

PRAKTICKÉ ZKUŠENOSTI S NÁVRHEM A PROVOZEM KOMPENZAČNÍCH ZAŘÍZENÍ

Ing. Jiří Hanzlík, Miloš Doubek, EMCOS s.r.o.

Na konkrétním případě je dokumentován význam důsledné analýzy rozvodné soustavy při návrhu kompenzačních prostředků v prostředí s vysokým obsahem nelineárních spotřebičů a při nebezpečí výskytu rezonančních jevů.

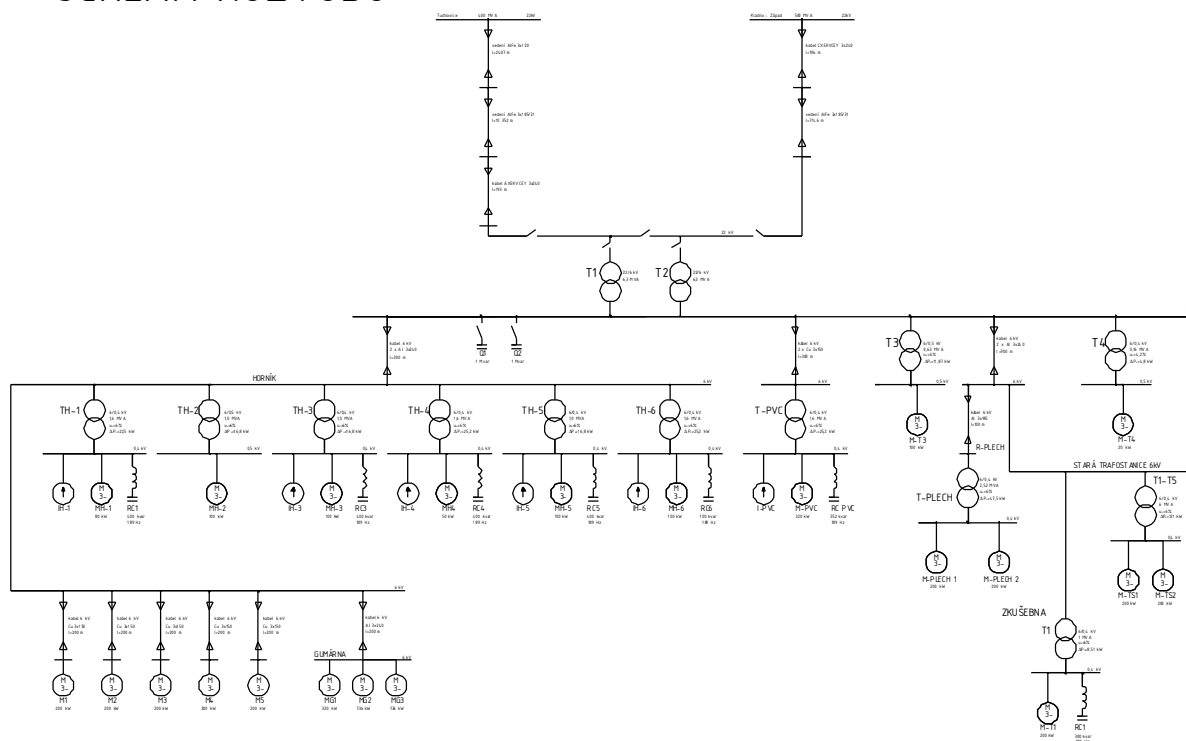
1. ÚVOD

V tomto případě se jedná o poměrně rozsáhlou rozvodnou soustavu s hlavním napájecím transformátorem 6,3MVA 22/6kV (obrázek 1). Tuto soustavu je možno napájet ze dvou různých linek 22kV s rozdílnými parametry. Součástí sítě je poměrně rozsáhlý rozvod 6kV, spotřebiče 6kV a více než 20 transformátorů 22/0,4kV. Největší potíže ovšem způsobují technologické linky na tažení vodičů a výrobu kabelů osazené stejnosměrnými pohony, které tvoří převážnou část spotřeby. Centrální kompenzace je řešena manuálně (časově) spínanými kondenzátorovými bateriemi 1+1Mvar v nechráněném provedení.

Dále byla v posledních letech provedena výměna hlavního napájecího transformátoru (v souvislosti s přechodem z napěťové hladiny 10kV na 22kV) a většina starých kompenzačních zařízení na straně NN byla vyměněna za chráněné kompenzační rozváděče s obvyklým rezonančním kmitočtem $f_0=189\text{Hz}$.

Celkem tedy bylo v praxi možno dosáhnout různých kombinací přívodního vedení, kompenzační baterie 6kV (2Mvar, 1Mvar, 0Mvar) a různých provozních stavů velkých stejnosměrných pohonů.

SCHÉMA ROZVODU



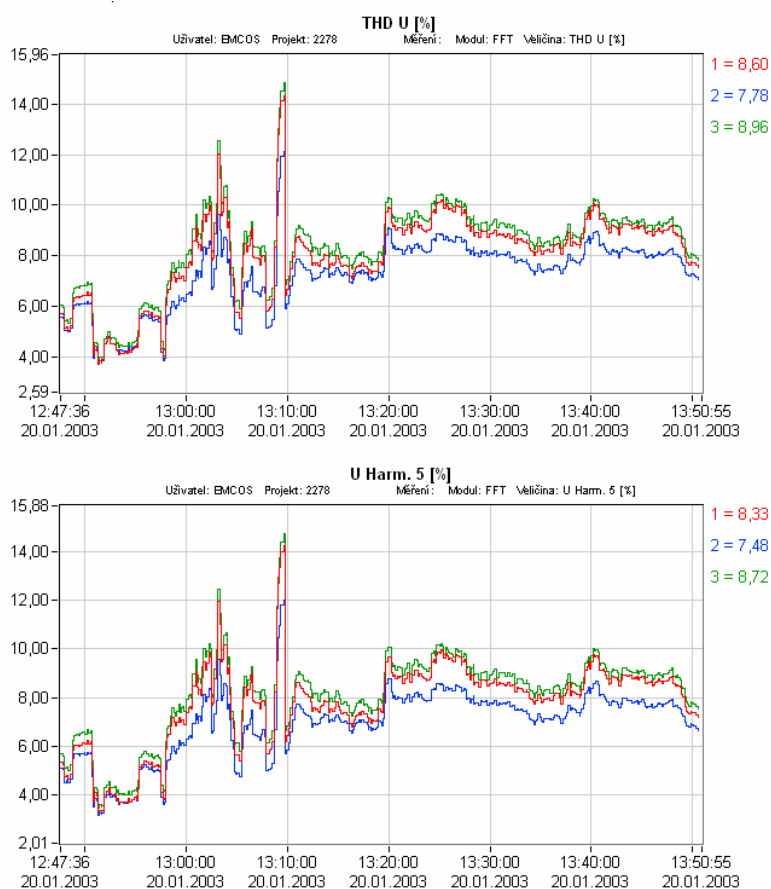
obrázek 1

2. VÝCHOZÍ STAV – DEFINICE PROBLÉMU

Postupem času se začaly objevovat náhodně se vyskytující poruchy na kompenzačních rozváděčích NN, osvětlovacích tělesech i na provozované technologii. Protože největší potíže se projevily na straně NN, soustředila se pozornost provozovatele pouze na sledování napěťové hladiny 400V. Měřeními byly prokázány zvýšené hodnoty harmonických složek napětí: THDu špičkově až 10%, 5. harmonická až 14% (obrázek 2). Zároveň byla potvrzena sací schopnost instalované chráněné kompenzace - při vypnutí kompenzaci došlo ke zvýšení harmonického zkreslení a THDu dosahovalo až 15%. I přes časově náročné sledování sítě NN poruchovým analyzátozem (PEGY) se nepodařilo zaznamenat očekávaný rezonanční jev a nebylo tak možno přesněji definovat vlastní příčinu.

Teprve v r 2003 byla provedena komplexnější studie, kdy byl sledován vliv přívodního vedení a dále také působení kompenzace VN na kvalitu napětí na straně NN. Z této studie vyplynulo několik základních poznatků:

- Zdroj harmonického rušení je uvnitř sledované rozvodné soustavy, neproniká tedy z vnější sítě ale je generováno vlastními spotřebiči.
- Na úroveň harmonických složek napětí má vliv také směr napájení VN. V závislosti na parametrech přívodního vedení se při ustáleném odběru změnil obsah harmonických při přepínání z jednoho směru na druhý.
- Byl dokumentován negativní vliv nechráněné kompenzační baterie 6kV na obsah harmonických složek na straně NN.
- Nebezpečně vysoký obsah harmonických byl naměřen na 6kV a částečně také na napěťové hladině 22kV.



obrázek 2

Provozovateli bylo na základě výsledků této analýzy doporučeno maximálně omezit provoz VN kompenzačních baterií a instalovat chráněný kompenzační rozváděč s automatickou regulací účinníku. Zároveň byl doporučen směr napájení, který díky svým parametrům vedení v kombinaci s parametry vstupního transformátoru minimalizuje vznik harmonických napětí.

Protože výměna VN kompenzace (v chráněném spínaném provedení) představuje poměrně velkou investici, váhal provozovatel s její realizací až do počátku roku 2004, kdy jsme byli požádáni o předložení komplexní nabídky na technické řešení. Podmínkou investora bylo dosahování předepsaného účinníku v každém okamžiku a zároveň odstranění poruchových jevů v celé rozvodné soustavě. Samozřejmostí byly vysoké požadavky na záruku a spolehlivost zařízení.

Jelikož jsme situaci sledovaného provozu dobře znali, bylo zřejmé, že navrhnout optimální funkční řešení nebude jednoduché. V první řadě bylo nutné zvolit nejvhodnější bod připojení, rezonanční kmitočty a kompenzační výkon s optimální jemností regulace.

3. STUDIE

Bylo zřejmé, že bude nutno řešit výše uvedenou problematiku v první řadě na teoretické úrovni. Proto jsme přizvali ke spolupráci odborníky ze Západočeské Univerzity Plzeň (ZČU) -, Ing. Tomáše Salona, Ing. Zdeňka Peroutku, Ph.D. a prof. Ing. Václava Kúse CSc.

S pomocí provozovatele a příslušného rozvodného závodu byla shromážděna všechna dostupná data o způsobu napájení a o rozvodu dotčeného průmyslového podniku a to zejména: informace o napájecích linkách, délce a průřezu přívodního vedení při napájení z možných směrů, zkratový výkon v bodě připojení, informace o signálu HDO, informace o napájecích transformátorech 22kV, způsobu kompenzace účinníku a ostatní dostupné informace o interním rozvodu závodu. Údaje o provozovaných (instalovaných) polovodičových zařízeních se zjišťovali velmi obtížně (prakticky nebylo možné získat žádné konkrétní informace). Proto musely být pro výpočet harmonických proudů vyšších řádů parametry FM měničů odhadnuty na základě zkušeností.

Po vyhodnocení všech dostupných dat vypracovali pracovníci ZČU matematický model sledované sítě [2]. Na tomto modelu byly analyzovány frekvenční charakteristiky impedance sítě při různých provozních režimech. Z výsledků matematické analýzy a výpočtu impedancí sítě vyplynulo několik důležitých bodů:

Vliv přívodního vedení – vzhledem k jeho délce a parametrům vstupního transformátoru je jeho impedanční vliv podstatný a značně ovlivňuje vznik rezonancí na frekvencích 250Hz, resp. 350Hz. Situace se mění při napájení závodu z rozvodny Tuchlovice (situace je horší), případně z rozvodny Kladno – západ (situace je příznivější).

Vliv nechráněné kompenzace 2Mvar/6kV – protože se jedná o nechráněnou kompenzaci, je její vliv značný a podstatný.

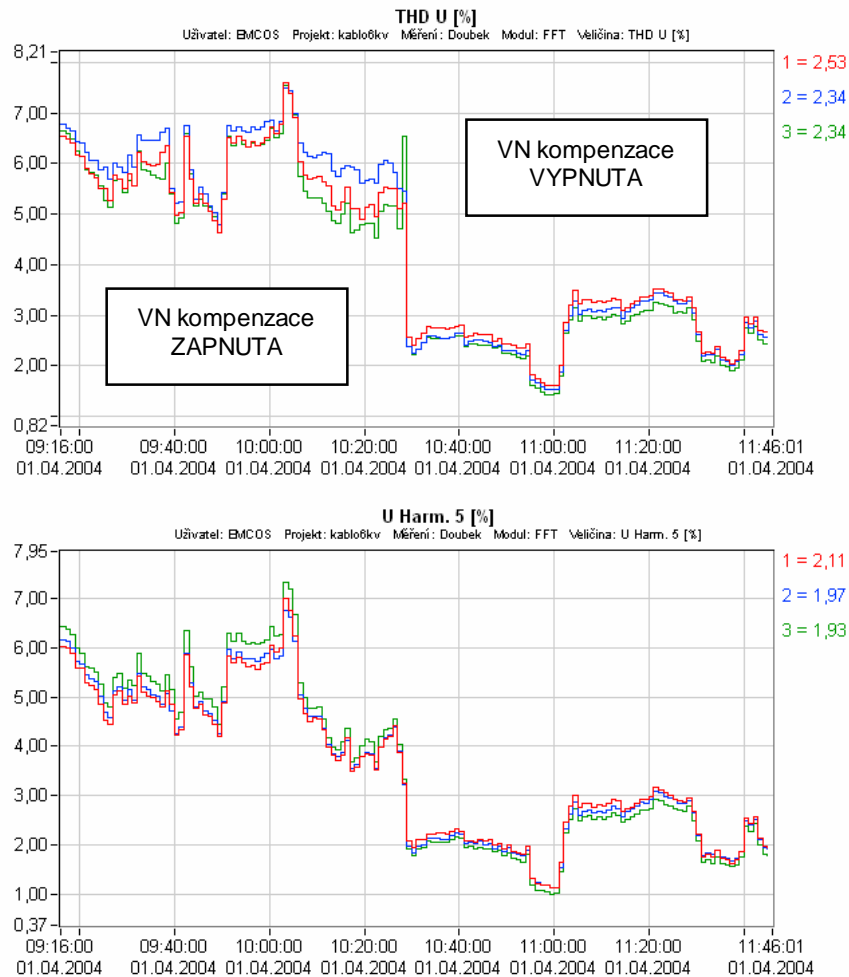
Vliv chráněné kompenzace NN – vlivem charakteru zařízení (laděno na 189Hz) dochází k ovlivňování frekvence rezonance sítě. Z frekvenční charakteristiky impedance jsou patrné sériové rezonance.

V dílčích závěrech z výpočtů impedance pracovníci ZČU konstatovali, že v důsledku připojení nechráněné kompenzace (2Mvar/6kV) dochází ke vzniku rezonance v okolí frekvence 250Hz. Velmi výraznou roli hraje přívodní vedení (s ohledem na jeho délku, parametry transformátoru a zkratový výkon rozvodny). Nejhorší situace nastává při napájení z rozvodny Tuchlovice.

Ve spolupráci s pracovníky ZČU – Ing. Salonem a Ing. Peroutkou, bylo následně provedeno pomocí dvou analyzátorů sítě typu BK550 synchronní měření v předávacím bodě (PCC) 22kV a v hlavním napájecím bodě 6kV. Měření probíhalo současně na obou napěťových hladinách se synchronizovaným nastavením času na obou analyzátorech. Vzhledem k záměru zdokumentovat

předpokládaný negativní vliv provozované nechráněné kompenzace 2Mvar/6kV na síť bylo měření prováděno se zapnutou i vypnutou kompenzací.

Provedené měření plně potvrdilo předpoklad negativního působení kompenzačního zařízení na síť. Na obrázku 3 je záznam celkového harmonického zkreslení napětí a 5. harmonické na hladině 6kV a 22kV. Zároveň je tak dokumentována správnost úvahy, že k rezonanci dochází vlivem připojení kompenzačního zařízení 2Mvar/6kV.



Obrázek 3.

Při porovnání vypočtených a naměřených dat bylo konstatováno, že naměřené hodnoty harmonických složek, zvláště pak 5. a 7. harmonické napětí, jsou vyšší než vypočtené hodnoty. Příčinou rozdílných hodnot bylo záměrné poddimenzování výkonu FM měničů při výpočtu (nedostatečná vstupní data). Pro kvalitativní posouzení kontroly dosažených výsledků jsou však podstatné poměry mezi jednotlivými vypočtenými harmonickými napětími. Tyto poměry odpovídaly naměřeným datům a potvrdily tak správnost výpočtů. Bylo tak potvrzeno, že při připojení kompenzace 2Mvar/6kV dochází k výraznému vzniku 5. harmonické napětí (rezonanční frekvence je při 2Mvar v blízkosti 250Hz). Při připojení pouze části kompenzačního výkonu 1Mvar, na hladině 6kV, je rezonanční kmitočet v blízkosti 7. harmonické a dochází tak k nárůstu velikosti 7. harmonické napětí.

Na základě zpracovaného matematického modelu a provedeného měření bylo jako opatření ke snížení obsahu vyšších harmonických doporučeno instalovat automatické chráněné kompenzační zařízení, se stupni laděnými na kmitočet 189Hz. Jedná se o standardní prověřené řešení, které spolehlivě odstraní nebezpečné rezonance sítě a zároveň u tohoto zařízení nemůže dojít k nežádoucí interakci se signálem HDO (216 2/3Hz).

Provozovateli tak bylo doporučeno odstranit stávající nechráněnou kompenzaci 2 x 1Mvar/6kV a instalovat nové chráněné kompenzační zařízení o výkonu 2,3Mvar, s automatickou regulací.

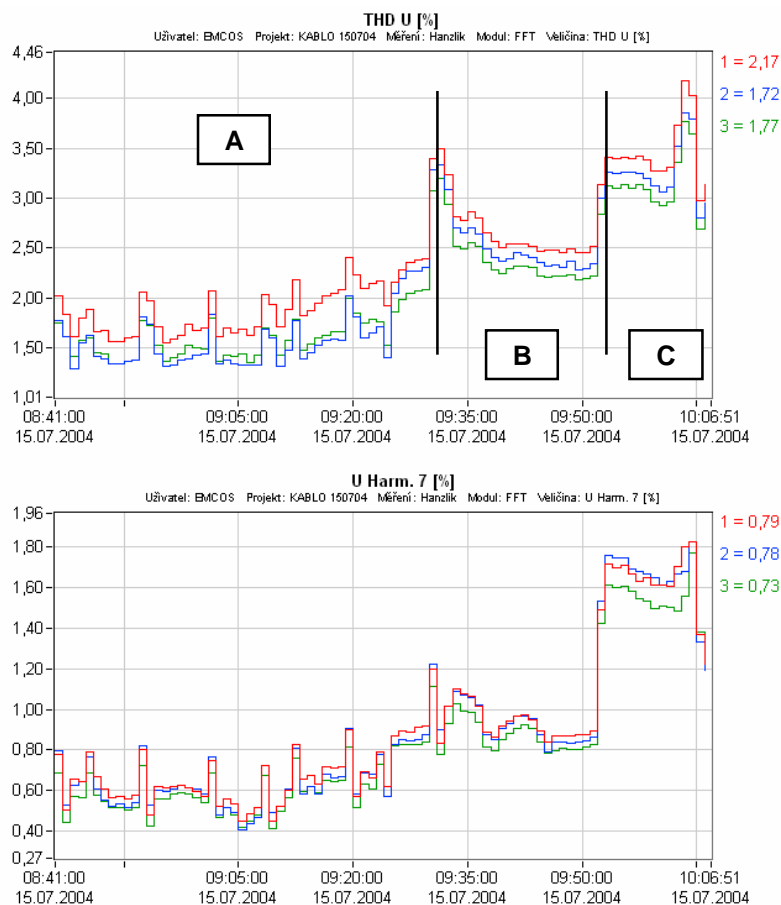
4. REALIZACE

Po odsouhlasení navrhovaného řešení ze strany provozovatele bylo vyrobeno a instalováno kompenzační zařízení EMCOS typ EF6-2300/5.

Kompenzační zařízení bylo v souladu s dohodnutým harmonogramem ve dnech 7-8.7. 2004 namontováno a 9.7. 2004 uvedeno do provozu. Zároveň byla demontována původní kompenzace 1Mvar/6kV. Na přání zákazníka byla ponechána část původní nechráněné baterie 1Mvar/6kV jako záložní kompenzace. Zákazníkovi bylo zdůrazněno, že záložní kompenzace nesmí být provozována zároveň s novou chráněnou kompenzací.

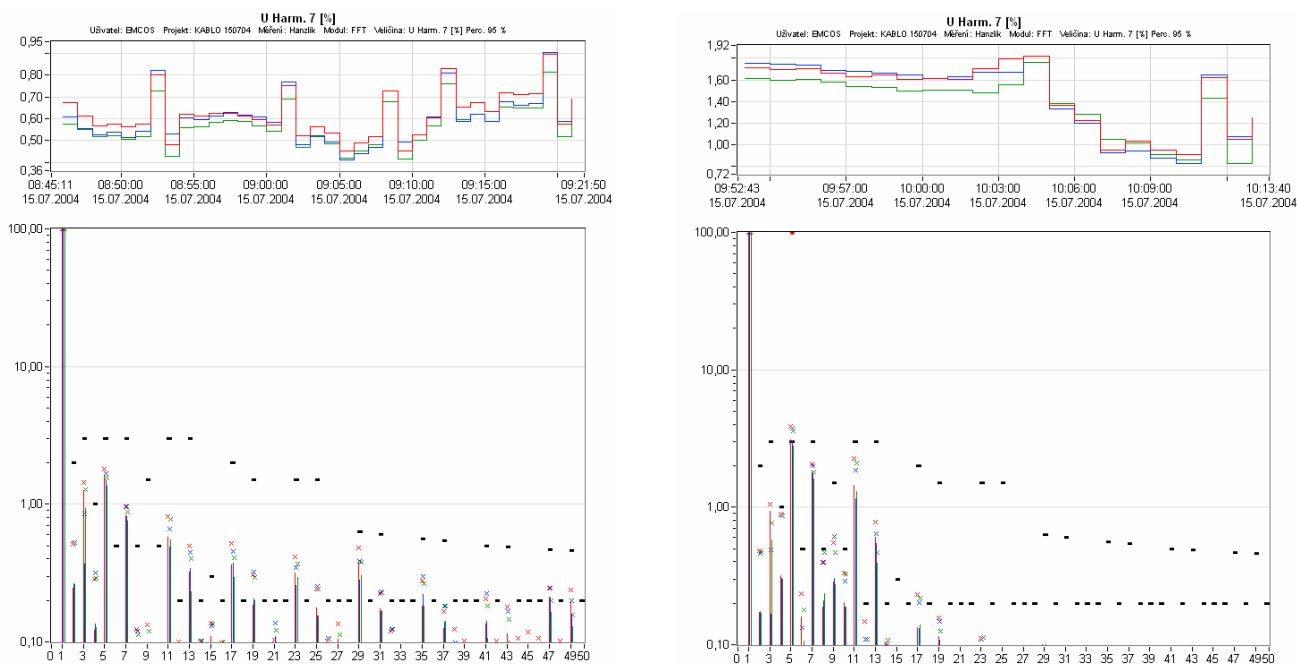
Dne 15.7. 2004 bylo provedeno kontrolní měření provozu chráněné kompenzační jednotky. Měření probíhalo synchronně na vstupním napájecím bodě 22kV a na napěťové hladině 6kV, a to opět za spoluúčasti pracovníků ZČU Plzeň – Ing. Salona a Ing. Peroutky. Původní nechráněná kompenzace 1Mvar byla odpojena. Při měření kvality napětí a úrovně harmonických v rozvodné soustavě byly simulovány všechny tři stavy: odběr bez kompenzace, stará kompenzace a nová chráněná kompenzace.

Obrázek 4 dokumentuje vliv kompenzačního zařízení na obsah harmonických složek napětí na hladině 6kV. Při funkci nové kompenzační jednotky se celkové zkreslení napětí pohybovalo okolo 1,5%, bez kompenzace je zkreslení 2,5 – 3,5% a při zapnutí původní kondenzátorové baterie 1Mvar přesáhlo zkreslení napětí THD_U 4%. Obdobně se chovala i křivka průběhu 7. harmonické napětí.



obrázek 4. A-chráněná kompenzace, B-bez kompenzace, C-původní kompenzace

Dále je na obrázku 5. provedeno srovnání harmonického spektra napěťové hladiny 6kV při provozu chráněné kompenzace a při zapnutí původní kompenzace. Spektrum je doplněno o průběh 7. harmonické. Zlepšení je patrné především pro 5. harmonickou (pokles z 2,5% na 1,5%) a pro 7. harmonickou (pokles z 1,8% na 0,88%).



obrázek 5.

chráněná kompenzace

původní kompenzace

5. ZÁVĚR

Obecně lze konstatovat, že chráněná kompenzační jednotka splňuje očekávané technické parametry a zajišťuje kompenzaci odběru na předepsanou hodnotu.

Celkové vyhodnocení funkce kompenzační jednotky a jejího vlivu na rozvodnou soustavu bude možné provést až v delším časovém horizontu, kdy bude funkce kompenzace prověřena všemi provozními stavy závodu nkt cables.

Zároveň byly potvrzeny výsledky matematického modelu, podle kterých měla dominantní vliv na vznik rezonancí v oblasti 5. harmonické interakce nechráněné kondenzátorové baterie 2Mvar/6kV se vstupním transformátorem 22/6kV. Dříve zaznamenané hodnoty THDu až 3,5% na hladině 22kV se již nepodařilo naměřit a při provozu chráněné kompenzace se pohybují okolo THDu = 1,6%

Seznam použité literatury

- [1] Technická zpráva 02-2278-00 20.2. 2003
Ing. Jiří Hanzlík, EMCOS s.r.o.
- [2] Harmonické v rozvodné síti 29.4. 2004
Ing. Tomáš Salon, Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D., prof. Ing. Václav Kůs, CSc
- [3] Technická zpráva 69-3042-00 20.7. 2004
Ing. Jiří Hanzlík, EMCOS s.r.o.