

Měření EMC, energetického rušení a účinníku $\cos \varphi$ v napájecích sítích prováděná v rámci úkolu CŠT pro hnědouhelné hornictví

Messungen von EMC, energetischer Störung und dem Leistungsfaktor $\cos \varphi$ in Stromversorgungsnetzen durchgeführt im Rahmen der Aufgabe CŠT für Braunkohlenbergbau

Der Artikel befasst sich mit der Problematik EMC, energetischer Störung, den wichtigsten Normen für Messung und anschließende Qualitätsauswertung elektrischer Energie. Weiter ist im Artikel Problematik des Leistungsfaktors $\cos \varphi$ und das damit verbundene bestehende Recht erwähnt. Zum Schluss sind die Art und die Ergebnisse beschrieben von einer konkreten im Rahmen des Aufgabenfeldes CŠT für Braunkohlenbergbau durchgeführten Messung und das auf dem zur Zeit hochwertigsten Analysator der Versorgungsnetze, Gerät BK 550, das die Elektroabteilung VÚHU, a.s. besitzt.

Measurement of EMC, energy interference and power factor $\cos \varphi$ in supply mains performed on in the scope of Centre of state-of-the-art technologies task for brown coal mining

The report deals with EMC problems, energy interference, the most important standards relevant to measurements and subsequent evaluation of electric power quality. Hereinafter, there are mentioned problems of power factor $\cos \varphi$ and relevant legislature in the report. In conclusion there are described a method and results of particular measurement carried out in the scope of the Centre of state-of-the-art technology task for brown coal mining obtained with today the most superior analyser of supply mains, device BK 550. Electric department of Brown Coal Research Institute is equipped with this device.

Измерения EMC, энергетических интерференций и коэффициента мощности $\cos \varphi$ в сетях питания электрическим током, проведенные в рамках задания Центра прогрессивных технологий для бурогоугольной промышленности

Статья занимается проблематикой EMC, энергетической интерференцией и важнейшими стандартами связанными с измерением и последующей оценкой качества электроэнергии. Кроме того, автор упоминает проблематику коэффициента мощности $\cos \varphi$ включительно соответствующих законодательных мер. В заключение дается описание способа и результатов конкретного измерения, проведенного в рамках данного задания при помощи актуально самого качественного анализатора сетей питания - прибора BK 550 - который имеется в распоряжении электроотделения института ВУГУ Мост, а/о.

Měření EMC, energetického rušení a účinníku $\cos \varphi$ v napájecích sítích prováděná v rámci úkolu CŠT pro hnědouhelné hornictví

Článek se zabývá problematikou EMC, energetickým rušením, nejdůležitějšími normami souvisejícími s měřením a následným vyhodnocováním kvality elektrické energie. Dále je v článku zmíněna problematika účinníku $\cos \varphi$ a s ním související současná legislativa. V závěru je popsán způsob a výsledky konkrétního měření provedeného v rámci úkolu CŠT pro hnědouhelné hornictví v současné době nejkvalitnějším analyzátořem napájecích sítí, přístrojem BK 550, kterým je vybaveno elektrooddělení VÚHU, a.s.

Úvod

Jelikož problematika energetického rušení a zpětných vlivů na napájecí síť, s tím rovněž související účinník $\cos \varphi$ jednotlivých technologií a jeho kompenzace, při zavádění nové moderní polovodičové techniky (polovodičové měniče typů usměrňovače, frekvenční měniče, pulzní měniče apod.), nabývá s připravovaným vstupem do EU stále větší vážnosti a důležitosti, jsou v příspěvku stručně uvedeny nejnovější poznatky z hlediska měření a vyhodnocování veličin charakterizujících vlastnosti napájecích sítí. Dále jsou uvedeny nejnovější normy, jež upravují dosavadní způsoby měření z hlediska rychlosti sbírání a ukládání naměřených dat, dále normy uvádějící povolené limity rušení apod.

Energetické rušení, zpětné vlivy

Zpětné vlivy, jinak též elektromagnetické interference, rušení a jiné používané termíny, lze v zásadě rozdělit do dvou skupin. Hlavní kritérium je kmitočet rušivých signálů. Podle kmitočtu dělíme zpětné vlivy na „Energetické rušení“ (nizkofrekvenční) 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.

Zpětné vlivy na napájecí síť lze rozdělit do následujících oblastí :

- podsynchronní
- synchronní
- 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, svářeční automaty, výkonové regulované pohony s velkou dynamikou (např. pohony válcovacích tratí, DPD, kolesových rýpadel, čerpadel, ventilátorů) apod.

Synchronní oblast představuje 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 . 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 atd. 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
- 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 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 úroveň.

Základní normy emise nf rušení

EN 61000-3-2 je ekvivalentní s IEC 1000-3-2 a bude 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 bude 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 $\geq 16\text{ A}$)“. Tato norma zatím nevyšla.

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

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 bude zavedena jako ČSN EN 61000-2-4 „Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením v průmyslových závodech.“

Poslední norma, která se zavádí a přímo souvisí s kvalitou elektrické energie, je norma EN 50160 připravovaná jako ČSN EN 50160 „Napěťové charakteristiky 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 mezipřeharmonických 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 proudu, 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 příspěvku. Mnohé analyzátory prakticky nerespektují poslední zmíněnou normu **IEC 1000-4-7**, která klade poměrně vysoké nároky na kvalitu a rychlost měření hlavně harmonických.

Jeden z mála přístrojů, jenž plně respektuje nové normy, je přístroj **BK 550** „Sdružený analyzátor elektrických sítí“, kterým VÚHU, a.s., již dva roky provádí měření **EMC** v provozech důlních, ale i jiných společností a kterým byla provedena rovněž měření v rámci úkolu ČST pro hnědouhelné hornictví.

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 meziharmonických pro rozvodné sítě a zařízení připojovaná do nich".

Přestože tato norma resp. její návrh existuje již několik let, není doposud veřejnosti známá metodika měření vycházející z této normy. Hlavně pak není na trhu téměř žádný měřicí přístroj, který by si mohl kdokoli 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 kupují 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 **0-2500 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 soustředí hlavně na harmonické síťového kmitočtu, ale zabývá se i tzv. meziharmonickými 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 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 meziharmonických.

Norma klade vysoké nároky na kvalitu měřicích přístrojů. Analyzátor **BK 550** splňuje i tuto část požadavků zmiňované normy.

Popis měřicí aparatury BK 550

K měření hodnot fázových napětí a proudů, přepětí, podpětí, účinníku $\cos \varphi$ a zastoupení jednotlivých harmonických v napájecích sítích používá **VÚHU, a.s.** špičkovou měřicí aparaturu skládající se z analyzátoru **BK 550** a jeho příslušenství, viz obr. 1. Jako příslušenství jsou při měřeních využívány napěťové sondy do **1000 V**, proudové klešťové ampérmetry **MN 71** s rozsahem do **10 A** a aktivní proudové snímače **Ampflex** s rozsahem do **2000 A**.

Název	BK 550
Výrobce	ELCOM, a.s., DEWETRON, CHAUVIN ARNOUX
Výrobní číslo	1500033
datum kalibrace	18.1.2002

Základní popis přístroje 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

Nejdůležitější normy používané při měřeních EMC provedených přístrojem BK 550

	Číslo normy	Název normy	Označení
	ČSN EN 61000-4-7	Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4: Zkušební a měřicí techniky Díl 7: Všeobecný pokyn o měření a měřicích přístrojích harmonických a meziharmonických pro rozvodné sítě a zařízení připojovaná do nich.	A
	ČSN EN 61000-2-4	Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 2: Prostředí Oddíl 4: Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením v průmyslových závodech	B
	ČSN EN 61000-2-2	Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 2: Prostředí Oddíl 2: Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích nízkého napětí.	C
	(ČSN) EN 50160	Napěťové charakteristiky elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě.	D

Data jsou ukládána do souborů ve smyslu normy ČSN EN 61000-4-7.

Kompatibilní úrovně a standardy

Kompatibilní úrovně

Některá doporučení řady IEC 1000, která byla převzata jako evropské standardy a později jako standardy české, předepisují tzv. kompatibilní úrovně harmonických. Tyto úrovně v podstatě reprezentují únosné meze harmonických a celkového harmonického zkreslení, které by neměly být v měřeném místě překročeny.

Norma ČSN EN 61000-2-4

Tato norma se zabývá kompatibilními úrovněmi v průmyslových sítích a zde definuje vnitřní bod průmyslové sítě, ve kterém nás zajímá energetické rušení. V grafech, které znázorňují spektrum harmonických, jsou povolené kompatibilní úrovně znázorněny. Zmíněná norma rozděluje kompatibilní úrovně do tří tříd podle prostředí. Třída 3 povoluje nejvyšší hodnoty kompatibilních úrovní a je určena právě pro průmyslové sítě, kde je převážná část zařízení napájena přes polovodičové měniče.

Princip měření harmonických

Analýzátor **BK 550** měří harmonické v souladu s normou **ČSN EN 61000-4-7**, kde je základní pohled na harmonické resp. rušivé kmitočty rozdělen do čtyř skupin :

- kvazistacionární (pomalu proměnné) harmonické
- kolísající harmonické
- rychle se měnící harmonické
- mezipharmonické a jiné rušivé složky

Nejvyšší nároky na rychlost měření a zpracování dat je u rychle se měnících harmonických. Zde je nutno v časovém okně (80 ms až 160 ms) po ovzorkování měřených napětí získat harmonickou analýzu do řádu 50 (2,5 kHz) a bez přerušení během dalších časových oken vzorkování a výpočet opakovat. Současně je nutno pro každou harmonickou počítat po dobu 160 ms kvadratický průměr. Výsledkem je pak 50 harmonických pro každou fázi každých 160 ms. V normě se tato časová hodnota nazývá jako T_{VS} (very short time interval) a harmonické takto získané jsou základním stavební hodnotou pro další statistické zpracování. Další statistické pohledy na zpracování těchto harmonických jsou průměrné hodnoty z 10 minut, 1 hodiny, 1 dne a 1 týdne.

Kolísající harmonické

V případě měření zpětných vlivů pohonné soustavy tvořené měniči kmitočtu je nutno posuzovat harmonické jako rychle se měnící harmonické a proto pro ně platí ta nej přísnější kritéria na měření a zpracování, která jsou vysvětlena v předchozím odstavci „**Princip měření harmonických**“.

Harmonická napětí

Součástí požadavků na komplexní analýzu sledovaného zařízení pro uvedenou napájecí síť je harmonická analýza napětí.

Měření harmonických napětí je při všech měřeních prováděno pomocí přístroje **BK 550**, v němž je zapnut mimo jiné i virtuální přístroj **FFT Analyzátor**.

V grafech výsledných protokolů jsou zároveň znázorněny kompatibilní úrovně pro vnitřní bod průmyslové sítě třídy 1,2,3 podle normy **ČSN EN 61000-2-4**. Hodnoty

harmonických jsou v procentech vztažených k základní harmonické měřeného napětí. Na svislé ose je zvoleno logaritmické měřítko z důvodů větší vizuální rozlišitelnosti.

Legislativní základ EMC

Požadavky EMC vycházejí ze zákona č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky, který byl změněn novelou vydanou jako zákon č. 71/2000 Sb.

§ 8, (1) : Výrobce a dovozce je povinen z hlediska EMC uvádět na trh jen bezpečné výrobky a zařízení.

(5): Za bezpečný se považuje výrobek splňující požadavky příslušného technického předpisu, nebo pokud pro něj technický předpis neexistuje, buď splňující požadavky norem, anebo odpovídající stavu vědeckých a technických poznatků známých v době jeho uvádění na trh.

Bezpečnost výrobků vztahující se k jejich elektromagnetické kompatibilitě je stanovena technickým předpisem, vydaným jako **Nařízení vlády č. 169/1997 Sb.**, kterým se stanoví technické požadavky na výrobky z hlediska jejich elektromagnetické kompatibility. Tyto požadavky jsou definovány takto:

- maximální úroveň elektromagnetického rušení generovaného jakýmkoli zařízením nesmí narušovat používání jiných přístrojů a zařízení,
- přístroje musí být navrženy a vyrobeny tak, aby v obvyklém prostředí EMC, ve kterém mají být používány, měly odpovídající úroveň elektromagnetické odolnosti, aby byl umožněn jejich nerušený provoz.

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 normy nebo určené normy a v případech vyplývajících z mezinárodní smlouvy též splnění zahraniční technické normy přejímající harmonizovanou evropskou normu se v rozsahu jejího obsahu považuje za splnění požadavků stanoveným nařízením vlády, k němuž se tyto normy 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, která splňují všechny požadavky stanované Nařízením vlády č. 169/1997 Sb. Tyto požadavky se považují za splněné, pokud výrobek splňuje všechny harmonizované popř. určené normy.

Účinit $\cos \varphi$

Účinit $\cos \varphi$ 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.

Účinit $\cos \varphi$ 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

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

Legislativní základ účinitu $\cos \varphi$

Povinnost trvale kompenzovat jalový odběr elektrických zařízení uskutečňovaný s účinitkem jiným než $\cos \varphi = 0,95_{\text{IND}}$ až $\cos \varphi = 1,00_{\text{IND}}$ je každému odběrateli elektrické energie předepsána v následujících legislativních dokumentech :

- **Energetický zákon** (Zákon č. 222/1994 Sb. § 15 odst. 4 písm. b), novelizovaný zákonem č. 458/2000 Sb. Ze dne 28.11.2000 „Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (Energetický zákon)“ a č. 406/2000 Sb. „Zákon o hospodaření s energií“
- **Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu č. 169/1995 Sb. § 6 odst. 2 písm. a),**
- **Ceník elektrické energie** schválený Výměrem Ministerstva financí České republiky č. 01/98.

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

Kromě toho dává Zákon č. 222/1994 Sb. ve svém § 39 pravomoc Státní energetické inspekci (SEI) vyměřit odběratelům, kteří nedodržují podmínky uvedené v jeho § 15, pokutu až do výše 50 milionů korun.

Ve výjimečných případech (například při odběru realizovaném v těsné blízkosti energetické rozvodné stanice) je mezi dodavatelem a odběratelem dohodnuto jiné pásmo tzv. neutrálního účinníku, což platný zákon i prováděcí vyhláška umožňují (například $\cos \varphi = 0,93_{\text{IND}}$ až $\cos \varphi = 0,98_{\text{IND}}$). **Obecně však lze říci, že každý odběratel je povinen jalový výkon kompenzovat.**

Cenové přírážky 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 přírážky za nedodržení výše uvedených hodnot účinníku $\cos \varphi$.

Současně s těmito přírážkami dává ceník distributorovi elektrické energie možnost účtovat tzv. nevyžádanou dodávku kapacitního kompenzačního výkonu, jinými slovy překompenzování. Za každou takto dodanou kvarh je účtováno v současné době 0,38 Kč.

Měření EMC v rámci úkolu ČST

V poslední části článku bude stručně popsáno měření EMC na rýpadle **K 2000**, kde jsou nově instalovány frekvenční měniče **2 x 1000 kW** pro pohon kola. Je zde uveden vzorový protokol měření EMC pohonů vybavených frekvenčními měniči. Měření představuje sejmутí fázových hodnot napětí a proudu, z nichž se následně vypočítávají všechny potřebné veličiny.

Popis připojení měřicí aparatury

Napájecí síť 6 kV

Měření bylo uskutečněno 9.1. 2002 v rozvodně **6 kV**. Napětí pro oba elektromotory **M01** a **M02** bylo snímáno v poli rozváděče **RM 4.2** na svorkovnici **X2**, svorky č. **2,4,6** na sekundární straně přístrojového transformátoru napětí **3x6000 V / 3 x100 V**. Proudby byly snímány v poli rozváděče **RM 4.3 A M01** a **RM 4.3 B M02** na svorkách proudové ochrany **SPAM 150C** na svorkách **6, 7, 8** s proudovým převodem **200/5A**. Pro snímání proudu byly použity klešťové snímače proudu typu **MN 71** s rozsahem do **10 A**.

Napájecí síť 690 V před měničem

Měření bylo uskutečněno 9.1. 2002 v rozvodně **6 kV** v poli rozváděče **11 GF01.1 Koleso M01 Přívod** a **11 GF02.1 Koleso M02 Přívod**. Třífázové napětí bylo měřeno na sekundární straně transformátoru **6000V/690V**. Proudby byly snímány ve stejném rozvaděči na přívodu do měniče. Pro snímání proudu byly použity proudové aktivní snímače **AMPFLEX 2000 A** (obr. 2).



Obr. 1 Analyzátor BK 550®



Obr. 2 Napájecí síť 690 V za měničem, vývod na elektromotory

Měření bylo uskutečněno rovněž 9.1. 2002 v rozvodně 6 kV v poli rozváděče 11 GF01.3 Koleso M01 Střídač Master a 11 GF02.3 Koleso M02 Střídač Slave. Třífázové napětí bylo měřeno na výstupu z měniče. Proudby byly snímány pomocí proudových klešťových snímačů AMPFLEX 2000 A na výstupu pro elektromotory.

Výsledky měření

Výsledky měření jsou nejlépe patrné z příloh 1 až 7, které jsou součástí příspěvku, pro napájecí soustavu 6 kV, pro elektromotor M01. Na každé z uvedených příloh jsou zaznamenány všechny důležité informace popisující dané měření.

Síť 6 kV elektromotor M01

Na těchto přílohách je zachycena běžná těžba několika třisek druhé lávky.

Příloha 1 V horním grafu přílohy jsou uvedeny **efektivní hodnoty fázového napětí** ve všech třech fázích napájecí soustavy **6 kV**, jež se pohybují v mezích od **3520 V do 3640 V**. Je zřejmé, že podmínka kolísání napájecí sítě $\pm 10 \%$ je dodržena. Ve spodním grafu jsou zobrazeny **fázové hodnoty proudů**, jež se při těžbě pohybují **do 130 A**. Z grafu je patrný rovnoměrný odběr ze všech třech fází a je zřejmé omezení proudu na hodnotě 130 A.

Příloha 2 V horním grafu přílohy je uveden **celkový činný výkon** odebíraný z napájecí sítě **6 kV**. Ten se při těžbě pohybuje v mezích od **100 do 1300 kW**. Rovněž z tohoto grafu je zřejmé omezení výkonu na hodnotě **1300 kW**. Ve spodní části přílohy je zobrazen celkový účinník $\cos \varphi$ první harmonické. Ten dosahuje při těžbě hodnoty od **0,93 do 0,97**.

Příloha 3 Uvádí procentuální zastoupení jednotlivých harmonických **napětí** ve všech třech fázích napájecí soustavy **6 kV**. V grafech jsou dále uvedeny maximální a limitní hodnoty pro jednotlivé harmonické.

Příloha 4 Uvádí tabulku harmonických **napětí** v jednotlivých fázích napájecí soustavy **6 kV**. V tabulce jsou uvedeny číselné hodnoty jednotlivých harmonických a limitní hodnoty povolené normou **ČSN EN 61000-2-4**. Z tabulky vyplývá, že ani jedna z hodnot nepřekračuje limity povolené uvedenou normou.

Příloha 5 Uvádí procentuální zastoupení jednotlivých harmonických **proudů** ve všech třech fázích napájecí sítě **6 kV**.

Příloha 6 Uvádí tabulku harmonických **proudů** v jednotlivých fázích napájecí soustavy **6 kV**. V tabulce jsou uvedeny číselné hodnoty jednotlivých harmonických proudů.

Příloha 7 V horním grafu přílohy jsou uvedeny **maximální hodnoty fázových napětí** napájecí soustavy **6 kV**, jejichž amplitudy dosahují při běžném provozu hodnot **5028 V**. Ve spodním grafu jsou zobrazeny **maximální fázové hodnoty proudů**, jejichž amplitudy dosahují při běžném provozu hodnot až **200 A**.

Závěr

Z obrázků je patrné, že obsah jednotlivých harmonických v napájecí síti 6 kV nedosahuje normou ČSN EN 61000-2-4 povolených limitních hodnot. Oba pohony kola na rýpadle je možné v této napájecí síti takto provozovat. Rovněž velikost účinníku v napájecí síti 6 kV nedosahuje kritických hodnot. Také pokles napětí vyhovuje podmínce $\pm 10 \%$ normy ČSN EN 50160.

Zhodnocení měření harmonických

V odstavci Princip měření harmonických je stručně vysvětlena metoda měření harmonických v souladu se standardy IEC a ČSN, hlavně s normou ČSN EN 61000-4-7, která kromě jiného rozděluje harmonické z hlediska jejich rychlosti změny. Tato norma současně předepisuje postup při měření a následné statistické zpracování harmonických napětí.

Na obrázcích jsou znázorněny průběhy napětí a proudů napájecí soustavy i kompatibilní úrovně, tedy úrovně harmonických napětí, kterých mohou skutečné hodnoty harmonických dosahovat, aniž by byla ohrožena kompatibilita systému.

Jak je zřejmé z obrázků, jsou úrovně harmonických napětí změřených v napájecí síti 6 kV, hluboko pod kompatibilními úrovněmi zvolenými pro typ sítě a prostředí, tedy třídu 3. Z toho vyplývá, že ve sledovaném bodě napájecí sítě jsou s vysokou rezervou splněny povolené hodnoty harmonických napětí. Z tohoto pohledu napájecí soustava vyhovuje.

Celkové zhodnocení

Harmonické

Zařízení vyhovuje doporučeným hodnotám v normě ČSN EN 61000-2-4 třída 3

Kolísání napětí

Napětí v napájecí síti 6 kV vyhovuje mezím $\pm 10 \%$, jak požaduje norma ČSN EN 50160

Na základě naměřených hodnot a jejich následného vyhodnocení bylo vypracováno následující doporučení:

Vzhledem ke zcela vyhovující bilanci harmonické analýzy v napájecí síti 6 kV není v současné době nutné provádět na elektrické výbavě obou pohonů kola na rýpadle žádné dodatečné úpravy (instalace filtrů nebo kompenzačního zařízení apod.) z hlediska normy ČSN EN 61000-2-4.

Rovněž z hlediska dodržení podmínek normy (ČSN) EN 50160 nejsou nutná jakákoli opatření.



Protokol z monitoru energií a výkonů

Místo měření: DB K2000

Začátek měření: 13:57:57 09.01.2002

Konec měření: 14:25:34 09.01.2002

Ukládací Interval: 8Tsig

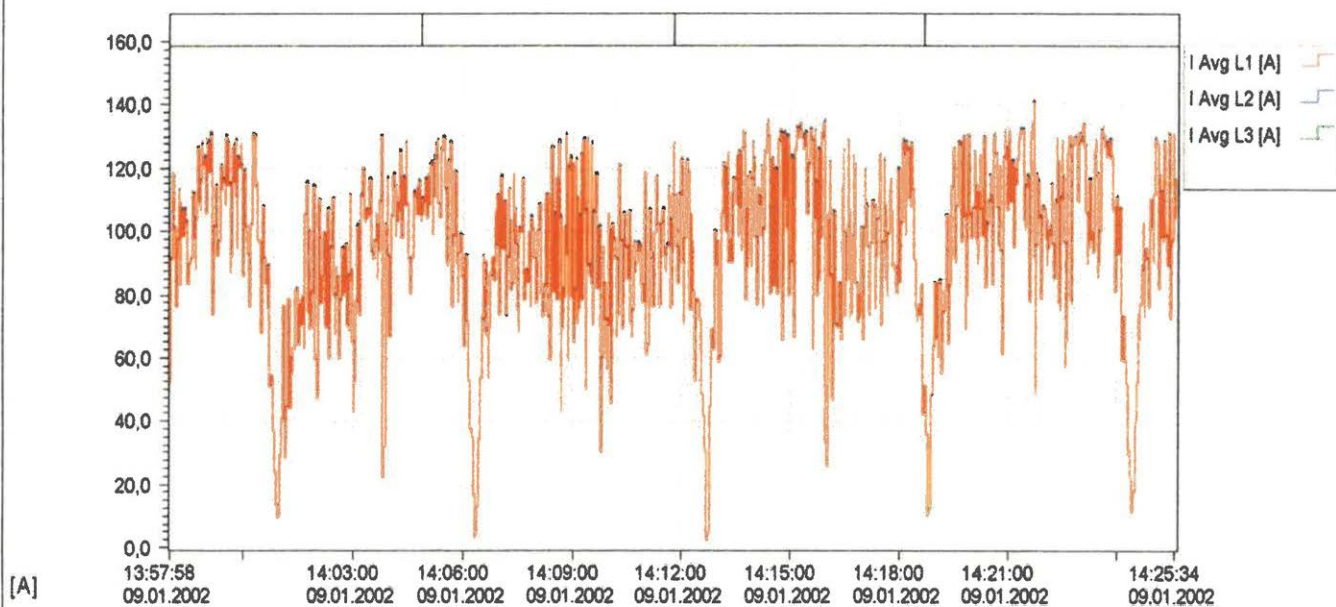
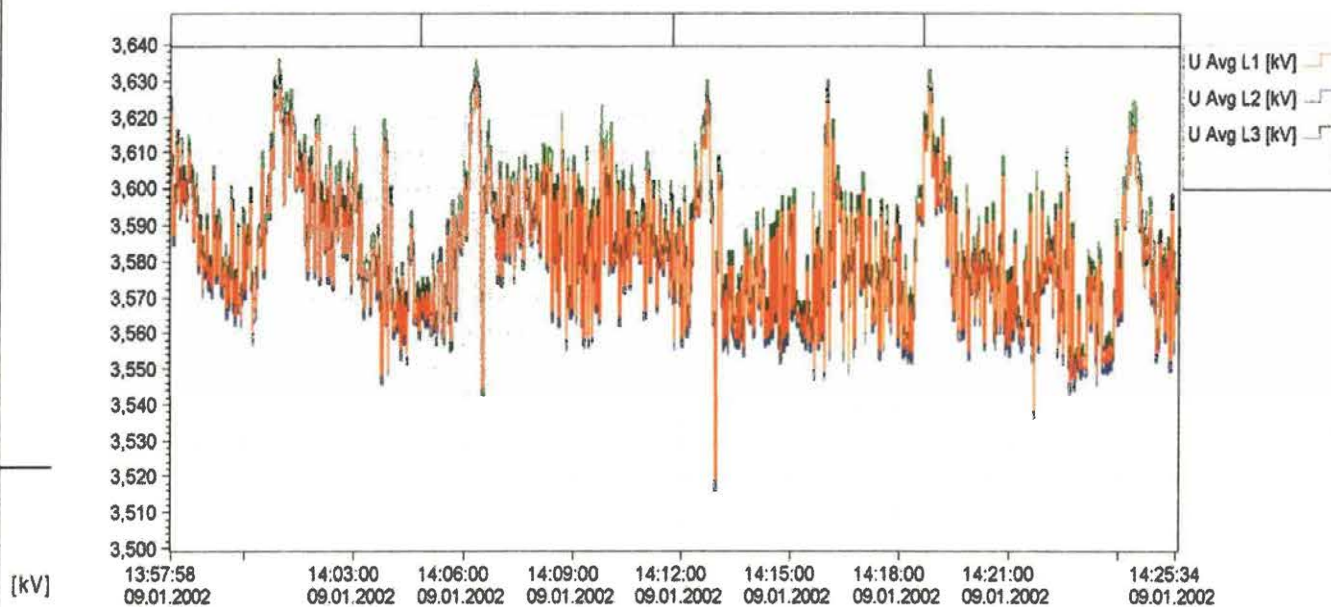
Referenční napětí: 6,000 kV

Měření prováděl: Ing. Kubík Bohumír

Přístroj: BK550, 1.2.4, Licence: VÚHU, a.s.

Popis: síť 6 kV M01

Hodnoty v čase:



V: Mostě

Dne: 15.1.2002

Podpis:



Protokol z monitoru energií a výkonů

Místo měření: DB K2000

Začátek měření: 13:57:57 09.01.2002

Konec měření: 14:25:34 09.01.2002

Ukládací Interval: 8Tsig

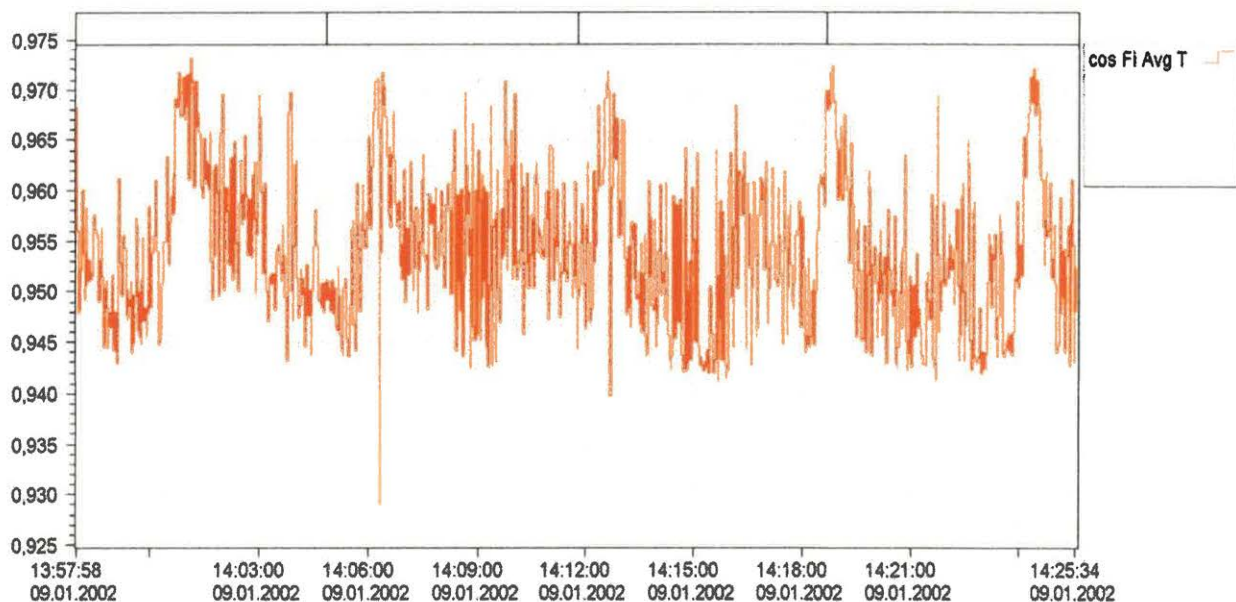
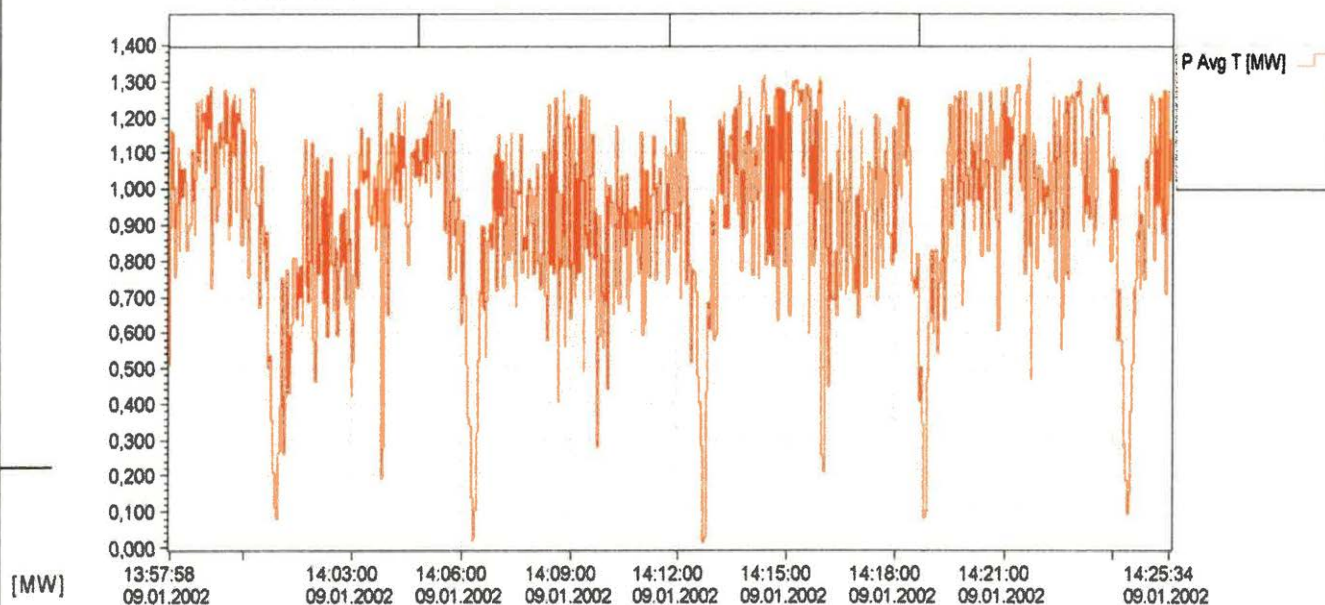
Referenční napětí: 6,000 kV

Měření prováděl: Ing. Kubík Bohumír

Přístroj: BK550, 1.2.4, Licence: VÚHU, a.s.

Popis: síť 6 kV M01

Hodnoty v čase:



V: *Mosť*

Dne: *15. 1. 2002*

Podpis:

Místo měření: DB K2000

Začátek měření: 13:57:57 09.01.2002

Konec měření: 14:25:34 09.01.2002

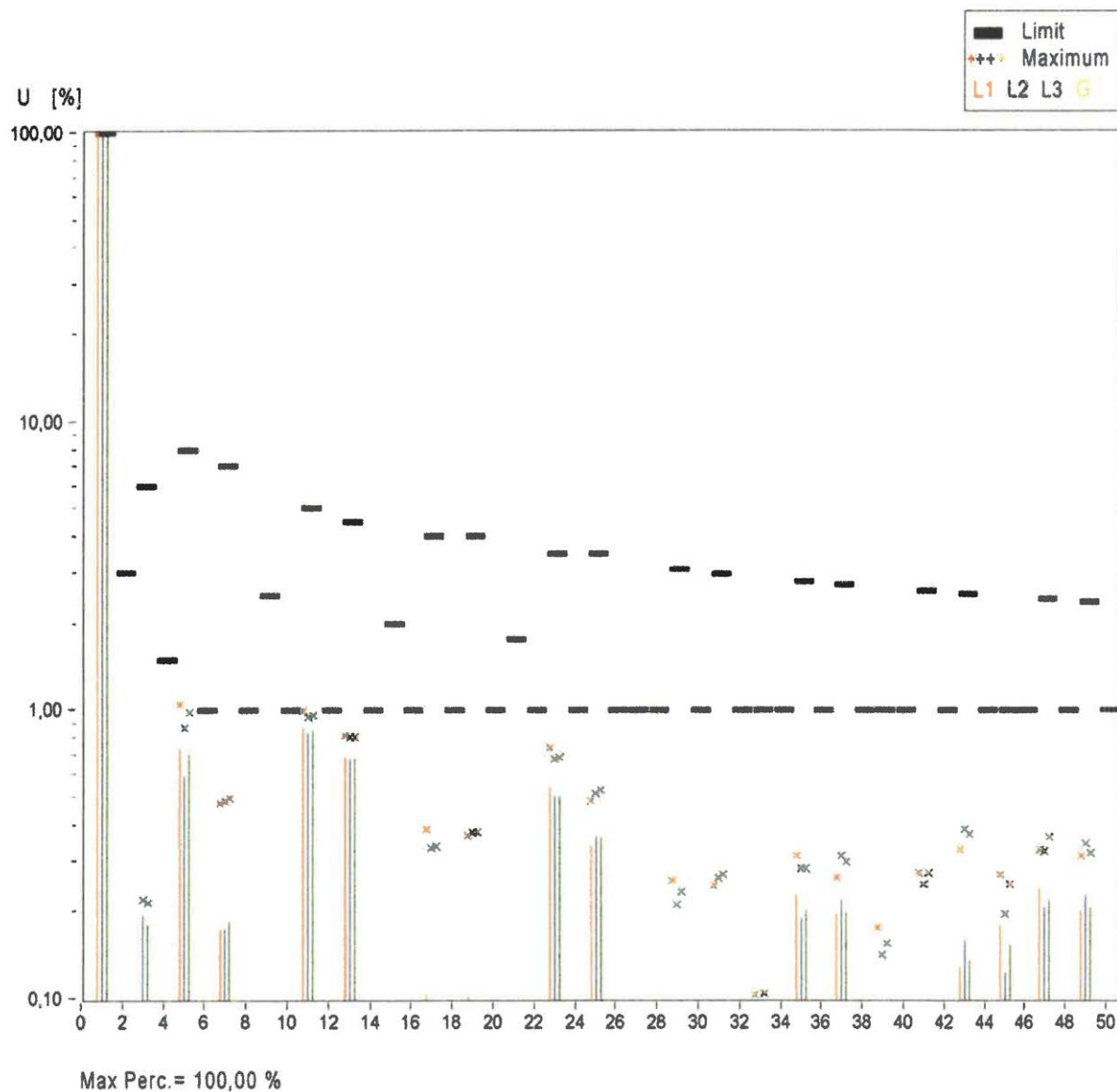
Ukládací interval: 8Tsig

Referenční napětí: 6,000 kV

Měření prováděl: Ing. Kubík Bohumír

Přístroj: BK550, 1.2.4, Licence: VÚHU, a.s.

Popis: síť 6 kV M01



Harm.	U L1 [%]		U L2 [%]		U L3 [%]		U N [%]		Limit
	Avg	Max Perc.	Avg	Max Perc.	Avg	Max Perc.	Avg	Max Perc.	
1.	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00			100,00
2.	0,03	0,08	0,03	0,06	0,03	0,07			3,00
3.	0,04	0,08	0,19	0,22	0,18	0,21			6,00
4.	0,02	0,05	0,01	0,03	0,02	0,04			1,50
5.	0,74	1,04	0,59	0,87	0,70	0,98			8,00
6.	0,02	0,04	0,01	0,03	0,01	0,03			1,00
7.	0,17	0,48	0,17	0,48	0,18	0,49			7,00
8.	0,02	0,04	0,01	0,03	0,01	0,04			1,00
9.	0,05	0,08	0,03	0,05	0,02	0,04			2,50
10.	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03			1,00
11.	0,86	0,99	0,82	0,94	0,84	0,96			5,00
12.	0,02	0,04	0,02	0,04	0,01	0,02			1,00
13.	0,68	0,81	0,67	0,81	0,67	0,80			4,50
14.	0,01	0,03	0,01	0,03	0,02	0,03			1,00
15.	0,01	0,04	0,03	0,06	0,03	0,05			2,00
16.	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02			1,00
17.	0,10	0,38	0,08	0,33	0,08	0,33			4,00
18.	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02			1,00
19.	0,10	0,37	0,09	0,37	0,10	0,37			4,00
20.	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02			1,00
21.	0,02	0,05	0,04	0,07	0,03	0,07			1,75
22.	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03			1,00
23.	0,54	0,74	0,50	0,68	0,50	0,68			3,50
24.	0,02	0,04	0,02	0,05	0,01	0,03			1,00
25.	0,33	0,48	0,36	0,51	0,36	0,53			3,50
26.	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03			1,00
27.	0,02	0,06	0,04	0,08	0,04	0,09			1,00
28.	0,01	0,04	0,01	0,02	0,01	0,03			1,00
29.	0,07	0,26	0,06	0,21	0,07	0,23			3,08
30.	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03			1,00
31.	0,07	0,25	0,07	0,26	0,07	0,27			2,98
32.	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,02			1,00
33.	0,07	0,10	0,05	0,09	0,06	0,10			1,00
34.	0,01	0,04	0,01	0,02	0,01	0,03			1,00
35.	0,23	0,31	0,19	0,28	0,20	0,28			2,80
36.	0,01	0,03	0,02	0,04	0,01	0,03			1,00
37.	0,20	0,26	0,22	0,31	0,20	0,30			2,73
38.	0,01	0,03	0,01	0,04	0,01	0,03			1,00
39.	0,06	0,18	0,05	0,14	0,05	0,16			1,00
40.	0,01	0,04	0,01	0,03	0,01	0,02			1,00
41.	0,09	0,27	0,07	0,25	0,08	0,27			2,59
42.	0,02	0,04	0,02	0,05	0,02	0,04			1,00
43.	0,13	0,33	0,16	0,38	0,13	0,37			2,53
44.	0,02	0,05	0,02	0,05	0,01	0,03			1,00
45.	0,18	0,27	0,12	0,20	0,15	0,25			1,00
46.	0,02	0,05	0,01	0,04	0,02	0,04			1,00
47.	0,24	0,33	0,21	0,32	0,22	0,36			2,42
48.	0,02	0,05	0,02	0,05	0,01	0,04			1,00
49.	0,20	0,31	0,23	0,35	0,21	0,32			2,37
50.	0,03	0,08	0,02	0,04	0,02	0,04			1,00
THD	1,64	1,92	1,53	1,81	1,58	1,87			

Max Perc. = 100,00 %

Čas počátku měření

13:57:57,92
09.01.2002

Čas konce měření

14:25:34,35
09.01.2002

Žádná z hodnot nepřekročila limit

V: Mastec

Dne: 15.1.2002

Podpis:



Místo měření: DB K2000

Začátek měření: 13:57:57 09.01.2002

Konec měření: 14:25:34 09.01.2002

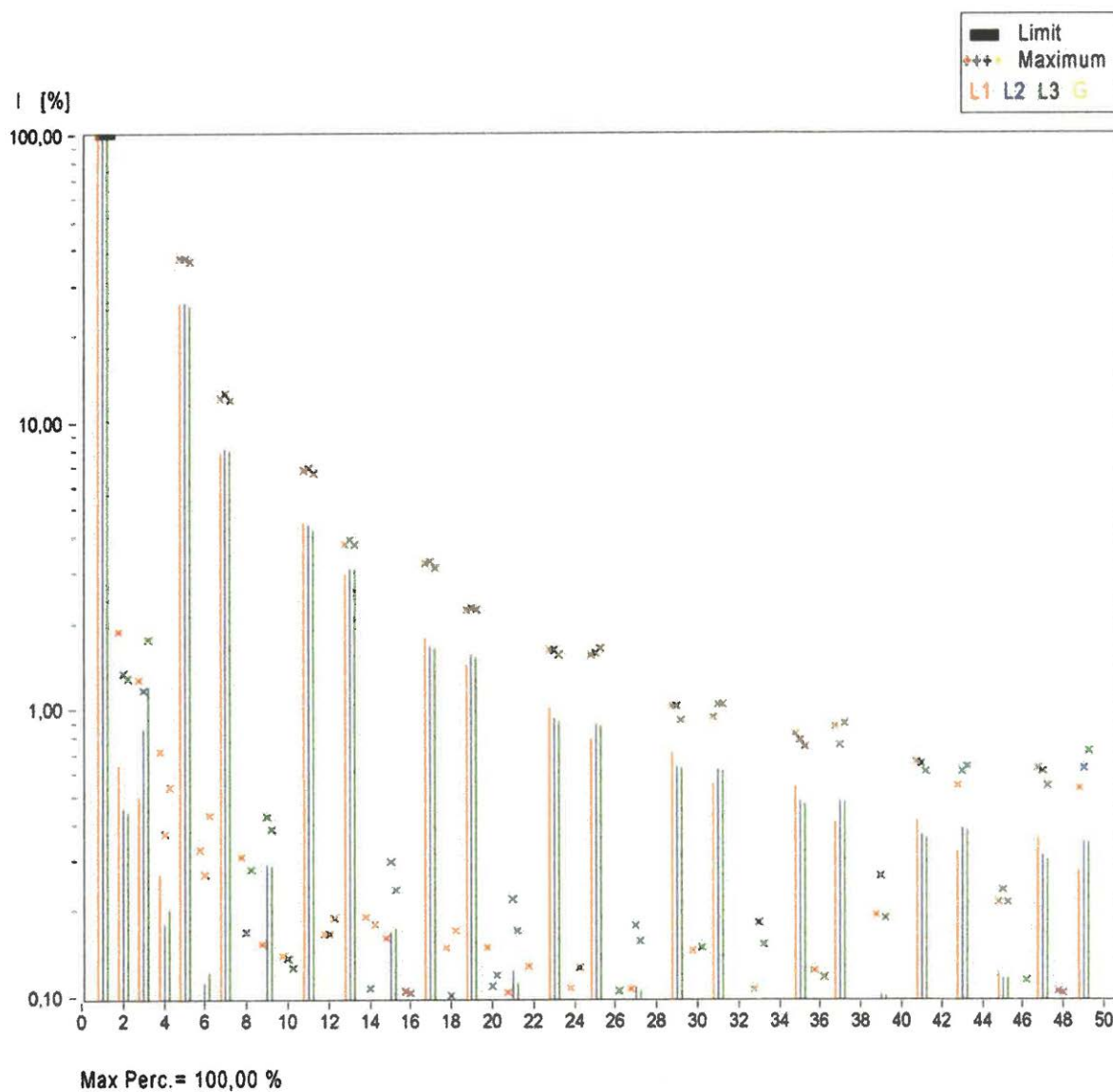
Ukládací interval: 8Tsig

Referenční napětí: 6,000 kV

Měření prováděl: Ing. Kubík Bohumír

Přístroj: BK550, 1.2.4, Licence: VÚHU, a.s.

Popis: síť 6 kV M01



Harm.	IL1 [%]		IL2 [%]		IL3 [%]		IN [%]		Limit
	Avg	Max Perc.	Avg	Max Perc.	Avg	Max Perc.	Avg	Max Perc.	
1.	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00			100,00
2.	0,64	1,88	0,45	1,35	0,44	1,29			Inf
3.	0,50	1,27	0,85	1,16	1,19	1,75			Inf
4.	0,27	0,72	0,18	0,37	0,20	0,54			Inf
5.	26,05	37,38	25,94	37,41	25,45	36,34			Inf
6.	0,06	0,33	0,11	0,27	0,12	0,43			Inf
7.	7,82	12,21	8,05	12,54	7,92	12,07			Inf
8.	0,08	0,31	0,07	0,17	0,08	0,28			Inf
9.	0,05	0,15	0,29	0,43	0,28	0,38			Inf
10.	0,04	0,14	0,04	0,14	0,03	0,13			Inf
11.	4,48	6,86	4,39	6,95	4,24	6,72			Inf
12.	0,05	0,17	0,06	0,17	0,06	0,19			Inf
13.	2,97	3,74	3,10	3,93	3,09	3,76			Inf
14.	0,05	0,19	0,03	0,11	0,05	0,18			Inf
15.	0,04	0,16	0,17	0,30	0,17	0,24			Inf
16.	0,03	0,11	0,03	0,10	0,03	0,08			Inf
17.	1,78	3,23	1,66	3,28	1,63	3,14			Inf
18.	0,03	0,15	0,04	0,10	0,04	0,17			Inf
19.	1,45	2,22	1,54	2,25	1,51	2,23			Inf
20.	0,03	0,15	0,03	0,11	0,03	0,12			Inf
21.	0,03	0,10	0,12	0,22	0,11	0,17			Inf
22.	0,02	0,13	0,02	0,08	0,02	0,07			Inf
23.	1,01	1,61	0,93	1,62	0,91	1,55			Inf
24.	0,03	0,11	0,03	0,09	0,03	0,13			Inf
25.	0,79	1,54	0,88	1,58	0,87	1,63			Inf
26.	0,03	0,09	0,03	0,09	0,03	0,11			Inf
27.	0,03	0,11	0,11	0,18	0,11	0,16			Inf
28.	0,02	0,09	0,02	0,08	0,02	0,08			Inf
29.	0,70	1,03	0,64	1,04	0,62	0,92			Inf
30.	0,03	0,14	0,03	0,08	0,02	0,15			Inf
31.	0,55	0,94	0,62	1,05	0,61	1,04			Inf
32.	0,02	0,08	0,02	0,08	0,03	0,09			Inf
33.	0,05	0,11	0,09	0,18	0,09	0,15			Inf
34.	0,02	0,07	0,02	0,07	0,02	0,08			Inf
35.	0,54	0,82	0,48	0,78	0,47	0,74			Inf
36.	0,02	0,12	0,03	0,06	0,03	0,12			Inf
37.	0,41	0,87	0,48	0,76	0,48	0,89			Inf
38.	0,02	0,07	0,02	0,07	0,03	0,07			Inf
39.	0,09	0,19	0,10	0,27	0,10	0,19			Inf
40.	0,02	0,06	0,02	0,07	0,02	0,07			Inf
41.	0,41	0,65	0,37	0,65	0,36	0,61			Inf
42.	0,02	0,09	0,03	0,07	0,02	0,09			Inf
43.	0,32	0,54	0,39	0,61	0,38	0,63			Inf
44.	0,02	0,08	0,02	0,07	0,02	0,07			Inf
45.	0,12	0,21	0,12	0,24	0,12	0,22			Inf
46.	0,02	0,08	0,02	0,06	0,02	0,12			Inf
47.	0,36	0,62	0,31	0,61	0,30	0,54			Inf
48.	0,03	0,11	0,03	0,10	0,03	0,08			Inf
49.	0,28	0,53	0,35	0,62	0,34	0,71			Inf
50.	0,02	0,08	0,02	0,08	0,02	0,07			Inf
THD	27,97	40,59	27,94	40,71	27,42	39,54			

Max Perc. = 100,00 %

Čas počátku měření

13:57:57,92
09.01.2002

Čas konce měření

14:25:34,35
09.01.2002

Žádná z hodnot nepřekročila limit

V: Masto

Dne: 15. 1. 2002

Podpis:





Protokol z transient zapisovače, hodnoty v čase

Místo měření: DB K2000

Začátek měření: 14:04:22 09.01.2002

Konec měření: 14:04:27 09.01.2002

Ukládací interval:

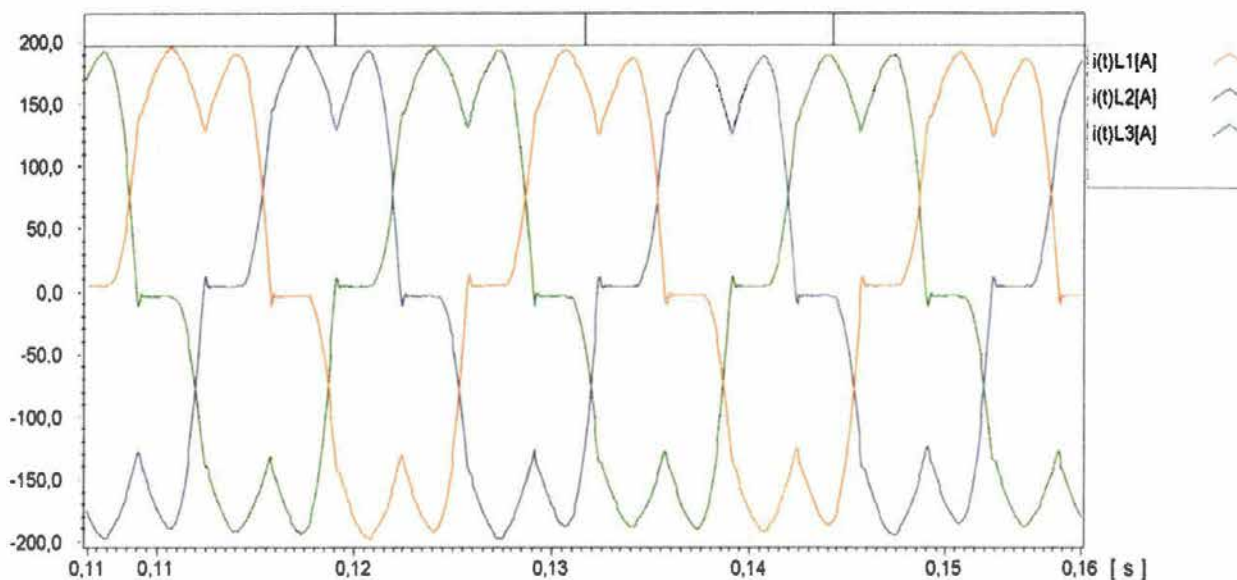
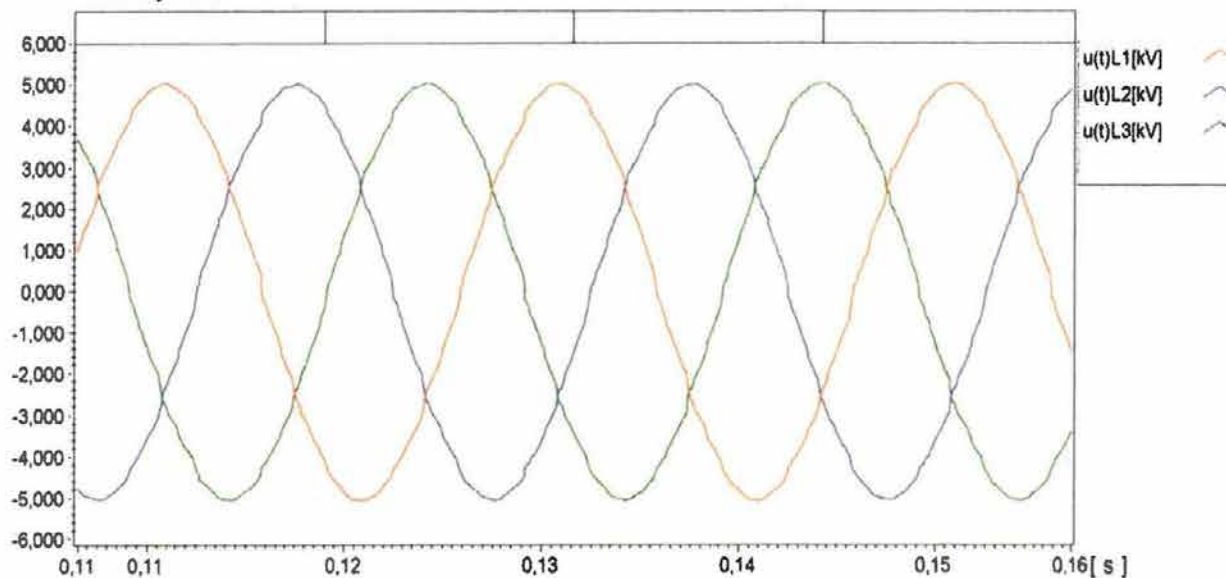
Referenční napětí: 6,000 kV

Měření prováděl: Ing. Kubík Bohumír

Přístroj: BK550, 1.2.4, Licence: VÚHU, a.s.

Popis: síť 6 kV M01

Hodnoty v čase



Trigger: Datum: 09.01.2002, Čas: 14:04:25.153, Podmínka: I rms, Fáze: L1 L2 L3

V: Hostě Dne: 15.1.2002

Podpis: