

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní



Diplomová práce

Harmonické zkreslení napájecí sítě

Harmonic distortion of supply network

Lucie Vojtová

Liberec 2000

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Obor: „Řízení technologických procesů“
obor 31-26-8

Harmonické zkreslení napájecí sítě

Harmonic distortion of supply network

Lucie Vojtová

Vedoucí diplomové práce:

Doc. Ing. Eva Konečná, CSc.

Konzultant:

Doc. Ing. Aleš Richter, CSc.

Rozsah práce:

Počet stran: 62
Počet obrázků: 13
Počet tabulek: 12
Počet grafů: 8

Datum: 1.9.2000

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Katedra elektrotechniky a elektromechanických systémů

Školní rok: 1999/2000

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro **Lucii Vojtovou**
obor **Textilní technologie**
zaměření **Řízení technologických procesů**

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: **Harmonické zkreslení napájecí sítě**

Zásady pro vypracování :

1. Seznamte se podrobně s problematikou elektromagnetické kompatibility a nízkofrekvenčního rušení v distribučních rozvodných sítích.
2. Zmapujte energetickou síť určených administrativních a průmyslových provozů. Určete zdroje rušení a vymezte elektromagnetické prostředí.
3. Změřte harmonické zkreslení napětí a proudu v těchto provozech na jednotlivých odběrových místech.
4. Vyhodnoťte poznatky zjištěné v bodech 2 a 3 z hlediska ČSN 33 3430-1, -2, -3, -4.
5. Proveďte rozbor současného stavu a navrhnete technická opatření na nejvýhodnější odběr elektrické energie z hlediska elektromagnetické kompatibility i cen.

Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace

Rozsah průvodní zprávy: cca 35 stran včetně příloh a dokumentace

Seznam odborné literatury:

- [1] Hudec, J.: Přepětí a elektromagnetická kompatibilita, nakladatelství Hakel, Hradec Králové 1996,
- [2] Sborník přednášek z konference „Elektromagnetická kompatibilita“, Brno, říjen 1996,
- [3] Sborník z konference ERU'98, Brno listopad 1998,
- [4] České státní normy řady ČSN 33 3430,
- [5] Kapoun, M.: Vliv polovodičových měničů na energetickou síť v textilním provozu, diplomová práce, TU Liberec 1997.

Vedoucí diplomové práce:

Doc. Ing. Eva Konečná, CSc.

Konzultant:

Doc. Ing. Aleš Richter, CSc.

Zadání diplomové práce: **1.11. 1999**

Termín odevzdání diplomové práce: **31.5. 2000**



Prof. Ing. Jaroslav Nosek, CSc.

vedoucí katedry

Prof. Ing. Jiří Militky, CSc.

děkan TF

V Liberci dne 29.10. 1999

Anotace

Technická univerzita v Liberci

Fakulta textilní

Katedra elektrotechniky a elektromechanických systémů

Obor:	Řízení technologických procesů 31-26-8
Diplomant:	Lucie Vojtová
Téma:	Harmonické zkreslení napájecí sítě
Vedoucí DP:	Doc. Ing. Eva Konečná, CSc.

Stručný obsah:

Cílem diplomové práce je shrnout informace o elektromagnetické kompatibilitě a elektromagnetickém rušení se zaměřením na rušení nízkofrekvenční. Podrobněji je zde popsáno zkreslení napájecí sítě harmonickými.

Značná pozornost je věnována též normalizaci v oblasti EMC.

Praktická část je zaměřena na měření harmonických v telefonním centru Komerční banky a. s. v Liberci.

V závěru jsou shrnuta technická opatření pro zmenšení zkreslení napájecí sítě - vývoj v oblasti frekvenčních měničů a filtrace nízkofrekvenčních signálů.

Annotation

Technical University of Liberec

Faculty of textiles

Department of Electronics and Electromechanical systems

Sphere: Control technological process
31-26-8

Range: Lucie Vojtova

Theme: Harmonic distortion of supply network

Tutor of thesis: Doc. Ing. Eva Konečná, CSc.

Resume:

The aim of the desertation work is to resume information about the electromagnetic compatibility and the electromagnetic disturbance, with a view to a low-frequency disturbance. There is a description of distortion of supply network of harmonious in the work.

Considerable attention is also paid to a standardization in areas EMC .

The practical part deals with measuring the harmonious directly in the telephone centre in the Commercial bank a.s. in Liberec.

The summary contents the technical safeguards for reducing distortion of supply network - development in areas of frequency transducer and filtration of low-frequency signals.

Prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci dne: 1. září 2000

Lucie Kojtová

Poděkování:

Touto cestou bych ráda poděkovala Doc. Ing. Evě Konečné, CSc. za odborné vedení a pomoc při zpracování této práce a Doc. Ing. Aleši Richterovi, CSc. za cenné rady a poskytnuté informace. V neposlední řadě bych ráda poděkovala vedení KB a.s. Liberec a Ing. Kapounovi za umožnění přístupu a měření v KB a.s.

OBSAH

OBSAH	8
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	9
1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA	11
1.1 NORMY A PŘEDPISY V OBORU EMC	13
1.1.1 Značka CE	15
1.1.2 Legislativa EMC v České republice	15
1.1.3 Mezinárodní a evropské normy EMC	16
2 ELEKTROMAGNETICKÉ RUŠENÍ	18
2.1 DRUHY RUŠENÍ	19
2.2 NÍZKOFREKVENČNÍ RUŠENÍ	23
2.3 KOMPENZACE HARMONICKÉHO ZKRESLENÍ	26
2.3.1 Pasivní kompenzace	26
2.3.2 Aktivní filtry	29
2.3.3 Volba kompenzačního zařízení	29
2.4 ŠÍŘENÍ RUŠENÍ	31
3 KOMERČNÍ BANKA	32
3.1 CHARAKTERISTIKA NAPÁJECÍ SÍTĚ	32
3.2 PROSTŘEDÍ	34
3.2.1 Prostředí obytné, komerční a lehkého průmyslu	34
3.3 ZDROJE NEPŘERUŠOVANÉHO NAPÁJENÍ (UPS)	35
4 MĚŘENÍ	36
4.1 ZÁKLADNÍ VZORCE	36
4.2 MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE	41
4.2.1 Harmonic & Power meter F27	44
4.2.2 Analyzátor PA 4400	45
4.3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ	46
5 ZÁVĚR	51
LITERATURA	52
POUŽITÉ NORMY	53
PŘÍLOHY	54

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

<i>CENELEC</i>		Evropská komise pro elektrotechnickou standardizaci
<i>CF</i>	[1]	Cresh Factor – vrcholový činitel
<i>EMC</i>		Elektromagnetická kompatibilita
<i>EMI</i>		Úroveň rušení
<i>EMS</i>		Úroveň odolnosti
<i>EN</i>		Evropské normy
<i>ESD</i>		Lokální elektrostatický výboj
<i>EU</i>		Evropská unie
<i>HDO</i>		Hromadné dálkové ovládání
<i>IEC</i>		Mezinárodní elektrotechnická komise
<i>L1, L2, L3</i>		Označení jednotlivých fází
<i>LEMP</i>		Strmý elektromagnetický impuls
<i>N</i>		Nulovací vodič
<i>NEMP</i>		Nukleární elektromagnetický impuls
<i>nf</i>		Nízkofrekvenční rušení
<i>nn</i>		Nízké napětí
<i>Obr.</i>		Obrázek
<i>p(t), u(t), i(t)</i>	(<i>W, V, A</i>)	Okamžité hodnoty výkonu, napětí proudu
<i>PE</i>		Zemnicí vodič
<i>PEAK</i>	(<i>A</i>)	Maximální amplituda špička-špička
<i>RMS</i>	(<i>A</i>)	Root Mean Square – odmocnina průměrné plochy
<i>Tab.</i>		Tabulka
<i>THD</i>	(%)	Total Harmonic Distortion – parametr zkreslení
<i>U_{ef}, I_{ef}</i>	(<i>V, A</i>)	Efektivní hodnoty napětí, proudu
<i>UPS</i>		Zdroj nepřetržitého napájení
<i>vf</i>		Vysokofrekvenční
<i>vn</i>		Vysoké napětí
<i>VPM</i>		Výkonové polovodičové měniče
<i>vvn</i>		Velmi vysoké napětí

ÚVOD

Motto:

H.M.Schlike, jeden ze zakladatelů elektromagnetické kompatibility jako nového vědecko-technického oboru již v roce 1968 řekl: *"Systém sám o sobě může být dokonale spolehlivý - bude však prakticky bezcenný v provozu, pokud současně nebude elektromagneticky kompatibilní. Spolehlivost a elektromagnetická kompatibilita jsou neoddělitelné požadavky systému, který má fungovat v každé době a za všech okolností"*.

Dnes můžeme s jistotou říci, že čas mu dal za pravdu.

Změna politické situace v České republice vytvořila podmínky pro nástup nových trendů v oblasti řízení ekonomiky celého národního hospodářství. Omezování monopolů, "otvírání se světu" i důraz na řešení ekologických problémů by zákonitě mělo mít odraz i ve změně pohledů na význam, u nás dosud velmi málo rozvinutého oboru **Elektromagnetická kompatibilita (EMC)**.

Stále větší snaha člověka odstranit namáhavou tělesnou i duševní práci zcela zákonitě vede k neustálému rozvoji všech systémů, spadajících do oblasti elektroinženýrství. V dobách, kdy se jednotlivé "elektrosystémy" provozovaly zcela nezávisle nebo jen s volnou vazbou k ostatním (zdroje a rozvod elektrické energie, elektromotory, rádiové vysílače a přijímače ap.), bylo hlavní snahou specialistů zabezpečit spolehlivou funkci "svého" systému při zachování potřebné ekonomické efektivity. Přitom neuvažovali o tom, jak tento "jejich" systém ovlivňuje funkci ostatních, a jaké prostředky proto musí tyto ostatní systémy vynaložit na odstranění jeho rušivých vlivů k zabezpečení svého spolehlivého provozu. Dnes je však situace zcela jiná.

A právě z tohoto důvodu je cílem této diplomové práce zmapovat oblast elektromagnetické kompatibility od základních pojmů až po normalizaci a legislativu. Praktická část shrnuje výsledky měření harmonického zkreslení proudu v telefonním centru Komerční banky a.s. Liberec

1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA

Stále se zvyšující vybavenost průmyslových, administrativních, ale i obytných objektů elektrickými spotřebiči nejrůznějšího druhu sebou přináší dříve méně výrazné jevy, které vyplývají z možnosti vzájemného rušení jednotlivých elektrických zařízení. Jednotlivé elektrické spotřebiče v sítích nízkého napětí se prostřednictvím této napájecí sítě vzájemně ovlivňují. Úroveň vzájemného ovlivňování je dána elektromagnetickými vlastnostmi napájecí sítě i jednotlivých spotřebičů, tedy úrovní vyzařování rušení do napájecí sítě na jedné straně a odolností proti rušení na straně druhé.

Zatímco ještě před několika desítkami let se vzájemné snášenlivosti elektrických zařízení téměř nebo vůbec nevěnovala pozornost, v dnešním světě protkaném sítěmi mnohých elektronických spotřebičů bylo nutné přijmout celou řadu normalizačních, technických a legislativních opatření, jejichž účelem je přispět k jejich bezporuchovému provozu.

Problematika elektromagnetické kompatibility je tedy novým technickým oborem, který se zabývá celou širokou škálou problémů. Počínaje rádiovým a vysokofrekvenčním rušením, šířícím se vzduchem i po vedení, přes atmosférické a spínací přepětí v napájecích sítích, zkreslení sinusového napájecího napětí, pronikání rušivých napětí síťového kmitočtu i vyšších harmonických do datových a sdělovacích vedení.

Elektromagnetická kompatibilita (EMC), česky překládáno též jako elektromagnetická slučitelnost či snášenlivost, je definována jako schopnost zařízení nebo systému fungovat ve svém elektromagnetickém prostředí bez vytváření nepřijatelného elektromagnetického rušení pro cokoli v tomto prostředí. Norma ČSN IEC 1000-1-1 pak definuje tzv. kompatibilní úroveň, což jsou úrovně rušení pro které by měla být vysoká pravděpodobnost odolnosti jednotlivých zařízení.

Podle této normy je definován vztah mezi termíny úroveň a mez:

Úroveň rušení je rušení generované konkrétním spotřebičem měřené předepsaným způsobem, kdežto **mez rušení** je maximálně dovolená úroveň rušení.

Úroveň odolnosti je maximální úroveň rušení působícího na konkrétní spotřebič, při kterém se nevyskytuje zhoršení provozu, kdežto **mez odolnosti** je nejnižší požadovaná úroveň odolnosti.

Důležitými pojmy přímo souvisejícími s uvedenými, jsou pojmy „kompatibilní úroveň“ a „rezerva elektromagnetické kompatibility“.

Pod **kompatibilní úrovní** rozumíme předepsanou úroveň rušení, při níž by měla být přijatelně vysoká pravděpodobnost EMC.

Rezervou rušení je poměr úrovně EMC a meze rušení.

Rezervou odolnosti je poměr meze odolnosti a úrovně EMC.

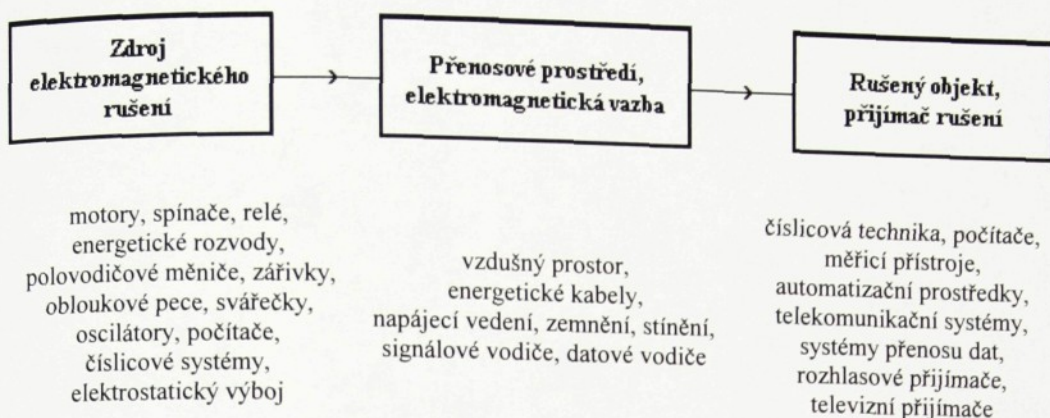
Rezervou EMC je poměr meze odolnosti a meze rušení.

Obr. 1 graficky znázorňuje uvedené pojmy meze, úrovně a kompatibilní úrovně.



Obr.1: Meze a úrovně pro jednotlivý zdroj rušení a rušený objekt jako funkce nezávisle proměnné

Pokud chceme zajistit bezporuchový chod systému (tj. aby byly všechny složky vůči sobě elektromagneticky kompatibilní), musíme nejprve určit jakému rušení musí systém odolávat.



Obr. 2: Základní řetězec EMC a příklady jednotlivých oblastí

1.1 NORMY A PŘEDPISY V OBORU EMC

Evropská unie vytvořila od 1.1.1993 společný trh s volným pohybem zboží, osob, služeb a kapitálu. Tomuto aktu předcházela dlouhodobá spolupráce na sbližování právního řádu, zahrnující všechny nezbytné aspekty legislativy.

Předpokladem pro řádné fungování společného trhu jsou společné, nebo velmi blízké normy a předpisy. Proto se ve všech členských státech prováděla harmonizační opatření podle doporučení Rady EU, nacházejících své vyjádření ve směrnici Rady EU.

Jednou z nejvýznamnějších směrnic Rady EU se stala směrnice č. 89/336/EEC z 3.5.1989 „O sbližování zákonů členských států týkajících se elektromagnetické kompatibility“. Tato směrnice byla v každém členském státě přeložena do národního jazyka a schválena národními vládami jako zákon do 1.1.1996. Od tohoto data každý, kdo chce prodávat svoje zboží na evropských a mezinárodních trzích, musí směrnici respektovat. Uvědomíme-li si, že se jedná o veškeré elektrické a elektronické zařízení, které vůbec existuje, je zřejmé, že tato problematika se bezprostředně dotýká každého výrobce, prodejce a uživatele všeho, co funguje pomocí elektrické energie. Směrnice Rady EU definují požadavky ochrany týkající se EMC a nerozlišují elektrické a elektronické zařízení dle výkonu, provedení nebo druhu a místa provozu. Dle čl. 1 citované směrnice se pod pojmem „přístroj“ rozumí všechna elektrická a elektronická zařízení spolu s vybavením a instalacemi obsahujícími elektrické a/nebo elektronické součástky.

Velmi tvrdé a nekompromisní požadavky směrnice a na jejich základě schválené zákony o EMC jsou logickým výsledkem poznatků obrovského rozvoje elektroniky, že respektování zásad EMC úzce souvisí s kvalitou a spolehlivostí výrobků. Podceňování těchto zásad při vývoji, konstrukci, projektování a testování výrobků a systémů obsahujících elektronické obvody vede k veliké poruchovosti výrobků, jejich provozní nespolehlivosti a proto i k neprodejnosti dokonce i na trzích tzv. třetího světa. Kromě toho neznalost zásad a podmínek EMC za určitých okolností může způsobit hospodářské škody, havárie na technických zařízeních nebo ohrozit život, případně zdraví lidí. Příklady škod, způsobených nerespektováním EMC jsou odborníkům dobře známy a byly nejednou zveřejněny v našem i zahraničním odborném tisku.

Pro názornost několik typických příkladů selhání:

- V nemocnici v Praze na jednotce intenzivní péče měřicí souprava měla neustále monitorovat dech, tep a teplotu připojených pacientů, avšak spínání okolních výkonových spotřebičů vyvolávalo v kardioskopu přídavné pulsy, které se vyhodnocovaly jako nesynchronní tep srdce. Navíc vadný startér zářivkového svítidla poblíž jednotky, který spínal každou sekundu, vyvolával trvale hlášení překročení meze tepů a blokoval měření. Celá věc skončila tím, že souprava vzhledem k její naprosté neodolnosti vůči rušení musela být vyměněna za jiný systém od jiného výrobce.
- Při každé bouřce jsou poškozeny přepětím desítky telefonních ústředen a jiných koncových zařízení, jako jsou faxy, záznamníky a telefony. Důvodem je nedostatečná odolnost zařízení proti přepětí a nevhodné nebo chybějící přepětěvé ochrany na vedení
- Havárie v hutích na východním pobřeží USA v roce 1983. Normální provoz příruční vf vysílačky se projevil rušivě vůči mikroprocesorovému systému řízení jeřábu, přenášejícího lící pánev s tekutou ocelí a způsobil jeho selhání. Lící pánev se předčasně převrhla a rozžhavený kov zabil na místě jednoho dělníka a vážně zranil další čtyři.

Uvedené příklady jsou varovným důkazem toho, že v současné době nestačí dbát jen na správné konstrukční provedení zařízení z hlediska rušení, ale je nutné předem počítat se vzájemným nepříznivým ovlivňováním různých systémů a snažit se maximálně zajistit EMC různých systémů, zařízení a prostředí.

1.1.1 Značka CE

Dle zákonů EU, známých jako „New Approach Directives“, veškeré výrobky dostupné a samostatně prodávané a provozované v zemích EU od 1.1.1996 musí být označeny značkou CE.

Značka CE není výhradní značkou EMC.

Použitím značky CE na výrobku výrobce oznamuje, že tento výrobek ve smyslu „New Approach Directives“ vyhovuje všem závazným požadavkům kladených na tento výrobek podle všech závazných předpisů vztahujících se k tomuto výrobku ve smyslu požadavků na bezpečnost, ochranu před nebezpečným napětím, EMC, hygienu, ochranu životního prostředí apod., tj. že jeho vlastnosti jsou v souladu se všemi harmonizovanými technickými předpisy EU.

Výrobce, případně dovozce, musí vědět, které směrnice EU se k danému výrobku vztahují – směrnice o EMC, nízkém napětí, telekomunikacích, strojích hračkách apod.

Značka CE se nepropůjčuje, nedá se koupit, nikde se nedá vyzvednout povolení značku používat.

Osoba odpovědná za výrobek připevní značku CE na výrobek na vlastní zodpovědnost a vystaví prohlášení o konformitě výrobku s požadavky zákonů rovněž na vlastní zodpovědnost.

1.1.2 Legislativa EMC v České republice

Legislativně problematiku EMC v ČR řeší především zákon Parlamentu České republiky č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, ze dne 24.1.1997 s účinností od 1.9.1997 a uveřejněný v částce 6/1997 Sbírky zákonů. Na něj navazuje „Nařízení vlády č. 169/1997 Sb. Ze dne 25.6.1997, kterým se stanoví technické požadavky na výrobky z hlediska jejich elektromagnetické kompatibility“, uveřejněné v částce 60 Sbírky. Toto nařízení nabylo účinnosti dnem 1.9.1997. Kromě těchto dvou klíčových legislativních dokumentů platí právní předpisy:

- Zákon č. 110/1996 Sb., o telekomunikacích, ve znění pozdějších předpisů, zabývající se ochranou telekomunikací před nežádoucím rušením
- Vyhláška Ministerstva hospodářství č. 26/1996 Sb. O způsobu, podmínkách a postupu při ověřování a schvalování telekomunikačních koncových zařízení, která jako rozhodující podmínku pro schválení koncových telekomunikačních zařízení stanovuje splnění požadavků na EMC.

Zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky je koncipován tak, aby umožnil prostřednictvím Nařízení vlády České republiky převádět do podmínek ČR pro účely tohoto zákona přiměřeně jednotlivé směrnice Rady EU, mezi nimi i směrnice 89/336/EEC o elektromagnetické kompatibilitě, v kontextu s výrobky.

Každý exportér výrobků, na něž se dá aplikovat odpovídající směrnice EU o EMC a směrnice o nízkém napětí (Low Voltage Directive), by měl dbát na to, aby jeho výrobky splňovaly požadavky těchto směrnic.

1.1.3 Mezinárodní a evropské normy EMC

V souvislosti s vytvořením hospodářské integrace, která zahrnuje stále větší celky světa, nabývá normalizace v oblasti EMC stále většího významu. Mezinárodně se touto problematikou zabývá Mezinárodní elektrotechnická komise – IEC (International Electrotechnical Committee) s celosvětovou působností a organizace CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization), sdružující 17 národních elektrotechnických výborů evropských států (všechny státy EU a dále Norsko a Švýcarsko). V IEC se normalizace EMC řeší v útvarech:

- 1) Technická komise TC 77 řeší elektromagnetickou kompatibilitu mezi elektrickými zařízeními, včetně sítí. Hlavním úkolem TC 77 je příprava základních dokumentů určených pro odborníky v oblasti EMC. Tyto dokumenty specifikují elektromagnetické prostředí, emisi rušení, odolnost, postupy zkoušek, měřící techniky atd.

- 2) Zvláštní mezinárodní komise CISPR (Comité International Special des Perturbations Radioelectriques), která byla zřízena již v 60. letech pro ochranu radiového a televizního vysílání. V současné době se zabývá rušením od zařízení informační techniky.

CENELEC vydává evropské normy (EN), které jsou buď povinné (mandatory character), nebo mají charakter dokumentů uvádějících existující normy do souladu s mezinárodními (harmonization documents). V rámci CENELEC se problematikou elektromagnetické kompatibility zabývá technická komise a subkomise:

- TC 110 Elektromagnetická kompatibilita (EMC),
- SC 110A EMC výrobků.

Na základě dohody s IEC o spolupráci CENELEC přebírá již existující normy IEC a IEC – CISPR beze změn a předkládá IEC požadavky na vypracování nových norem. Podle charakteru se normy dělí na:

1. Základní – **Basic Standarts**

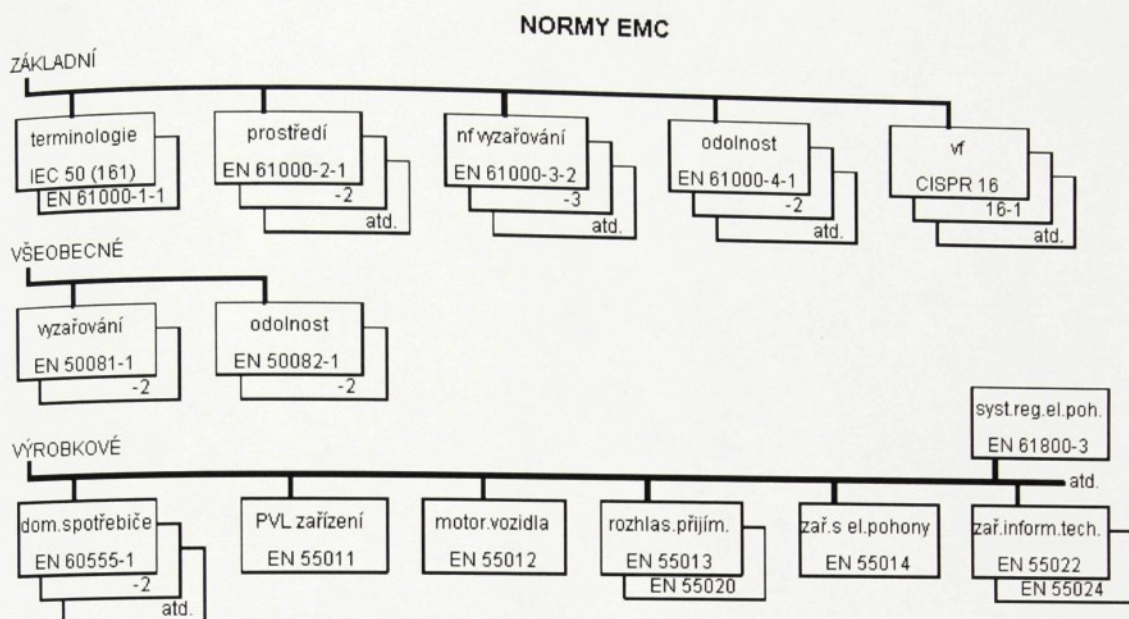
Tyto normy definují problém EMC a stanoví základní všeobecné podmínky a pravidla pro metodu testování elektromagnetické kompatibility u libovolného výrobku. Tyto normy nestanoví meze rušení nebo odolnosti ani vyhodnocování a vyhodnocovací kritéria.

2. Všeobecné (kmenové) – **Generic Standarts**

Tyto normy vztahované na jednotlivá prostředí stanoví minimální soubor požadavků a testovacích metod použitelných pro všechny výrobky nebo systémy pracující v tomto prostředí. Neplatí pro výrobky nebo systémy pracující v tomto prostředí. Neplatí pro výrobky nebo systémy, pro které již existují vlastní speciální normy EMC.

3. Normy výrobků nebo skupiny výrobků – **Product Standarts**

Tyto normy definují specifické elektromagnetické požadavky a testovací metody pro jednotlivé výrobky. Musí být v souladu se základními a kmenovými normami.



Obr. 3: Rozdělení norem

U nás se problematikou zavádění uvedených harmonizovaných norem do soustavy ČSN zabývá technická normalizační komise TNK 47 – Elektromagnetická kompatibilita.

TNK byla založena 26.11.1993, jejím předsedou je Ing. Jaroslav Šmíd CSc.

2 ELEKTROMAGNETICKÉ RUŠENÍ

Tento jev lze obecně posuzovat jako nežádoucí ovlivňování normální funkce elektrického nebo elektronického zařízení elektromagnetickou energií vyzařovanou v kmitočtovém spektru 0 Hz až po desítky GHz. Rušení však nezamožuje jen určité části kmitočtového spektra využívaného k přenosu. Jeho působení se projevuje i různými nepřímými účinky na životní prostředí vůbec, a proto se považuje za problém nejenom technický, ale i ekologický.

Elektromagnetické rušení se podle vzniku dělí na dvě základní skupiny :

- rušení technické, tj. vytvořené technickými prostředky
- rušení přirozené

Ze systémového hlediska lze rušení rozdělit na rušení

- vnější
- mezisystémové
- vnitřní, vnitrosystémové

Vnější rušením rozumíme veškeré elektromagnetické rušení působící na systém z okolního prostředí. Užším pojetím vnějšího rušení je rušení vzájemné nebo mezisystémové, tj. působené navzájem různými systémy nebo zařízeními. Vnitřní rušení vzniká v zařízení nebo systému samém.

Každý systém nebo zařízení, nebo jejich určitá část, může být současně jak vysílačem (zdrojem), tak i přijímačem rušení. Přitom zdroj i přijímač jsou vždy mezi sebou vázány parazitní vazbou. V technické praxi můžeme obvykle člen méně citlivý na rušení a generující vyšší úroveň rušení definovat jako zdroj (vysílač) rušení a naopak citlivější člen s nižší úrovní generovaného rušení lze považovat za přijímač rušení.

Typickými příklady symbiózy silného zdroje rušení a citlivého přijímače rušení v jednom celku jsou mikroprocesorové systémy a počítače. V obecném povědomí jsou počítače tradičně považovány jen za přijímače rušení, jejichž spolehlivý provoz je vážně ohrožen EMI z okolí. Přitom ale běžná soustava přenosu dat, obsahující centrální procesorovou jednotku, napájecí zdroj, terminál, periferie a vzdálené přístroje (čidla), spolu s kabelovým vedením propojujícím navzájem jednotlivé části systému tvoří impulsní zdroj EMI, v němž převládá rušení vyzařováním. Hlavními zdroji rušení v těchto obvodech jsou veškeré logické obvody pracujícími s rychlými impulsy a jiné vf obvody.

2.1 DRUHY RUŠENÍ

Rušivé signály generované umělými (technickými) zdroji rušení lze podle povahy velmi obecně rozdělit do tří základních skupin:

1. Šum

Patří sem změny projevující se především účinkem na tvar křivky napětí. Šum má převážně periodický charakter. Typickými zdroji šumu jsou motory a klasické svářečky.

2. Impulsy

Jsou to změny impulsové povahy, charakterizované velkým poměrem amplitudy k době trvání. Tyto impulsy jsou superponovány na napětí sítě jako kladné nebo záporné špičky.

Příčinou vzniku impulsů jsou zpravidla spínací pochody. Typickými zdroji impulsního rušení jsou veškeré kontaktní spínací přístroje.

3. Přechodné jevy

Jsou to náhodné jednorázové děje projevující se zpravidla v obálce křivky napětí, s dobou trvání od několika period síťového napětí průmyslového kmitočtu až po několik sekund. Zpravidla jsou vyvolány náhlou změnou zatížení rozvodné sítě při zapínání a vypínání spotřebičů velkých výkonů.

Z hlediska postiženého kmitočtového spektra a fyzikálního působení se rušení dělí na nízkofrekvenční a rádiové (vysokofrekvenční).



Obr. 4: Elektromagnetické rušení

Nízkofrekvenční rušení se projevuje jako rušení působící na elektrizační soustavu, tzv. „energetické“ rušení, a na nf přenosové informační systémy, tzv. akustické rušení.

Energetické rušení působí v pásmu kmitočtů od 0 Hz do 2000 Hz a způsobuje hlavně zkreslení (deformaci) průběhu napájecího napětí a proudu odebíraného z energetických sítí. Projevuje se rušivě v provozu zařízení, jež jsou citlivá na změnu tvaru křivky elektrického napětí, jako např. ovládací a sdělovací systémy, osvětlovací

zařízení a různé stroje, přístroje, kondenzátory a kabely. Tato zařízení jsou přetěžována vyššími harmonickými, což má za následek zvýšení tepelných ztrát, rychlé stárnutí dielektrika, zhoršení až selhání normálních funkcí zařízení a dokonce havarijní stavy v sítích, kde mohou vzniknout sériové a paralelní rezonance v rozsáhlých kabelových rozvodech a kondenzátorových kompenzačních stanicích. Zdrojem energetického nf rušení je každá nelineární zátěž odebírající z napájecí sítě deformovaný nesinusový proud. V současné době jsou největšími průmyslovými zdroji rušení v této kmitočtové oblasti řízené měniče velkých výkonů s polovodičovými součástkami. Ve sféře neprůmyslové tvoří velkou nelineární zátěž televizní přijímače svým síťovým usměrňovačem.

Akustické rušení je definováno jako elektromagnetické rušení v pásmu nižším než 1 kHz. Způsobuje hlavně rušení přenosových informačních systémů (telefon, rozhlas, měřicí a řídicí zařízení, sdělovací a informační soustavy). Toto rušení působí všechny energetické zdroje (zejména měniče s polovodičovými součástkami) a vedle toho i systémy číslicového přenosu dat, radary a napájecí sítě o kmitočtu 50 a 400 Hz.

Rádiové rušení - (vysokofrekvenční) působí v pásmu rádiových kmitočtů, tj. podle Radiotelekomunikačního řádu v pásmu od 9 kHz do 400 GHz. Vysokofrekvenční rušení lze definovat jako nežádoucí ovlivňování normální funkce elektrického nebo elektronického zařízení vysokofrekvenční energií. Příčinou vzniku vysokofrekvenčního rušení je taková činnost elektrického zařízení při které dochází k náhlé změně proudu procházejícího jejím obvodem.

Z uvedeného rozdělení zdrojů rušení je zřejmé, že není možné přesně klasifikovat zdroje (i přijímače) jen podle fyzikálního charakteru a jeho kmitočtového spektra. Působení zdrojů se navzájem prolíná a navíc problém komplikuje i to, že ve sdělovací a přenosové, informační a řídicí technice jsou vždy velmi složité vztahy. Tak například televizní příjem může být rušen nejen zdroji rušení rádiového příjmu, ale i zdroji energetického a akustického rušení. Je tomu tak proto, že dochází nejen k rušení nosné vlny, na niž působí rušení rádiové, ale i k rušení přenášené informace, jež leží v pásmu akustických kmitočtů, a k rušení napájecích a pomocných obvodů přijímače energetickým rušením.

Obecně pro účely celkové orientace lze rušení roztrdit na tyto skupiny:

1. Zdroje rušení působící na elektrické rozvodné sítě. Patří sem veškerá výkonová zařízení nn a vn, jako například generátory, transformátory, VPM, produkující vyšší harmonické základního síťového kmitočtu (50 Hz, 60 Hz případně 400 Hz), které vyvolávají na impedancích sítě úbytky napětí, projevující se rušivě. Dále zdroje rušení obsahující kontaktní spínací mechanismy, například vypínače, odpojovače aj., které vyvolávají přechodné jevy spojené se spínacími pochody a projevují se jako vf oscilace s kmitočtem od jednoho až do několika Mhz a amplitudou až tisíce voltů. Toto rušení je typické hlavně pro sítě vn a vvn, ale bez parazitní kapacitní vazby se dostává i do sítí nn. Zdroje rušení typické pro sítě nn jsou stykače, jističe a relé, produkující při spínacích pochodech rušivé impulsy s velkou strmostí, řádově $V/\mu s$ až V/ns a amplitudou až do několika kV. VPM jsou zdroji kvaziimpulsního rušení, tj. rušení, které vzniká superpozicí strmého napět'ového impulsu a tlumených vf oscilací na síťové napětí a které se opakuje v každé periodě střídavého napětí, takže výsledkem je kombinace spojitého a impulsního rušení. Kromě toho ke zdrojům rušení ovlivňujícím napájecí síť patří různé skupiny elektrických spotřebičů připojených k této síti (lékařské přístroje, zářivky, monitory, procesory aj.) Zdroji rušení taktěž mohou být i vysílače HDO, které v pásmu nízkých kmitočtů vysílají pomalé impulsní signály o výkonech až stovek kVA.
2. Lokální elektrostatické výboje (ESD), způsobující velmi nebezpečné rušení, mají sice nízkou energii ($< 10 \text{ mJ}$), ale vysokou hodnotu amplitudy napětí ($\geq 15 \text{ kV}$). Toto rušení má destruktivní účinky, zejména má integrované obvody typu CMOS, a negativně ovlivňuje funkci a životnost elektronických zařízení.
3. Atmosférické výboje, blesky, jsou příčinou vzniku strmého elektromagnetického impulsu (LEMP), který může mít silné rušivé až destruktivní účinky na zasažené nebo i vzdálenější elektronická zařízení. Při nepřímém účinku blesku se může rázový napět'ový impuls dostat do vnitřního elektrického rozvodu přes parazitní vazby a způsobit značné škody na elektronickém zařízení.
4. NEMP – nukleární elektromagnetický impuls vzniká při výbuchu nukleárních bomb. Je charakterizován strmou náběžnou hranou s dobou trvání řádově μs a velkou amplitudou proudu řádově stovky kA. Rušivé a destruktivní účinky NEMP jsou relativně mnohem větší než účinky elektromagnetických pulsů LEMP způsobených bleskem a ovlivňují veškeré elektronické a elektrotechnické systémy

nacházející se v lokalitě působení bomby. Rozsah a dosah rušivých a destruktivních účinků záleží především na typu jaderné nálože, výšce a intenzitě jaderné exploze nad zemí.

5. Rozhlasové a televizní vysílače, radiové stanice, mobilní telefony, hodinové (taktovací) signály elektronických systémů mohou pro určitá elektronická zařízení představovat zdroje trvalého spojitého úzkopásmového nebo nespojitého impulsního rušení, které je schopno vážně narušit jejich správnou činnost.

2.2 NÍZKOFREKVENČNÍ RUŠENÍ

Nf rušení je specifikováno normami řady IEC 1000 a doplňujícími normami IEC.

Tyto normy dělí nf rušivé jevy v kmitočtovém pásmu 0 Hz až 10 kHz na :

1. HARMONICKÉ

Harmonické jsou sinusová napětí nebo proudy o kmitočtech, které jsou celistvými násobky kmitočtu, na němž je navržena a provozována síť (50 nebo 60 Hz).

Harmonická rušení jsou všeobecně způsobována zařízením s nelineární charakteristikou napětí/proud. Takovéto zařízení může být považováno za zdroj proudu harmonických.

Průchodem vyšších harmonických složek proudu impedancí sítě vznikají úbytky napětí těchto harmonických, a tím nastává deformace sinusového průběhu napětí v daném místě sítě. To potom vyvolává přídavné ztráty vyššími harmonickými i v některých dalších spotřebičích připojených na síť, zejména v motorech. Mohou tak být poškozováni i sousední odběratelé elektrické energie.

Zdroje generující význačné harmonické proudy v síti:

- zařízení s fázovým řízením a velkým výkonem
- neřízené usměrňovače, zvláště s kapacitním vyhlazováním (využívá se např. v televizorech, měničích kmitočtu a u svítidel s vestavěným předřadníkem), jelikož tyto harmonické jsou ve fázi jedna s druhou a v síti není žádné jejich potlačení

Zdroje mohou produkovat harmonické v konstantní nebo proměnné úrovni v závislosti na způsobu provozu.

Hlavní škodlivé účinky harmonických jsou:

- chybná činnost regulačního zařízení
- chybná funkce hromadného dálkového ovládání a jiných systémů síťové signalizace, ochran a jiných prostředků řízení
- přídavné ztráty v kondenzátorech, rotačních strojích, kabelových rozvodech
- přídavný hluk motorů a jiných přístrojů
- telefonní interference

Škodlivé účinky harmonických na zařízení mohou být tříděny na krátkodobé a dlouhodobé.

Krátkodobé účinky jsou spojeny se selháními, chybnými funkcemi nebo nižším stupněm kvality provozu přístrojů, způsobeným posunem průchodu nulou průběhu vlny napětí. Obzvláště citlivé jsou regulační přístroje, elektronická zařízení a počítače. Velké amplitudy harmonických mohou způsobit chybnou funkci přijímačů hromadného dálkového ovládání, ochran atd.

Dlouhodobé účinky jsou v zásadě tepelné. Přídavné ztráty a přehřátí mají za následek zvýšené stárnutí a dokonce i poškození kondenzátorů a rotačních strojů.

2. MEZIHARMONICKÉ

Mezi harmonickými napětí a proudů síťového kmitočtu mohou být pozorovány další kmitočty, které nejsou celistvými násobky základního kmitočtu. Mohou se vyskytovat jako diskrétní kmitočty nebo jako širokopásmové spektrum. Součtové účinky meziharmonických nejsou pravděpodobné a nemusí být uvažovány.

Napětí meziharmonických je nutné omezovat zejména z důvodů rušení přijímačů HDO a flicker-efektu (blikání či kolísání jasu), ke kterému může za určitých okolností dojít.

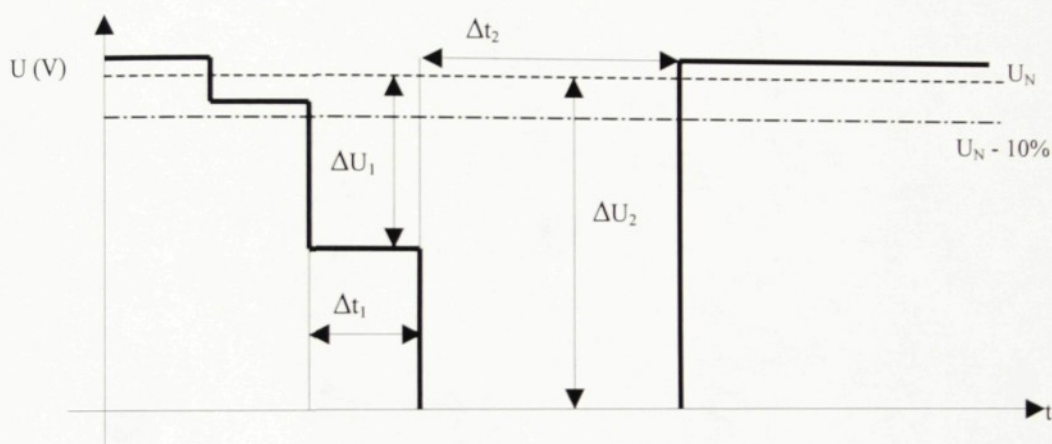
3. KOLÍSÁNÍ NAPĚTÍ

Kolísání napětí může být popsáno jako cyklické změny obálky napětí nebo řada náhodných změn napětí, jejichž velikost normálně nepřesahuje rozsah provozních změn napětí uvedených v IEC 38 (do $\pm 10\%$).

Některá zařízení, jako například topné články s dlouhými časovými konstantami, jsou téměř neovlivněny kolísáním napětí. Jiná zařízení jako například televizní přijímače, elektronické řídicí přístroje a počítače, jsou neoddelitelně citlivé na kolísání napětí.

4. POKLESY A KRÁTKÁ PŘERUŠENÍ NAPĚTÍ

Pokles napětí je náhlá redukce napětí v bodě elektrické sítě následovaná znovuoobením napětí po krátkém časovém úseku od poloviny periody sítě do několika sekund.



Obr. 5: Znáznornění poklesu napětí (ΔU_1) nebo přerušení napětí ($\Delta U_2 = 100\%$)

5. NESYMETRIE NAPĚTÍ

Nesymetrie napětí je stav, ve kterém se třífázová napětí liší v amplitudě nebo jsou odchýleny od jejich normálního fázového posunu 120° , nebo obojí.

Převládající příčina nesymetrie je nesymetrické jednofázové zatížení. V sítích nízkého napětí jsou jednofázová zatížení téměř výlučně připojována mezi fází a středním vodičem avšak s rozložením více či méně rovnoměrným do všech tří fází.

6. SÍŤOVÁ SIGNALIZACE

Veřejné signální systémy jsou budovány pro napájení odběratelů elektrickou energií, ale mohou být použity rozvodnými podniky mimo jiné i k přenosu signálů.

Systémy síťové signalizace mohou být ovlivněny síťovým rušením zejména harmonickými a mezipharmonickými. Je třeba také uvažovat vzájemný vliv sousedních sítí.

7. ZMĚNY KMITOČTU SÍŤE

Kmitočet veřejné rozvodné sítě je za normálních podmínek zaručován provozovatelem sítě ve jmenovitých hodnotách (50 Hz nebo 60 Hz) s úzkým pásmem, v kterém se tyto změny kmitočtu budou normálně pohybovat.

8. STEJNOSMĚRNÉ SLOŽKY

Ve střídavé distribuční síti se stejnosměrné složky proudu a napětí mohou vyskytnout jen tehdy, působí-li v ní nějaké nevhodně zapojené usměrňovací prvky (např. usměrňovací diody, tyristory apod.)

Stejnosměrné složky proudu způsobují v síti zvýšenou korozi svorek, uzemnění a ochranného pospojování.

2.3 KOMPENZACE HARMONICKÉHO ZKRESLENÍ

Z provozních i ekonomických důvodů je třeba harmonická zkreslení proudů i napětí omezit vhodnými kompenzačními obvody. Jinak dochází ke zvýšení ztrát v síti i u sousedních spotřebičů a k ohrožení elektronických a telekomunikačních systémů.

2.3.1 Pasivní kompenzace

Běžně používané kompenzaci jalového výkonu je zapotřebí v síti, která napájí nelineární a v čase proměnné zátěže, věnovat zvláštní pozornost. Připojením kompenzačních kondenzátorů může vzniknout interakcí s indukčností sítě nežádoucí paralelní nebo sériová resonance. Přitom se mohou velikosti harmonických složek v síti také zvýšit, místo potlačit. Dojde k tomu tehdy, jestliže vlastní frekvence rezonančního obvodu je shodná s frekvencí harmonických složek proudu sítě, nebo jestliže vlastní frekvence sériového rezonančního obvodu je shodná s frekvencí harmonických složek napětí sítě.

Statické kompenzační filtry

Tyto filtry jsou obvykle složeny z automatické plynulé kompenzace účiníku a ze sítových filtrů.

Sítové filtry slouží ke dvěma účelům:

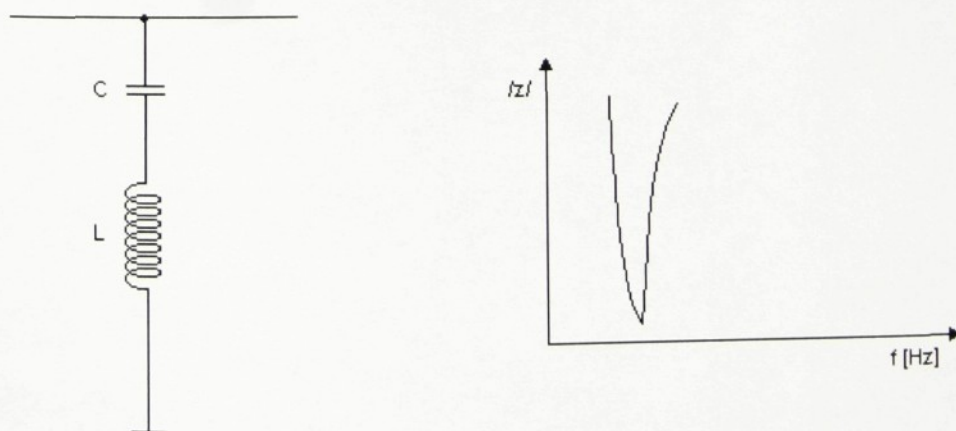
- při základní frekvenci dodávají do sítě konstantní jalovou energii
- snižují obsah vyšších harmonických v napájecí síti na požadovanou úroveň

Sítové filtry lze rozdělit na dva základní typy:

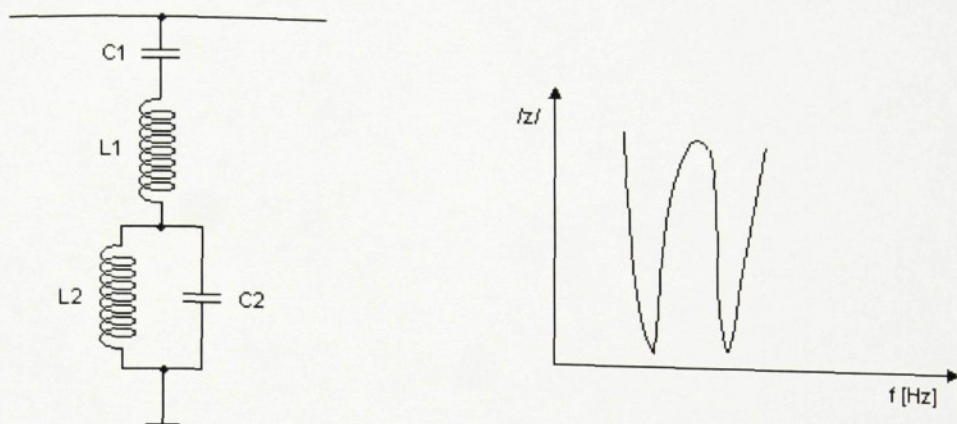
- *s velkou selektivitou* - které mohou být naladěny na jednu (obr. 6) nebo na dvě (obr. 7) frekvence
- *s malou selektivitou* - širokopásmové hornopropustní filtry, které mohou být realizovány jako filtry prvního, druhého (obr. 8), třetího (obr. 9) řádu nebo filtry C-typu.

Sítové filtry se chovají jako kapacita na základní frekvenci a kompenzují tedy jalový výkon v napájecí síti. Redukuje se tak potřeba přenosu jalového výkonu v elektrické síti a tím se zvyšuje přenosová kapacita elektrického vedení i napěťová úroveň na těchto vedeních. Reaktory filtrů obvykle spotřebují pouze 1 – 4 % výkonu, produkovaného kapacitami.

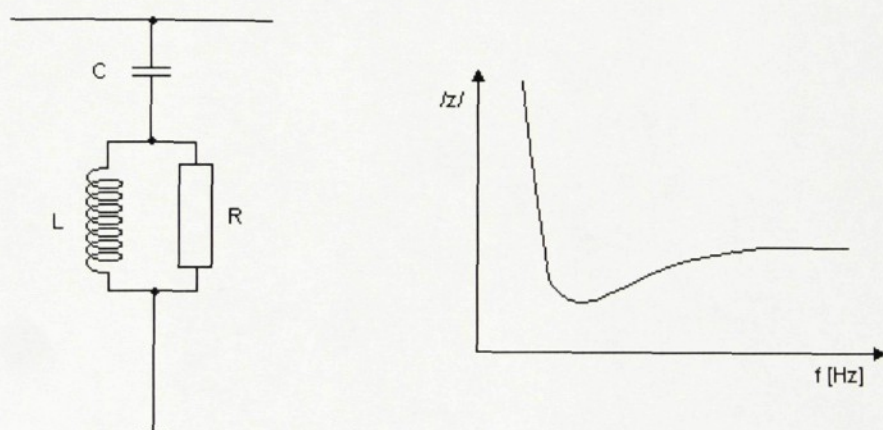
Takovéto filtry se často dodávají již jako součást řízených polovodičových měničů a mají zaručit, aby nebyly překročeny limity znečištění rozvodných sítí nežádoucími harmonickými složkami. Nevýhodou tohoto řešení je, že pasivní filtry odstraňují pouze ty složky harmonického spektra na které byly navrženy.



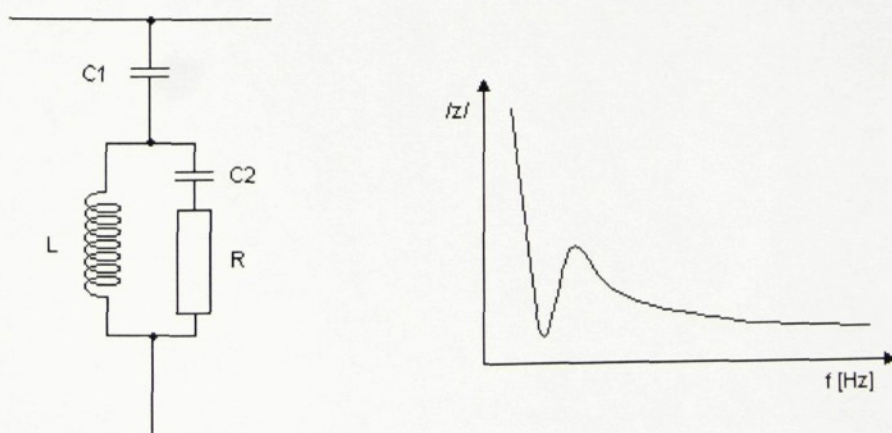
Obr. 6: Jednoduchý filtr



Obr. 7: *Filtr laděný na dvě frekvence*



Obr. 8: *Hornopustní filtr 2. řádu*



Obr. 9 : *Hornopustní filtr 3. řádu*

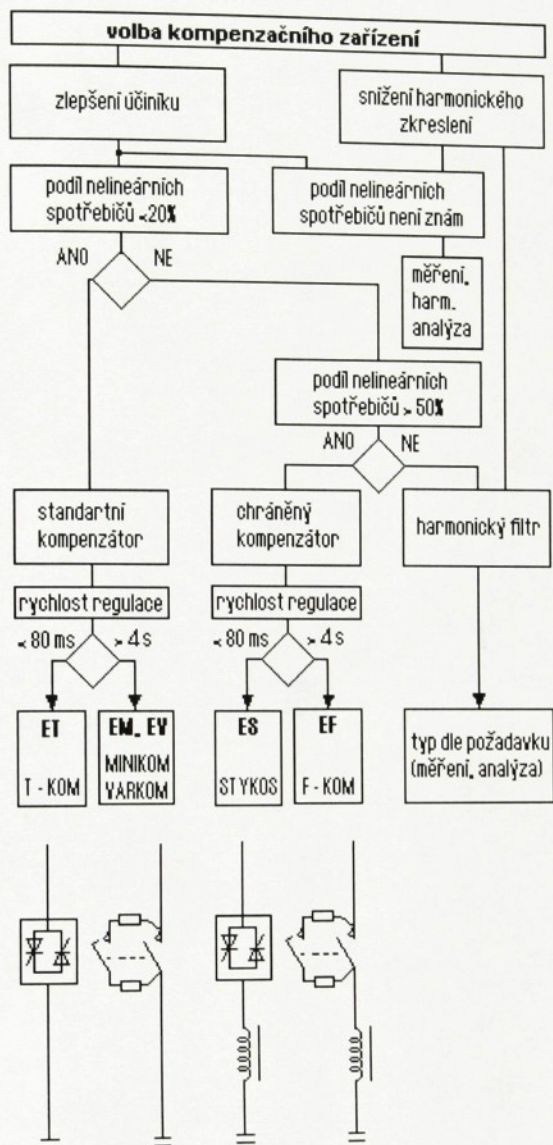
2.3.2 Aktivní filtry

Doposud používané pasivní kompenzační systémy neumožňují pružné přizpůsobení jiným nežli zvoleným podmínkám. Přitom je dnes v řadě případů nemožné předem určit frekvence rušivých signálů a kromě toho se často tyto frekvence v čase změny. Z těchto důvodů se začaly studovat aktivní adaptabilní filtry. Tato nová technologie se uplatní zejména v rozvodech nízkého napětí s relativně malými nelineárními spotřebiči.

Aktivní filtry lze uvažovat jako paralelně nebo sériově zapojené generátory řízené vhodným regulačním systémem tak, aby i v dynamických stavech byla zajištěna požadovaná kompenzace nevhodných harmonických složek.

2.3.3 Volba kompenzačního zařízení

Pro správný a optimální návrh kompenzačního zařízení je nutné získat maximální informace o kompenzovaném odběru a síti, do které bude zařízení připojeno. Jedná se zejména o průběh činného a jalového výkonu kompenzovaných spotřebičů, úroveň harmonických proudů a napětí v uzlu připojení kompenzátoru, zkratový výkon atd. Z těchto podkladů se stanoví požadavky na parametry kompenzátoru, tj. kompenzační výkon, způsob a rychlost regulace a spínání kompenzačních stupňů, řešení s hradicí tlumivkou nebo jako filtr atd. Jako vodítko možno využít *obr. 10* „Volba kompenzačních zařízení“. Nelineární spotřebiče (např. polovodičové měniče, řízené pohony, svářečky, obloukové pece, výbojková a zářivková svítidla, počítačové sítě apod.) znečišťují elektrickou síť generováním harmonických proudů, které mohou přetěžovat kompenzační kondenzátory, vodiče ap. Úroveň znečištění a volba vhodného typu kompenzačního zařízení může být předběžně stanovena z podílu výkonu generujících spotřebičů ku instalovanému výkonu transformátoru.



Obr. 10: Návrh kompenzačního zařízení podle firmy EMCOS s.r.o.

2.4 ŠÍŘENÍ RUŠENÍ

V zásadě každý rušivý zdroj šíří rušivou energii (rušivou emisi) dvěma způsoby:

- po vedeních ve formě rušivých proudů a jimi vyvolaných rušivých napětí na impedancích sítě a zátěže
- vyzařováním ve formě elektromagnetického pole

U *průmyslových aplikací* převládá zpravidla rušení po vedeních nad rušivým vyzařováním, protože tato zařízení bývají zapojována účelně krátkými spoji a jsou většinou uzavřena do kovových skříní, zpravidla zeměných. Tím se původní intenzita rušivého elektromagnetického pole těchto zdrojů, zejména jedná-li se o VPM, podstatně snižuje. Rušení po vedeních se váže s přijímačem rušení třemi základními vazbami, a to galvanickou, indukční a kapacitní.

U *přírodních zdrojů* rušení je naopak primárním způsobem šíření rušení vyzařováním.

Nežádoucí, tj. parazitní elektromagnetické vazby se výraznou a často převažující měrou podílí na vzniku elektromagnetického rušení a u určitých druhů vazeb se na jejich vzniku podílí nevhodná konstrukce, nevhodná instalace a nevhodné umístění. Parazitní vazby lze rozdělit podle druhu na vazby:

- galvanické nebo konduktivní
- indukční a kapacitní
- vyzářeným elektromagnetickým polem

3 KOMERČNÍ BANKA



KOMERČNÍ BANKA a.s.

Měření harmonického zkreslení bylo na základě dohody mezi vedením Komerční banky a Katedry elektrotechniky a elektromechanických systémů TU v Liberci prováděno v „Telefonním centru KB“. Toto centrum je jediné pro KB v České republice. Jeho hlavní náplní je obsluha "Expresní linky KB", což je komerční název pro telefonní bankovníctví. Telefonní centrum KB má nejvytíženější zelenou linku (0800/111124) v ČR s cca 2 miliony příchozích hovorů ročně. Jejimi klienty je více než 100 000 majitelů účtů v KB, čímž je v ČR bankovním domem s největším počtem klientů využívajících telefonní bankovníctví.

Telefonní centrum je umístěno ve třetím a čtvrtém patře polyfunkčního domu PALÁČ SYNER v Rumunské ulici, patřícího společnosti SYNER s.r.o.. Kromě této pobočky se zde nachází také hotel, restaurace, sportovní centrum, garáže a několik menších obchodů. Budova byla uvedena do provozu přibližně před dvěma lety, z čehož vyplývá, že u této relativně nové stavby měl být při výstavbě brán zřetel na EMC.

3.1 CHARAKTERISTIKA NAPÁJECÍ SÍTĚ

Na 3. patře je umístěno podle výkresu č.1 86 ks počítačů firmy DELL, 5400/NX1 OPTIPLEX, které jsou uspořádány do pěti skupin, jimž se zde neřekne jinak než „autobus“. Bezpečné napájení osobních počítačů je zajišťováno pomocí záložních zdrojů firmy Altron Net Pro UPS (viz. kapitola 3.3), kterých je celkem 18 kusů.

Toto patro je napájeno z rozvaděče RMS 62-B3, který má následující parametry:

Soustava napětí: $3 + N + PE \sim 50 \text{ Hz}$; 230 / 400 V / TN-S

$P_i = 75,72 / 54, - \text{ kW}$

$P_p = 50,02 / 22, - \text{ kW}$

Hlavní vypínač Q1 : 80 A
Q2 : 63 A

Název vývodu	Počet vývodů	ΣP_i [kW]
Osvětlení	19	11,7
IR spínač	1	0
Centrální ovl.	1	0
Rezerva	15	0
Zásuvky	21	42
Zásuvka 3f	1	3
Zásuvky el. vytápění	9	20,1
Napájení regulace topení	8	1,92

Tab.č.1: Vývody rozvaděče RS 62+B3 – FW63 HAGER (800/950/140)

Název vývodu	Počet vývodů	ΣP_i [kW]
Zásuvky	23	46
Rezerva	4	8

Tab.č.2: Vývody rozvaděče RS 62+B3 – FW63 HAGER (800/950/140)
–část pro výpočetní techniku

Na 4. patře je podle výkresu č.2 92 kusů osobních počítačů, které jsou rovněž usprádané do pěti skupin. Toto patro je napájeno z rozvaděče RMS 62-B4, který je rozdělen na dvě pole, pravé a levé.

Má následující parametry:

Soustava napětí: 3 + N + PE ~ 50 Hz ; 230 / 400 V / TN-S

$P_i = 57,31 / 54,-$ kW

$P_p = 33,26 / 22,-$ kW

Hlavní vypínač Q1 (levé pole) : 80 A

Q2 (pravé pole) : 63 A

Název vývodu	Počet vývodů	ΣP_i [kW]
Osvětlení	28	18,5
IR spínač	1	0
Centrální ovl.	1	0
Rezerva	12	0
Zásuvky	17	34
Zásuvka 3f	1	3
Regulátor	6	20,1

Tab.č.3: Vývody rozvaděče RS 62+B4 – FW63 HAGER (800/950/140)

Název vývodu	Počet vývodů	ΣP_i [kW]
Zásuvky	29	58
Rezerva	4	0

Tab.č.4: Vývody rozvaděče RS 62+B4 – FW63 HAGER (800/950/140)
–část pro výpočetní techniku

Jedná se o třífázovou soustavu s jednofázovými vývody. Spotřebiče jsou napájeny jednofázově, zátěž není plně symetrická. Velký vliv na velikosti asymetrie má koeficient současnosti.

Abychom mohli charakteristiky napájecí sítě kvalitně vyhodnotit, je nutné podle norem přesně identifikovat prostředí, ve kterém se nachází příslušná elektrická zařízení.

3.2 PROSTŘEDÍ

Podle norem rozeznáváme tyto typy prostředí:

- obytná, komerční a lehkého průmyslu
- průmyslová
- speciální

3.2.1 Prostředí obytné, komerční a lehkého průmyslu

Tímto pojmem je v normách ČSN EN 50081-1 a ČSN EN 50082-1 označováno prostředí, které je stejného typu jako v prostorách Komerční banky, ve které jsem prováděla měření.

Popis prostředí podle norem :

- obytné objekty, například domy, byty apod.
- prostory pro prodej, například obchody, obchodní domy atd.,
- komerční prostory, například kanceláře, banky apod.,
- prostory veřejné zábavy, například kina, taneční sály, bary,
- vnější prostory, například čerpací stanice pohonných hmot, parkoviště, centra sportu a zábavy apod.,
- prostory lehkého průmyslu, například dílny, laboratoře, služby atd.

Místa jsou charakterizována tím, že jsou napájena přímo z veřejné sítě nn.

3.3 ZDROJE NEPŘERUŠOVANÉHO NAPÁJENÍ (UPS)

Zdroje pro nepřerušované napájení (uninterruptable power supplies – UPS – zkratka normalizovaná v harmonizovaných českých, evropských a mezinárodních normách) se používají všude tam, kde je nekvalitní napájecí síť s velkým obsahem harmonických, vř rušivých napětí a proudů, s výskytem přepětíových špiček, kolísání napětí a jiných poruch v napájení včetně jeho úplného výpadku a může vážně ohrozit nebo znemožnit normální bezporuchovou činnost zařízení připojeného k této síti.

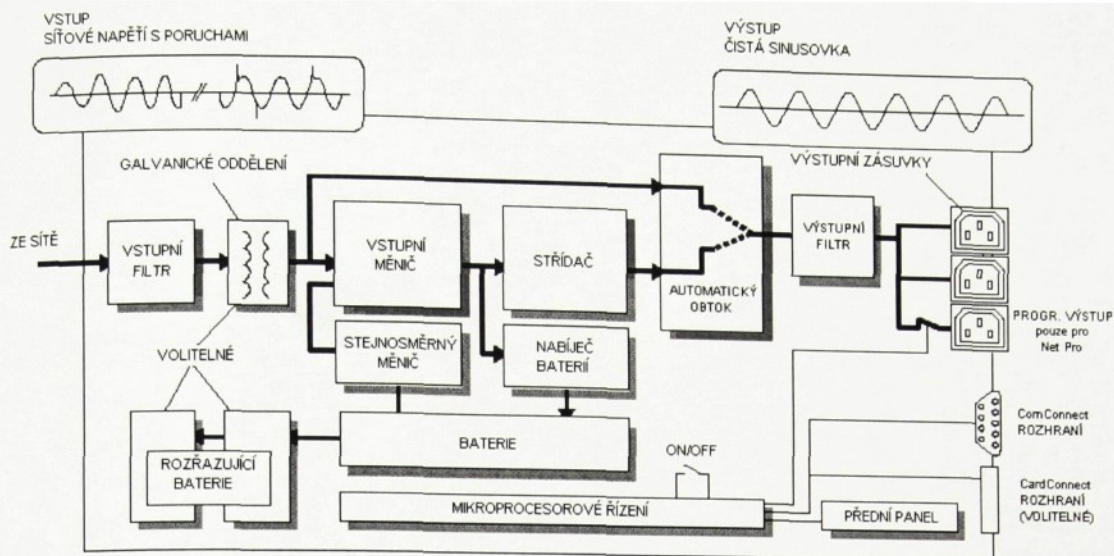
V případě Komerční banky jsou UPS naprostou nezbytností. Jak z důvodů harmonického zkreslení napájecí sítě (které je, na základě měření, značné), tak pro ochranu dat při eventuálním výpadku proudu.

Použitím UPS, jehož základní funkční jednotkou je frekvenční měnič s pulsně šířkovou modulací, získáváme :

- stabilizované výstupní napětí bez ohledu na kvalitu napětí v napájecí síti
- ochranu zátěže před poruchami nebo rušením v napájecí síti
- úplná ochrana od výpadku v napájecí síti na předem garantovanou dobu, která je určená -kapacitou baterií akumulátorů

Podle definice uvedené v ČSN EN 50091-1 Zdroje nepřerušovaného napájení. Všeobecné požadavky – UPS je kombinace měničů, spínačů a zásobníků energie, například akumulátorů, která vytváří zdrojový systém pro udržení souvislé dodávky energie do zátěže v případě poruchy vstupního napětí.

Na *obr. 11* je ukázáno typické blokové zapojení UPS. Jak je zřejmé z blokového zapojení, UPS uchovává elektrickou energii ve vestavěných akumulátorech, což umožňuje napájet připojené zařízení v případě ztráty (síťového) napětí.



Obr. 11: Typické blokové zapojení zdroje nepřerušovaného napájení (UPS)

4 MĚŘENÍ

4.1 ZÁKLADNÍ VZORCE

Harmonické zkreslení proudu protékajícího nelineární zátěží, která je napájena z harmonické jednofázové sítě, je v literatuře definováno různými způsoby. Hlavní důraz je kladen na vyjádření výkonových poměrů na nelineární zátěži při harmonickém napájení.

Okamžitý elektrický výkon jak jsme se již zmínili je definován jako součin okamžitých hodnot napětí a proudu.

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) \quad (1)$$

Činný výkon ve střídavé jednofázové soustavě s obecným periodickým průběhem napětí a proudu je možné chápat jako průměrný výkon během jedné periody.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt = I_{ss} \cdot U_{ss} + \sum_{n=1}^{\infty} U_n \cdot I_n \cdot \cos \varphi_n \quad (2)$$

Levá strana vyjadřuje klasickou fyzikální definici. Pravá část rovnice je součtem výkonů stejnosměrné složky a jednotlivých dílčích výkonů harmonických složek (efektivní hodnoty).

Ve zvláštním případě, kdy síťovou soustavu zatěžíme lineární zátěží odporem R nebo lineární impedancí Z , můžeme uplatnit Ohmův zákon. Pro zjednodušení naší představy si ukažme další odvození na reálném odporu R . Potom v předchozí rovnici můžeme nahradit $I_{ss}=U_{ss}/R$ a $I_n=U_n/R$. Současně také platí, že $\cos\varphi=1$, protože $\varphi=0^\circ$. Z představy lineární impedance připojené na obecné periodické napětí byla v historii odvozena definice efektivní hodnoty napětí a proudu. V anglicky psané literatuře označovaná indexem **RMS, Root Mean Square** (odmocnina průměrné plochy).

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T R \cdot i^2(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{u^2(t)}{R} dt = R \cdot I_{ef}^2 = \frac{U_{ef}^2}{R} \quad (3)$$

Tyto rovnice definují efektivní hodnotu napětí a proudu.

$$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} = \sqrt{U_{ss}^2 + \sum_{n=1}^{\infty} U_n^2} \quad (4)$$

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} = \sqrt{I_{ss}^2 + \sum_{n=1}^{\infty} I_n^2} \quad (5)$$

Uvedené rovnice představují výpočet efektivních hodnot napětí a proudu pro obecný tvar harmonického průběhu. Původní myšlenka zavést srovnávací parametry – efektivní hodnoty, které mají vztah k činnému výkonu, je vázána na lineární impedanci. V případě nelineární impedance je vazba efektivních hodnot na výkon zavádějící. Jednoznačně lze činný výkon určit jedině pomocí základní definice (1).

V technické praxi se setkáváme ve většině případů s tím, že spotřebič představující nelineární zátěž je napájen harmonickým napětím. Tato nelinearita způsobí zkreslení tvaru fázového proudu. V dalším textu se zaměříme na definici tohoto tvarového zkreslení.

V našem případě musíme uvažovat třífázovou soustavu na kterou je zapojen nelineární a nesymetrický spotřebič. Výsledný činný výkon se pak rovná součtu

jednotlivých činných výkonů v každé fázi. Z důvodu přehlednosti a srozumitelnosti se omezíme v dalším textu na definici harmonického zkreslení pouze v jedné z nich. Podržíme se původní definice pro efektivní hodnoty (4),(5) a pomocí ní vyjádříme zdánlivý výkon tak jak je v technické praxi obvyklé.

$$S = U_{ef} \cdot I_{ef} \quad (6)$$

Stanovením zdánlivého (fiktivního) výkonu můžeme definovat účinník λ (**Power Factor**) jako poměr činného k zdánlivému výkonu.

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt}{U_{ef} \cdot I_{ef}} \quad (7)$$

Tato definice účinníku vystihuje dostatečně fyzikální podstatu. Pokusme se pomocí předchozích výrazů (3),(4) více zpřesnit definici zdánlivého výkonu. Uvažujme o tom, že harmonické napětí dodané ze zdroje nemá stejnosměrnou složku U_{ss} , kdežto u proudu vlivem nelinearity zátěže ji můžeme předpokládat.

$$S^2 = U_{ef}^2 I_1^2 + U_{ef}^2 \left(I_{ss}^2 + \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2 \right) = S_1^2 + P_{def}^2 = P^2 + Q_1^2 + P_{def}^2 \quad (8)$$

Uvedený výraz předpokládá, že celkový zdánlivý výkon je možné rozložit na zdánlivý výkon první harmonické složky proudu S_{1h} a na tzv. deformační výkon P_{def} . Dále můžeme předpokládat, že zdánlivý výkon S_{1h} lze dále rozdělit na činný výkon P a jeho jalovou složku Q_{1h} .

Odlišnou formulaci účinníku se stejným výsledkem a fyzikálním významem můžeme najít v některých zahraničních pramenech. Podívejme se na zkrácené odvození.

$$\lambda = \frac{U_{ef} I_1 \cdot \cos \varphi_1}{I_{ef} U_{ef}} = \frac{I_1}{I_{ef}} \cos \varphi_1 = g_1 \cdot \cos \varphi_1 \quad (9)$$

$$g_1 = \frac{I_1}{I_{ef}} \quad (10)$$

Fázový posuv mezi napájecím napětím a první harmonickou složkou proudu $\cos\varphi_1$ bývá v literatuře označován jako **Displacement factor** (činitel posunutí, více se však používá pojmu opravdový účinník). Lze ho definovat jako poměr činného výkonu 1. harmonických složek napětí a proudu k zdánlivému výkonu těchto složek.

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{S_1} = \frac{P_1}{U_1 \cdot I_1} \quad (11)$$

V případě, že napětí a proud obsahují pouze základní frekvenci, je účinník $\cos\varphi_1$ totožný s účinníkem λ a s klasickým účinníkem $\cos\varphi$.

Pomocí parametru g_1 nazývaného **Fundamental-frequency Content** (poměrný obsah základní harmonické složky) je definován **Distortion factor** (činitel zkreslení).

$$k_1 = \sqrt{1 - g_1^2} \quad (12)$$

Většina konstruktérů a vývojářů je zvyklá používat pojem činitel zkreslení fázového proudu, který lze definovat dvěma způsoby.

$$k_{zef} = \frac{\sqrt{I_{ss}^2 + \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_{ef}} = \frac{\sqrt{I_{ef}^2 - I_1^2}}{I_{ef}} = \sqrt{1 - \frac{I_1^2}{I_{ef}^2}} = \sqrt{1 - g_1^2} \quad (13)$$

$$k_{z1} = \frac{\sqrt{I_{ss}^2 + \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} = \frac{\sqrt{I_{ef}^2 - I_1^2}}{I_1} = \sqrt{\frac{I_{ef}^2}{I_1^2} - 1} = \sqrt{\frac{1}{g_1^2} - 1} \quad (14)$$

Porovnáme-li vztahy (13) a (14), můžeme hned napsat rovnici pro převod koeficientů k_1 a k_{z1} .

$$k_{zef} = k_{z1} \cdot g_1 \quad (15)$$

Je zřejmé, že efektivní hodnota celkového průběhu bude větší než efektivní hodnota první harmonické složky, $I_{ef} \geq I_1$, proto musí platit i to, že činitel harmonického zkreslení vztažený k první harmonické složce bude větší, $k_{z1} \geq k_{zef}$. Oba vztahy (11) a (12) popisují jeden a týž jev, kterým je kvalifikace harmonického zkreslení, ale přitom neposkytují stejný výsledek.

Americká a francouzská literatura definuje harmonické zkreslení poměrně jednoduchým způsobem, který vychází z předpokladu, že největší zkreslení způsobují velké a časově strmé průběhy. Je to zejména případ usměřovačů s vyhlazovacím kondenzátorem. Dalším předpokladem, o kterém pravděpodobně uvažovali, je i to, že na přenosu energie se podílí především plocha pod křivkou $i=f(t)$. Potom definují harmonické zkreslení pomocí parametru nazývaného **Crest Factor** (vrcholový činitel). Je určen jako poměr špičkové hodnoty proudu odebíraného ze sítě k jeho efektivní hodnotě. Tento popis nevystihuje tvar průběhu proudu.

$$CF = \frac{I_{max}}{I_{ef}} \quad (16)$$

Je zřejmé, že pro harmonický proud je cresh factor roven $\sqrt{2}$. Je to pro neznalé trochu zavádějící, protože podle výše uvedené definice platí, že proud je neharmonický jestliže

$$CF > \sqrt{2}.$$

Hlavní výhodou této definice je to, že vrcholový činitel je snadno měřitelný a vyčíslitelný, například pomocí osciloskopu, třebaže neposkytuje přesný popis harmonického zkreslení.

Až doposud jsme předpokládali, že nelineární impedance je napájena harmonickým napětím. Všechny výše uvedené vztahy popisovaly harmonické zkreslení proudu za předpokladu, že síťové napětí je harmonické. V praxi se naopak stává, že se napájecí napětí vlivem neharmonického proudu zkresluje. Parametr, který toto zkreslení

proudu za předpokladu, že síťové napětí je harmonické. V praxi se naopak stává, že se napájecí napětí vlivem neharmonického proudu zkresluje. Parametr, který toto zkreslení definuje se nazývá **Total Harmonic Distortion (THD)**, bývá dáván často do souvislosti s proudem, což může být zavádějící. Tento parametr popisuje pouze charakter zkreslení napětí bez ohledu na odebíraný proud a je přesně stanoven normou.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{50} U_n^2}}{U_1} = \frac{\sqrt{U_{ef}^2 - U_1^2}}{U_1} = \sqrt{\frac{U_{ef}^2}{U_1^2} - 1} = \sqrt{\sum_{n=2}^{50} u_n^2} \quad (17)$$

$$u_n = \frac{U_n}{U_1} \quad (18)$$

Při praktickém výpočtu zkreslení předpokládáme, že harmonické složky vyšších řádů lze zanedbat $n \geq 40 \div 50$. Dokonce některé typy harmonických analyzátorů provádějí harmonickou analýzu pouze do 25. harmonické složky. Všimněme si, že ve jmenovateli je uvedena efektivní hodnota samotné 1. harmonické složky. V analogických rovnicích (11) a (12) se ve jmenovateli vyskytuje jak celková efektivní hodnota, tak i efektivní hodnota 1. harmonického proudu. Obě definice jsou možné a vzájemně přepočitatelné. Mezinárodní norma dává přednost pesimistické rovnici (12), která vychází číselně větší. V rovnici definující THD není uvedena stejnosměrná složka, která by se za normálních okolností neměla v síti objevit. Fázový proud může však stejnosměrnou složku obsahovat (jednocestný usměrňovač).

4.2 MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE

Současný rozvoj techniky, který vede k vytvoření rozsáhlých a složitých elektroenergetických soustav, obsahujících náročné systémy přenosu a zpracování dat a informací, podmiňuje také vznik nových elektronických měřících přístrojů a systémů naprosto odlišných od těch, které se používaly ještě před nedávnem. Rozvoj elektroniky, zejména mikroprocesorové techniky, radikálně mění jak koncepci a způsoby použití přístrojů, tak i nároky na měřící metodiku a měřící stanoviště.

Eliminování rušivého vlivu prostředí, které se projevuje nežádoucími vazbami, šumem, rezonančními a přechodnými jevy a má za následek zkreslení až znehodnocení výsledků měření, dokonce v některých extrémních případech i destrukci citlivých elektronických obvodů přístrojů, se stává v současné době jedním z rozhodujících faktorů při měření různých elektrických veličin, zejména v průmyslových provozech. Vezmeme-li do úvahy, že moderní měřicí přístroje mají široký kmitočtový rozsah a z toho vyplývající kmitočtovou závislost měřených veličin, široký dynamický rozsah a různou formu měřených signálů, možnost programování a automatického zpracování a záznamu dat, je zřejmé, že pro úspěšné provedení měření v podmínkách rušivého prostředí nestačí jen dbát na správné konstrukční provedení přístroje z hlediska rušení a jeho správné připojení k měřenému objektu, ale je nutné předem počítat se vzájemným nepříznivým ovlivňováním různých systémů a zařízení a snažit se maximálně zajistit EMC měřicích systémů s měřenými objekty a prostředím.

Základní metodou měření je harmonická analýza obsahu harmonických v deformovaných časových průbězích napětí a proudu.

Měření amplitudy harmonických a fázového úhlu mezi harmonickými napětí a proudu se provádí pro:

- detekování a lokalizaci rušících zdrojů harmonických,
- vyhodnocení toku harmonických v rozvodné síti,
- určení sumačních činitelů harmonických proudů od různých rušících zařízení připojených elektricky ke stejnému uzlu

Měření amplitud harmonických slouží k posouzení, zda měřené zařízení splňuje meze určené normami, nebo zda nepříznivě neovlivňuje charakteristiky sítě nebo funkci jakéhokoliv jiného zařízení připojeného na distribuční síť.

Mají-li být výsledky měření uznávány jako platné pro posouzení shody s normami musí použité měřicí přístroje odpovídat požadavkům a doporučením normy IEC 1000-4-7.

IEC 1000-4-7 Všeobecný pokyn o měření a měřicích přístrojích harmonických a mezharmionických pro rozvodné sítě a zařízení připojovaná do nich. Tato norma se týká přístrojové techniky určené pro měření složek napětí a proudu s kmitočty v rozsahu 0 Hz až 2 500 Hz, které jsou superponovány na napětí nebo proud síťového kmitočtu a rovněž se týká měření harmonických napětí a proudů v rozvodné síti.

Přístroje pro měření harmonických se dělí na dva typy:

- přístroje pracující v kmitočtové oblasti
- přístroje pracující v časové oblasti na principu diskrétní Fourierovy transformace (DTF)

Fourierova transformace

Každá periodická funkce je složena z většího nebo menšího počtu funkcí harmonických. Obecně můžeme každou nesinusovou funkci, která je funkcí času se základní periodou **T** a základní úhlovou frekvencí $\omega = 2\pi / T$, vyjádřit Fourierovou řadou ve tvaru:

$$i = a + b_1 \sin \omega t + b_2 \sin 2\omega t + b_3 \sin 3\omega t + \dots + b_n \sin n\omega t + c_1 \sin \omega t + c_2 \sin 2\omega t + c_3 \sin 3\omega t + \dots + c_n \sin n\omega t \quad (19)$$

položíme-li

$$b_1 = h_1 \cos \varphi_1 \quad c_1 = h_1 \cos \varphi_1$$

$$b_2 = h_2 \cos \varphi_2 \quad c_2 = h_2 \cos \varphi_2$$

$$b_n = h_n \cos \varphi_n \quad c_n = h_n \cos \varphi_n$$

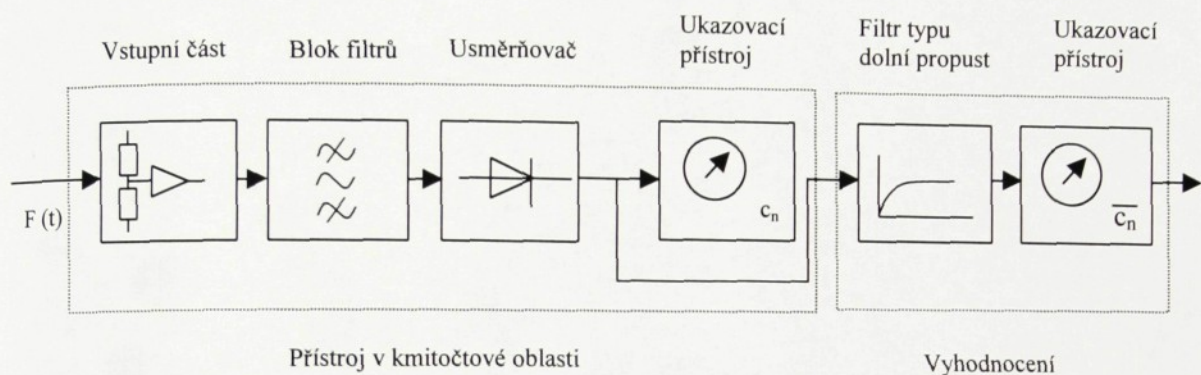
a dosadíme-li dostaneme Fourierovu řadu ve tvaru:

$$i = a + h_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + h_2 \sin(2\omega t + \varphi_2) + \dots + h_n \sin(n\omega t + \varphi_n) \quad (20)$$

Tento způsob určení harmonických složek dané nesinusové funkce nazýváme *harmonickou analýzou*.

4.2.1 Harmonic & Power meter F27

K měření v Komerční bance jsem použila ruční měřicí analyzátor vyšších harmonických CHAUVIN ARNOUX - HARMONIC & POWER METER F27 který má následující rozsahy:



Obr. 12: Schéma analyzátoru kmitočtové oblasti

Proud	1500 mA – 1500 A
Napětí	600 mV – 600 V
Frekvence	0,5 Hz – 20 kHz
Harmonické	1 - 25

Analyzátor se řadí dle normy IEC 61000-4-7 do kategorie přístrojů pracujících v kmitočtové oblasti. To znamená, že provádí analýzu signálů použitím analogové filtrační techniky. Z hlediska třídy přesnosti spadá do kategorie B.

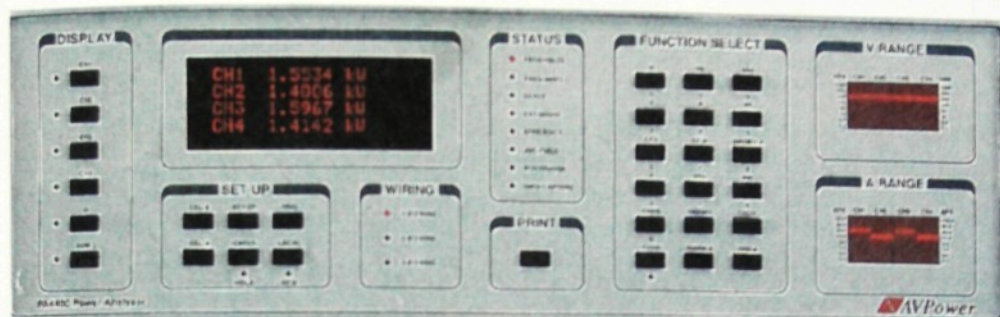
Maximální chyby měření:

Napětí	5% U_m ,	0,15% U_n
Proud	5% I_m ,	0,5 % I_n

Přístroj vyhodnocuje vyšší harmonické na základě rychlé diskrétní Fourierovy transformace.

4.2.2 Analyzátor PA 4400

Harmonický analyzátor výkonu PA 4400 je určen k měření vyšších harmonických a to až do 99. násobku základní frekvence energetické sítě díky rychlé Fourierovy transformace. Tento přístroj lze však použít i na běžná měření proudu, napětí apod.



Obr. 13: Přední panel analyzátoru výkonu PA4400

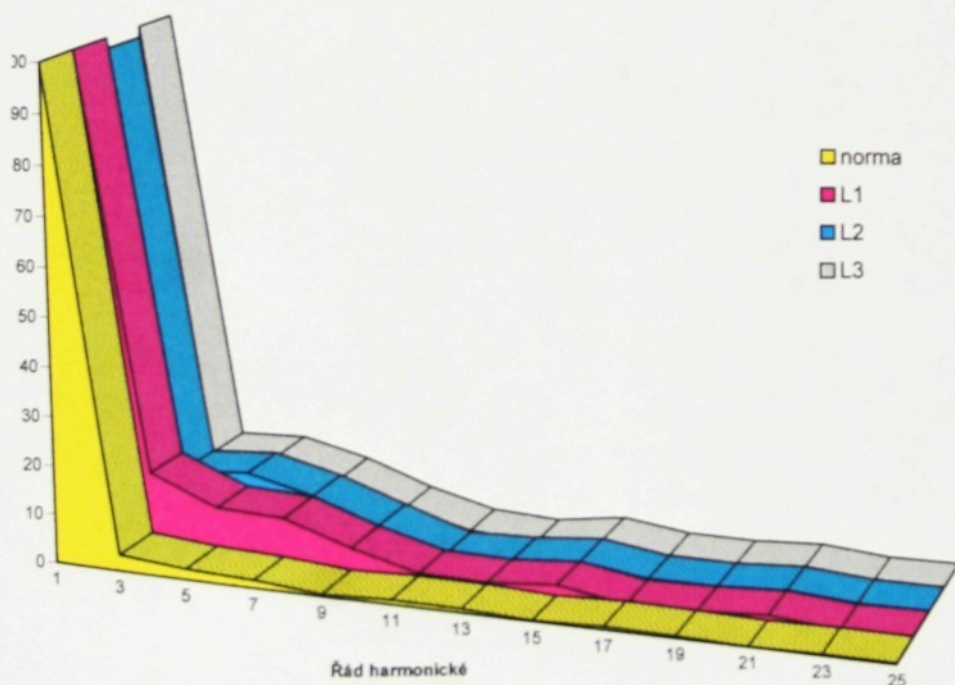
4.3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Měření jsem prováděla na dvou rozvaděčích RMS 62 – B3 a RMS 62 – B4. Přístup k rozvaděči RMS 62 – B3 byl možný pouze jednou druhý rozvaděč je naměřen třikrát. RMS 62 – B4 se skládá z pravého a levého pole. U pravého pole nebylo technicky možné naměřit proud ve fázích. Proto jsou zde uvedeny pouze proudy nulovacích vodičů, ke kterým přístup byl.

Pro lepší přehlednost jsou hodnoty proudů nulovacích vodičů obou polí uspořádány do jednoho grafu.

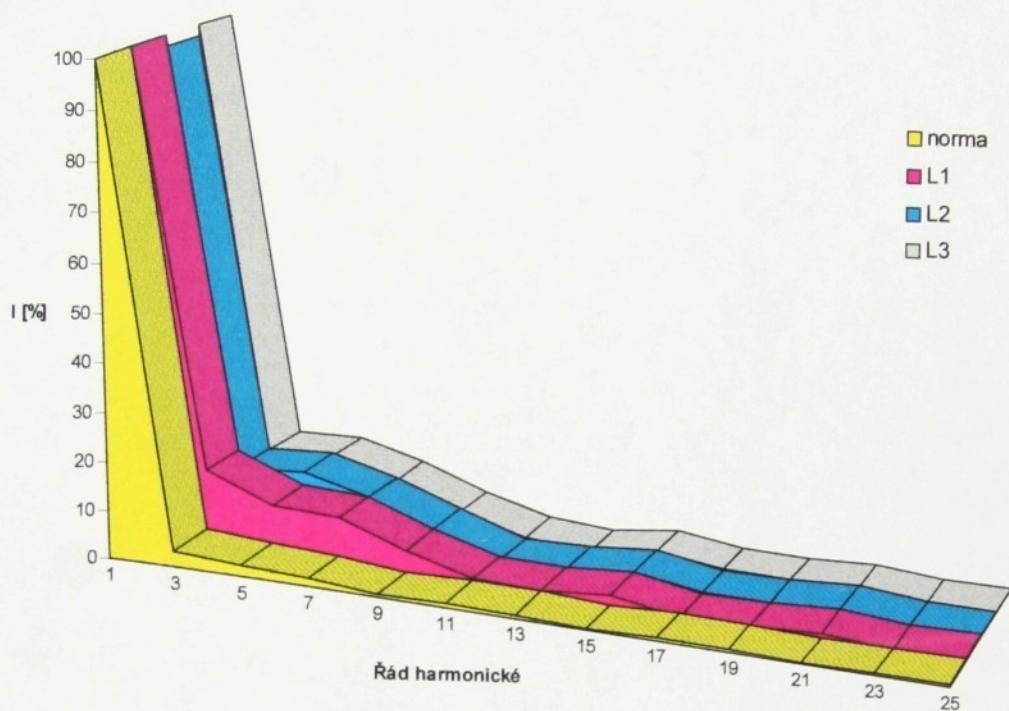
Tabulky korespondující s grafy jsou uvedeny v příloze.

RMS – 64 – B3

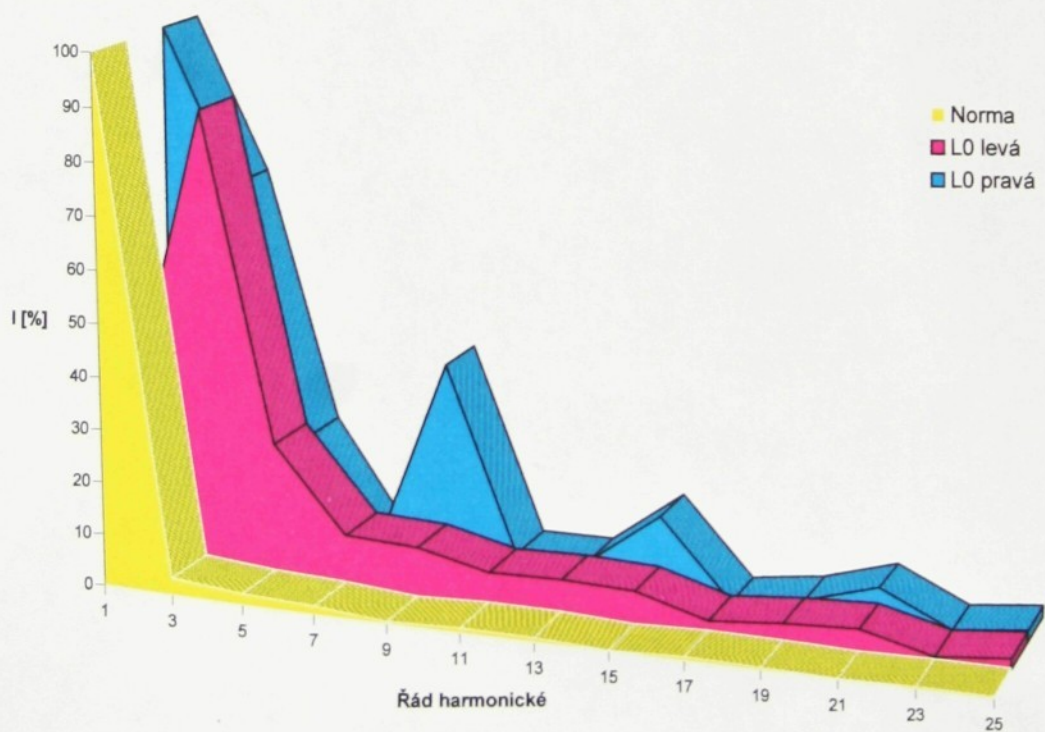


Graf č. 1: Harmonické proudy rozvaděč RMS 62+B3
Měření č.1

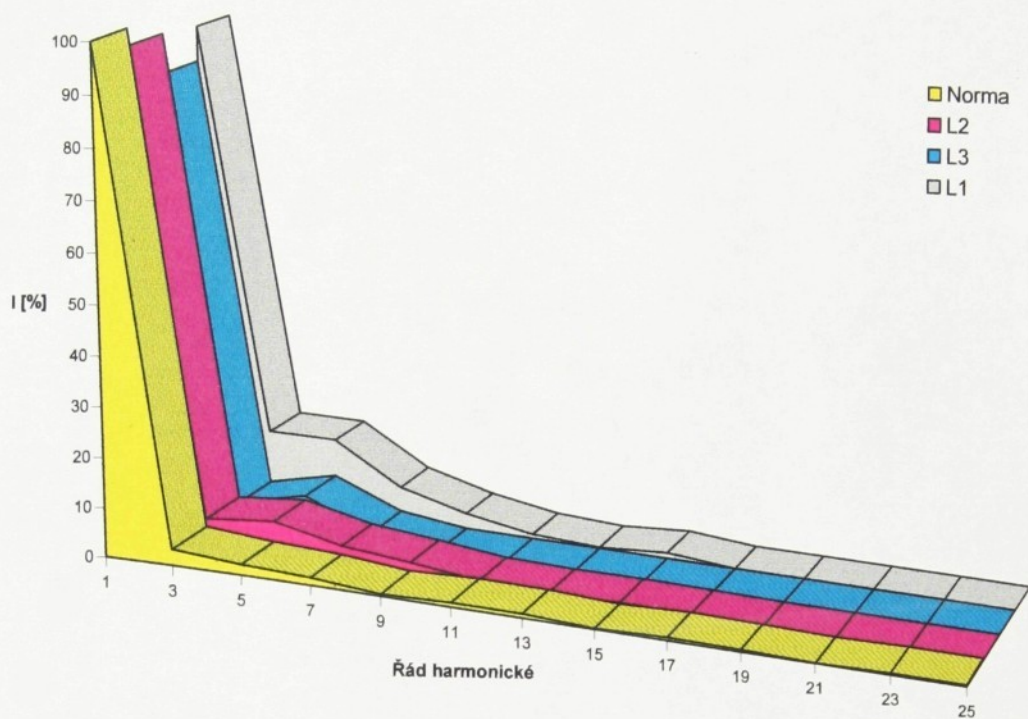
Z Grafu č.1 je zřejmé, že na rozvaděči RMS – B3 došlo k překročení povolené hodnoty harmonických složek proudu ve všech třech fázích. K největšímu zkreslení došlo na nulovacím vodiči.



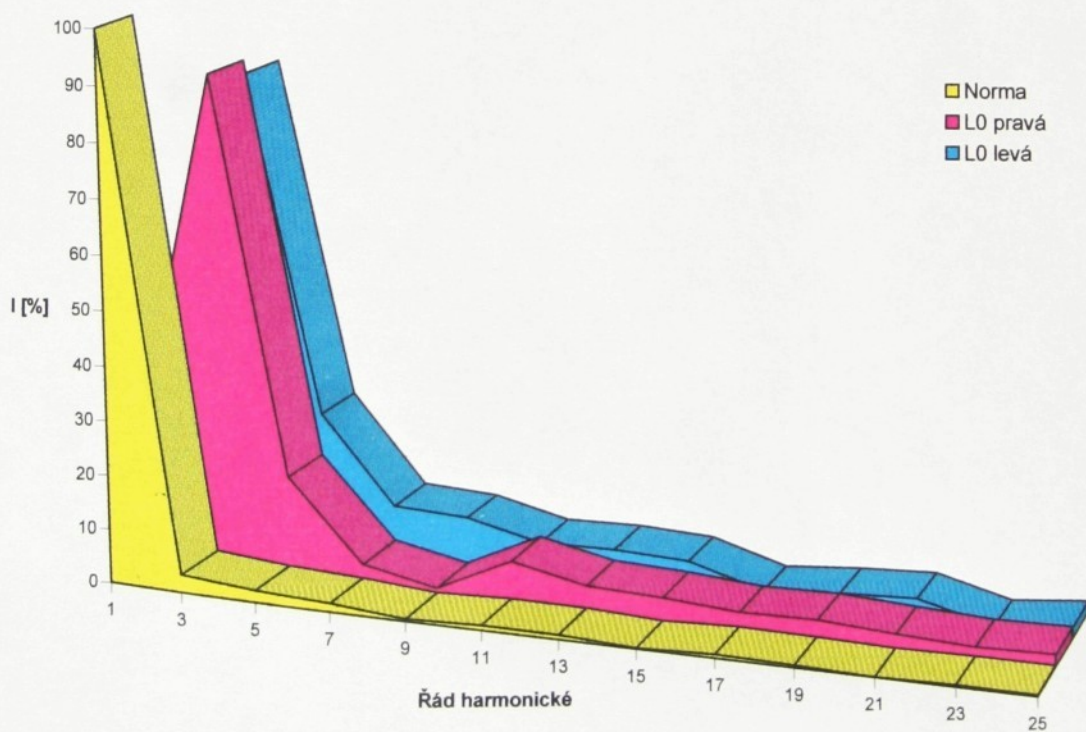
*Graf č. 2: Harmonické proudy rozvaděč RMS 62+B4
Měření č. 1*



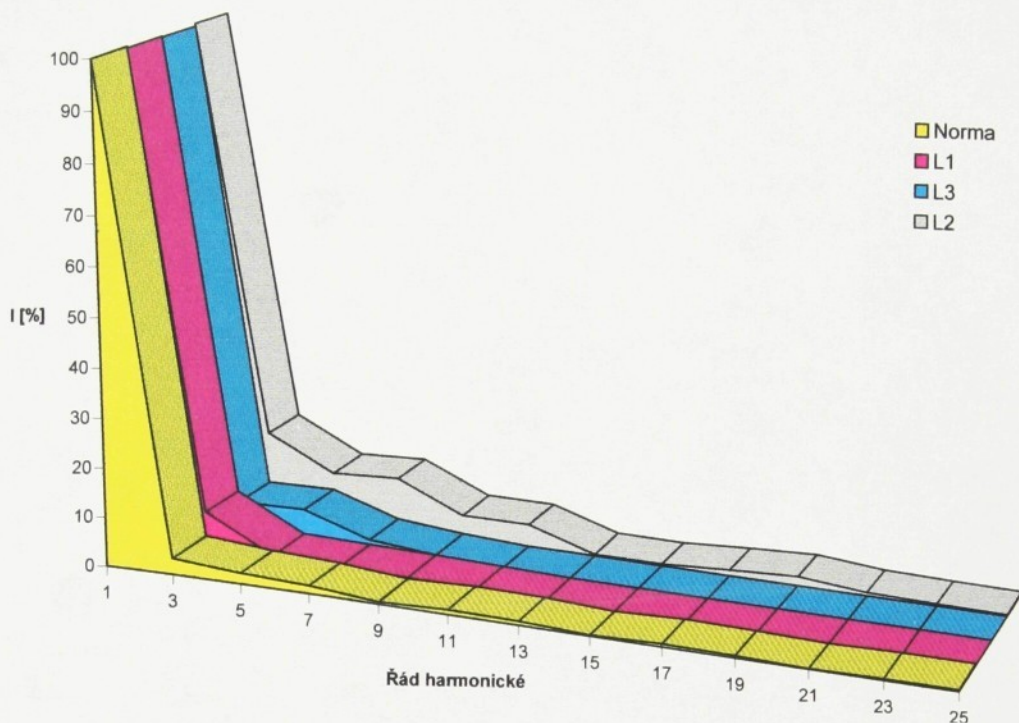
*Graf č. 3: Harmonické proudy rozvaděč RMS 62+B4 - nulovací vodič
Měření č.1*



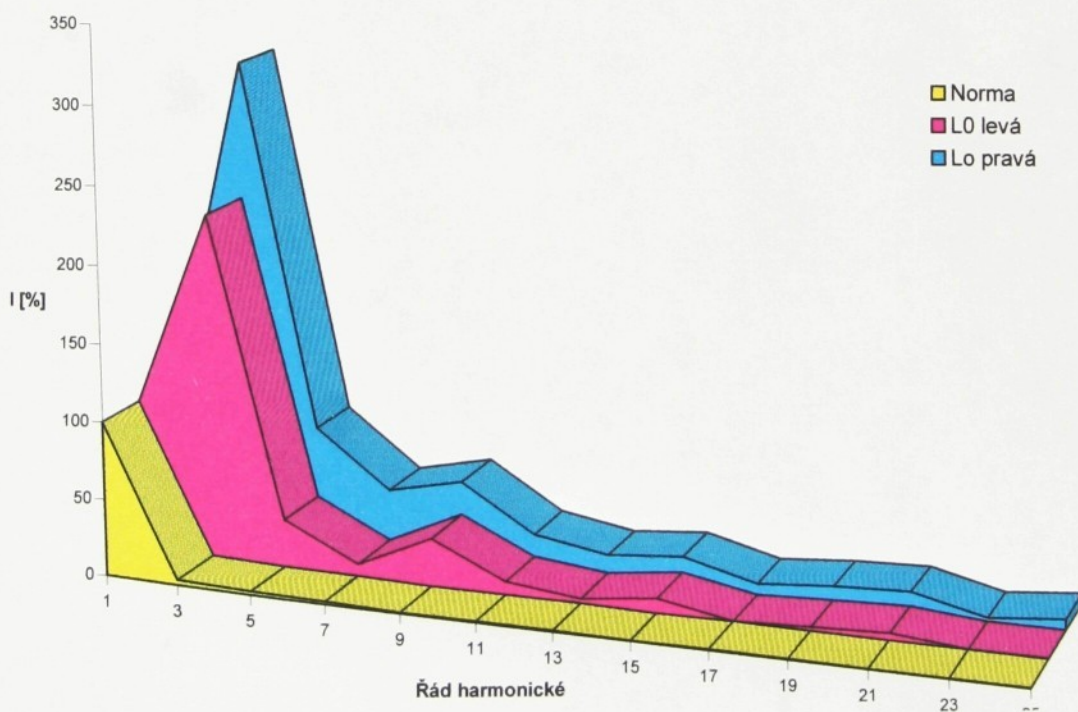
*Graf č. 4: Harmonické proudy rozvaděč RMS 62+B4
Měření č.2.*



*Graf č. 5 : Harmonické proudy rozvaděč RMS 62+B4 - nulovací vodiče
Měření č. 2*



Graf č. 6: Harmonické zkreslení proudu RMS 62+B4
Měření č.3



Graf č. 7: Harmonické zkreslení proudu rozvaděč RMS 62+B4 - nulovací vodič
Měření č. 3

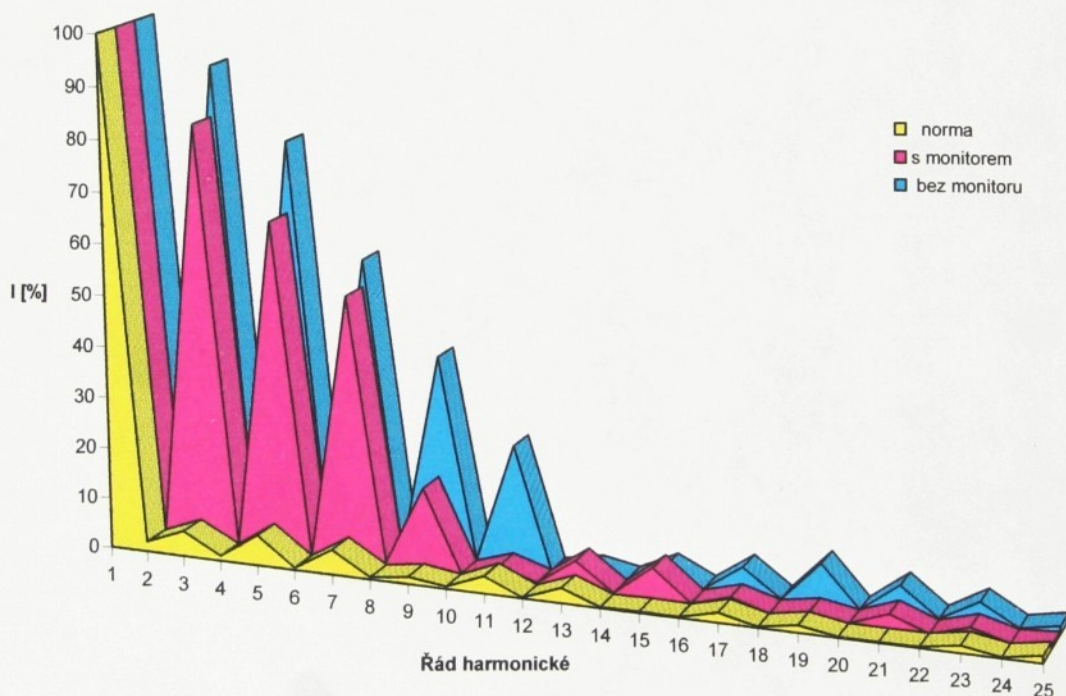
Z Grafů č.2-7 je zřejmé, že též fázemi a především nulovacím vodičem rozvaděče RMS – 62 – B4 procházejí podle normy ČSN IEC 1000-2-2 nepřipustné harmonické proudy.

Pro srovnání bylo také provedeno měření samostatného počítače ve školní elektrolaboratoři.

Sledovali jsme také vliv chodu monitoru na harmonické zkreslení proudů.

Měřený objekt má tyto parametry:

počítač: 220V, 50 Hz, příkon 220 W, dodavatel SHL Bohemia s.r.o.,
monitor: 100-240 V, 47-63 Hz, 1,5 A.



Graf č. 8: Harmonické zkreslení proudu odebíraného počítačem

Z uvedeného grafu vyplývá, že se zapojeným monitorem je v proudu odebíraným počítačem menší výskyt vyšších harmonických.

I s monitorem ovšem znatelně překračuje přípustné hodnoty proudu harmonických dle normy ČSN IEC 1000-2-2

5 ZÁVĚR

V současné době je velice diskutovaná otázka vstupu České republiky do Evropské unie. Abychom se mohli stát členy EU je nezbytně nutná synchronizace norem, která již povolna probíhá. Je tedy jasné, že s pojmem ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA se budeme setkávat stále častěji.

Snaha jednoho státu omezit, případně eliminovat rušení, by byla zcela zbytečná, kdyby se o totéž důsledně nesnažili i ostatní uživatelé elektromagnetického spektra z jiných států.

Proto z těchto důvodů vydala EU svoji direktivu č. 89/336/EEC, která má za cíl prosadit podmínky elektromagnetické kompatibility na všechny zúčastněné státy EU a i na státy, které mají podepsanou asociační dohodu. Naše republika má podepsanou asociační dohodu a tedy se na ní vztahují všechny podmínky této direktivy. Samozřejmě je nutné, aby naše republika přijala příslušné legislativní kroky, které by tuto direktivu uvedly v život

V oblasti nízkofrekvenční kompatibility se jedná zejména o hodnocení kvality sítě, kvality odebírané energie, filtračních a kompenzačních prostředků a robustnosti provozovaných zařízení při deformovaném síťovém napětí, při kolísání jeho velikosti, případně při výpadcích. Do uvedené problematiky spadá také analýza a hodnocení zálohovacích napájecích zdrojů.

Shrneme-li výsledky měření docházíme k překvapujícímu závěru, podle kterého jsou v měřených prostorách překračovány normy týkajících se harmonického zkreslení napájecí sítě. V případě KB je sledování znečištění sítě harmonickými obzvláště urgentní, uvědomíme-li si, že jakýkoli výpadek či porucha napájení by měla pro KB téměř katastrofální následky. V současné době je provoz KB bezchybný, ale tento stav při větším znečištění sítě nemusí být stabilní.

LITERATURA

Polina Vaculíková – Emil Vaculík a kolektiv : Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů. Grada Publishing s.r.o. , 1998

J. Vladař : Elektrotechnika a silnoproudá elektronika, ČVUT Praha 1981

Aleš Richter, Pavel Rydlo, Eva Konečná : Harmonické zkreslení jednofázové napájecí sítě a jeho definice

Miroslav Kapoun : Diplomová práce - Vliv polovodičových měničů na energetickou síť v textilním provozu. TU Liberec 1998

Libor Genčuk : Diplomová práce – Využití analyzátoru výkonu PA 4000 pro praktická měření. Tu Liberec 1998

Sborník přednášek z II. Konference „Energetické rušení v distribučních a průmyslových sítích“ , Brno ERU 1996

Sborník přednášek z III. Konference „Energetické rušení v distribučních a průmyslových sítích“ , Brno ERU 1997

Časopis ELEKTRO: číslo 9, ročník 1993

číslo 5, ročník 1995

číslo 2, ročník 1996

Internet : <http://www.volny.cz/hostiegu>

<http://emc.comtel.cz>

<http://www.emcos.cz>

<http://www.qm.mesit.cz/zkul.htm>

<http://www.hakel.cz/podpora/emc.asp>

<http://www.silektro.cz>

<http://www.elektrorevue.cz/clanky/00025/index.htm>

<http://www.elektrorevue.cz/clanky/00031/index.htm>

<http://www.zti.cz/EMC.htm>

<http://www.csni.cz/WWWCSNI/tnk/tnk47.htm>

POUŽITÉ NORMY

- ČSN EN 1000-1-1** Elektromagnetická kompatibilita
Část 1: Všeobecně
Díl 1: Použití a interpretace základních definic a termínů
- ČSN EN 1000-2-1** Elektromagnetická kompatibilita
Část 2: Prostředí
Díl 1: Popis prostředí ve veřejných rozvodných sítích
- ČSN EN 1000-2-2** Elektromagnetická kompatibilita
Část 2: Prostředí
Díl 2: Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení ve veřejných rozvodných sítích nízkého napětí
- ČSN EN 1000-4-7** Elektromagnetická kompatibilita
Část 4: Zkušební a měřicí techniky
Díl 7: Všeobecný pokyn o měření a měřících přístrojích harmonických a mezipharmonických pro rozvodné sítě a zařízení připojovaná do nich.
- ČSN EN 61000-3-2** Elektromagnetická kompatibilita
Část 3: Meze
Díl 2: Meze pro emise harmonického proudu
- ČSN EN 61000-3-3** Elektromagnetická kompatibilita
Část 3: Meze
Díl 3: Omezení kolísání napětí a blikání v sítích nn
- PNE 33 3430-1** Parametry kvality elektrické energie
Část 1: Harmonické
- PNE 33 3430-2** Parametry kvality elektrické energie
Část : Kolísání napětí
- PNE 33 3430-3** Parametry kvality elektrické energie
Část 3: Nesymetrie napětí
- PNE 33 3430-4** Parametry kvality elektrické energie
Část 4: Poklesy a krátká přerušení napětí

PŘÍLOHY

1) Tabulky

Řád harmonické	norma I [%]	L1		L2		L3		L0	
		I [%]	I [A]	I [%]	I [A]	I [%]	I [A]	I [%]	I [A]
1	100	100	5,86	100	8,36	100	11,51	100	3
3	3,3	5,9	0,34	10,8	0,9	15,7	1,48	89	2,64
5	2,2	2	0,11	11	0,95	8,1	0,71	21	0,57
7	1,6	1,3	0,07	7,6	0,62	5,1	0,47	14	0,45
9	0,44	2,9	0,16	2,5	0,34	8	0,75	30	1,03
11	0,95	1,1	0,06	1	0,08	2,6	0,24	5	0,18
13	0,84	0,3	0,01	0,8	0,07	1,1	0,1	4,8	0,14
15	0,17	0,6	0,03	1,8	0,14	2,3	0,21	14	0,34
17	0,66	0,5	0,02	0	0	0,8	0,08	3,1	0,08
19	0,45	0,4	0,02	0,4	0,03	1,1	0,1	3	0,07
21	0,1	0,4	0,02	1,1	0,08	1,4	0,12	7,4	0,21
23	0,38	0,1	0	0	0	0,6	0,06	1,4	0,04
25	0,35	0	0	0,1	0,01	0,6	0,06	1,7	0,04
RMS [A]		6,04		8,72		11,82		4,62	
CF		1,37		1,45		1,37		2,1	
PEAK [A]		8,26		12,68		16,22		11,1	

Tab. č. 5: Harmonické zkreslení proudu rozvaděč RMS 62+B3
Měření č. 1

Řád harmonické	norma I [%]	L1		L2		L3	
		I [%]	I [A]	I [%]	I [A]	I [%]	I [A]
1	100	100	8,24	97,8	6,04	100	7,9
3	3,3	15,8	1,3	12	0,73	11,7	0,92
5	2,2	10,2	0,85	13	0,78	12,3	0,97
7	1,6	9,6	0,79	9,7	0,61	9,1	0,71
9	0,44	5	0,41	5	0,3	4,4	0,34
11	0,95	1,4	0,11	0,6	0,04	0,9	0,07
13	0,84	1,1	0,08	1	0,05	0,1	0,01
15	0,17	2,3	0,19	2,3	0,14	2,2	0,17
17	0,66	0	0	0,3	0,01	0,4	0,02
19	0,45	0,3	0,02	0,3	0,01	0,3	0,02
21	0,1	1,1	0,08	1,2	0,07	1,1	0,08
23	0,38	0	0	0,2	0,01	0	0
25	0,35	0,4	0,03	0,2	0,02	0,2	0,01
RMS [A]		8,64		6,33		8,19	
CF		1,4		1,49		1,47	
PEAK [A]		12,2		9,49		12,12	
THD [%]		22		22		19,7	

*Tab. č.6: Harmonické proudy rozvaděč RMS 62+B4
Měření č.1*

Řád harmonické	norma I [%]	L0 levé pole		L0 pravé pole	
		I [%]	I [A]	I [%]	I [A]
1	100	33,6	2,77	100	2,3
3	3,3	88	1,95	71,4	6,02
5	2,2	26,5	0,63	23,7	1,81
7	1,6	10,5	0,07	3,8	0,73
9	0,44	9,8	0,99	40,7	0,65
11	0,95	6,6	0,13	5,6	0,44
13	0,84	6,9	0,14	5,7	0,47
15	0,17	6,3	0,38	16	0,43
17	0,66	2,3	0,02	1,1	0,15
19	0,45	3,5	0,06	3,1	0,24
21	0,1	4,2	0,18	7,2	0,28
23	0,38	0,7	0,01	0,7	0,04
25	0,35	2,1	0,07	2,3	0,13
RMS [A]		6,92		3,81	
CF		1,96		2,03	
PEAK [A]		13,02		8	
THD [%]		287		95	

*Tab. č.7: Harmonické proudy rozvaděč RMS 62+B4 - nulovací vodiče
Měření č. 1*

Řád harmonické	I [%] norma	L1		L2		L3	
		I [%]	I [A]	I [%]	I [A]	I [%]	I [A]
1	100	95,824	8,72	96,681	6,7	88,976	1,13
3	3,3	14,505	1,32	4,906	0,34	3,937	0,05
5	2,2	14,505	1,32	6,205	0,43	7,087	0,09
7	1,6	6,593	0,6	3,319	0,23	1,575	0,02
9	0,44	3,077	0,28	2,020	0,14	0,000	0
11	0,95	0,879	0,08	0,577	0,04	0,000	0
13	0,84	0,165	0,015	0,289	0,02	0,000	0
15	0,17	1,099	0,1	0,433	0,03	0,000	0
17	0,66	0,000	0	0,289	0,02	0,000	0
19	0,45	0,000	0	0,000	0	0,000	0
21	0,1	0,000	0	0,000	0	0,000	0
23	0,38	0,000	0	0,000	0	0,000	0
25	0,35	0,000	0	0,000	0	0,000	0
RMS [A]		9,1		6,93		1,27	
CF		1,42		1,48		1,7	
PEAK [A]		13		10,3		2,13	

*Tab. č.8: Harmonické proudy rozvaděč RMS 62+B4
Měření č.2*

Řád harmonické	I [%] norma	L0 levé pole		L0 pravé pole	
		I [%]	I [A]	I [%]	I [A]
1	100	33,6	4	27,378	2,36
3	3,3	88	6,5	90,487	7,8
5	2,2	26,5	1,12	18,794	1,62
7	1,6	10,5	0,1	4,060	0,35
9	0,44	9,8	0,16	1,276	0,11
11	0,95	6,6	0,25	7,773	0,67
13	0,84	6,9	0,08	4,872	0,42
15	0,17	6,3	0,05	4,292	0,37
17	0,66	2,3	0	3,248	0,28
19	0,45	3,5	0	3,480	0,3
21	0,1	4,2	0	2,668	0,23
23	0,38	0,7	0	1,972	0,17
25	0,35	2,1	0	2,320	0,2
RMS [A]		8,06		8,62	
CF		2,07		1,79	
PEAK [A]		16,6		15,9	

*Tab. č.9: Harmonické proudy rozvaděč RMS 62+B4
Měření č.2*

Řád harmonické	I [%] norma	L1		L2		L3	
		I [%]	I [A]	I [%]	I [A]	I [%]	I [A]
1	100	99,6	1,72	100	1,6	99,5	1,05
3	3,3	8,3	0,14	16,5	0,24	6	0,05
5	2,2	1,2	0,01	9,7	0,15	6,3	0,06
7	1,6	0,9	0,01	10,5	0,17	1,9	0,01
9	0,44	0,7	0	4,6	0,06	0,7	0
11	0,95	0,4	0	4,7	0,07	0,1	0
13	0,84	0,1	0	0,4	0,05	0,1	0
15	0,17	0,1	0	0,4	0,04	0,1	0
17	0,66	0	0	1,2	0,01	0	0
19	0,45	0	0	1,9	0,01	0	0
21	0,1	0	0	0,7	0	0	0
23	0,38	0	0	0,4	0	0	0
25	0,35	0	0	0,3	0	0	0
RMS [A]		3,14		3,39		1,86	
CF		1,55		1,92		1,58	
PEAK [A]		2,18		1,74		1,16	
THD [%]		8,4		24		8,7	

*Tab. č.10: Harmonické zkreslení rozvaděč RMS 62+B4
Měření č. 3*

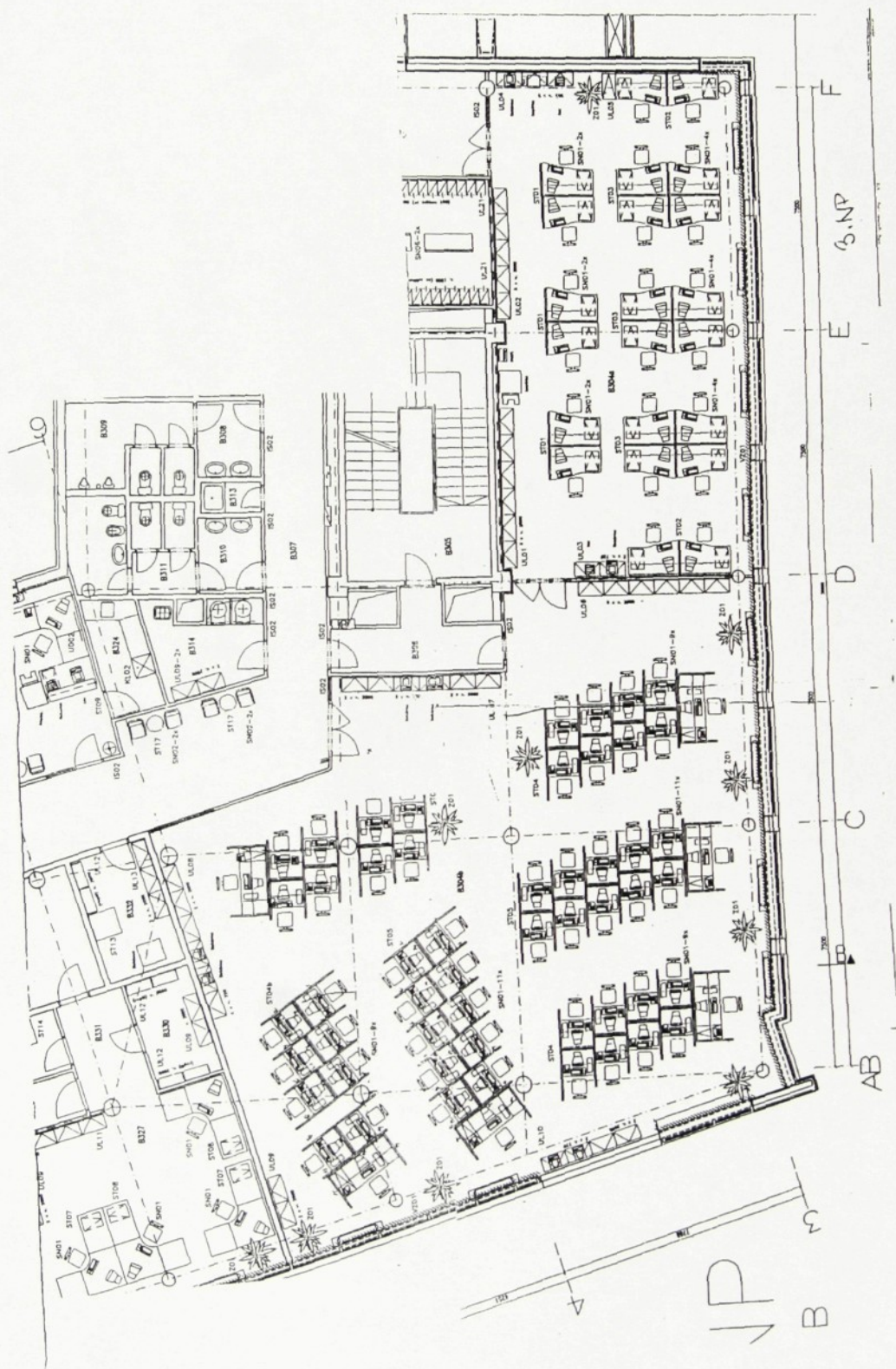
Řád harmonické	I [%] norma	L0 levé pole		L0 pravé pole	
		I [%]	I [A]	I [%]	I [A]
1	100	100	1,58	100	2
3	3,3	225,3	3,69	312,2	5,86
5	2,2	33,1	0,49	78,9	1,42
7	1,6	9,3	0,13	42,5	0,83
9	0,44	31,6	0,48	53,2	1,09
11	0,95	9,1	0,14	23,7	0,49
13	0,84	3,7	0,06	15,6	0,35
15	0,17	9,6	0,14	20,1	0,37
17	0,66	0,7	0,01	7,9	0,14
19	0,45	2,8	0,04	12	0,22
21	0,1	4,7	0,06	14,1	0,27
23	0,38	0,5	0	2,7	0,05
25	0,35	0,7	0,02	7,5	0,14
RMS [A]		7,9		14,69	
CF		2,07		2,18	
PEAK [A]		3,95		6,71	
THD [%]		250,1		328,7	

*Tab. č.11: Harmonické zkreslení proudu rozvaděč RMS 62+B4 – nulovací vodiče
Měření č. 3*

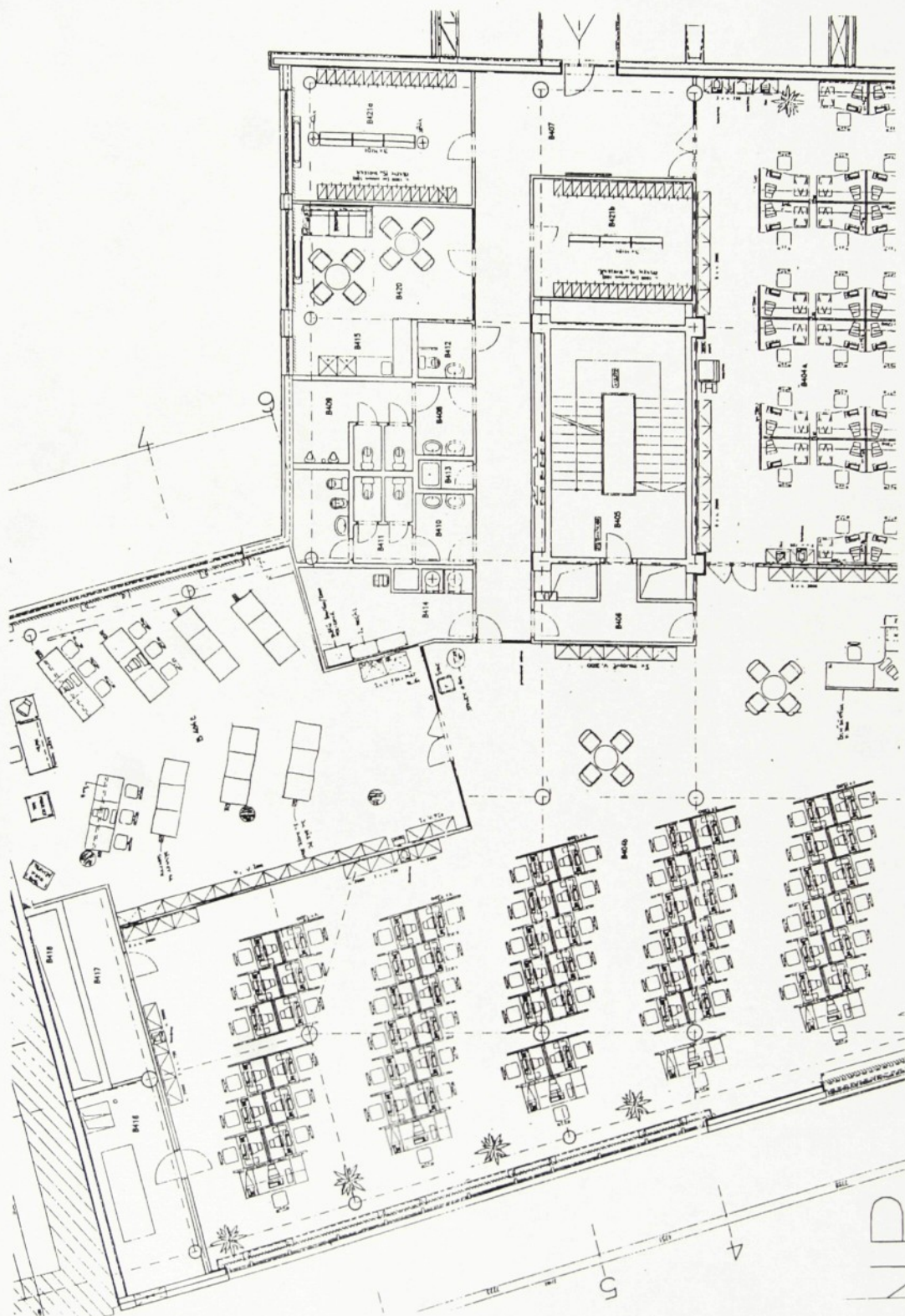
Řád harmonické	I [%] norma	I [%] s monitorem	I [%] bez monitoru
1	100	100	100
2	1,2	1,5	1
3	3,3	82,5	92,4
4	0,6	1	0,8
5	2,2	65,2	79,05
6	0,4	0,6	1,11
7	1,6	52,3	57,53
8	0,2	1	0,86
9	0,44	16,5	40,13
10	0,16	0,6	0,84
11	0,95	3	24,32
12	0,13	0,6	0,46
13	0,84	5,8	1,98
14	0,11	0,4	0,53
15	0,17	6,3	4,13
16	0,1	0,3	0,54
17	0,66	2,4	5,72
18	0,09	0,2	0,35
19	0,45	1,5	8,31
20	0,08	0,2	0,17
21	0,1	2,9	5,9
22	0,07	0,1	0,32
23	0,38	2,25	4,56
24	0,07	0,18	0,37
25	0,35	0,7	1,75

Tab. č.12: Harmonické zkreslení proudu odebíraného počítačem

2) Výkresy



Výkres č.1: Třetí patro Palác SYNER - plán podlaží



Výkres č.2: Čtvrté patro Palác SYNER - plán podlaží