

EMC – elektromagnetická kompatibilita

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Vypracoval: Ing. Tomáš Kavalír

Obsah:

EMC – elektromagnetická kompatibilita.....	2
1. EMC – základní dělení.....	2
1.1. EMC biologických systémů.....	3
1.2. EMC technických systémů.....	3
1.2.1. Elektromagnetická odolnost zařízení.....	3
1.2.2. Elektromagnetické rušení zařízení.....	4
2. Základní dělení podle interferenčních zdrojů:.....	5
3. Ionizující a neionizující záření.....	6
3.1. Ionizující záření.....	6
3.2. Jednotky měření radiace.....	7
3.3. Biologické účinky ionizujícího záření.....	7
3.4. Neionizující záření.....	8
3.5. Hygienické limity neionizujícího záření.....	9
3.6. SAR.....	10
3.7. Netepelné účinky neionizujícího záření.....	11

EMC – elektromagnetická kompatibilita

S rostoucím technickým pokrokem lidstva a především stále větší integrací technologicky odlišných systémů, je stále více aktuální téma elektromagnetické kompatibility a to nejen mezi těmito systémy v rámci jednoho celku, ale i návaznosti na okolí a okolní zařízení. S pojmem elektromagnetická kompatibilita, zkráceně EMC (Electromagnetic Compatibility), se setkáváme již někdy v počátku šedesátých let minulého století v USA. Vlastní pojem elektromagnetické kompatibility nám udává schopnost daného zařízení správně pracovat v daném elektromagnetickém prostředí a zároveň toto zařízení nesmí výrazným způsobem ovlivňovat provoz okolních systémů. Setkáváme se tak s pojmem tzv. koexistence zařízení.

1. EMC – základní dělení

Problematiku EMC lze dělit podle mnoha různých hledisek. Jedno z nejzákladnějších dělení je na:

- **EMC biologických systémů**
- **EMC technických systémů**

1.1. EMC biologických systémů

Zabývá se vlastním elektromagnetickým prostředím a jeho vlivu na biologické systémy a živé organizmy . Předmětem jsou především možné škodlivé účinky elektromagnetických polí na živé organizmy a stanovení přípustných mezí krátkodobé a dlouhodobé expozice. Velikost „působení“ tohoto pole je závislá na mnoha faktorech mimo jiné na době expozice, fyzikálních rozměrech biologického systému, fyzikálních vlastnostech působícího zdroje případně chemickému složení biologického systému, jeho dielektrických a absorpčních vlastnostech. Problematika tohoto oboru je značně složitá a zabývají se jí především výzkumná lékařská pracoviště a studie. Více o této problematice je možno najít pod pojmy hygiena elektromagnetického pole, neionizující záření a doba expozice.

1.2. EMC technických systémů

Zabývá se především působením elektromagnetického pole na technické zařízení, případně sledováním technického zařízení a jeho „ovlivňování“ okolního prostředí. Dále tak můžeme rozlišovat:

- **EMS - elektromagnetickou odolnost zařízení**
- **EMI - elektromagnetické rušení zařízení**

1.2.1. Elektromagnetická odolnost zařízení

Elektromagnetická odolnost zařízení, zkráceně EMS (Electromagnetic Susceptibility) je schopnost zařízení správně pracovat v daném prostředí, případně pracovat s definovaným přípustným vlivem. EMS je tedy soubor technických opatření, které vhodnou aplikací teoretických a praktických poznatků pomáhají zvýšit odolnost zařízení na vnější vlivy. Z principu funkce je zřejmé, že tímto způsobem neodstraňujeme příčiny rušení, ale pouze jeho důsledky. V dnešní době se pro vyhodnocení EMS odolnosti zařízení používají různé speciální testovací metody spočívající na simulátorech rušení (ESD, LEMP, NEMP atd.), přičemž je možno jednoznačně klasifikovat stupeň odolnosti daného zařízení. S vývojem výpočetní

techniky se stále více také setkáváme s počítačovou simulací a modelováním, přičemž je kladen důraz na požadovanou odolnost již při vlastním návrhu a realizaci zařízení.

1.2.2. Elektromagnetické rušení zařízení

Elektromagnetické rušení zařízení, zkráceně EMI (Electromagnetic Interference), je proces, kdy technický systém je zdrojem rušivého vyzařování a elektromagnetickou vazbou do okolního prostředí ovlivňuje okolní zařízení. Problematika EMI tak řeší především měření úrovně rušivého vyzařování, způsoby šíření tohoto rušení a identifikaci konkrétního zdroje rušivého vyzařování. Výsledkem by tak mělo být výrazné potlačení případného rušivého vyzařování a tím zajištění potřebné elektromagnetické kompatibility v návaznosti na okolní technologická zařízení. Pro vyšetření původu „rušení“ je nejdůležitější určit především způsob, jakým dochází k šíření elektromagnetického „rušení“ směrem od zdroje. Rozeznáváme především základní specifické způsoby šíření:

- **Přenos vedením** (galvanická vazba) – uvažujeme především napájecí vedení, signálové a datové vodiče, zemnění atd. Velikost rušivého signálu měříme vhodným senzorem napojeným na měřič rušení. Jako vhodný senzor se používají proudové a napěťové sondy, absorpční kleště případně umělá síť.
- **Přenos vyzařováním** (blízké x vzdálené pole) – uvažujeme především ovlivňování šířením magnetické a elektrické složky elektromagnetické vlny. Pro vyhodnocení charakterizujeme intenzitu elektrické rušivé složky, případně magnetické složky. Pro měření úrovně těchto intenzit se používají speciální měřicí antény optimalizované pro příjem elektrické, případně magnetické složky elektromagnetické vlny. Pro vyhodnocení můžeme použít například spektrální analyzátor nebo měřicí přijímač.

2. Základní dělení podle interferenčních zdrojů:

1) Dělení podle vzniku rušení:

- Přírodní interferenční zdroje (sluneční aktivita, výboje v atmosféře)
- Umělé interferenční zdroje (vzniklé lidskou činností – přechodové jevy na vedení, generátory, měniče, motory)

2) Dělení podle funkčnosti:

- Funkční interferenční zdroje (jsou základem funkce jednoho systému, například telekomunikační vysílač, který svým vysíláním může ovlivnit funkci jiného systému)
- Nefunkční interferenční zdroje (při svém provozu produkují nežádoucí rušivé vyzařování – oscilace, porucha, neošetřené spínání)

3) Dělení podle spojitosti:

- Impulsní interferenční zdroje (v čase neperiodické, mají charakter krátkodobého impulsního rušení, např. přechodové jevy, spínání induktivní zátěže)
- Spojité interferenční zdroje (působí spojitě na rušené zařízení, např. vysílač tv. vysílání vysílající trvalou nosnou)
- Kvazi impulsní interferenční zdroje (kombinace obou předchozích, např. komutátorové motory)

4) Dělení podle šířky pásma:

- Úzkopásmové interferenční zdroje (TV a rozhlasové vysílače, radiostanice, mobilní telefony, datové linky – pojítka)
- Širokopásmové interferenční zdroje (výkonové měniče, spínané zdroje, přechodové jevy, bouřková činnost)

5) Dělení podle kmitočtové polohy:

- Nízkofrekvenční interferenční zdroje (veškerá energetická soustava, měniče, motory, transformátory, trakce...)
- Vysokofrekvenční interferenční zdroje (vše nad cca 100kHz – radiové přenosy, vysílače, přechodové jevy, spínání, datové přenosy po UTP, internet, PLC)

3. Ionizující a neionizující záření

3.1. Ionizující záření

Elektromagnetické vlnění s kmitočtem vyšším než $1,7 \cdot 10^{15}$ Hz a proud hmotných částic označujeme jako tzv. ionizující záření. Toto záření je charakteristické tím, že při průchodu hmotou vznikají elektricky nabitě částice, ionty. V souvislosti s ionizujícím zářením rozlišujeme, zda je záření částicové nebo elektromagnetické povahy. Setkáváme se nejčastěji :

1. Částicové záření:

- α -proud jader Helia
- β -proud elektronů (případně pozitronů)
- Neutronové záření

2. Elektromagnetické záření:

- Rentgenové záření
- γ -záření
- Kosmické záření

Jak již bylo řečeno, ionizující záření způsobuje změnu náboje elektronového obalu atomu nebo molekuly a tím dochází ke vzniku iontů nebo se uvolňují elektrony. Rozlišujeme přímou nebo nepřímou ionizaci. V případě přímé ionizace uvažujeme částice, které mají dostatečnou kinetickou energii k vyvolání ionizace. Mohou to být rychle letící částice alfa, protony, deuterony, elektrony případně pozitrony. V případě nepřímé ionizace to mohou být částice, schopné vyvolat jadernou přeměnu

provázenou emisí přímo ionizujících částic. Důležitou charakteristikou popisující ionizující záření je tzv. pronikavost – schopnost proniknout do hloubky hmoty. Nejnižší pronikavost mají částice α , která dokáže zastavit jen list papíru. Částice β mají pronikavost vyšší a jsou schopny proniknout do hloubky několika cm živou tkání. Neutrony mají pronikavost silně závislou na energii, stejně jako ionizující elektromagnetické záření tvořené fotony. Rentgenové záření s vyšší vlnovou délkou mohou být úplně zachycena již několika cm měkkých tkání živého organismu, kdežto rentgenové záření s kratší vlnovou délkou a γ záření procházející bez větších ztrát. Pokud se podíváme na definici dávky, tak vidíme, že jsou do ní započteny především částice, které jsou v hmotě pohlceny tedy částice s menší pronikavostí. Je potom jasné, že částice s vyšší pronikavostí jsou obecně méně škodlivé.

3.2. Jednotky měření radiace

Jak již bylo řečeno, záření předává ozařované hmotě energii. Tato energie se označuje jako dávka a zavádíme tak jednotku Gray [Gy]. Při interakci záření a hmoty může dojít ke vzniku sekundárního záření, které je částečně pohlceno okolní hmotou a částečně z hmoty unikne. Energie, kterou toto záření „vynese“ se nestává součástí dávky. Dávku lze pro homogenní tělesa poměrně snadno vypočítat, ale lidské tělo je hmota silně nehomogenní, navíc může být vůči zdroji záření různě natočeno, což velikost dávky silně ovlivní. Pro výpočet velikosti dávky, kterou člověk získá z různých typů záření se používá speciální model z hmoty, napodobující vlastnosti lidské tkáně. Tento model umožňuje do „těla“ vložit měřicí senzory pro relativně přesné zjištění skutečné dávky.

3.3. Biologické účinky ionizujícího záření

Jednotlivé typy záření mají různý biologický účinek Proto se pro hodnocení ozáření živých „objektů“ používá tzv. dávkový ekvivalent, jehož jednotka je Sievert [Sv], což je vlastně Gray [Gy] vynásobený kvalitativním faktorem příslušného typu záření. V praxi (zdravotnictví) se především setkáváme s rentgenovým a γ zářením, které mají kvalitativní faktor 1, proto se občas dávka a dávkový ekvivalent zaměňují. Pro odhad účinku ozáření se musí zohlednit citlivost ozářených tkání. Rozlišují se tkáně

s vysokou citlivostí (kostní dřen, štítná žláza atd.) až po tkáň relativně odolné (kosti, vazivo atd.) Je proto veliký rozdíl, jestli došlo k ozáření celého subjektu nebo jen některých částí. Při vyhodnocení účinku ozáření rozlišujeme tzv. stochastické a nestochastické účinky.

1. **Nestochastické účinky** – vyznačují se především hodnotou určité prahové meze a s dávkovým ekvivalentem roste mohutnost těchto účinků. Mezi tyto účinky patří například tzv. nemoc z ozáření, která se rozvine až po překročení určitého prahu a mohutnosti ozáření se rozvine na první, druhý případně třetí stupeň. První stupeň nemoci z ozáření se projevuje především poškozením kostní dřeně a orgánů, zajišťujících imunitu organismu. Lehké formy je možné přežít při léčení silnými dávkami antibiotik, transplantací kostní dřeně a krevními transfuzemi. Druhý a třetí stupeň nemoci končí téměř vždy smrtí. Druhý stupeň se projevuje rozpadem sliznice atd. a postižení umírají do několika dnů od ozáření. Třetí stupeň se projevuje například narušením nervové činnosti až ztrátou vědomí. Postižení umírají zpravidla do několika hodin a při vysokých dávkách i během několika minut.
2. **Stochastické účinky** – vyznačují se určitou mírou náhodnosti. Se zvyšující dávkou roste míra pravděpodobnosti, že účinky nastanou. Následky stochastických účinků jsou především nádorová onemocnění, leukémie případně i vrozené vady u potomstva ozářených. Zpravidla se uvažují až dvě následné generace

3.4. Neionizující záření

Jak bylo řečeno výše, neionizující záření je takové záření, které neumožňuje ionizovat případně disociovat (štěpit) molekulu, měnit strukturu molekul v tkáni případně změnit vazby řetězce DNA. Působení neionizujícího záření se tak projevuje podle dosavadních studií pouze zvýšením energie tepelného pohybu molekul a tedy vzrůstem teploty. Díky dostatečné robustnosti molekul tak nemůže dojít při absorpci elektromagnetického vlnění o kmitočtu menším než $1,7 \cdot 10^{15}$ Hz v tkáni ke změně struktury a ani k poškození řetězce DNA. Riziko poškození zdraví vysokými

úrovněmi neionizujícího záření tak spočívá výhradně v lokálním zvýšení teploty povrchových částí těla případně ke vzniku popálenin. Tepelné působení je tak jediným zjištěným vlivem při expozici člověka elektromagnetickým zářením o vlnové délce větší než cca 1mm a kratší než cca 30m (10MHz). I u neionizujícího záření definujeme hloubku vniku do živých tkání lidského organismu, která s klesajícím kmitočtem se zvětšuje. Při relativně nízkých kmitočtech (10-100MHz) tak značná část energie tělem člověka projde a nezpůsobuje velkou absorpci, která by se projevila zvýšením teploty. Pokud se podíváme na elektromagnetické vlnění (případně jen elektrických a magnetických polí) s kmitočty nižšími než cca 10MHz, začíná se uplatňovat jiný rizikový faktor, než ohřev tkání. Tento faktor je elektrický proud indukovaný v lidské tkáni vnějším elektromagnetickým polem. Nejcitlivější na indukovaný elektrický proud je nervová soustava. Působením tohoto pole tak může dojít k narušení srdečního rytmu, zhoršit motorickou činnost, případně při vysokých intenzitách paralyzovat nervovou soustavu. Vliv indukovaných proudů do lidského organismu s klesajícím kmitočtem velmi rychle narůstá a při kmitočtech srovnatelných nebo nižších než cca 100kHz převažují účinky indukovaných proudů nad tepelnými účinky.

3.5. Hygienické limity neionizujícího záření

Pro zajištění bezpečnosti při působení neionizujícího záření jsou stanoveny hygienické limity, jejichž nepřekročení zaručuje dostatečnou ochranu proti poškozením zdraví. Jak je uvedeno v literatuře, zaměřující se na uvedenou problematiku, jsou pro optická záření (UV, viditelné, IR) stanoveny hygienické limity vycházející z hustoty zářivého toku dopadajícího po určitou dobu na tělo nebo jeho část. Pro tzv. radiofrekvenční záření, případně pro elektrické a magnetické pole, vycházejí hygienické limity z veličin, popisujících procesy, vyvolané v těle exponované osoby. Jednak se uvažují indukované elektrické proudy v organismu a za druhé měrný absorbovaný výkon v lidské tkáni. Pro kmitočty ležící v intervalu 10GHz až 300GHz (pásmo milimetrových vln) se nejvyšší přípustná hodnota stanovuje obdobně, jako pro optické záření, tj. hustotou zářivého toku dopadajícího na tělo, případně jeho část po určitou dobu. Pro Českou republiku jsou nejvyšší přípustné hodnoty pro expozici osob neionizujícím zářením stanoveny nařízením vlády č480/2000 Sb. a jejich novelizací o ochraně zdraví před neionizujícím zářením a to až do $1,7 \cdot 10^{15}$ Hz. Pro radiofrekvenční pásmo od 0 - 300GHz převzalo nařízení vlády

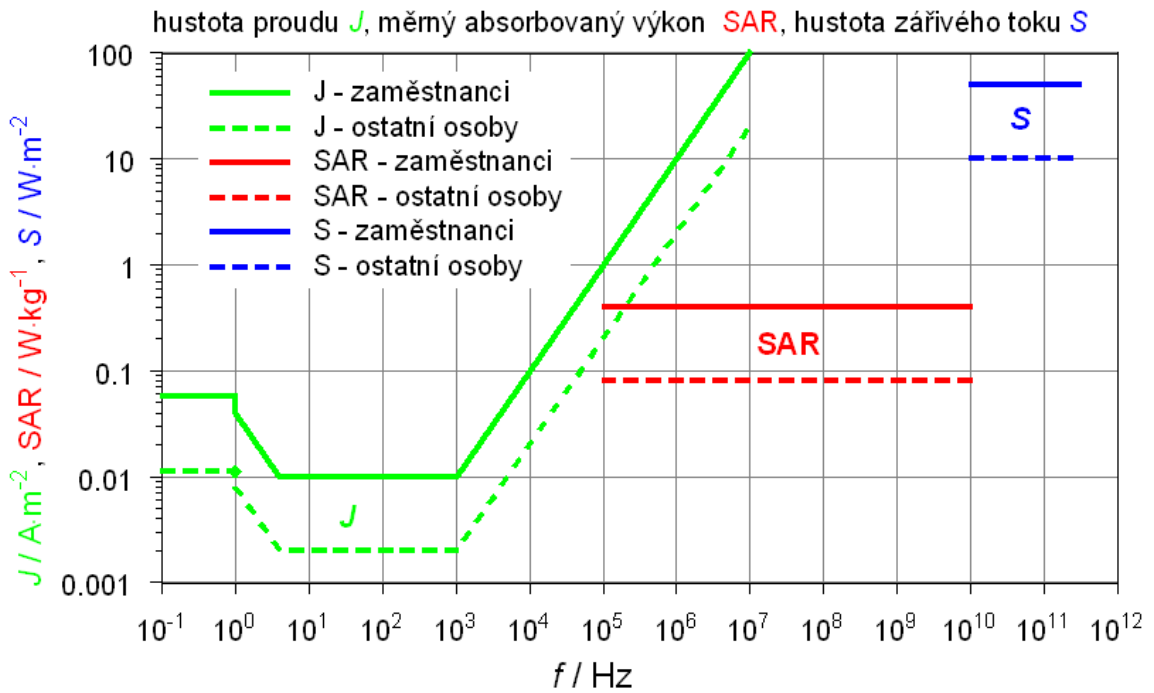
č.480/2000 Sb. beze změn limity stanovené ve směrnici komise na ochranu před neionizujícím zářením ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) uveřejněné v roce 1998. Světová zdravotnická organizace pokládá dodržení těchto limitů za dostatečnou ochranu zdraví před účinky neionizujícího záření. Tato směrnice ICNIRP je výsledkem vyhodnocení mnoha tisíců publikací vztahujících se k dané problematice působení neionizujícího záření na biologické objekty. Existence nepříznivých účinků při dlouhodobém působení slabých elektromagnetických polí (silové rozvody, pole vysílačů, mobilní telefony) vyhodnotil ICNIRP jako neprokázané.

3.6. SAR

Zkratka SAR (Specific Absorption Rate) v překladu znamená měrný absorbovaný výkon ($\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$) a je jednou z nejčastěji používaných veličin při hodnocení tepelného ohřevu vlivem expozice neionizujícím zářením především v radiofrekvenčním pásmu. Je definována tak, že při jejím dodržení je zvýšení teploty těla vlivem expozice z hlediska rizika možného poškození zdraví bezvýznamné. Nejvyšší přípustná hodnota pro výkon absorbovaný v jednom kilogramu tkáně těla byla pro zaměstnance stanovena tak, aby se při působení záření na celé tělo tělesná teplota při mírné činnosti nezvýšila víc než o jednu desetinu stupně. V kmitočtovém pásmu 10 MHz až 10 GHz je nejvyšší přípustný měrný výkon SAR absorbovaný v celém těle 0,4 W/kg pro zaměstnance, pro ostatní osoby je pětkrát nižší. Působí-li zdroj neionizujícího záření jen na část těla (viz mobilní telefony v pásmu 900/1800MHz) platí pro posouzení nejvyšší přípustná hodnota pro lokálně absorbovaný měrný výkon – je stanovena na 10 W/kg pro zaměstnance a na 2 W/kg pro ostatní osoby. U mobilních telefonů se pro všechny osoby uvažuje pouze 2W/kg.

Podle obrázku obr.1, převzatého z [1], je patrné, že pro spodní oblast radiového pásma převažují především účinky vyvolané indukci elektrických proudů v lidském těle označené hustotou proudu J ($\text{A}\cdot\text{m}^{-2}$). Pro oblast běžně používaných radiových frekvencí v radiokomunikační technice $10^5 - 10^{10}$ Hz se setkáváme především s měrným absorbovaným výkonem SAR ($\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$) a pro kmitočty ležící nad 10^{10} Hz s hustotou zářivého toku S ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$). Nejvyšší přípustné hodnoty znázorněné obrázkem platí pro časově neomezenou expozici. Horní křivka vždy platí pro tzv. zaměstnance

(osoby, jejichž výkon povolání souvisí s expozicí neionizujícího záření) a spodní pro ostatní osoby.



Obr.1 Nejvyšší přípustné hodnoty (převzato z [1]).

3.7. Netepelné účinky neionizujícího záření

Pro expozici neionizujícím zářením v případě kmitočtů nižších než cca 100kHz již je tepelný účinek zanedbatelný a uvažuje se jen působení indukovaných proudů. Vzhledem k působení především na nervovou soustavu se zde musí uvažovat již poměrně malé indukované proudy, na rozdíl od tepelného namáhání těla s poměrně velikou tepelnou kapacitou a s tím související odolností. Na obrázku obr.2, převzatého z [1] jsou patrné úrovně indukovaných proudů a jejich působení na lidský organismus.

Proudová hustota (A/m²)	Projevy
< 0,001	nebyly zjištěny žádné projevy
0,001 – 0,01	nepatrné biologické projevy
0,01 – 0,1	dobře zjištěné jevy, vizuální efekty (<u>magnetofosfeny</u>), možnost ovlivnění nervové soustavy, publikovány zprávy o snazším hojení zlomenin
0,1 – 1	zjištěny změny v dráždivosti nervového systému; práh stimulace, možná zdravotní rizika
> 1	možné extrasystoly a ventrikulární fibrilace; nesporná zdravotní rizika

Obr.2 Vliv indukovaných proudů na lidský organismus, převzato z [1].

Nejvyšší přípustné hodnoty indukovaných proudů pro zaměstnance jsou stanoveny tak, aby byly bezpečně pod úroveň jakéhokoliv zdravotního rizika. Pro ostatní osoby je nejvyšší přípustná hustota indukovaného elektrického proudu v těle pětkrát nižší. U nízkofrekvenčních polí se navíc oproti působení v oblasti radiofrekvenčních, případně optických záření musí brát v potaz i krátkodobé působení (třeba jen jeden impuls) elektromagnetického pole, což je samozřejmě dáno odlišným působením na lidský organismus a v případě indukovaných proudů je odezva nervového systému prakticky okamžitá.

Literatura:

[1] [www.sisyfos.cz/skeptikon/.../pekarek1 rizika expozice emf.doc](http://www.sisyfos.cz/skeptikon/.../pekarek1_rizika_expozice_emf.doc)

RIZIKA Z EXPOZICE NEIONIZUJÍCÍMU ELEKTROMAGNETICKÉMU ZÁŘENÍ,
Luděk Pekárek a kol.

[2] Prof. Ing. Jiří Svačina, CSc *Elektromagnetická kompatibilita*. Scripta, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně, 2002