

Ing. Bohumír Kubík, PhD., Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most

Měření EMC a poruchových stavů napájecích sítí až ve čtyřech nezávislých třífázových soustavách analyzátozem BK 550 MULTI

Přijato: 22. 9. 2008, recenzováno: 7. 11. 2008

V příspěvku je vysvětlena problematika rušení a zpětných vlivů zaváděné polovodičové techniky a zařízení na provozované napájecí sítě el. energie. Jsou uváděny nejnovější poznatky o způsobech měření a vyhodnocování veličin charakterizujících vlastnosti napájecích sítí, podány informace o přístrojovém vybavení pro měření a získávání potřebných veličin, které jsou hodnoceny podle platných norem. V článku je uveden přehled platných a závazných norem pro tuto problematiku.

Measurement of EMC and failure conditions of supply networks in four independent three-phase systems with a BK 550 MULTI analyser

The article explains the issue of interference and negative impacts of the introduced semi-conductive technique and devices for the operated electric supply network. The newest information is introduced regarding the methods of measurement and evaluating variables which characterize the features of the supply networks. The information about the measurement instrumentation and collecting necessary variables assessment pursuant to the valid standards is provided. In the article you can find a review of valid and mandatory standards.

Messung von EMC und Störungszuständen der Versorgungsnetze in bis vier unabhängigen Dreiphasensystemen mithilfe des Analysators BK 550 MULTI

Im Beitrag ist die Problematik der Störungen und Rückwirkungen von der eingeleiteten Halbleitertechnik auf betriebene Stromversorgungsnetze erläutert. Angeführt werden die jüngsten Erkenntnisse über die Messungsarten und Auswertungen von Größen, die Eigenschaften von Versorgungsnetzen kennzeichnen, und Auskünfte über Geräteausstattung für Messung und Ermittlung notwendiger Größen, die nach gültigen Normen bewertet werden. Im Artikel ist Übersicht geltender und verbindlicher Normen für diese Problematik angeführt.

Úvod

Tím, že Česká republika vstoupila v květnu 2004 do EU začaly i u nás platit, a měly by se tedy dodržovat, technické normy platné v zemích EU již řadu let. To samozřejmě platí i o normách elektrotechnických, zvláště pak těch, které se týkají EMC (elektromagnetické kompatibility) a nízkofrekvenčního rušení napájecích sítí.

Problematika energetického rušení a zpětných vlivů polovodičových měničů na napájecí sítě při zavádění nové moderní polovodičové techniky (polovodičové měniče typů usměrňovače, frekvenční měniče, pulzní měniče apod.) nabývá po vstupu České republiky do EU stále větší vážnosti a důležitosti. V úvodu tohoto článku budou stručně uvedeny nejnovější poznatky z hlediska měření a vyhodnocování veličin

charakterizujících vlastnosti napájecích sítí. Budou zde uvedeny nejnovější normy, jež upravují dosavadní způsoby měření z hlediska rychlosti sbírání a ukládání naměřených dat, dále normy uvádějící povolené limity rušení apod. Dále pak budou popsány možnosti špičkových analyzátorů napájecích sítí umožňujících měření v jedné až ve čtyřech nezávislých třífázových sítích, které VÚHU, a.s., již několik let využívá pro měření EMC v provozech důlních společností. Nakonec jsou stručně uvedeny legislativní požadavky EMC a účinníku $\cos \varphi$.

Energetické rušení, zpětné vlivy

Zpětné vlivy, jinak též elektromagnetické interference, rušení a jiné používané termíny, lze v zásadě rozdělit do dvou skupin. Hlavním kritériem je kmitočet rušivých signálů. Podle kmitočtu dělíme zpětné vlivy na „Energetické

rušení“ (nízkofrekvenční) a „Radiofrekvenční rušení“ (vysokofrekvenční). Hranice není přesně stanovena, ale energetické rušení podle posledních norem končí v oblasti jednotek kHz. Naopak radiofrekvenční rušení začíná na kmitočtu 100 kHz a v podstatě není omezeno shora.

Jeden z pohledů na energetické rušení je vztah k základnímu kmitočtu síťového napětí, tedy k 50 Hz. Pak lze rozdělit zpětné vlivy na napájecí síť do následujících oblastí :

- podsynchronní, synchronní a nadsynchronní

Podsynchronní oblast, tj. oblast s kmitočtem rušení pod 50 Hz, představuje rušení napájení, jako je kolísání napětí, krátkodobá podpětí, přepětí, výpadky napětí a hlavně tzv. flicker efekt, který je v české terminologii nazýván jako blikání. Blikání je jev, který představuje změny napětí s opakovaným kmitočtem 8 -13 Hz. V napájecích sítích je blikání způsobováno velkými změnami odebíraných výkonů jak činných tak jalových. Vyskytuje se v sítích napájejících obloukové pece, svářecí automaty, výkonové regulované pohony s velkou dynamikou (např. pohony válcovacích tratí, DPD, kolesových rýpadel apod).

Synchronní oblast představují rušení v oblasti změn základních veličin napájecí sítě s kmitočtem 50 Hz. Jedná se zejména o vlastní přenosy všech výkonů resp. energií a rušení je zde chápáno jako přenos zejména jalových energií. Nelineární zátěže představované např. elektronickými měniči mohou celkovou bilanci jalového a činného výkonu měnit během jedné periody skokem a tím pak ovlivní např. hlavní kritérium na posuzování čistoty odběru elektrické energie od dodavatele, jako je tzv. účinník $\cos \varphi$, nebo přesnější kritérium, a to je opravdový účinník označovaný jako λ , jenž v sobě zahrnuje rovněž vliv harmonických. Tyto shora uvedené vlivy mají pochopitelně dopad do obou definovaných oblastí, tj. pod i nadsynchronní.

Nadsynchronní oblast, jak už je asi zřejmé, představuje interferenční jevy s kmitočtem nad 50 Hz. Vzhledem k tomu, že energetické rušení je zatím kmitočtově shora omezeno na 2500 Hz, je nadsynchronní oblast přesně definována. Do této oblasti jsou zahrnuty známé vyšší harmonické, dále jen harmonické, napětí a

proudu. Poslední dobou se začínají uplatňovat z hlediska posouzení zpětných vlivů i tzv. toky harmonických výkonů.

Do nadsynchronní oblasti též spadají rušivé signály na kmitočtech, které nejsou celistvými násobky základního kmitočtu, označované jako meziharmonické. Tyto nepříjemné rušivé signály vznikají zejména při rychlé fázové regulaci, při provozu obloukových pecí, frekvenčních měničů velkých výkonů apod. Rovněž signály hromadného dálkového ovládání je nutno z pohledu čistoty napájecí sítě považovat za rušivé signály.

Kvalita elektrické energie

Kvalita elektrické energie je dnes specializace v oboru výroba, přenos a distribuce elektrické energie. Základní pohled na kvalitu elektrické energie vychází z dodržení ukazatelů kvality, jako jsou zejména :

- harmonické, meziharmonické
- účinník $\cos \varphi$
- schopnost dodat požadované množství energie
- kolísání napětí
- poklesy a krátká přerušení napětí
- nesymetrie napětí
- změny kmitočtu sítě
- dodržení míry vjemu blikání
- stejnosměrné složky atd.

Tyto ukazatele nejsou pochopitelně všechny a bližší kritéria jsou pak stanovena normou ČSN EN 50160. Jeden z rozhodujících bodů distribuční sítě je společný napájecí bod.

Jedná se o bod, kde dochází k předávání elektrické energie od dodavatele k odběrateli, tzn., kde dodavatel měří elektrickou energii a sleduje další ukazatele kvality podchycené ve smlouvě.

Doposud nejsou sledovány všechny zmíněné zpětné vlivy na napájecí síť, nicméně tlak na zvyšování kvality elektrické energie nutí dodavatele k postupnému sledování všech zpětných vlivů.

Normy související s kvalitou elektrické energie

Jak již bylo uvedeno, pojem kvalita elektrické energie je pojem velice obsáhlý. Normy v této oblasti vznikaly mnoho let jak u nás tak ve světě. V současné době se začíná

uplatňovat určitá skupina norem, resp. doporučení jak v IEC, tak již norem evropských a posléze i přijatých jako ČSN. Současný pohled na rozdělení norem zabývajících se energetickým rušením lze rozdělit na základní normy emisí nf rušení a normy popisující prostředí a stanovující kompatibilní úrovně.

Základní normy emise nf rušení

EN 61000-3-2 je ekvivalentní s IEC 1000-3-2 a je zavedena v ČSN EN 61000-3-2 „Meze pro emise harmonických proudů spotřebičů pro domácnost, které mají vstupní fázový proud $\leq 16\text{ A}$ “. Tato norma je revizí IEC 555-2, kterou nahrazuje.

EN 61000-3-3 je ekvivalentní s IEC 1000-3-3 a je zavedena v ČSN EN 61000-3-3 „Meze pro kolísání napětí a blikání způsobené spotřebiči pro domácnost, které mají vstupní fázový proud $\leq 16\text{ A}$ “. Tato norma je rovněž revizí IEC 555-3, kterou nahrazuje. Obě předchozí normy v současné době platí jako ČSN IEC 555-2 a ČSN EN 60555-3.

IEC 1000-3-4 „Meze pro emise harmonických proudů (vstupní fázový proud zařízení $\geq 16\text{ A}$)“.

IEC 1000-3-5 „Meze pro kolísání napětí a blikání (vstupní fázový proud zařízení $\geq 16\text{ A}$)“.

Normy popisu prostředí a stanovující kompatibilní úrovně

IEC 1000-2-1 je zavedena v ČSN IEC 1000-2-1 „Elektromagnetické prostředí pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích.“

IEC 1000-2-2 je zavedena v ČSN IEC 1000-2-2 „Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály v rozvodných sítích nízkého napětí.“

IEC 1000-2-3 je zavedena v ČSN IEC 1000-2-3 „Popis prostředí vyzařovaných jevů a jevů šířených vedením nevztahujících se k síťovému kmitočtu.“

EN 61000-2-4 je ekvivalentní s IEC 1000-2-4 a je zavedena jako ČSN EN 61000-2-4 „Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením v průmyslových závodech.“

Poslední norma, která přímo souvisí s kvalitou elektrické energie, je norma EN 50160, která je rovněž zavedená jako ČSN EN 50160 „

Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě.“

Předchozí dvě skupiny norem odkazují na normy předepisující vlastnosti některé měřicí techniky:

EN 60868 je ekvivalentní s IEC 868 a je zavedena v ČSN EN 60868 „Měřič blikání - specifikace funkce a dimenzování.“

EN 60868-0 je ekvivalentní s IEC 868-0 a je zavedena v ČSN EN 60868-0 „Vyhodnocení míry vjemu blikání.“

EN 61000-4-7 je ekvivalentní s IEC 1000-4-7 a je zavedena v ČSN EN 61000-4-7 „Všeobecná směrnice o měření a měřicích přístrojích harmonických a meziharmonických pro rozvodné sítě a zařízení připojovaná do nich.“

Požadavky na měřicí přístroje

Obor kvality elektrické energie podchycený ve zmíněných normách zavádí a přesně definuje celou řadu pojmů, jako jsou např. harmonické napětí a proudy, kolísání napětí, toky harmonických výkonů, blikání atd. Tyto všechny veličiny je nutno pak v praxi nějakým způsobem zjišťovat. Pokud pomineme teoretické výpočty ve fázi návrhů a projektů nových zařízení, pak vlastní zjišťování zpětných vlivů se provádí speciálními měřicími přístroji většinou vyvinutými pro měření v elektrických sítích. Kvalita, vlastnosti, přesnost, obsluha a další charakteristiky známých analyzátorů by byly jistě zajímavé, ale překračují rámec tohoto článku. Mnohé analyzátory prakticky nerespektují poslední zmíněnou normu IEC 1000-4-7, která kladě poměrně vysoké nároky na kvalitu a rychlost měření hlavně harmonických.

Jeden z mála přístrojů, který plně respektuje nové normy, je přístroj BK 550 „Sdružený analyzátor elektrických sítí“ a jeho výkonnější nástupce BK 550 MULTI, kterým byla provedena v uplynulých letech řada měření a jejichž výsledkem jsou protokoly o měření uvádějící velikost zarušení napájecích sítí a způsob jeho možné eliminace.

Norma ČSN EN 61000-4-7

Norma ČSN EN 61000-4-7 se zabývá oblastí elektromagnetické kompatibility (IEC 1000). Podle zvyklosti číslování převzaté z IEC se tedy jedná o čtvrtou část nazvanou "Zkušební

a měřicí techniky" a díl sedmý popisující "Všeobecný pokyn o měření a měřicích přístrojích harmonických a mezipharmonických pro rozvodné sítě a zařízení připojovaná do nich".

Přestože tato norma, resp. její návrh, existuje již několik let, není doposud veřejnosti známa metodika měření, vycházející z této normy. Hlavně pak není na trhu téměř žádný měřicí přístroj, který by si mohl kdokoliv zakoupit a který by dokázal v plném rozsahu podle této normy měřit. Bohužel díky špatné informovanosti, a v podstatě i neserióznosti některých prodejců, si uživatelé zakupují velice drahé, ekonomicky nerentabilní přístroje. Vlastnosti těchto přístrojů doposud nerespektují v plném rozsahu zmíněnou normu, hlavně v požadavcích na rychlost měření a rychlosti analýzy naměřených dat.

Předmět normy a rozsah použití

Pokyn se týká přístrojové techniky pro měření složek napětí a proudu v kmitočtovém rozsahu 0 - 2 500 Hz, jako zkušební techniky ve smyslu normy IEC-555-2 ("Rušení v distribučních sítích způsobené domácími spotřebiči a podobnými elektrickými zařízeními. Část 2: Harmonické") nebo pro měření ve skutečné rozvodné síti.

Postupy, resp. metody zkoušek, nejsou předmětem této normy, jsou zde pouze uvedena některá zásadní doporučení.

Norma se soustřeďuje hlavně na harmonické síťového kmitočtu, ale zabývá se i tzv. mezipharmonickými složkami.

Všeobecná klasifikace přístrojové techniky

Vzhledem k vysokým požadavkům na kvalitu, rychlost a rozmanitost měření není

nutné, aby přístroj splňoval obecně zmiňované pokyny. Je proto možné konstruovat nebo upravit přístrojovou techniku na pokrytí zvláštních potřeb a aplikací (např. měření ustálených harmonických v síťovém napětí). Přístroje však potom nesplňují požadované vlastnosti a nelze je tudíž použít v plném rozsahu pro měření podle zmiňované normy.

Co ještě norma obsahuje

Norma se podrobně zabývá požadavky na přesnost měření, napěťovými a proudovými vstupy včetně doporučených měřicích rozsahů. Dále předepisuje použití antialiasing filtrů v analogových vstupech. V konečné části se norma zabývá zvláštními případy měření jako je měření fázového úhlu, resp. toků harmonických výkonu, měření zkreslení, měřením nesymetrických složek a konečně měřením mezipharmonických.

Norma klade vysoké nároky na kvalitu měřicích přístrojů. Analyzátoři BK 550 i BK 550 MULTI, jejichž popis bude dále uveden, splňují i tuto část požadavků zmiňované normy.

Naměřená data jsou u obou těchto přístrojů ukládána do souborů rovněž ve smyslu normy ČSN EN 61000 - 4 - 7.

Popis měřicí aparatury BK 550

K měření hodnot fázových napětí a proudů a z nich následný výpočet účinníku $\cos \varphi$, zastoupení harmonických a poruchových stavů v napájecích sítích používá VÚHU, a.s., již několik let špičkovou měřicí aparaturu skládající se z analyzátoru BK 550 a jeho příslušenství, viz obr. 1. Jako příslušenství jsou využívány klešťové proudové snímače MN 71 s rozsahem do 10 A a aktivní proudové smyčky (tzv. Rogovského smyčky) s rozsahem do 3000 A.



Obr. 1 - Analyzátor sítí BK 550

Analyzátor sítí BK 550 slouží k analýze charakteristik odběru elektrické energie, jako jsou :

- Činný, zdánlivý a jalový výkon jednotlivých fází a výkony celkové
- Klasický účinník základní harmonické $\cos \varphi$ jednotlivých fází
- Opravdový účinník λ jednotlivých fází
- Harmonická analýza napětí a proudů v jednotlivých fázích
- Meziharmonické a toky harmonických výkonů

Tyto charakteristiky stanovuje na základě záznamu a vyhodnocení napětí a proudů všech tří fází trojfázové soustavy.

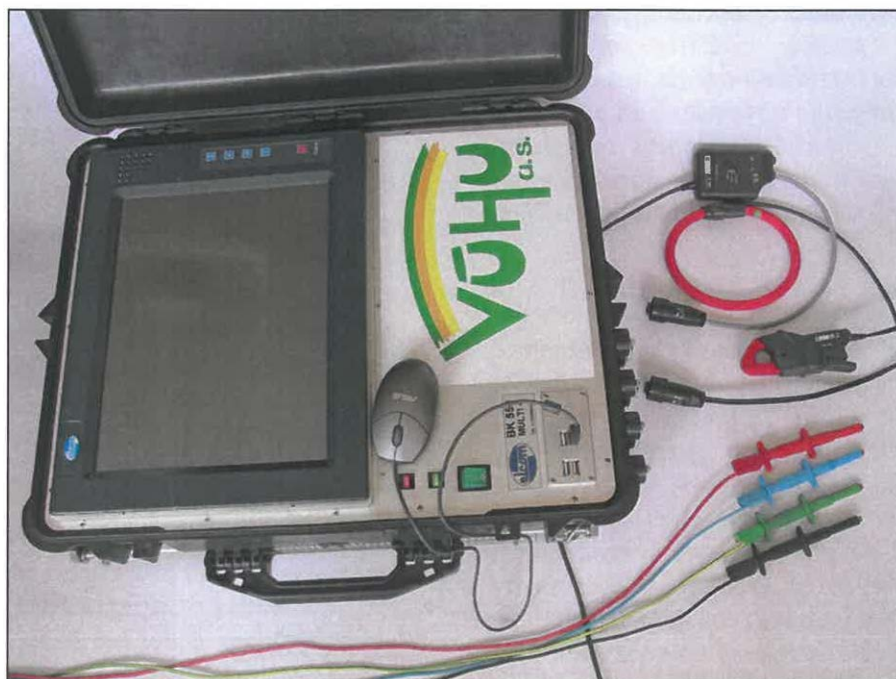
Programové vybavení analyzátoru verze 7.0 a vyšší umožňuje stanovení :

- efektivních hodnot všech tří napětí (fázových či sdružených)
- efektivních hodnot všech fázových proudů
- výkonů činného, zdánlivého a jalového jednotlivých fází i hodnot součtových
- činného a jalového výkonu základní harmonické jednotlivých fází i hodnot součtových
- účinníku základní harmonické jednotlivých fází ($\cos \varphi$)

- opravdového účinníku λ
- činitele harmonického zkreslení napětí a proudů jednotlivých fází
- činné, jalové a zdánlivé energie jednotlivých fází včetně jejich součtů
- harmonických složek všech tří napětí a proudů (až do 50. harmonické)
- meziharmonických složek všech tří napětí a proudů s krokem 1,25 Hz
- toků harmonických výkonů jednotlivých harmonických a meziharmonických
- činitele napěťové nesymetrie

Měřicí aparatura BK 550 MULTI

Z důvodu nutnosti, ze zkušenosti a požadavku provozních měření i v několika různých třífázových soustavách současně v reálném čase, byl na požadavek VÚHU, a.s., navržen a zkonstruován měřicí přístroj BK 550 MULTI, viz obr. 2, což jsou v podstatě čtyři nezávislé přístroje BK 550 v jednom pracující v reálném čase. Tento unikátní přístroj umožňuje měřit až ve čtyřech nezávislých třífázových napájecích sítích současně v reálném čase, a to se stejným komfortem (softwarovým vybavením) jako přístroj BK 550 v jedné třífázové napájecí síti.



Obr. 2 - měřicí přístroj BK 550 MULTI

Legislativní základ EMC

Požadavky EMC vycházejí ze zákona č. 22/1997 Sb. ve znění pozdějších předpisů.

Bezpečnost výrobků vztahující se k jejich elektromagnetické kompatibilitě je stanovena technickým předpisem, vydaným jako Nařízení vlády č. 616/2006 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na výrobky z hlediska jejich elektromagnetické kompatibility. Tyto požadavky jsou definovány takto:

- elektromagnetickou kompatibilitou je schopnost zařízení uspokojivě fungovat v elektromagnetickém prostředí, aniž by samo způsobovalo nepřijatelné elektromagnetické rušení jiného zařízení v tomto prostředí,

Tento technický předpis se vztahuje na všechny přístroje (elektrická a elektronická zařízení včetně vybavení a instalací obsahujících elektrické nebo elektronické součásti), které mohou při své funkci způsobovat elektromagnetické rušení nebo jejichž funkce může být takovým rušením ovlivněna.

Z dosud uvedeného je zřejmé, že splnění požadavků tohoto technického předpisu je třeba vymezit přesněji. To je specifikováno ve výše uvedeném zákonu, přesněji v jeho novele :

§ 4a, (3) : Splnění harmonizované české technické normy, určené normy nebo splnění zahraniční technické normy přejímající v členských státech Evropské unie harmonizovanou evropskou normu, nebo splnění jejích částí se považuje v rozsahu a za podmínek stanovených v technickém předpisu za splnění těch požadavků stanovených technickými předpisy, k nimž se tyto normy nebo jejich části vztahují.

Zákon rovněž definuje zmíněné typy norem. Norma se stává harmonizovanou normou, přejímá-li plně požadavky stanovené harmonizovanou evropskou normou. Jestliže je to nezbytné pro splnění technických požadavků na výrobky, vyplývajících z nařízení vlády vydaného podle tohoto zákona, může Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví určit pro posuzování shody další normy nebo technické dokumenty mezinárodních organizací, obsahující technické požadavky. Výše uvedené skutečnosti lze shrnout :

Z hlediska elektromagnetické kompatibility lze na trh uvést a provozovat pouze takové výrobky a zařízení, které splňují všechny požadavky stanovené Nařízením vlády č. 616/2006 Sb. Tyto požadavky se považují za splněné, pokud výrobek splňuje všechny harmonizované popř. určené normy.

Legislativní základ účinníku $\cos \varphi$

Legislativní dokumenty týkající se účinníku $\cos \varphi$:

- zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)

- zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření s energií.

Vyhláška Energetického regulačního úřadu č. 541/2005 Sb., o pravidlech trhu s elektřinou, zásadách tvorby cen za činnosti operátora trhu s elektřinou a provedení některých dalších ustanovení energetického zákona.

Vyhláška Energetického regulačního úřadu č. 540/2005 Sb. o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice.

Platné cenové rozhodnutí ERÚ, kterým se stanovují ceny elektřiny a souvisejících služeb, z něhož plyne, že každá technologie musí být vykompenzována na hodnotu 0,95 a výše.

Účinník $\cos \varphi$ je veličina, která ještě v nedávné minulosti nebyla ani elektrotechnickou veřejností brána příliš na vědomí. Ve většině případů nebyla měřena a málokdo znal důsledky její přítomnosti v napájecích sítích. V současné době však nabývá na stále větší důležitosti, a to hlavně z hlediska vztahu distributorů a spotřebitelů elektrické energie.

Účinník $\cos \varphi$ je kosinus úhlu fázového posunu mezi 1. harmonickou napětí a proudem. Existence harmonických zvyšuje zdánlivý výkon, pro který platí :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}$$

kde S ... zdánlivý výkon

P ... činný výkon

Q ... jalový výkon

D ... tzv. deformační výkon, který reprezentuje vliv harmonických

Opravdový účinník $\lambda = P/S$ je účinník, který v sobě zahrnuje i tzv. deformační výkon, tedy vliv harmonických proudů a napětí.

Povinnost trvale kompenzovat jalový odběr elektrických zařízení uskutečňovaný s účinníkem jiným než $\cos \varphi = 0,95_{\text{IND}}$ až $\cos \varphi = 1,00_{\text{IND}}$ je každému odběrateli elektrické energie předepsána ve výše uvedených legislativních dokumentech.

Ustanovení těchto závazných dokumentů přebírají do svých „Podmínek dodávky elektrické energie“ distribuční společnosti a prostřednictvím svých provozně obchodních správ je uplatňují více či méně důsledně vůči všem odběratelům elektrické energie.

Kromě toho dává energetický zákon pravomoc Státní energetické inspekci (SEI) vyměřovat zákazníkům, kteří nedodržují podmínky uvedené v jeho §, příslušné značné pokuty.

Cenové přírázky za nedodržení předepsané úrovně $\cos \varphi$ jsou stanoveny pro jednotlivé odběratele elektrické energie podle typu sazby a jsou uvedeny v procentech platby za výkon a elektrickou energii. V ceníku elektrické energie jsou uvedeny přírázky za nedodržení výše uvedených hodnot účinníku $\cos \varphi$ dle platných cenových rozhodnutí ERÚ. Současně s těmito přírážkami dává ceník distributorovi elektrické energie možnost účtovat tzv. nevyžádanou dodávku kapacitního kompenzačního výkonu, jinými slovy překompenzování.

Závěr

Jak bylo dokladováno, důležitost problematiky energetického rušení napájecích sítí nabývá stále větší vážnosti. Výzkumný ústav pro hnědé uhlí, a.s., se touto problematikou intenzivně zabývá. Laboratoř technické diagnostiky je vybavena několika

nejmodernějšími analyzátory, jež splňují i ty nejnáročnější požadavky současné legislativy. Možnosti jednoho z nejvýkonnějších analyzátorů, který umožňuje měřit parametry až čtyř nezávislých napájecích sítí současně jsou popsány v předloženém příspěvku.

Literatura :

- [1] Sborník ERU 1998, 2000, 2002, 2004, 2006
- [2] Korenc, V. – Holoubek, J. : *Kompenzace jalového výkonu v praxi*. Praha, IN-EL, s.r.o. 1999
- [3] Kubík, B. : *Měření proudů pohonů kola a EMC v napájecích sítích 6 kV a 690 V na rýpadle K 2000*, protokol o měření, VÚHU, a.s., 2002
- [4] Kůs, V. : *Vliv polovodičových měničů na napájecí soustavu BEN – technická literatura*, Praha 2002
- [5] Normy o EMC ČSN EN 61000-x-x