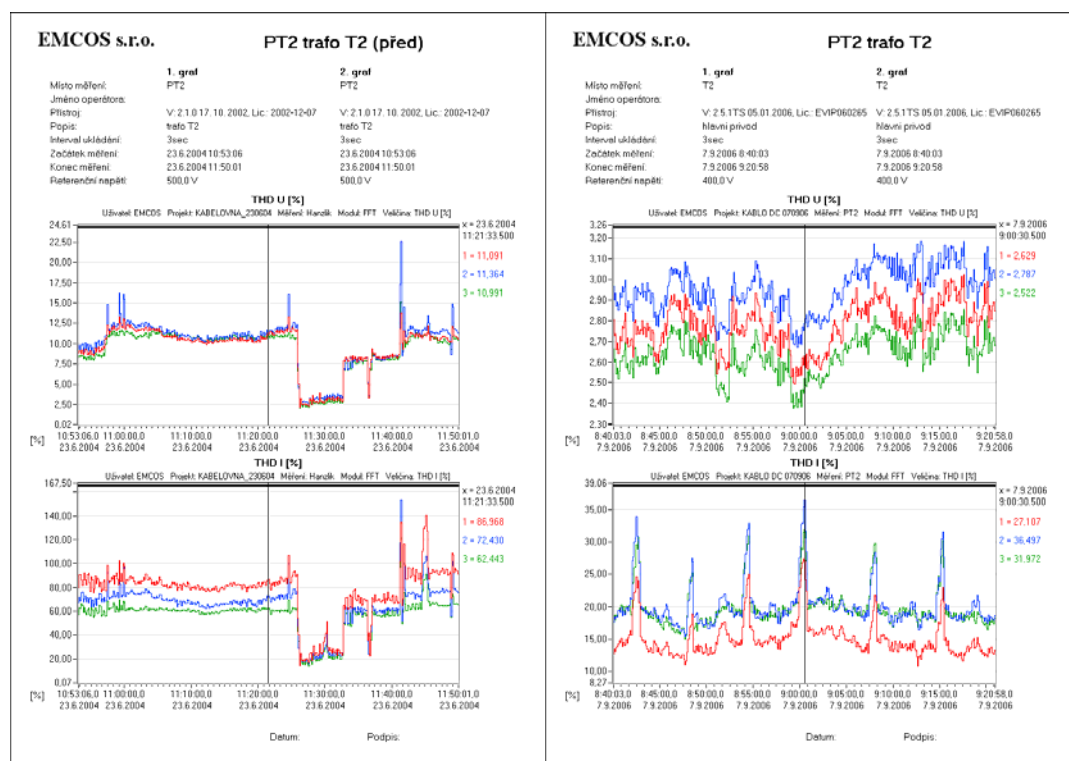
### 3. PRAKTICKÉ PŘÍPADY

#### 3.1. KABELOVNA

Celý závod napájí celkem jedenáct transformátorů, vysoký podíl spotřeby tvoří řízené stejnosměrné pohony a frekvenční měniče. V době našeho příchodu do tohoto provozu byla kompenzace řešena klasickými rozváděči na straně NN, celkový účinník v předávacím bodě byl pod povolenou tolerancí. Protože investor provedl vlastními silami výměnu velké části kondenzátorů, požadavkem byla pouze náhrada stykačů. Nikdo si ovšem nedal do souvislosti stav kompenzačních zařízení a opakující se výpadky dvou hlavních jističů na nejvíce zatížených transformátorech, které způsobovaly rozsáhlé škody ve výrobě.

Po zjištění těchto informací jsme provedli komplexní analýzu celé rozvodné soustavy. Výsledné hodnoty se daly očekávat: na straně NN bylo zkreslení napětí THDU=10až19%, na VN straně v předávacím bodě bylo naměřeno THDU až 6,5%. Investorovi byla předložena koncepce modernizace kompenzace, za použití chráněných kompenzačních zařízení. V současné době je zcela vyřešena jedna z celkem tří rozvodů - výpadky přívodních jističů ustaly a harmonické rušení bylo výrazně sníženo. Naměřené hodnoty celkového zkreslení THDU a THDI na začátku a po instalaci chráněné kompenzace před jsou uvedeny na obrázcích č. 4 a 5.

Ekonomické přínosy jsou více než patrné, pokud by provozovatel již na začátku provedl kvalifikované posouzení stavu, mohl ušetřit za prvotní nákup kondenzátorů (napětová hladina 400V byla pro chráněné provedení nepoužitelná) a rychlým postupem mohly být dříve vyloučeny výpadky napájení.



Obrázek 4



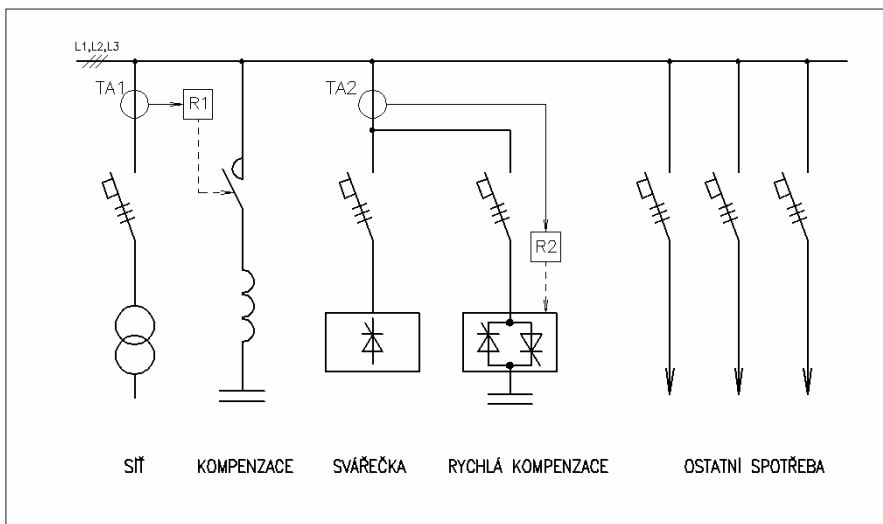
Obrázek 5

### 3.2. SVAŘOVÁNÍ ARMATUR

Tento provoz je napájen třemi transformátory, dominantními spotřebiči jsou třífázové svařecí automaty armovacích sítí. Ostatní spotřebu tvoří točivé stroje, převážně bez významných nelineárních spotřebičů.

Původní kompenzační rozváděče byly v klasickém provedení, stykačové spínání, bez ochranných tlumivek. Ty nemohly reagovat na rychlé svařovací procesy a silové obvody byly přetěžovány harmonickými proudy.

Po důkladné analýze a měření jednotlivých odběrů byla zvolena kombinace chráněné kompenzace jako centrální jednotka a rychlé, tyristorově spínané kompenzace pro individuální kompenzování svařecích automatů. Schéma zapojení je uvedeno na obrázku 6.



Obrázek 6

V těchto případech je důležité správně zvolit bod silového připojení rychlé kompenzace a instalace proudových transformátorů. Podmínkou správné funkce je, aby regulátor R1 byl podstatně rychlejší, než centrální regulátor R2, který má za úkol kompenzovat ostatní pomalé změny.

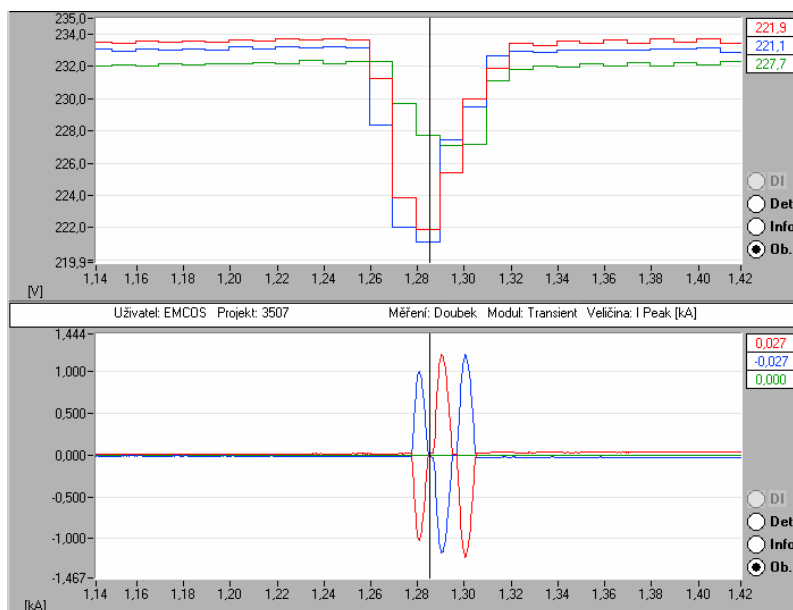
Po uvedení do provozu došlo ke snížení celkové úrovně harmonických a nejsou ani problémy s dodržением předepsaného účinníku.

### 3.3. VÝROBA AUTODÍLŮ - BODOVKY

Sledovaný závod se zabývá výrobou kovových dílů pro automobilový průmysl. Instalováno je zde větší množství svářeček (bodové, švové) a lisů. Systém kompenzace je poměrně dobře navržen, použity jsou také rychlé kompenzace a vzhledem k rovnoměrnému rozložení velkého množství spotřebičů je výsledný účinník v povolené toleranci.

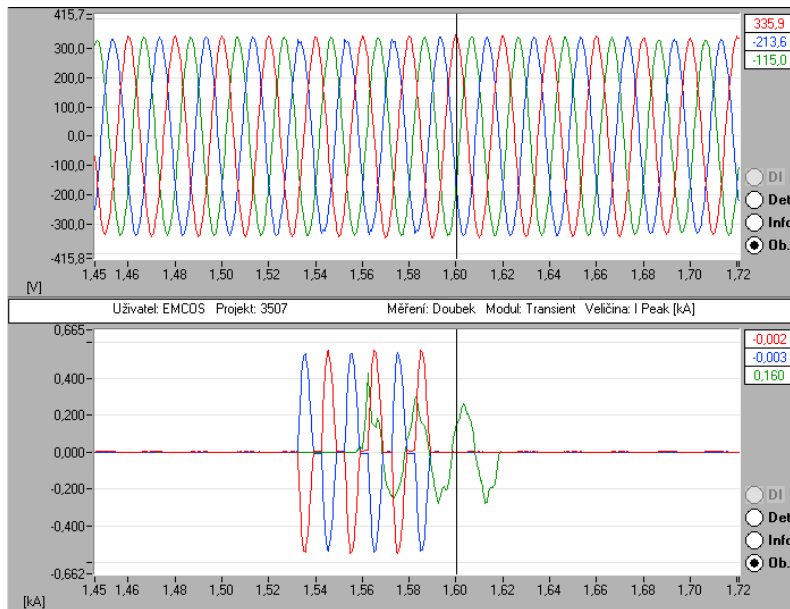
Zadáním v tomto případě bylo snížení flikru v předávacím bodě PCC. V důsledku nedostatečného zkratového výkonu rozvodné soustavy v bodě připojení, dochází při provozu svářecích automatů ke zvýšení úrovně flikru nad povolenou mez. A to i přes to, že největší bodovkové automaty jsou vzájemně blokovány proti souběhu.

Pro analýzu problému byly vybrány dva automaty, které provádějí zrcadlově shodné operace na pravém a levém díle automobilu a u kterých řídicí program vylučuje souběh svářecích procesů. Měřením bylo zjištěno, že délka jednotlivých svárů se pohybuje od 1 do 8 period síťového kmitočtu a že se jedná o dvoufázové nesymetrické spotřebiče. Odebíraný špičkový proud se pohybuje okolo 1000A a dynamický ráz způsobí výrazný pokles napájecího napětí - obrázek 7.



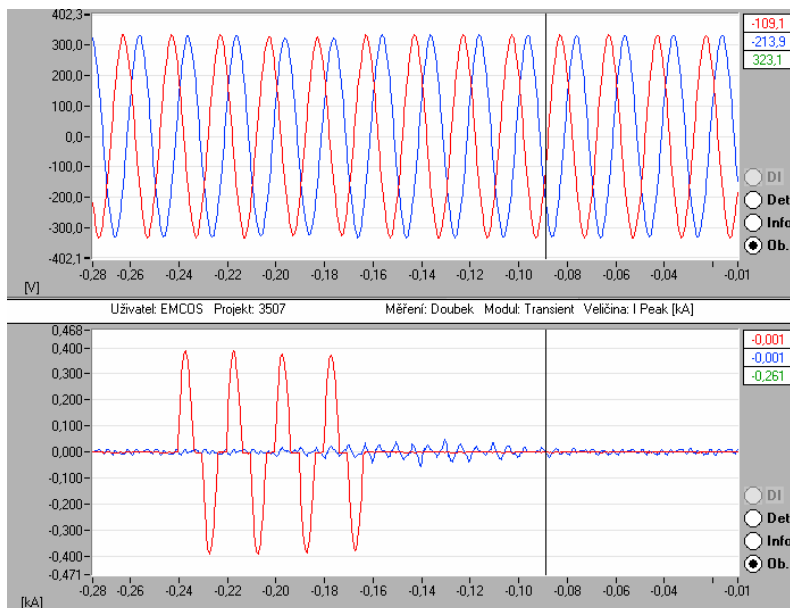
Obrázek 7.

Při řešení uvedeného problému jsme nejdříve testovali sériově vyráběný bezkontaktní systém s rychlým regulátorem EFR7. I přestože byla nastavena maximální dynamika regulace, nebyl zpětnovazební regulátor schopen reagovat dostatečně rychle. Kompenzační proud - na obrázku 8 zelený průběh, je vždy zpožděn o čas potřebný ke změření a výpočtu fázové odchylky a vyčkání na následující průchod napětí nulou. Podobně je opožděno i vypnutí kondenzátorů. Pro takto krátké impulsní odběry není systém zpětnovazební regulace vhodný a efekt flikru nepotlačí.



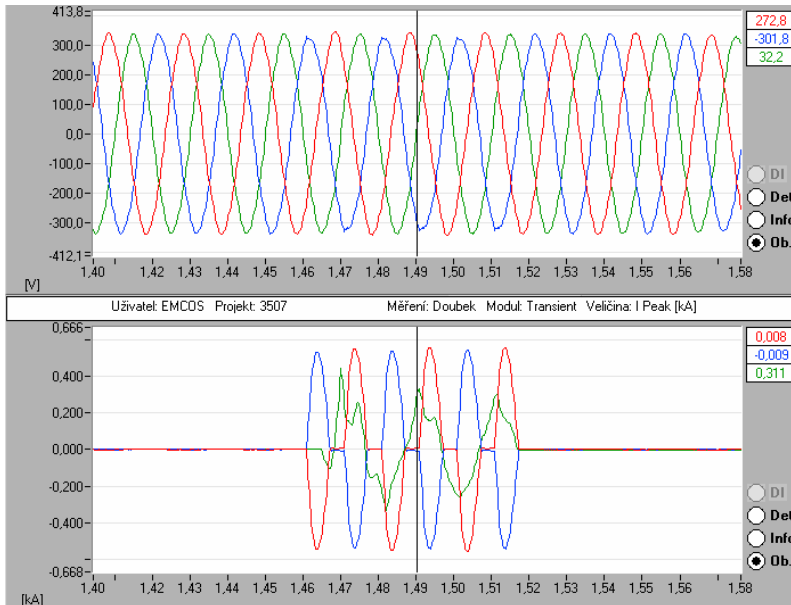
Obrázek 8.

Dále byl pro eliminaci vzniku flikru testován aktivní paralelní aktivní filtr. Naměřené průběhy jsou na obrázku 9. Červený průběh je svářecí proud, modrý je proud generovaný aktivním filtrem. Pro zkušební účely jsme měli k dispozici filtr o výkonu pouze 30A. Harmonické zkreslení bylo částečně eliminováno, ovšem poklesy napětí - také vzhledem k omezenému výkonu, odstraněny nebyly.



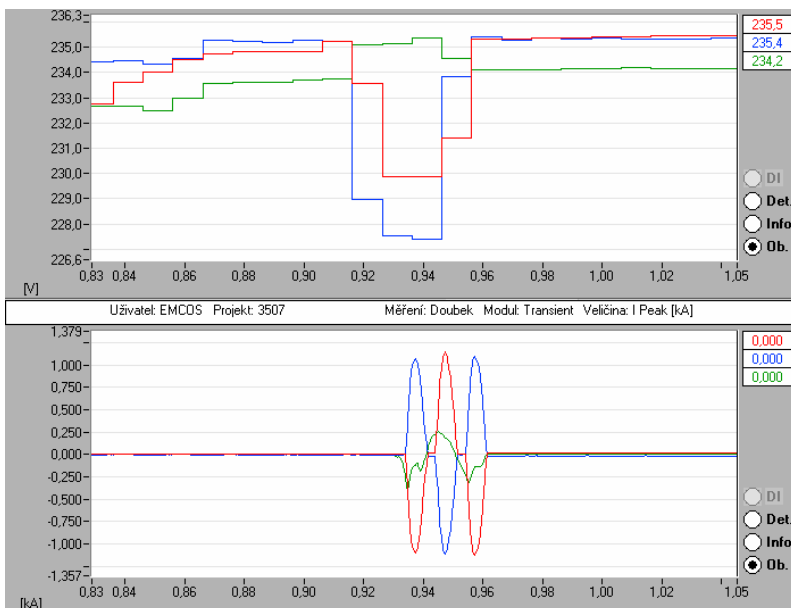
Obrázek 9.

Nejllepších výsledků bylo dosaženo za použití tyristorově spínaného kompenzačního modulu, který byl řízen logickým automatem, zpracovávajícím signály od svářecích automatů. Jak vidíme na obrázku 10, zpoždění kompenzačního proudu - zelený průběh - je dáno pouze čekáním na první průchod napětí nulou, tedy max. 10ms.



Obrázek 10.

Okamžitým dodáním přesně definovaného kapacitního výkonu je potlačen jalový induktivní odběr a nedochází k tak dramatickým poklesům napájecího napětí - obrázek 11. Výsledkem je zlepšení hodnot flikru. Celý takto navržený systém je náročný na zpracování a vyhodnocení řídicích signálů svářecích strojů. Délka sváru a velikost proudu se občas mění v závislosti na typu operace a s tím je nutné automaticky synchronizovat i řízení kompenzačních jednotek. Pro navržení a snadnou údržbu tohoto systému je nezbytná úzká spolupráce s výrobcem svářecích automatů.



Obrázek 11.

## 4. ZÁVĚR

V příspěvku jsme se pokusili shrnout naše dlouholeté zkušenosti s vývojem, výrobou a servisem kompenzačních zařízení. Provozovatelům doporučujeme trvat na předepsaných technických parametrech a dobře se orientovat v široké nabídce na trhu. Hlavním kritériem by neměla být cena, ale kvalita použitých komponent a zkušenosti a profesionalita přístupu dodavatele kompenzačních zařízení.

## 5. LITERATURA

- [1] Technická zpráva 01-3507-00 Miloš Doubek, EMCOS s.r.o.
- [2] Technická zpráva 02-3110-00 Ing. Hanzlík Jiří, EMCOS s.r.o.

Ing. Jiří HANZLÍK [j.hanzlik@emcos.cz](mailto:j.hanzlik@emcos.cz)  
Miloš DOUBEK [m.doubek@emcos.cz](mailto:m.doubek@emcos.cz)

EMCOS s.r.o.

