

ZÁKLADY ELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY, JAKOST ELEKTRICKÉ ENERGIE

G STUDIJNÍ CÍLE

Po prostudování :

- § Seznámíte se se základními pojmy EMC
- § Poznáte účinky elektromagnetického záření
- § Seznámíte se s možnostmi simulace a modelování účinků EMC
- § Pochopíte, co si představit pod pojmem kvalita elektrické energie

Ñ KLÍČOVÁ SLOVA

EMC, kompatibilní úrovně, zdroje rušení, přenosové vazby.

Â ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU

180 minut

1. ZÁKLADNÍ POJMY A ČLENĚNÍ OBORU EMC

1.1 Úvod do problematiky

Elektromagnetická kompatibilita (slučitelnost) EMC je definována jako schopnost zařízení, systému či přístroje vykazovat správnou činnost i v prostředí, v němž působí jiné zdroje elektromagnetických signálů (přírodní či umělé) a naopak svou vlastní "elektromagnetickou činností" nepřipustně neovlivňovat své okolí, tj. nevyzařovat signály, jež by byly rušivé pro jiná zařízení.

Elektromagnetická kompatibilita vznikla jako samostatná vědecko technická disciplína v šedesátých letech 20. století v USA a poměrně dlouhou dobu 10 až 15 let byla předmětem zájmu jen úzkého okruhu odborníků v elektronice, pracujících ve vojenském a kosmickém průmyslu. S prudkým rozvojem elektroniky, zejména mikroprocesorové a komunikační techniky v posledních desetiletích a jejím pronikání do všech oblastí každodenního života ztratila EMC svoji exkluzivnost a stále více se dotýká nás všech.

Název "elektromagnetická kompatibilita" (z anglického "Electromagnetic Compatibility", z něhož pochází i mezinárodně užívaná zkratka EMC) vyjadřuje tedy schopnost současné správné funkce, tj. koexistence zařízení nebo systémů nacházejících se ve společném elektromagnetickém prostředí bez závažného ovlivňování jejich normálních funkcí. V němčině se používá pojmu "Elektromagnetische Verträglichkeit" (EMV), v ruštině "Elektromagnitnaja sovmestimost". V češtině byl dříve někdy užíván pojem "elektromagnetická slučitelnost", dnes se většinou dává přednost názvu elektromagnetická kompatibilita.

1.2 EMC - důvody samostatného rozvoje a důsledky jejího porušování

Zařízení nebo systémy (a to jak technické, tak i biologické) musí být odolné vůči působení jiných zařízení a nesmí přitom samy nepříznivě ovlivňovat normální funkci jiných systémů či zařízení. Přitom každý systém nebo zařízení, nebo jejich určitá část, může být současně vysílačem (zdrojem) i přijímačem (tj. obětí) rušení. Elektromagnetická kompatibilita je tedy vyšší a širší pojem než prostá spolehlivost daného zařízení, s níž byla v počátcích často mylně zaměňována a ztotožňována. H. M. Schlike, jeden ze zakladatelů elektromagnetické kompatibility jakožto samostatného 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 na systém, který má fungovat v každé době a za všech okolností"**.

Rozvoj elektroniky v posledních desetiletích dal H. M. Schlikemu jednoznačně za pravdu. V důsledku neustále stoupajícího množství elektrických spotřebičů, neúnosně stoupá úroveň rušení v kmitočtových pásmech prakticky od 0 Hz až do stovek GHz. Elektronická zařízení nebo přístroje mohou obsahovat generátory netlumených a modulovaných kmitů pracujících na různých kmitočtech, generátory obrazových a vysokofrekvenčních impulsů, řetězce výkonových zesilovačů vysokofrekvenčních, nízkofrekvenčních a impulsních. Všechny tyto díly pracují na poměrně vysokých výkonových úrovních měřitelných jak mW, tak i MW. Ve stejných

zařizích nebo v zařizích sousedících mohou být citlivé přijímače pracující na stejných nebo odlišných kmitočtech, citlivé zesilovače či (a to zejména) mikroprocesorové obvody. Tyto části pracují často při extrémně nízkých úrovních výkonu řádově až 10^{-14} W. Různé díly elektronického zařizích tak pracují na nejrozličnějších úrovních výkonu - maximální poměr těchto výkonů může dosáhnout až 200 dB, tj. 10^{20} . Pravděpodobnost vzájemného rušení je za těchto podmínek velká.

V praxi, kdy citlivá elektronická zařizích musí často pracovat v prostředí se silným rušením, vznikají mnohdy značně obtížné situace. Tak např. vstupní měřicí ústředna řídicího počítače se spojuje s výrobním technologickým procesem prostřednictvím množství čidel, k nimž často vedou i několik set metrů dlouhé přívodní kabely nesoucí signály nízkých úrovní mV a mA. Kabely jsou přitom často vystaveny působení silných rušivých polí schopných do nich indukovat napětí, dosahující desítek až stovek voltů. Tyto parazitní signály - impulsní nebo harmonické - pak mohou být vyhodnoceny jako informace došlé z technologického procesu a mít za následek nesprávný zásah (mnohdy automatický) s možným rizikem hospodářských škod, havárií na technickém zařizích, ale i ohrožení života či zdraví lidí.

V zahraničním odborném tisku byla publikována řada příkladů, kdy nedodržení požadavků EMC mělo katastrofální následky [1]:

- § Zničení stíhacího letounu NATO typu Tornado v roce 1984. Příčinou katastrofy bylo rušení elektronického řídicího systému letadla elektromagnetickým vlněním. Letadlo letělo ve výšce 230 m rychlostí 800 km/hod. nad vysílačem velkého výkonu v Holkirchenu u Mnichova v SRN. V důsledku selhání automatického systému řízení se letadlo zřítilo. Hmotná škoda byla vyčíslena na 100 miliónů marek.
- § Potopení britského křižníku Sheffield v roce 1982 během falklandské války argentinským letadlem. Příčinou bylo nedodržení elektromagnetické kompatibility mezi palubním komunikačním zařizích lodi a jejím rádiovým obranným protiletadlovým systémem určeným k rušení cílové navigace nepřátelských raket. Tento systém způsoboval tak velké poruchy při vlastní rádiové komunikaci křižníku, že musel být během rádiového spojení lodi s velitelstvím ve Velké Británii vypínán. A právě v takovém okamžiku odpálilo argentinské letadlo raketu Exocet, která křižník potopila. Dvacet lidí přišlo o život.
- § Havárie rakety typu Pershing II v SRN v důsledku elektrostatického výboje. Při převozu rakety byl její pohon neúmyslně odpálen elektrostatickou elektřinou z okolní bouřky.
- § Havárie v hutích na východním pobřeží USA v roce 1983. Příčinou havárie bylo rušení mikroprocesorového systému řízení jeřábu, přenášejícího lící pánev s tekutou ocelí příruční vf. vysílačkou. Lící pánev se předčasně převrhla a rozžhavený kov zabil na místě jednoho dělníka a čtyři další vážně zranil.

Rovněž v tuzemsku je známa řada případů poruch a neštěstí vlivem nedodržení základních zásad EMC [2]:

- § Havárie systému hromadného dálkového ovládání těžních mechanismů na Náchodsku. K havárii došlo při připojení těžního stroje o výkonu 3,4 MW k rozvodné síti 35 kV. Těžní zařizích tvořil pohon s tyristorovou regulací, přičemž jeho měnič byl připojen k rozvodné síti přímo bez odpovídající filtrace a kompenzace. Rušivý zpětný vliv měniče způsobil zhroucení systému hromadného

dálkového ovládání (a tím i sama sebe) nejen v okolí dolu, ale prakticky v celé oblasti Náchodska.

- § Z podobných důvodů vznikl havarijní stav v cukrovaru Mělník po instalaci odstředivek s tyristorovými měniči o výkonu 200 kW místo klasických rotačních měničů. Po jejich připojení k napájecí síti 22 kV došlo k takovému kolísání a deformacím napájecího napětí, že nastal skupinový výpadek měničů působením napěťových ochran. Přitom toto zhoršení kvality napájecí sítě vyvolaly vlastně samy měniče, které byly (dle tehdejších zvyklostí) připojeny na síť přímo bez potřebné filtrace a kompenzace. Vznikla tak opět paradoxní situace, při níž se zdroj rušení stal obětí vlastního rušení.
- § Ztráta rádiového spojení mezi vysílači a přijímači na lodích Labské plavby a v dolech na Ostravsku. Ve všech těchto případech docházelo k intenzivnímu rušení zcela znemožňující rádiové spojení na kmitočtech 1 až 2 MHz. Kromě toho, v dolech toto rušení narušilo i funkci automatického havarijního vypínání důlního kombajnu. Zdrojem rušení v dolech byl tyristorový měnič, který byl částí pohonu kombajnu, na lodích byl zdrojem rušení mikroprocesorový řídicí systém obsahující výkonové tranzistorové napáječe.
- § Havárie ve zdravotnických zařízeních. Diagnostická souprava na jednotce intenzivní péče nemocnice v Praze monitorovala dech, tep a teplotu připojených pacientů. Spínání okolních silových spotřebičů však vyvolávalo v kardiostopu přídatné pulsy, které byly vyhodnocovány 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 souprava vzhledem k její naprosté neodolnosti vůči rušení musela být vyměněna za jiný systém od jiného výrobce, splňující požadavky EMC.
- § Při každé bouři je přepětím poškozována řada telefonních ústředí a koncových zařízení, jako faxy, záznamníky a telefony. Důvodem je nedostatečná odolnost těchto zařízení proti přepětí a nevhodné či chybějící přepětivé ochrany na vedení.

Je tedy zřejmé, že nízká odolnost a celkové nerespektování zásad EMC může mít až tragické následky.

1.3 Základní členění oboru EMC

Problematiku EMC lze členit podle mnoha různých hledisek. Celkově lze otázky EMC rozdělit na dvě hlavní oblasti: EMC biologických systémů a EMC technických systémů a zařízení.

1.3.1 Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů

EMC biologických systémů se zabývá celkovým "elektromagnetickým pozadím" našeho životního prostředí a přípustnými úrovněmi rušivých i užitečných elektromagnetických signálů (přírodních i umělých) s ohledem na jejich vlivy na živé organismy. I když tyto vlivy jsou pozorovány již delší dobu, nejsou výsledky dosavadních biologických a biofyzikálních výzkumů v této oblasti zdaleka jednoznačné. Biologické účinky elektromagnetického pole závisí totiž na jeho charakteru, době působení i na vlastnostech organismu. Protože nejsou známy

receptory pole (tj. vstupy elektromagnetického pole do organismu), posuzují se tyto účinky jen podle nespecifických reakcí organismu.

Každý člověk reaguje na působení elektromagnetického pole jinak, protože jeho adaptační, kompenzační a regenerační možnosti a schopnosti jsou individuální. Proto je velmi obtížné analyzovat změny v organismu a na základě statistických výsledků dojít k obecně platným závěrům. To je jeden z důvodů, proč je ve světě zatím jen málo konkrétních klinických studií a ty co existují jsou zaměřeny na vyšší expozice elektromagnetickým polem v pracovním procesu. Přitom za nežádoucí vlivy na člověka lze dnes považovat nejen přímé působení elektromagnetického pole na jeho pracovišti (obsluha vysílačů, radiolokátorů, výpočetních středisek apod.), ale i dlouhodobé bezděčné působení elektronizovaného životního prostředí zejména doma, kde většina lidí tráví hodiny svého času ve "společnosti" elektrických a elektronických zařízení (televizní a rozhlasové přijímače, kuchyňské spotřebiče, osobní počítače apod.).

Problematikou EMC biologických systémů se zabývají některá výzkumná lékařská pracoviště s cílem posoudit odolnost lidského organismu vůči elektromagnetickým vlivům, mechanismy jejich působení apod. U vysokofrekvenčních a mikrovlnných polí jsou relativně nejvíce objasněny tzv. **tepelné účinky**, tj. účinky, které se objeví jako výsledek ohřevu tkání vystavených vysokým úrovním polí. Příslušné hodnoty prahových výkonových hustot elektromagnetického pole na velmi vysokých kmitočtech, při jejichž překročení může nastat tepelné poškození organismu jsou uvedeny v Tab.1.1.

Pásmo elektromagnet. vln [GHz]	Prahová výkonová hustota [mW/cm ²]
0,3 - 3	40
3 - 30	10
30 - 300	7

Tab. 1.1. Prahové výkonové hustoty tepelných účinků elektromagnetického pole

Účinky elektromagnetického pole na centrální nervový systém, srdečně-cévní, krvetvorný a imunitní systémy se přisuzují tzv. **netepelným účinkům**, tj. déle trvajícím expozicím polí s relativně nízkou výkonovou úrovní. Ani tyto, ani genetické či karcinogenní účinky však zatím nebyly jednoznačně prokázány. Všechny tyto skutečnosti v obtížnosti posuzování EMC biologických systémů jsou příčinou toho, že v příslušných hygienických normách ve světě existují až řádově velké rozdíly, např. v přípustných dávkách elektromagnetického záření.

V České republice se této problematice týká Vyhláška ministerstva zdravotnictví č. 408/1990 Sb, která stanovuje poměrně přesné požadavky pro práci a pobyt osob v elektromagnetickém poli. Vyhláška především ukládá každému, kdo provozuje zdroje elektromagnetického záření (např. rozhlasové, televizní, ale i amatérské či občanské vysílače a generátory), aby učinil technická a organizační opatření, která omezí počty i ozařování osob elektromagnetickým polem na nejmenší možnou míru, nejvýše však na hodnoty stanovené touto vyhláškou. Stanovují se zde největší přípustné velikosti ozáření jak pracovníků, tak i "běžného" obyvatelstva. Velikost ozáření se přitom určuje jako velikost celkové energie záření W , tj. jako součin druhé mocniny intenzity E nebo H a času expozice t v hodinách v jednom pracovním cyklu (pětidenní

pracovní týden pro pracovníky, kalendářní týden pro obyvatelstvo). Jak plyne z Tab.1.2, jsou tyto mezní velikosti ozáření závislé na kmitočtovém pásmu a s rostoucím kmitočtem se rychle zmenšují. Kromě velikosti ozáření jsou v Tab.1.2 (a tedy ve Vyhlášce 408/1990) stanoveny i mezní úrovně polí (elektrického E_{mez} , magnetického H_{mez} či výkonové hustoty P_{mez}), které nesmějí být překročeny ani krátkodobě. Dodržení těchto hodnot musí výrobce či provozovatel příslušného zařízení zajistit a kontrolovat opakovaným měřením.

Velikost ↓ Kmitočet [MHz]	Pracovníci u zdrojů záření				Obyvatelstvo			
	0,06 - 3	3 - 30	30 - 300	> 300	0,06 - 3	3 - 30	30 - 300	> 300
E_{mez} [V/m]	500	300	100	-	180	80	30	-
H_{mez} [A/m]	50	-	-	-	15	-	-	-
P_{mez} [mW/cm ²]	-	-	-	2,65	-	-	-	0,25
W_E [(V/m).hod]	50 000	7 000	800	-	5 000	700	100	-
W_H [(A/m).hod]	200	-	-	-	20	-	-	-
W_P [(mW/cm ²).hod]	-	-	-	0,8 . K ₁	-	-	-	0,12.K ₂

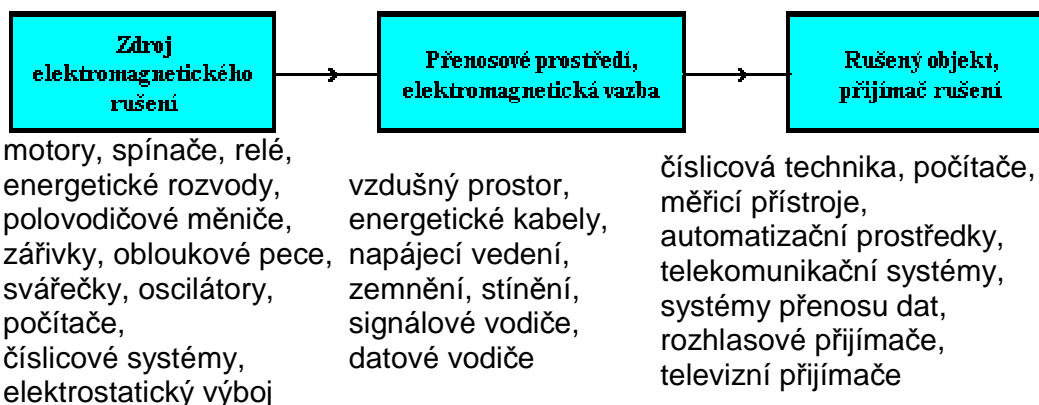
$W_E = E^2 t$, $W_H = H^2 t$, $W_P = P^2 t$; stacionární antény a zářiče $K_1 = 1$ $K_2 = 1$
mechanicky sektorující antény $K_1 = 2,5$ $K_2 = 5$
otáčející se antény $K_1 = 120$ $K_2 = 360$

Tab. 1.2. Mezní úrovně elektromagnetického pole a největší přípustná ozáření podle vyhlášky Ministerstva zdravotnictví ČR č. 408/1990 Sb.

1.3.2 Elektromagnetická kompatibilita technických systémů

Druhá základní oblast, tedy EMC technických systémů a zařízení, se zabývá vzájemným působením a koexistencí technických prostředků, zejména elektrotechnických a elektronických přístrojů, prostředků a zařízení. Elektromagnetická kompatibilita se tak z původní disciplíny, zabývající se pouze ochranou proti rušení rádiového příjmu, v současnosti rozvinula ve velmi široký obor, který se člení na několik dílčích podoborů a oblastí. Při zkoumání jednotlivých problémů EMC je třeba mít vždy na paměti, že EMC je oborem výrazně **aplikačním** a zejména **systémovým**. Přitom je vhodné si uvědomit slova Prof. C. R. Paula, jednoho ze světově uznávaných "otců" vzdělávacích koncepcí v oblasti EMC, že **"elektromagnetická kompatibilita není praktickou aplikací nějakých nových principů či postupů, ale je pouze specifickou aplikací obecných, základních a mnoha oblastem společných zákonů a principů"** [1]. Koncepce a principy EMC lze tedy vždy chápat jako jednu oblast praktické aplikace obecných teoretických principů elektrotechniky a elektroniky.

Při zkoumání EMC daného zařízení či systému (a to jak technického, tak i biologického) se vychází vždy z tzv. **základního řetězce EMC**, naznačeného na obr.1.1. Tento řetězec zdůrazňuje již zmíněný systémový charakter problematiky EMC, kdy v obecném případě vždy vyšetřujeme všechny tři jeho složky.



Obr.1.1. Základní řetězec EMC a příklady jednotlivých oblastí

První oblast **zdrojů elektromagnetického rušení** zahrnuje zkoumání obecných otázek mechanismů vzniku rušení, jeho charakteru a intenzity. Patří sem jednak tzv. přírodní (přirozené) zdroje rušivých signálů (Slunce, kosmos, elektrické procesy v atmosféře apod.), jednak tzv. umělé zdroje rušení, tj. zdroje vytvořené lidskou činností ("*man made noise*"), k nimž patří nejrůznější technická zařízení - zapalovací systémy, elektrické motory, výroba, přenos a distribuce elektrické energie, elektronická zařízení, elektronické sdělovací prostředky, tepelné a světelné spotřebiče apod.

Druhá oblast řetězce EMC se zabývá **elektromagnetickým přenosovým prostředím a vazbami**, tedy způsoby i cestami, kterými se energie ze zdroje rušení dostává do rušených objektů - přijímačů rušení.

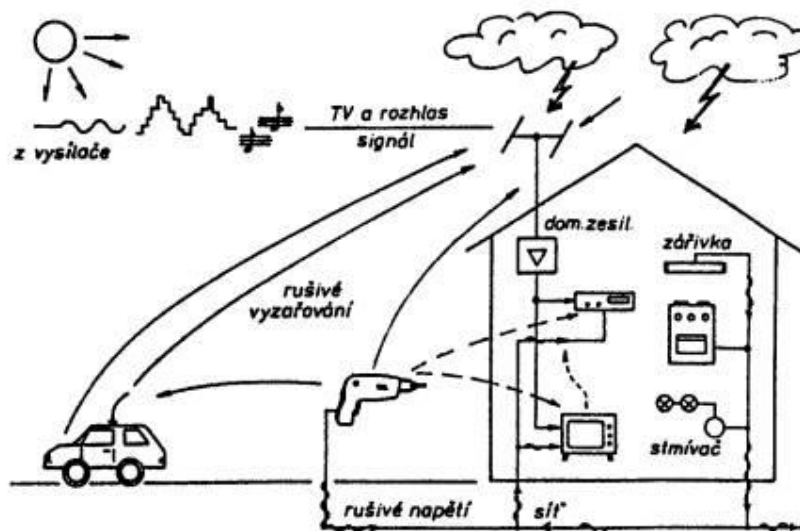
Konečnou oblastí je problematika **objektů** či **přijímačů rušení** zabývající se klasifikací typů a podrobnou specifikací rušivých účinků na základě analýzy konstrukčních a technologických parametrů zařízení a z toho plynoucí jejich elektromagnetickou odolností.

Skutečná souvislost tří oblastí základního řetězce EMC je samozřejmě mnohem složitější, než je znázorněno na obr.1.1. Každý systém nebo zařízení, nebo jeho určitá část, může být současně jak vysílačem (zdrojem), tak i přijímačem elektromagnetického rušení. Přesto můžeme v technické praxi většinou označit element méně citlivý na rušení a generující větší úroveň rušení jako zdroj (vysílač) rušícího signálu a naopak, citlivější element s menší úrovní generovaného rušení za přijímač rušivých signálů. V obou směrech jsou přitom zdroj a přijímač vázány mezi sebou parazitní elektromagnetickou vazbou.

Ve skutečném řetězci EMC se rovněž nikdy nejedná o působení jediného zdroje rušení a jediného přijímače, ale řeší se vždy vzájemné vztahy více systémů vzájemně se všestranně ovlivňujících. Přesto obvykle postupujeme tak, že jeden systém považujeme nejprve za **systém ovlivňující** (zdroj rušení) a všechny ostatní za **systémy ovlivňované** (přijímače rušení). Pak tento vybraný systém naopak považujeme za ovlivňovaný a hodnotíme důsledky jeho možných ovlivnění všemi ostatními systémy, které tvoří tzv. obklopující elektromagnetické prostředí. Souhrn jejich rušivého působení se ve zkoumaném systému může projevovat různými způsoby, počínaje zhoršením kvality systémových parametrů přes částečné nebo

úplné omezení systémové funkce až k havarijním technologickým či bezpečnostním stavům.

Zkoumáme-li tedy např. osobní počítač, musíme jej považovat zároveň za systém, jehož funkci mohou rušivě ovlivnit sousední systémy (např. rušivá napětí z napájecí sítě, blízký rozhlasový vysílač, výboje statického náboje operátora apod.) a zároveň za potenciální zdroj rušivých signálů pro jeho sousední systémy (rušení rádiových přijímačů v blízkém okolí, ovlivnění měřicích přístrojů, šíření rušivých napětí do napájecí sítě, elektromagnetické účinky monitoru počítače na operátora apod.).



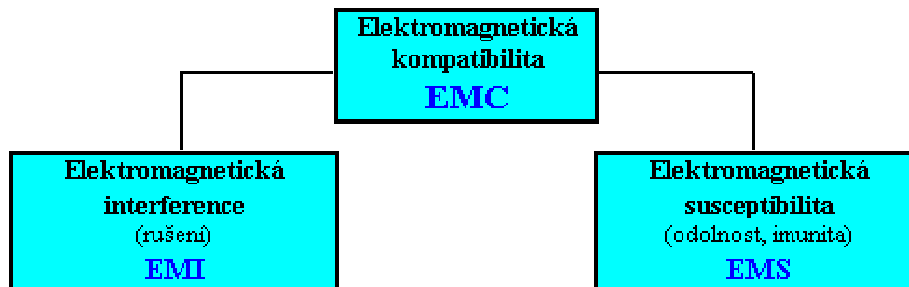
Obr. 1.2. Příklady různého vzájemného působení rušivých signálů

Vzájemné působení různých systémů je tedy velmi složité a komplexní, což je aspoň náznakově naznačeno na obr.1.2. Základní řetězec EMC na obr.1.1 má proto především metodologický význam. Současně však je vhodné si uvědomit, že pokud by se podařilo **zcela** odstranit **kteroukoli** část tohoto řetězce, ztratila by elektromagnetická kompatibilita svůj smysl, neboť dané zařízení či systém by byl absolutně kompatibilní. Ve snaze v praxi se tomuto stavu alespoň přiblížit, zaměřujeme svou pozornost na jednu ze tří oblastí řetězce EMC. Výběr nejvhodnější z nich, jejíž úpravou dosáhneme nejvyššího efektu EMC, závisí samozřejmě na konkrétním systému a okolnostech jeho činnosti. Především musíme uvážit, zda rušivé účinky ovlivňujícího systému (zdroje rušení) jsou jeho funkčními parametry (např. signál rozhlasového vysílače) nebo zda jsou jeho parazitními (rušivými) produkty (např. jiskření na kontaktech, vyšší harmonické apod.). Podle toho pak směřujeme prostředky pro minimalizaci těchto rušivých vlivů buď převážně na zdroj rušení nebo na rušený objekt, příp. na přenosovou cestu mezi nimi.

Podle obr.1.3 se celá problematika EMC člení do dvou základních skupin.

Elektromagnetická interference (EMI) (*Electromagnetic Interference*) neboli elektromagnetické rušení je proces, při kterém se signál, generovaný zdrojem rušení přenáší prostřednictvím elektromagnetické vazby do rušených systémů. EMI se tedy zabývá především identifikací zdrojů rušení, popisem a měřením rušivých signálů a

identifikací parazitních přenosových cest. Kompatibility celého systému se dosahuje technickými opatřeními především na straně zdrojů rušení a jejich přenosových cest. EMI se tak týká hlavně **příčin rušení** a jejich odstraňování.



Obr. 1.3. Základní členění problematiky EMC

Elektromagnetická susceptibilita či **imunita (EMS)** (*Electromagnetic Susceptibility* či *Electromagnetic Immunity*) neboli elektromagnetická citlivost či elektromagnetická odolnost vyjadřuje schopnost zařízení pracovat bez poruch nebo s přesně definovaným přípustným vlivem v prostředí, v němž se vyskytuje elektromagnetické rušení. EMS se tedy zabývá především technickými opatřeními, které zvyšují u objektu (přijímače rušení) jeho elektromagnetickou imunitu, tedy jeho odolnost proti vlivu rušivých signálů. EMS se tak týká spíše odstraňování **důsledků rušení**, bez odstraňování jejich příčin.

Obě tyto základní oblasti EMC v sobě zahrnují celou řadu - mnohdy společných - kroků a nezbytných postupů. Velmi rozsáhlou a důležitou oblastí je **měření elektromagnetické interference**, především měření rušivých signálů a jejich identifikaci. Zahrnuje měřicí metody a postupy pro kvantitativní hodnocení vybraných parametrů hlavně na rozhraních zdrojů a přijímačů rušení. Problematika měření, která je pro závěrečné posouzení EMC daného zařízení vždy rozhodující, je navíc komplikovaná tím, že i samotné měřicí zařízení je (či může být) zdrojem a současně přijímačem rušivých signálů, což je nutno při měření respektovat (technicky, kalibračně, početně).

Kromě měření rušení se v současné době rychle rozvíjí i oblast **testování elektromagnetické odolnosti** objektů pomocí tzv. simulátorů rušení (EMC simulátory). Jde tedy v podstatě o praktické ověření stupně EMC navrženého zařízení. Testování se provádí nejen na hotových zařízeních, ale zejména již v průběhu jejich vývoje.

Stále rozsáhlejší je i oblast **počítačové simulace a modelování** EMS i EMI, využívající rozsáhlých softwarových produktů mnoha firem. Tento přístup je výhodný zejména ve stádiu návrhu a vývoje daného zařízení, kdy poskytuje základní výchozí poznatky o úrovni jeho EMC a umožňuje tak realizovat optimální technický návrh zařízení z hlediska EMC.

Na všechny dosud popsané oblasti úzce navazuje oblast **tvorby norem a předpisů EMC**. Vzhledem k šíři problematiky EMC nemůže být oblast všech elektrických a elektronických zařízení ponechána "svému osudu". Pro praktickou nemožnost dosáhnout absolutní elektromagnetické kompatibility jakéhokoli zařízení je nutno stanovit jednotné normy a meze maximální přípustných hodnot rušivých

signálů pro určitý typ zařízení, přesné a reprodukovatelné podmínky pro jejich měření a ověřování odolnosti apod. Státní správy všech vyspělých zemí se snaží tuto situaci řešit vytvořením právních a technicko normativních dokumentů, tvořících předpoklady pro zamezení nežádoucích emisí a zvyšování odolnosti zařízení a systémů proti "elektromagnetické agresivitě" prostředí. Jedině takovéto zakotvení důležitých poznatků ze všech oblastí EMC v mezinárodně jednotných normách a doporučeních může vytvořit podmínky pro úspěšný vývoj a projektování elektrotechnických systémů s respektováním zásad EMC.

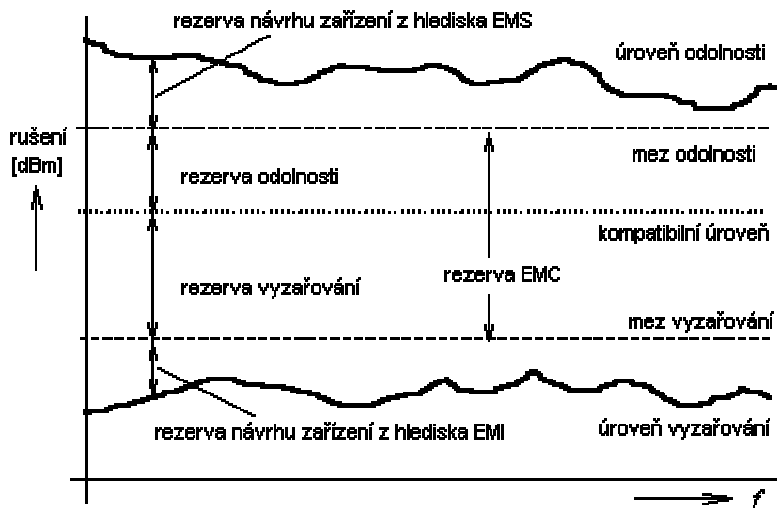
Z hlediska elektrotechnického odborníka je problematika EMC o to přitažlivější, že v sobě slučuje vědní, technické a aplikační poznatky prakticky ze všech oblastí elektrotechniky a elektroniky: silnoproudou elektrotechniku a elektroenergetiku, rádiovou komunikaci a telekomunikaci, informační techniku včetně softwarového inženýrství, měřicí a automatizační techniku, analogovou, číslicovou a mikroprocesorovou techniku, techniku antén, šíření a příjmu elektromagnetických vln, vysokofrekvenční a mikrovlnnou techniku, lékařskou elektroniku a řadu dalších. Elektromagnetická kompatibilita tak představuje výrazně systémovou a integrující disciplínu mající navíc významné **aspekty finanční a ekonomické**. Respektování EMC při vývoji, konstrukci a výrobě prakticky všech elektrotechnických a elektronických zařízení je již v současné době nezbytnou podmínkou jejich prodejnosti na všech trzích. Ve všech průmyslových zemích existují normy EMC, kterým musí vyhovovat každé zařízení či přístroj. Chceme-li exportovat výrobky českého průmyslu na tyto trhy, musejí naše výrobky těmto normám vyhovovat. Toto hledisko se stalo životně důležité po 1.lednu 1996, kdy ve všech zemích EU vstoupila v platnost jednotná přísně sledovaná a sankcionovaná direktiva č.89/336/EEC, předepisující obecné požadavky EMC pro uvedení přístroje či zařízení na trh. Bez splnění všech těchto požadavků a jeho závazného prokázání je prodej zařízení (ale i jeho vystavení či reklama) finančně sankcionován a zakázán.

V šířce problematiky EMC nelze pominout i některé **speciální aspekty EMC**. Ve vojenské oblasti souvisejí tyto aspekty jak s bojeschopností složitých elektronických vojenských zařízení na jedné straně, tak i s vlivem jejich elektromagnetické činnosti na okolní "civilní" sektor. Celá jedna oblast systému obrany státu, tzv. radioelektronický boj, není z tohoto pohledu ničím jiným, než narušováním EMC protivníkovy techniky. K tomu je však nutno napřed vědět, jak je této EMC dosaženo, kde jsou její slabá místa apod. V amerických materiálech o válce v Perském zálivu se např. uvádí, že více než 50 % této války bylo ve prospěch spojenců rozhodnuto právě masivním radioelektronickým bojem, tj. totálním funkčním znehodnocením nepřátelských komunikačních a vojenských elektronických systémů ještě před zahájením vlastních bojových operací. Není proto divu, že vojenská pracoviště u nás i v zahraničí věnují problematice EMC značnou pozornost již řadu let od samého jejího vzniku a mají obvykle "náskok" před civilním sektorem. Rovněž příslušné vojenské normy EMC jsou přísnější a náročnější než odpovídající civilní předpisy.

Další významnou speciální oblastí EMC, jejíž aktuálnost vyvstala s rozvojem a nasazením výpočetní techniky jak ve vojenství, tak i v civilních oblastech, je otázka **zachování a ochrany dat** před únikem a zcizením. Problematika utajení dat je klíčovou otázkou např. ve finančnictví, bankovníctví, průmyslovém výzkumu a vývoji, jaderné energetice a jinde.

1.4 Základní pojmy EMC

Každé elektrotechnické zařízení je současně jak zdrojem elektromagnetického rušení, tak i jeho přijímačem pracujícím v určitém elektromagnetickém prostředí. Pro každé takové zařízení definuje obecná norma ČSN-IEC 1000-1-1 některé základní pojmy, jejichž základní vztah je vysvětlen na obr. 1.4.



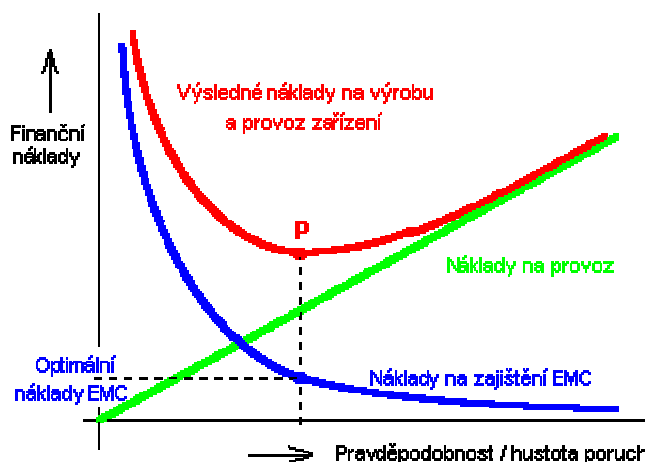
Obr. 1.4. K definici úrovní a mezí vyzařování a odolnosti

Úroveň vyzařování je rušení generované samotným konkrétním spotřebičem či zařízením měřené předepsaným způsobem a vyjádřené např. v [dBm] v závislosti na kmitočtu dle obr. 1.4. **Mez vyzařování** je maximální přípustná (tj. normami povolená) úroveň vyzařování daného zařízení. Rozdíl těchto úrovní vyjadřuje tzv. **rezervu návrhu** daného zařízení z hlediska EMI.

Podobně **úroveň odolnosti** je maximální úroveň rušení působícího na konkrétní zařízení, při němž nedochází ještě ke zhoršení jeho provozu a **mez odolnosti** je nejnižší normou požadovaná úroveň odolnosti daného zařízení. Rozdíl obou těchto úrovní udává **rezervu návrhu** zařízení z hlediska jeho odolnosti EMS.

Rozdíl meze (mezí) odolnosti a meze (mezí) vyzařování je nazýván **rezervou (rozpětím) EMC** daného zařízení. Výše uvedená norma zavádí rovněž pojem tzv. **kompatibilní úroveň** (obr. 1.4), jakožto úroveň rušení, při níž je dosaženo ještě "příjemně vysoké" pravděpodobnosti EMC zařízení. Rozdíly mezi vyzařování a mezí odolnosti vůči této kompatibilní úrovni (v [dB]) jsou nazývány **rezerva (rozpětí) vyzařování** a **rezerva (rozpětí) odolnosti**.

Z logiky zavedení výše uvedených pojmů i z obr. 1.4 je zřejmé, že aby zkoušené zařízení vyhovělo požadavkům EMC, musí být úroveň jeho vyzařování vždy nižší než maximální přípustná úroveň, tj. než mez vyzařování. Podobně úroveň odolnosti zařízení musí být vždy větší než minimální požadovaná úroveň, tj. než mez jeho odolnosti. Navíc, mez odolnosti musí být vyšší než mez vyzařování, neboť jen tak je dosaženo dostatečné rezervy EMC daného zařízení.

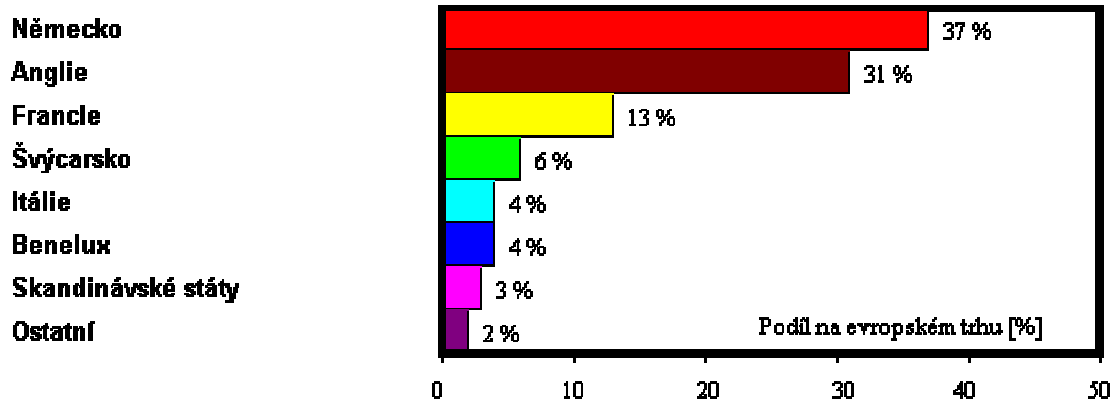


Obr. 1.5. Optimalizace finančních nákladů pro zajištění EMC zařízení.

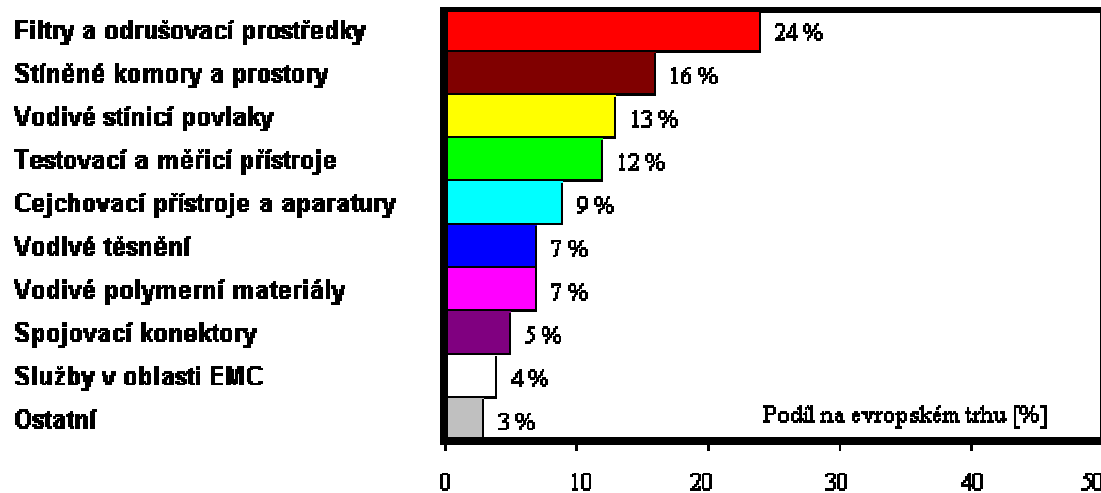
Konkrétní velikosti rezervy návrhu zařízení z hlediska EMI a EMS nejsou nijak předepsány a jejich míra je výlučnou záležitostí výrobce daného zařízení. Jsou-li tyto rezervy zvoleny příliš velké, vede to ke zbytečnému zvýšení nákladů např. na odrušení, na parametry odrušovacích prostředků, na stínění a na další ochranu EMC. Vývoj i konečná cena daného zařízení se tím zvyšuje. Naopak, jsou-li rezervy návrhu příliš malé, vzniká velké riziko, že zařízení nevyhoví zkouškám EMC či provozním požadavkům a musí být dodatečně odrušováno, odstihováno apod., což je obvykle ještě pracnější a nákladnější než v prvním případě. Situace je dokumentována na obr. 1.5, kde jsou zobrazeny typické průběhy finančních nákladů na výrobu a provoz určitého technického zařízení v závislosti na pravděpodobnosti poruchy či hustotě poruch zařízení. Náklady na udržení standardního provozu zařízení lineárně rostou se zvyšující se hustotou jeho poruch. Naopak pravděpodobnost poruch je nepřímo úměrná velikosti investic vložených do zabezpečení EMC zařízení. Celkové náklady na výrobu a provoz daného zařízení chápáné jako součet obou těchto položek dosahují dle obr. 1.5 své minimální hodnoty v bodě **P**. Investice do zabezpečení EMC daného zařízení je tedy vhodné volit tak vysoké, aby celkové náklady na zařízení dosáhly právě své minimální hodnoty v tomto bodě. Jeho přesnou "polohu" však samozřejmě nelze exaktně "vypočítat" a lze se jen opřít o zkušenosti z vývoje, výroby a provozu konkrétních zařízení zveřejněné v literatuře, např. [2]. Ukazuje se, že v závislosti od velikosti a rozsáhlosti zařízení by optimální náklady na zajištění EMC měly činit asi 2 až 10 % celkových vývojových nákladů zařízení. Jsou-li otázky EMC sledovány od samého počátku vývoje zařízení, lze náklady na ně snížit dokonce pod hodnotu 1 %.

Je jasné, že respektování zásad EMC úzce souvisí s kvalitou a spolehlivostí výrobků. Podceňování těchto zásad při vývoji, projektování, konstrukci a testování výrobků obsahujících elektronické obvody vede k jejich velké poruchovosti, provozní nespolehlivosti a proto i neprodejnosti, a to dokonce i na trzích tzv. třetího světa. Kromě toho, jak jsme uvedli již na počátku této kapitoly, neznalost zásad a podmínek EMC může za určitých okolností způsobit značné hospodářské škody, havárie technických zařízení či ohrozit život a zdraví lidí. V posledních deseti letech se proto velmi prudce rozvíjí celková ekonomika a trh s produkty EMC. Uvádí se, že celkový objem evropského obchodu s výrobky a službami EMC přesáhl v roce 1999 jednu miliardu dolarů při meziročním nárůstu zhruba 15 %. Jde tedy o problematiku

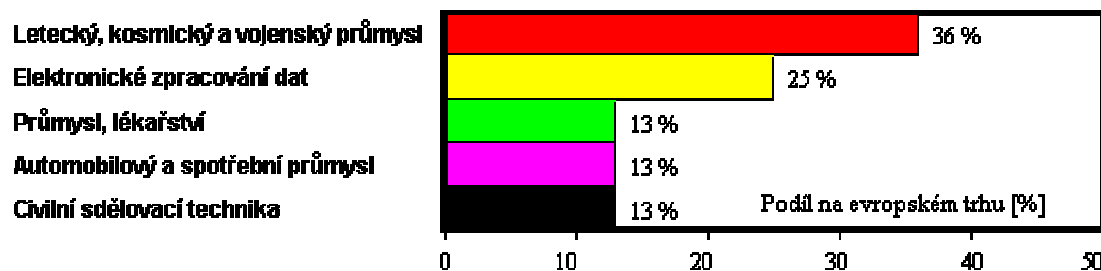
rozvíjející se velmi dynamicky i z výrobního a obchodního hlediska. Na obr. 1.6 je naznačen podíl jednotlivých evropských zemí na celoevropském trhu EMC, obr. 1.7 uvádí podíl jednotlivých skupin produktů EMC na tomto trhu a obr. 1.8 zobrazuje rozdělení evropského trhu EMC podle oblastí využití produktů EMC.



Obr. 1.6. Teritoriální rozdělení evropského trhu EMC.



Obr. 1.7. Podíly hlavních produktů na evropském trhu EMC.



Obr. 1.8. Zastoupení hlavních uživatelských oblastí na evropském trhu EMC.

Seznam literatury ke kapitole1

- [1] PAUL, C. R. *Introduction to Electromagnetic Compatibility*. John Wiley, New York 1992
- [2] VACULÍK, P. Úvod do problematiky EMC. In *Sborník celostátní konference RADIOKOMUNIKACE' 94*. Pardubice 1994, s. 51-59

- [3] SCHWAB, A. J. *Elektromagnetische Verträglichkeit*. Springer Verlag, Berlin 1991
- [4] SVOBODA, J. aj. *Základy elektromagnetické kompatibility*. Skripta FEL ČVUT. Vydavatelství ČVUT, Praha 1993
- [5] CHATTERTON, P. A., HOULDEN, M. A. *EMC - Electromagnetic Theory to Practical Design*. John Wiley, New York 1991
- [6] HABIGER, E. *Elektromagnetische Verträglichkeit*. Hüthig Buch Verlag, Heidelberg 1992
- [7] RODEWALD, A. *Elektromagnetische Verträglichkeit - Grundlagen, Experimente, Praxis*. Vieweg Verlag, Wiesbaden 1995
- [8] PEIER, D. *Elektromagnetische Verträglichkeit - Problemstellung und Lösungsansätze*. Hüthig Buch Verlag, Heidelberg 1990
- [9] KEISER, B. *Principles of Electromagnetic Compatibility*. Artech House, Norwood 1987
- [10] VACULÍKOVÁ, P., VACULÍK, E. aj. *Elektromagnetická kompatibility elektrotechnických systémů*. Grada Publishing, Praha 1998
- [11] SVAČINA, J.: *Základy elektromagnetické kompatibility, část 1-Základní pojmy a členění EMC*, Ústav radiotechniky FEI VUT Brno

Obsah kapitoly 1 byl čerpán z [11].

S KONTROLNÍ OTÁZKY TEORETICKÉ KE KAPITOLE 1

1. (2 body) Co je to EMC ?
2. (2 body) Uveďte příklady nedodržení EMC u nás a ve světě.
3. (2 body) Jaké účinky má elektromagnetické pole na biologické systémy ?
4. (4 body) Uveďte základní řetězec EMC a příklady jednotlivých oblastí.

— SHRNUÍ

Nové poznatky:

- elektromagnetická kompatibility
- zdroje rušení
- vliv na biologické systémy
- vzájemné rušení

Nové pojmy :

EMC, kompatibilní úrovně, zdroje rušení, přenosové vazby.

Ñ KLÍČ K TEORETICKÝM OTÁZKÁM

1. Kapitola 1.1

2. Kapitoly 1.2
3. Kapitola 1.3.1
4. Kapitola 1.3.2, obr. 1.1

\$ AUTOKONTROLA

Pokud jste získali minimálně 6 bodů z teoretických otázek, můžete pokračovat dále ve studiu. V opačném případě si ve zkráceném čase příslušné kapitoly znovu nastudujte.

2. KVALITA ELEKTRICKÉ ENERGIE

2.1 Úvod

V současné době v řadě průmyslově vyspělých zemí dochází k přehodnocování náhledu na spolehlivost zásobování elektrickou energií. Zvyšuje se důraz na nepřetržitost dodávky elektrické energie, normou tolerance se stává interval v rozmezí od deseti do čtyřiceti milisekund. Do popředí vystupuje i kvalita napěťové křivky. Celý tento proces širšího pohledu na zkvalitňování dodávky elektrické energie vychází ze stále se rozšiřujícího využívání mikroelektronických technologií v průmyslových procesech, terciální sféře i v domácnostech. Díky masovému nasazení těchto aplikací do distribučních elektrizačních systémů vzniká paradoxní situace, kdy stále citlivější zařízení je vystavováno stále se zhoršující kvalitě napěťové křivky. Tyto nové aplikace vyžadují vysokou kvalitu elektrické energie a zároveň ji svým zpětným působením degradují. V současné době jsou známy případy z americké praxe, kdy poruchy trvají pouze tři periody zaznamenaly odstavení celých továren. Velmi časté jsou případy, kdy okamžitý pokles napětí, krátkodobé přerušení dodávky energie, či zvýšený obsah harmonických, nebo napěťových špiček přerušily proces, nebo přímo poškodily zařízení. Využívání citlivých zařízení, zejména mikroprocesorů, programovacích automatů a zařízení na zpracování dat, se bude dále rozšiřovat nejméně stejným tempem jako dosud. Abychom předešli uvedeným problémům v budoucnosti, je třeba stanovit základní strategické směry, jednak do oblasti návrhů spotřebičů a zařízení a jednak přijmout dodatečné úpravy napěťové křivky, aby došlo ke zvýšení kvality elektrické energie z pohledu odběratele, zákazníka.

Problematika jakosti je celosvětově definována mezinárodními normami souboru ISO 9000, které poskytují návod pro management jakosti, pro prvky jakosti a pro modely zabezpečování jakosti. ISO (Mezinárodní organizace pro normalizaci) je celosvětovou federací národních normalizačních organizací (členů ISO). V rámci Evropy jsou tyto normy jako evropské normy (EN ISO) závazné pro Belgie, Dánsko, Finsko, Francii, Island, Irsko, Itálii, Lucembursko, Nizozemsko, Norsko, Německo, Portugalsko, Rakousko, Řecko, Spojené království, Španělsko, Švédsko a Švýcarsko.

Prvořadým zájmem každé organizace má být jakost jejich výrobků. Aby organizace dosáhla svých cílů, musí zajistit, aby technické, administrativní a lidské faktory ovlivňující jakost jejich výrobků byly regulovány tak, aby výrobky nabízené na trhu:

- splňovaly definovanou potřebu, použití nebo účel
- uspokojovaly očekávání zákazníků
- byly v souladu s požadavky společnosti
- zohledňovaly požadavky životního prostředí
- byly dostupné při cenách schopných konkurence

Jestliže pro zákazníka je pojem jakosti soustředěn do parametrů určujících úroveň užité hodnoty zboží, pak pro výrobce soubor norem ISO 9000, ISO 9001, ISO 9002, ISO 9003 a ISO 9004 představuje systém jakosti, který se týká všech činností a procesů spojených s jakostí výrobku a jejich vzájemných vazeb. Zahrnuje všechny fáze životního cyklu výrobku a procesů od počáteční identifikace potřeb trhu až po konečné uspokojení požadavků zákazníka.

Problém kvality elektrické energie musí vycházet ze standardů a stanovení kontrolních postupů a zahrnovat problematiku týkající se celého elektroenergetického systému bez respektování hranic mezi jednotlivými částmi systému, či dílčími společnostmi, ať na straně výroby, přenosu, nebo distribuce a spotřeby. V širším výhledu je zahrnuta jakost práce, servisu, informací, procesů, pracovníků, systému a cílů. Konkrétní dopad jakosti dodávky se projevuje u odběratelů, kde problém kvality elektrické energie snižuje, případně omezuje činnost některých zařízení a tím často zvyšuje ztráty výroby a produkce v určitých procesech. Daná problematika může pak vytvářet často jisté napětí mezi rozvodnými společnostmi a spotřebiteli elektrické energie. Rozvodná společnost se musí snažit zajistit požadovanou kvalitu elektrické energie a také vytvořit vhodné prostředí pro jednání s odběratelem o řešení problematiky. Jelikož problém ztráty produkce je na straně zákazníka, odběratele elektrické energie, je třeba hodnotit parametry kvality také na straně zákazníka, i když příčina snížení kvality může mít původ na straně rozvodné společnosti, případně v nadřazeném systému výroby a přenosu elektrické energie.

2.2 Odběratelé elektrické energie z hlediska kvality

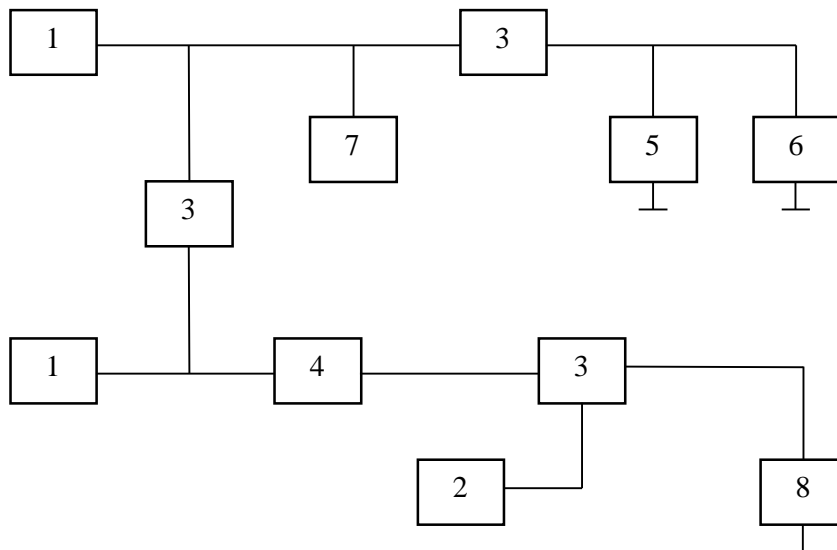
Snaha o zvyšování hospodárnosti ve využívání elektrické energie vede spotřebitele ke stále častějšímu nasazování úsporných zařízení a nových technologických procesů. Ve svém základě se z hlediska elektroenergetiky jedná o dva základní typy problémů. Jeden typ zařízení má vzhledem k síti nelineární, či proměnlivou provozní charakteristiku, a tím se projevují zpětné vlivy na napájecí distribuční síť, které za určitých okolností mohou vést k rušivému ovlivňování jiných zařízení připojených do stejného systému. Druhým typem odběrů jsou nová technologická zařízení, spojitě průmyslové procesy - výrobní linky, či počítačově automatizované procesy. Důležitou třídou jsou také procesy závislé na moderních informačních technologiích, kde ztráty informací v důsledku nedodržení kvality elektrické energie mohou vést k rozsáhlým finančním (bankovníctví), či jiným (dispečinky, úřady, laboratoře) škodám. Souhrnně se jedná o zařízení rušící a zařízení citlivá z hlediska kvality elektrické energie.

2.3 Technické prostředky pro řízení kvality elektrické energie

Dodržení požadované kvality elektrické energie v distribučním systému se řešilo tradičně na straně zákazníka instalací filtračních obvodů. I když v řadě situací je toto řešení dokonalé, zbývá ještě mnoho případů, kdy není možno dosáhnout dostatečné

zlepšení. V těchto případech se instalují u odběratele velmi nákladná zařízení, např. nepřerušitelné napájecí zdroje (**UPS**), pro napájení citlivých zařízení. V systému rozvodných společností je potom možná výstavba nových rozvodů a rozvodných vedení pro odizolování odběratele od energetického rušení. Tyto zásahy jsou obvykle nákladné, případně obtížně realizovatelné a ještě nemusí poskytnout požadovaný stupeň zlepšení. V současné době s rozvojem silnoproudé elektroniky existuje řada prostředků umožňujících zvýšit kvalitu elektrické energie. Obrázek komplexně znázorňuje současné možnosti nasazení technických prostředků při zvyšování kvality napájení elektrickou energií. Jejich nasazení do elektroenergetického systému je otázkou technicko ekonomických úvah.

2.3.1 Možnosti zvyšování kvality elektrické energie



Význam značení

- 1 standardní zdroj napájení
- 2 náhradní zdroj napájení
- 3 přepínač, spínač
- 4 seriový korektor kvality
- 5 paralelní korektor kvality
- 6 zátěž obecně nelineární rušícího charakteru
- 7 zátěž vyžadující standardní kvalitu elektrické energie
- 8 zátěž vyžadující nadstandardní kvalitu elektrické energie

Paralelní korektor kvality představuje zařízení derivačního kompenzačního obvodu reprezentovaného buď pasivním filtrem pro kompenzaci vybraných kmitočtů (je možná sériová či paralelní rezonance) nebo aktivním filtrem se systémem pro uchování činné energie, který generuje proudy potřebné pro kompenzaci proudů odlišných od základní harmonické.

Sériový korektor kvality představuje zařízení seriového napěťového zdroje, realizovaného například aktivním filtrem, jehož cílem je korigovat chybu tvaru křivky napětí. Současné technologie aktivních filtrů mají však shora omezené výkonové schopnosti.

Přepínač, spínač bezkontaktně rychle pracující prvek.

Náhradní zdroj napájení zvyšuje spolehlivost napájení. Technické provedení je závislé na požadované rychlosti záskoku, délce provozu záskoku, požadavcích na regulaci.

2.4 Řízení kvality elektrické energie

V propojeném elektroenergetickém systému **UCPTE** jsou pro oblast výroby a přenosu definována kritéria kvality zahrnutá ve standardech (doporučeních) pro předcházení velkým poruchám v propojených soustavách, pro regulaci jalového výkonu a napětí, pro regulaci činného výkonu a frekvence. Velmi propracované jsou standardy pro spolehlivost dodávky elektrické energie. Lokální parametry kvality jsou následně řešeny v rámci jednotlivých států. Nejpropracovanější systém řízení kvality má **EdF** ve Francii.

Elektrárenská a distribuční společnost **EdF** si vytvořila několikaúrovňový systém na zdokonalování kvality ve svých sítích. Součástí tohoto systému vedle zvyšování robustnosti rozvodných sítí, je i využívání ověřených technologických novinek ve vybavení elektrických stanic a tvorba nových odběratelských smluv.

EdF má zlepšování kvality dodávek začleněno ve smlouvách pro vn a vvn odběratele. Tyto smlouvy jsou koncipovány tak, aby na zvyšování kvality byl zainteresován jak dodavatel, tak i odběratel. Tyto kontakty, jejichž představitelem je kontrakt **EMERAUDE** a jeho modifikace **RESEAU PLUS**, zajišťují garantovou úroveň kvality dodávky v napájecím bodě s danými mezními hodnotami. Ve smlouvách se zavazuje z hlediska kvality dodavatel, ale i odběratel z hlediska znečištění. Jako vodítko pro stanovení standardů se využívají materiály EN a zároveň zásady řízení kvality podle EN ISO řady 9000.

Další programy jsou určeny pro skupiny i jednotlivé zákazníky vyžadující nadstandardní kvalitu elektrické energie, jedná se o bankovní domy, komerční zóny apod. Těmto odběratelům se nabízí síť vysoké kvality (**Réseau Haute Qualité**). Odběratelé jsou dle požadavků na kvalitu rozčleněni do následujících skupin:

- napájené přímo z distribučního transformátoru
- s možností napájení ze záložního generátoru
- s možností napájení z UPS

Součástí řízení kvality elektrické energie je nová služba **Fiabelec**, která obvykle doplňuje smlouvy **EMERAUDE** a **RESEAU PLUS**. Tato služba není přímo součástí **EdF**, ale je s ní úzce spjata a řeší problematiku kvality elektrické energie na obou stranách systému, jak u dodavatele, tak u odběratele.

Jeho hlavní činnost spočívá v omezování zpětných vlivů nelineárních spotřebičů a ošetřování sítí pro velmi citlivé zákazníky. Tyto služby jsou zatím zaváděny jako pilotní projekty, ale v blízké budoucnosti se počítá s jejich širokým rozšířením.

Další zajímavé skutečnosti z oblasti kvality elektrické energie přicházejí z USA. Nová technologická zařízení na bázi výkonové elektroniky vyvinutá firmou Westinghouse, jako část **EPRI Custom Power** programu, pro dokonalý, kvalitní distribuční systém poskytují dodatečné možnosti pro tuto složitou problematiku. Rozvodné společnosti, díky těmto zařízením, mohou nabízet individuálním odběratelům, nebo skupině odběratelů (průmyslové a komerční zóny) specifické

hladiny kvality dodávky elektrické energie ze standardního distribučního systému. Nový systém zajišťuje kvalitu elektrické energie pro odběratele specifikovanou následujícím stupněm:

- plynulá dodávka elektrické energie bez výpadků
- přesná regulace napětí
- nízké harmonické zkreslení napěťové křivky
- možnost připojení kolísajících a nelineárních zátěží bez vlivu na kvalitu distribučního napětí v daném systému

Toto řešení je vhodné pro zákazníky v průmyslových zónách, kteří mohou mít ztráty výroby v počítačově řízených procesech díky kvalitě elektrické energie. Zařízení umožní vyřešit najednou problémy dvou druhů zákazníků, jednak s citlivým zařízením a jednak s rušícím zařízením. Plné nasazení těchto zařízení se předpokládá po roce 2000.

Komplex zařízení se skládá z následujících dílčích prvků:

- Distribuční statický kompenzátor (**DSTATCON**)

DSTATCON chrání citlivé zákazníky od „znečišťujících“ kolísajících a nelineárních zátěží. Může být i vybaven systémem pro uchování činné energie použitelné při poruchách a přerušení v systému. K systému je připojen paralelně. **DSTATCON** účinně nahrazuje konvenční prvky pro řízení napětí a toku jalové energie (transformátory s přepínači odboček, napěťové regulátory a spínané kondenzátory) používané v distribučním systému.

- Dynamický regulátor napětí (**DVR**)

DVR nabízí ochranu pro citlivé zátěže od poruch, které vznikají v distribučním systému jako výsledek normálních provozních operací a také vlivem blízkých znečišťujících spotřebičů. Jedná se nejčastěji o následující poruchy: poklesy napětí, přechodné jevy a harmonické napěťové zkreslení. Do systému je zařízení připojeno sériově.

- **Bezkontaktní vypínač/přepínač (SSB)**

SSB je bezkontaktní, rychle pracující vypínač, který může okamžitě přepnout citlivý odběr z normálního napáječe postiženého poruchou, na náhradní napáječ.

Celá série zařízení umožní individuálním zákazníkům, nebo skupině zákazníků (průmyslové nebo, kancelářské zóny) získat specifickou, vyšší hladinu kvality elektrické energie ze standardního distribučního systému. Rozvodné společnosti nabízejí elektrickou energii s určitým stupněm kvality, rozdělenou do tří skupin. Základní skupina je standardní a dvě skupiny jsou nadstandardní v souladu s parametry, které definují kvalitu, jsou to poklesy napětí, nárůsty napětí, přechodná rušení, přerušení apod.

V naší republice se řízení kvality elektrické energie postupně rozvíjí a v současné době, kdy naše soustava spolupracuje se systémem **UCPTE**, se zákonitě sledují systémové parametry kvality elektrické energie. Podle standardů jsou řešena opatření proti velkým poruchám v propojené síti, regulace jalového výkonu a napětí, regulace činného výkonu. Tyto standardy, případně doporučení, vyvolávají v rámci řízení kvality další nutnost zkvalitnění parametrů elektrické energie, jako je například udržování neutrálních účinníků při přetocích energie mezi přenosovou soustavou a distribuční soustavou. Měří se parametry kvality na různých napěťových hladinách, aby se správně stanovily standardy pro kvalitu elektrické energie, které vycházejí z evropských technických norem. V dlouhodobých smlouvách mezi **ČEZ** a jednotlivými **REAS** budou sledovány parametry kvality na předacích místech.

Největší zodpovědnost na řízení kvality je ovšem na straně rozvodných společností. Rozvodná společnost, která splňuje systém řízení jakosti ISO řady 9000, musí zajišťovat elektrickou energii v požadovaném množství a v požadovaném čase se standardní, respektive očekávanou kvalitou vyjádřenou parametry spolehlivosti zásobování a fyzikálními vlastnostmi napětí. Z těchto důvodů je do budoucna nutné budovat robustní distribuční sítě a posílit především úroveň smluvních vztahů s odběrateli a možná i změnit strategii v přijímaných technických opatřeních, která je možno aplikovat jak u odběratele, tak i dodavatele.

2.5 Výhled do budoucna

V souladu s normami jakosti ISO řady 9000 je elektrické energie uvažována jako specifická forma zboží, respektive služeb. Z hlediska zákazníka existují dva kvalitativní aspekty dodávky elektrické energie:

- zajištění elektrické energie v požadovaném množství a v požadovaném čase, pohotovost dodávky
- zajištění elektrické energie s dobrou, respektive očekávanou kvalitou

V budoucnu bude koncept kvality elektrické energie aplikován v širším měřítku jako kvalita služeb v provozní činnosti energetických společností. Mohou se potom sledovat doby odezvy na telefony, odečtová služba, plnění požadavků na nové připojení, odezvy na stížnosti apod.

Vyjímečnost elektrické energie jako výrobku je zejména ve skutečnosti, že na většinu kvalitativních parametrů má vliv především zákazník-odběratel, který může ovlivňovat v důsledku zpětných vlivů elektrickou energii nejen v předacím místě s dodavatelem, ale i u jiného zákazníka.

2.6 Ukazatele kvality

Norma ČSN EN 50 160 (v ČR byla přijata v červnu 2000) uvádí *očekávané úrovně* jednotlivých parametrů kvality dodávané elektrické energie ve společném napájecím bodě odběratele a dodavatele elektrické energie.

Jedná se o následující ukazatele:

- kmitočet sítě
- velikost napájecího napětí
- odchylky napájecího napětí
- rychlé změny napětí včetně blikání, velikost rychlých změn napětí, závažnost blikání
- krátkodobé poklesy napětí
- krátkodobá přerušení napájecího napětí
- dlouhodobá přerušení napájecího napětí
- dočasná přepětí o síťovém kmitočtu mezi živými vodiči a zemí
- přechodná přepětí mezi živými vodiči a zemí
- nesymetrie napájecího napětí
- harmonická napětí, velikost jednotlivé harmonické napětí, velikost činitele celkového tvarového zkreslení THD
- mezipharmonická napětí
- napětí signálů v napájecím napětí

Způsob hodnocení kvality v regionální energetické společnosti:

- § měření je prováděno komplexně v rozvodu vvn, vn i nn.
- § V souladu s normou ČSN EN 50160 je měření a vyhodnocení kvality v jednotlivých uzlech prováděno v týdenních intervalech

2.6.1 Harmonické zkreslení napětí

Bylo ověřeno, že v distribučních sítích jsou v křivce napětí dominantní pouze některé harmonické a proto je vesměs prováděno vyhodnocení pouze prvních pěti lichých harmonických (tj. 3., 5., 7., 9., a 11. harmonické) ve všech třech fázích.

V jednotlivých napájecích uzlech se vyhodnocuje:

- § maximální a 95% hodnoty výše uvedených harmonických ve všech fázích a na všech napěťových úrovních v týdenních intervalech (tyto údaje jsou zpracovány přehlednou formou sloupcových grafů)
- § týdenní časové průběhy vybraných harmonických

2.6.2 Rychlé změny napětí a nesymetrie napětí

V jednotlivých napájecích uzlech se vyhodnocuje:

- § maximální a 95% hodnoty parametru P_{st} pro vyhodnocení rychlých změn napětí a to ve všech fázích a na všech napěťových úrovních
- § týdenní časové průběhy parametru P_{st}
- § maximální a 95% hodnoty nesymetrie napětí na všech napěťových úrovních.

2.7 Hodnocení výsledků

2.7.1 Harmonická napětí

- § nabývají zpravidla nejvyšších hodnot v sítích nízkého napětí (zejména u 5. harmonické)
- § naměřené hodnoty, v některých případech i s obrovskou rezervou splňují požadavky uvedené v ČSN EN 50 160
- § jediným případem, kde došlo k překročení limitů stanovených normou byla rozvodna Havířov2-město. Zde byly z neznámých důvodů (pravděpodobně vlivem rezonance) překročeny limity pro 3. harmonickou na všech napěťových hladinách. Opakované měření na této rozvodně již tyto skutečnosti neprokázalo.

2.7.2 Krátkodobé a dlouhodobé míry vjemu blikání

- § zde došlo k překročení požadavků stanovených ČSN EN 50 160 pro $P_{it}(95\%)$ ve dvou místech: na rozvodně Odry a Havířov2-město. V Odřích došlo k překročení limitu na hladině nn a to jen nepatrně. V Havířově, také na hladině nn, došlo k překročení výraznějšímu, avšak ani to se v již výše zmíněném opakovaném

§ Pro hodnoty $P_{lt}(95\%)$ na hladině vvn a pro $P_{st}(95\%)$ na všech hladinách norma ČSN EN 50 160 žádné limity nestanovuje.

§ hodnoty stanovené normou jsou překročeny v Odrách (hladina VVN) a v Hošticích A (na hladině vn)

§ důvody pro toto překročení nebyly zatím nalezeny.

5.harmonická BK-nn-95%

■ Ush5A ■ Ush5B ■ Ush5C

5.harmonická Q-vn-95%

■ Ush5A ■ Ush5B ■ Ush5C

- vjem blikání

Nové pojmy ke kapitole 2:

EMC, kompatibilní úroveň, zdroje rušení, přenosové vazby.

Ñ KLÍČ K TEORETICKÝM OTÁZKÁM

1. Kapitola 2.3
2. Kapitola 2.3.1
3. Kapitola 2.6

\$ AUTOKONTROLA

Pokud jste získali minimálně 4 body z teoretických otázek, můžete pokračovat dále ve studiu. V opačném případě si ve zkráceném čase příslušné kapitoly znovu nastudujte.