

Elektromagnetická kompatibilita a stínění

Electromagnetic compatibility and shielding

Vladimír Schejbal, Karel Dvořák, Josef Šroll

vladimir.schejbal@upce.cz

Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice

Abstrakt: Článek se zabývá základními vlastnostmi stínění a jeho vlivu na EMC, neboť omezení rušení vyzařováním, příp. zvýšení odolnosti vůči elektromagnetickým polím nelze obvykle dosáhnout bez použití správně provedeného stínění. Protože o stínění kolují nesprávná tvrzení, snaží se článek tato tvrzení korigovat.

Abstract: Basic properties of shielding and effect of which on EMC as reducing of radiation interference or possibly increasing of electromagnetic susceptibility cannot be done without proper utilization of shielding. Because various incorrect statements about shielding are said, the corrections are given.

Elektromagnetická kompatibilita a stínění

Vladimír Schejbal, Karel Dvořák, Josef Šroll

Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice
Email: vladimír.schejbal@upce.cz

Abstrakt – Článek se zabývá základními vlastnostmi stínění a jeho vlivu na EMC, neboť omezení rušení vyzařováním, příp. zvýšení odolnosti vůči elektromagnetickým polím nelze obvykle dosáhnout bez použití správně provedeného stínění. Protože o stínění kolují nesprávná tvrzení, snaží se článek tato tvrzení korigovat.

1 Úvod

Elektromagnetická kompatibilita (*electromagnetic compatibility* EMC) a rušení (*electromagnetic interference* EMI) – viz např. [1] - [9] je nesmírně technicky důležitou oblastí. 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 činností nepřipustně neovlivňovat své okolí, tj. nevyzařovat signály, jež by byly rušivé pro jiná zařízení. Dnes představuje EMC samostatnou vědní disciplínu, která se začala rozvíjet kolem roku 1960 pro vojenské účely a po zhruba 20 letech i pro civilní aplikace. Rozvoj bohužel podnítila i řada havárií (aut, letadel, nechtěné odpálení náloží v lomu atd.) jak ve vojenských, tak i civilních oblastech, což mělo za následek nejen obrovské finanční škody, ale často i větší ztráty na životech. Jednotlivá zařízení se ve větší nebo menší míře ovlivňují, ať se jedná o jednostranné ovlivňování, kdy dané zařízení není nepříznivě ovlivňováno (např. komutátorové motory, moderní výkonová elektronická regulační zařízení, vysílače vysokých výkonů, jako jsou radary, TV a rozhlasové vysílače) či oboustranné ovlivňování, kdy dané zařízení jednak nepříznivě ovlivňuje, jednak je nepříznivě ovlivňováno (např. mobilní telefony). Pochopitelně toto dělení je pouze orientační, neboť v konkrétních situacích může být činnost jednotlivých zařízení odlišná. Samozřejmě existují i „přírodní“ zdroje rušení (bouřky, výboje typu Eliášův oheň, kulové blesky, sluneční erupce a pod.).

Elektromagnetické rušení je z principu interdisciplinární, prochází všemi oblastmi elektroniky od nejjednodušších obvodů až po nejrozvinutější elektronické systémy. Protože složitost elektronických obvodů narůstá (prudký rozvoj počítačů, mobilních komunikací, zákaznických integrovaných obvodů atd.), rostou i nároky na elektromagnetickou kompatibilitu, aby se zabránilo škodlivým vlivům rušení (všichni jsme se setkali s tím, že z důvodu rušení, aby nedošlo k ohrožení lidských životů, se nesmí používat mobilní telefony v ambulancích, nemocnicích, letadlech apod.). 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 rušení. Elektromagnetická kompatibilita je tedy vyšší a širší pojem než prostá spolehlivost daného zařízení, s níž byla v počátcích často mylně zaměňována a ztotožňována. 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.

V praxi, kdy citlivá elektronická zařízení 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 přírodní kabely nesoucí signály nízkých úrovní mV a μ A. 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 zařízení, ale i ohrožení života či zdraví lidí. Proto nás zajímá *odolnost proti rušení* (*electromagnetic susceptibility* EMS) a úroveň rušení uvažovaného zařízení jak pro základní vyzařovaný kmitočet, tak i vyšší harmonické kmitočty (obvykle mají z hlediska rušení největší vliv).

Omezení rušení vyzařováním, příp. zvýšení odolnosti vůči elektromagnetickým polím nelze obvykle dosáhnout bez použití správně provedeného stínění. Článek se zabývá základními vlastnostmi stínění a jeho vlivu na EMC. Protože o stínění koluje řada nesprávných tvrzení, snaží se tato tvrzení objasnit.

2 EMC a stínění

Základní funkce stínění je zřejmá z elektrostatiky [10] (Faradayova klec). Plošná hustota náboje Q v daném bodě na vnější ploše dokonalého vodiče nezávisí na rozložení Q v dutině vodiče. Obráceně, pole uvnitř dutiny nezávisí na poli vně vodiče. Vodic se pak chová jako elektrostatické stínění. Pro pochopení detailnějších vlastností je vhodné využívat poznatků týkajících se odrazu a přenosu rovinných vln. Elektromagnetické stínění je jedním z nejdůležitějších odrušovacích prostředků před výkonovým rušením spojitého či impulsního charakteru, umožňující jak zmenšení rušivého vyza-

řování na straně zdrojů rušivých signálů, tak i zvýšení elektromagnetické odolnosti na straně přijímačů rušivých signálů. Ovšem nesprávná volba odrušovacího prostředku nejen že nepřinese očekávaný efekt, ale může být dokonce příčinou zhoršení parametrů odrušovaného zařízení nebo ohrožení bezpečnosti obsluhy. Nevhodně zvolený odrušovací prostředek nebo jeho nesprávná montáž a instalace může ve svém výsledku zvýšit celkovou hladinu rušení tak, že takto "odrušené" zařízení ruší (nebo je rušeno) více než zařízení neodrušené.

3 Základní vlastnosti

Uvažujme vodivou desku o tloušťce t , vodivosti σ , permitivitě ϵ a permeabilitě μ . Na levou stranu dopadá homogenní rovinná vlna. Na obou stranách desky se předpokládá, že je volný prostor. Na levé straně je jak dopadající vlna s kruhovou frekvencí $\omega=2\pi f$ (intenzita elektrického pole E_i), tak i odražená vlna E_r . Na pravé straně se předpokládá, že je pouze procházející vlna E_t . Účinnost stínění (poměr dopadající a procházející vlny) je [5]

$$\frac{E_i - (\eta_0 + \eta)^2}{E_i} \left[1 - \left(\frac{\eta_0 - \eta}{\eta_0 + \eta} \right)^2 e^{-2t\alpha} e^{-2jt\beta} \right] e^{t\alpha} e^{jt\beta} e^{-jt\beta_0} \quad (1)$$

kde

$$\beta_0 = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$$

$$\eta_0 = \omega \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$$

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{j\omega(\sigma + j\omega\epsilon)}$$

$$\eta = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\epsilon}}$$

První část rovnice odpovídá odrazu, druhá (v hranatých závorkách násobným odrazům mezi levým a pravým povrchem desky a poslední část odpovídá útlumu uvnitř desky. Odrazy jsou největší pro nízké frekvence a pro kovy s velkou vodivostí. Útlum odrazy R_{dB} je

$$R_{dB} = 20 \log \left| \frac{(\eta_0 + \eta)^2}{4\eta_0\eta} \right| \quad (2)$$

U magnetických materiálů degraduje permeabilita ztráty odrazem.

Útlum v desce A_{dB} se podstatně zvětšuje pro vyšší frekvence

$$A_{dB} = 20 \log e^{t\alpha} \quad (3)$$

Násobné odrazy způsobí útlum M_{dB}

$$M_{dB} = 20 \log \left| 1 - \left(\frac{\eta_0 - \eta}{\eta_0 + \eta} \right)^2 e^{-2t\alpha} e^{-2jt\beta} \right| \quad (4)$$

Výsledný útlum je dán součtem $R_{dB} + A_{dB} + M_{dB}$

Poměr dopadající a procházející vlny je stejný jak pro elektrické, tak i magnetické pole. Ovšem je tady podstatný rozdíl, protože hlavní přenos magnetického pole nastává na levé

ploše, zatímco u elektrického pole je to pro pravou stranu. Takže útlum pro magnetické pole je mnohem důležitější než pro elektrické pole. Proto tloušťka desky má mnohem větší vliv pro magnetické, než pro elektrické pole.

Pro zdroj v blízkosti vodivé desky (blízké zóně) ve vzdálenosti r je velice důležité, zda se jedná o elementární elektrický (Hertzův) dipól (elektrický zdroj jako rovný vodič), nebo elementární magnetický (magnetický zdroj jako smyčka, např. cívka transformátoru). Ztráty vlivem odrazů R_{NdB} lze přibližně vypočítat pomocí vztahu

$$R_{NdB} = 20 \log \left| \frac{(Z_w + \eta)^2}{4Z_w\eta} \right| \approx 20 \log \left| \frac{Z_w}{4\eta} \right| \quad (5)$$

kde pro elektrické zdroje platí

$$|Z_w|_e = \frac{1}{\omega\epsilon_0 r}$$

a pro magnetické zdroje platí

$$|Z_w|_m = \omega\mu_0 r$$

Je zřejmé, že ztráty vlivem odrazů R_{NdB} pro elektrické zdroje v blízké zóně jsou mnohem větší než pro pole ve vzdálené zóně (rovinnou vlnu) a rostou při zmenšení vzdálenosti mezi zdrojem a deskou (stíněním).

Naproti tomu ztráty odrazy pro magnetické zdroje v blízké zóně jsou mnohem menší než pro pole ve vzdálené zóně (rovinnou vlnu) a klesají při poklesu frekvence a zmenšení vzdálenosti mezi zdrojem a deskou (stíněním). Také útlumové ztráty pro nízké frekvence jsou malé. Proto jsou ztráty obvykle zanedbatelné pro nízké frekvence a musí se použít jiné techniky např. velmi silný magnetický materiál.

Podmínkou správné volby odrušovacích prostředků a zejména stínění je znalost jejich fyzikálních vlastností a technických parametrů a současně znalost chráněných obvodů a principů vazeb v závislosti na frekvenci.

Hořejší úvahy platí pro zcela uzavřenou dutinu, nebo nekončnou velkou desku. Samozřejmě v mnoha případech se nevyhne při praktické realizaci otvorům (nejčastěji z hlediska větrání, kdy se často používají ventilátory). Často se používá velké množství menších otvorů, než jeden velký otvor.

Dopadající pole indukuje plošné proudy, které vytváří odražené pole. Pokud bude štěrbinová umístěná tak, že je kolmá na tyto proudy, přeruší se tyto proudy, což způsobí snížení efektivity stínění. Šířka štěrbinové nebude tyto toky významně rušit. Na druhé straně, pokud je štěrbinová orientovaná paralelně s indukovanými toky, bude snížení účinnosti stínění podstatně menší. I když je občas možné určit směr těchto proudů, je to většinou nemožné (orientace proudů může být v různých místech stínění zcela rozdílná), užívá se obvykle velké množství malých otvorů. Také při použití dveří proniká energie při zavření dveří mezerami, které se chovají jako štěrbinové antény. Babinetův princip ukazuje, že můžeme zaměnit štěrbinu pevným vodičem, který má stejné rozměry jako štěrbinová a vytváří stejné pole. To lépe ilustruje, že délka štěrbinové je mnohem důležitější než její tloušťka pro vyzářování štěrbinové. Pokud má štěrbinová řádově půl vlnové délky, plyne z Babinetova principu, že štěrbinová má schopnost vyzářovat podobně jako půlvlnná dipólová anténa. Například se musí dávat mnoho šroubků s malou

roztečí okolo otvorů, protože krátká dipólová anténa vyzařuje méně účinně než dlouhá. Používají se také kovová těsnění pro uzavření mezer (např. beryliová bronz s „prsty“ - “finger stock”). Těsnění se musí umístit uvnitř zajišťovacích šroubů (vně šroubů jsou méně účinné).

Otvory ve stíněném prostoru lze také chránit pomocí vlnovodového režimu (obecně lze použít vhodnou trubku s libovolným průřezem). Uvažujme např. vnitřní obdélníkový průřez trubky s rozměry a , b , kde $a \geq b$. Pak pro dominantní (nejnižší) vid a rychlost šíření vln c je mezní frekvence [13] $f_{c,10} = c/(2a)$. Konstanta útlumu pro frekvence f mnohem menší než mezní frekvence je

$$\alpha_{10} = \frac{2\pi f}{c} \sqrt{\left(\frac{f_{c,10}}{f}\right)^2 - 1} \approx \frac{2\pi f}{c} \frac{c}{2af} = \frac{\pi}{a} \quad (6)$$

pro $f \ll f_{c,10}$

Uvažujme-li kruhový průřez trubky s vnitřním průměrem D , pak pro dominantní (nejnižší) vid TE_{11} a rychlost šíření vln c je mezní frekvence [13] $f_{c,11} = c/(1,706D)$. Konstanta útlumu pro frekvence f mnohem menší než mezní frekvence je

$$\alpha_{10} = \frac{2\pi f}{c} \sqrt{\left(\frac{f_{c,10}}{f}\right)^2 - 1} \approx \frac{3,68}{D} \quad (6a)$$

pro $f \ll f_{c,10}$

Je-li $f \ll f_{c,10}$ účinnost stínění SE_{dB} bude

$$\begin{aligned} SE_{dB} &= 20 \log e^{\alpha l} = \alpha l 20 \log e \\ &\approx 27,3 \frac{l}{a} \quad \text{pro obdélníkovou trubku} \\ &\approx 32 \frac{l}{D} \quad \text{pro kruhovou trubku} \end{aligned} \quad (7)$$

Tento výsledek ukazuje, že vlny s frekvencí menší než kritická budou velice rychle utlumeny a dostatečně dlouhé trubky lze použít pro větrání uzavřeného prostoru.

4 Příklady stínění

I když většina odborné veřejnosti má základní znalosti o Faradayově kleci a funkci stínění, velmi často neuvažuje vliv otvorů, což může způsobit podstatné zhoršení účinnosti stínění a vede to k řadě zakořeněných omylů.

4.1 Stínění koaxiálního kabelu

Připojení jednoho konce stínění koaxiálního kabelu k referenčnímu vodiči (místo s nulovým potenciálem, obvykle uzemnění) odstraní kapacitní vazbu (elektrické pole). Abychom ovlivnili induktivní vazbu (magnetické pole), musíme stínění připojit k referenčnímu vodiči na obou koncích, abychom umožnili proudy téci zpět podél stínění, což bude vytvářet magnetický tok, který bude rušit tok vznikající vlivem proudu generátoru. Pokud zaměníme koaxiální vodič zkroucenou dvoulinkou, použijeme jeden vodič dvoulinky pro proud, který se vrací zpět. V důsledku zkroucení dvoulinky budou jednotlivé smyčky indukovat elektromotorické napětí s opač-

nou polaritou, a tedy mají tato napětí snahu se vzájemně rušit, což bude redukovat induktivní vazbu (magnetické pole). Jak ukazují podrobné numerické simulace a experimenty, bude vliv kapacitní vazby záviset na typu zátěže (zda je symetrická nebo nesymetrická) a na velikosti zátěže [5]. Pochopitelně, že použití stínění umožní odstranit kapacitní vazbu.

4.2 Stíněné a útlumové komory

Pro stíněné komory [5], [13], [16], [16] se používají tři typy stínění: svařované, prefabrikované a stavební konstrukce. Svařované konstrukce se jeví jako nejspolehlivější, ale jsou zároveň nejdražší. Ocel musí mít určitou minimální tloušťku a vodotěsné sváření se provádí podél každého švu. Nejsou povoleny žádné otvory. Dobře provedené stínění může mít stínící účinnost 120 dB pro celé frekvenční spektrum. Jsou umístěny uvnitř budov (stínění ovšem není ovlivněno vnějšími konstrukcemi). Klíčem pro úspěšné zařízení je návrh, který lze realizovat, jednoznačně specifikované požadavky, kvalifikovaní svářeči a dobrá kvalita kontroly. Zejména se jedná o dobré provedení stínění podlahy. Deformace stínění vlivem procesu sváření často bývá velký problém mnoha projektů. Velké problémy jsou v rozích, kde se stýkají tři různé stínící plochy. Je nutné zajistit, aby byl přístup pro kompletní svár. Je nutná průběžná kontrola, neboť dodatečné opravy jsou mnohem náročnější.

Nejobvyklejší spojení stínění (pomocí „švů“) je pomocí sponek, které se dotýkají po celé délce obou stínících desek a překrývají je v dostatečných šířkách. Často tyto sponky mají průřez připomínající klobouk, kde horní část se přišroubuje do kanálku, aby se dolní ploché části dotýkaly obou stínících desek. Pro speciální montáž desek a sponek lze docílit účinnost stínění 100 dB až do 40 GHz.

Stavební konstrukce používají dodatečné odstínění existujících budov. Existuje celá řada modifikací. Nejčastěji se užívají vodivé pásy nad spoji („švy“). Nejlepší je vzájemně překrýt stínící desky a pak je přelepit vodivými páskami. Cílem je spojení kovu s kovem v celé konstrukci. Vhodnou konstrukcí lze docílit účinnost stínění až 60 dB do 1 GHz.

Mnoho stíněných komor se užívá jako ochrana proti úmyslnému rušení, neboť kromě neúmyslného rušení, které pouze „znečišťuje“ životní prostředí („elektromagnetický smog“ – špatně odrušené motory, polovodičové a regulační prvky, vysílače atd.) a může se šířit jak po napájecích vedeních tak volným prostorem, existuje úmyslné rušení. V rámci elektronického boje (electronic warfare) vysílá nepřítel rušivý signál (jamming), aby znemožnil používání spojovacích, navigačních a výpočetních prostředků. Velkou hrozbou je i možnost teroristických útoku pomocí elektromagnetické pumy (E-bomb), která vysílá velmi krátké impulsy (o délce řádově 1 ns) s výkonem řádově jednotek či desítek GW a tím může rušit (popř. zcela zničit) počítače, regulační a telekomunikační zařízení.

Pro měřicí účely se používá často stíněná útlumová komora. Je to stíněná komora, která se uvnitř obloží absorpčními panely (obvykle ve tvaru jehlanů). Ty pohlcují vysokofrekvenční záření. Používá se jak pro měření EMC, tak pro měření antén [5], [13], [16], [16]. Pro větrání (větrací otvory) lze využít vlnovodový režim popsáný nahoře, kdy jednotlivé trubky se vzájemně dotýkají. Např. budou-li trubky s obdélníkovým

průřezem čtyřikrát delší než větší vnitřní rozměr, bude útlum podle (7) větší než 100 dB.

4.3 Reverberační komora

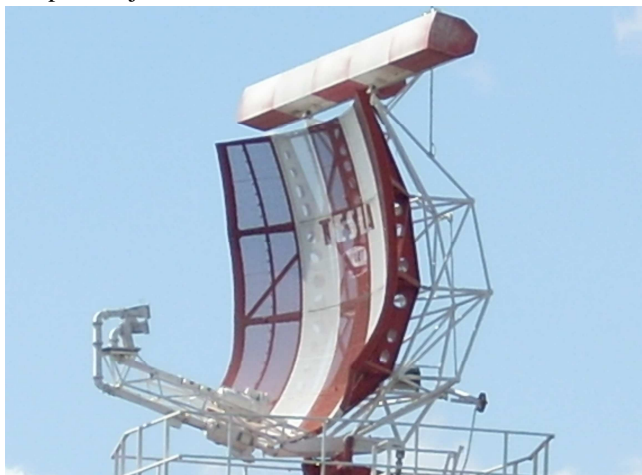
Reverberační komora [6], [13] je velká kovová dutina (uzavřená stíněná komora), která je opatřena míchadly měnící rozložení vidů v dutině a pak se měření statisticky vyhodnocuje. Používá se více než 20 let pro měření EMC elektronických součástek a dílů a to jak EMS, tak i EMI. Základní teorie jsou dobře analyzované. Základní EMC aplikace je generování vysoké intenzity pole pro testování EMS. V posledních letech vede vývoj reverberačních komor k přesnějšímu nástroji také pro měření charakteristik požadovaného vyzařování malých antén a aktivních mobilních terminálů. Zejména jsou tyto komory určené pro používání v případech Rayleighova fadingu, jako jsou bezdrátové mobilní komunikace nebo vnitřní prostředí. Stínění reverberačních komor je lepší než 50 dB (pro některé komory to je 100 dB).

4.4 Reflektorové antény

Pokud nepožadujeme co nejlepší stínění (jak je to obvyklé pro měřicí účely), je možné použít otvory, které jsou mnohem menší než vlnová délka.

Pokud se použije soustava rovnoběžných drátů, bude vlna rovnoběžná s dráty silně tlumená (otvory v kovové desce budou tlumit vlny polarizované v libovolném směru). Tento jev se využívá již od počátku využívání radarů, jak je dobře dokumentováno řadou aplikací [11] - [15]. Vliv různých typů mřížek, kteří se používají pro lineární, např. vertikální polarizaci (kulaté dráty, ploché pásky atd.) byl studován analyticky i experimentálně [12], [13].

Jako příklad je na obrázku 1 anténa radaru RL-41.



Obrázek 1: Anténa radaru RL-41 – dvojkřivý reflektor se dvěma nezávislými pyramidálními trychtýři

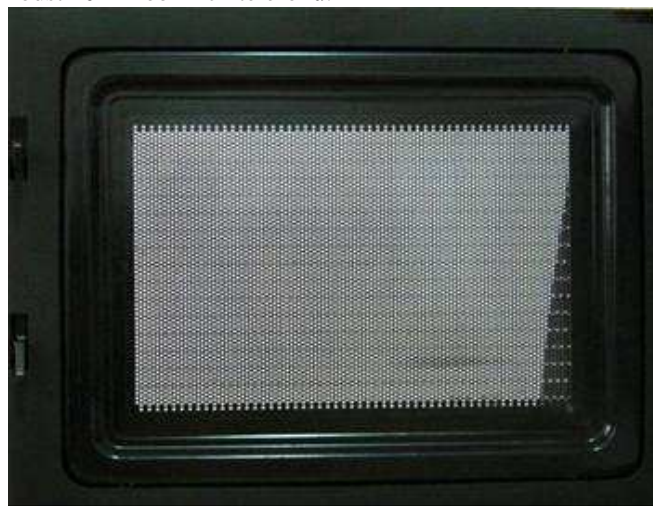
Anténa radaru RL-41 používá dvojkřivý reflektor tvořený perforovaným plechem (pro snížení odporu proti větru) se dvěma nezávislými trychtýři. Radar se používá pro řízení letového provozu a pracuje ve frekvenčním rozsahu 2,7 až 2,9 GHz. Nahore je anténa sekundárního radaru SSR. Otvory o velikosti několika mm představují rozumný kompromis z hlediska odporu vzduchu (větru), který se sníží zhruba na

jednu třetinu a účinnosti stínění. V tomto případě není stínění nijak kritické. Zpětné záření je zmenšeno zhruba 100 krát, neboť zisky trychtýřů, které směřují k reflektoru, jsou zhruba 100 krát menší než zisk celé antény. Proto postačí účinnost stínění zhruba 20 dB (tzn. 10 krát menší intenzita elektrického pole a tedy 100 krát menší výkon).

4.5 Mikrovlnná trouba

Uvnitř mikrovlnné trouby je značný výkon (typicky 700 W s frekvencí 2,4 GHz). Pokud bychom chtěli použít dveře se skleněnou výplní, pak by se mikrovlnná energie vyzařovala a ohrožovala zdraví obsluhy (navíc by prakticky nemohla fungovat). Pokud bychom uvažovali typický otvor $0,2 * 0,3$ m, dostaneme výkonovou hustotu $700 / (0,2 * 0,3) = 11,7 \text{ kWm}^{-2}$. To je více než tisíckrát větší hodnota, než je přípustná podle norem. Proto je nutné použít fólii s malými otvory (viz obrázek 2), která spolu se zavíráním dvířek zajistí, aby bylo vyzařování ve shodě s normami.

Mikrovlnná trouba umožní názornou demonstraci. Pokud je v místě s dobrým pokrytím (dobrým signálem), je možné do vypnuté trouby (nejraději s odpojeným elektrickým příívodem) umístit jeden mobilní telefon a zavřít pečlivě dvířka. Prozvoníme-li mobilní telefon, přesvědčíme se, že i když je potlačen vlivem stínění větší než 30 dB (tisíckrát nižší výkon), bude mobilní telefon spolehlivě reagovat. Mobilní telefony sice obvykle vysílají menší výkon než 1 W, ale podle specifikací (normy GSM) je požadavek na citlivost minimálně -102 dBm (tzn. výkon $6,3 \cdot 10^{-12} \text{ mW} = 6,3 \cdot 10^{-15} \text{ W}$). Protože vlnové délky vln používaných mobilními telefony jsou poněkud větší než pro vlny používané v mikrovlnné troubě, bude účinnost stínění zhruba stejná a je zřejmé, že obvykle toto stínění nebude stačit k odstínění mobilních telefonů.



Obrázek 2: Stínění u mikrovlnné trouby

4.6 Stínění obytných místností

Pokoušet se odstínit nějakou obytnou místnost pro zamezení komunikace pomocí mobilních telefonů (pokud bude tato místnost v oblasti s dobrým pokrytím) bude odsouzeno k nezdaru, neboť nelze předpokládat, že by se to povedlo výrazně lépe než pro mikrovlnnou troubu. To podporuje i údaj o stavebních konstrukcích, kdy lze docílit účinnost 60 dB, což

asi u obytných místností nedosáhneme (a navíc ani takové stínění by neposkytovalo dostatečnou záruku pro zamezení komunikace pomocí mobilních telefonů např. dětem nebo vězňům).

Na druhé straně pokoušet se odstínit nějakou obytnou místnost (např. hliníkovou folií nalepenou na okna), abychom byli chráněni proti škodlivému záření blízké základové stanice mobilních telefonů, by bylo silně kontraproduktivní. Sice snížíme záření antény základové stanice (provozovatel obvykle pečlivě volí její umístění, aby byla dostatečně účinná, ale na druhé straně si hlídá, aby byly splněny příslušné normy z hlediska ochrany zdraví a to i vně budovy a tím předešel případným soudním sporům). Ovšem snížení úrovně vysílaného signálu způsobí, že naše mobilní telefony automaticky zvýší vyzařovaný výkon, který se bude odrážet od všech překážek včetně dodatečného stínění. Vlivem násobných interferencí budou uvnitř místnosti místa, kde bude podstatně větší výkon vyzařovaný našim mobilním telefonem, než by tomu bylo bez „ochranného“ stínění.

Obecně bude platit, že vyzařování mobilního telefonu mnohonásobně převyší záření i relativně blízké základové stanice.

4.7 Automobil

Řada lidí je přesvědčená, že automobil funguje jako Faradayova klec. Je však nutné uvést, že skutečnost je mnohem složitější. Pro nízké frekvence budou platit závěry o stínění z části 3 a to jak z hlediska elektrických, tak i zejména magnetických polí, ale pro vyšší frekvence se podstatně uplatní vliv nejrůznějších otvorů.

Proto lze spolehlivě zastavit automobil na několik stovek metrů pomocí elektromagnetické pumy, neboť krátké, vysoce výkonné impulsy pronikají nejrůznějšími otvory. To způsobí poškození mikro-kontrolérů (MCU, tzn. mikroprocesorů a periférií), řídicích nejrůznější funkce (např. elektronické zapalování). Jedná se o vyřazení elektronických dílů a to buď trvalé, nebo dočasné (pro nižší úroveň signálu pro větší vzdálenosti), kdy lze MCU a tedy i automobil uvést znovu do chodu.

Telefonování uvnitř automobilu (bez ohledu na to, kdo telefonuje) bude zvyšovat výkon, který vyzařuje náš mobilní telefon, neboť přijatý signál bude částečně tlumen. Vlivem násobných interferencí pak mohou vznikat místa s podstatně vyšším výkonem. To samozřejmě poskytuje další argument proti používání mobilního telefonu při jízdě.

5 Závěr

Článek ukazuje důležitost správného stínění pro splnění podmínek EMC, podává základní vlastnosti stínění a uvádí některé typické příklady použití stínění v praxi. V mnoha případech uvedené základní vlastnosti poskytnou značně jednoduché vztahy pro provedení použitelných odhadů a tedy i vodičko, jak řešit konkrétní problémy v praxi a kdy naopak nelze očekávat, že bychom mohli uspět.

Poděkování

Práce vznikla za podpory výzkumného záměru MŠM 0021627505 – Teorie dopravních systémů.

Literatura

- [1] SVAČINA, J. *Elektromagnetická kompatibilita*. Brno: Vysoké učení technické, 2001.
- [2] PEREZ, R. *Handbook of electromagnetic compatibility*. N. York: Academic press, 1995.
- [3] HLAVA, K. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) drážních zařízení*. Pardubice: Univerzita Pardubice 2004.
- [4] *Rozhodnutí komise ze dne 21. února 2007 o umožnění využívání rádiového spektra pro zařízení využívající ultraširokopásmovou technologii harmonizovaným způsobem ve Společenství*. Úřední věstník Evropské unie L 55/33.
- [5] PAUL, C. R. *Introduction to Electromagnetic Compatibility*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006.
- [6] SUCHÝ, L. Šíření EM vln v reverberační komoře. In *10. seminář šíření vln v blízké a vzdálené zóně antény*, Pardubice, 14. května 2009, CD ROM.
- [7] KRČMÁŘ, V. Broadband Measuring of Shielding Covers. *Radioengineering*. 2006, vol. 15, no. 4, p. 39 – 42.
- [8] NOVÁK, J., ŠIMÁNEK, J., ČERNÝ, O., DOLEČEK, R. EMC of Frequency Controlled Electric Drives. *Radioengineering*. 2008, vol. 17, no. 4, p. 101 – 105.
- [9] NOVÁK, J., DOLEČEK, J., ČERNÝ, O. EMC Specific Problems of Frequency Converters Used at Interlocking Device. *Radioengineering*, vol. 18, no. 4, p. 606 – 610.
- [10] BEZOUŠEK, P., SCHEJBAL, V., ŠEDIVÝ, P. *Elektrotechnika*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2008.
- [11] PIDANIČ, J., ČERMÁK, D., SCHEJBAL, V. Gain Estimation of Doubly Curved Reflector Antenna. *Radioengineering*. 2008, vol. 17, no. 3, p. 38 – 41.
- [12] SILVER, S. *Microwave Antenna Theory and Design*. New York: McGraw-Hill, 1949.
- [13] VOLAKIS, J. L. *Antenna Engineering Handbook*. N. York, McGraw-Hill, 2007.
- [14] SCHEJBAL, V. Czech Radar Technology, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronics Systems*, 1994, vol. 30, no. 1, p. 2 - 17.
- [15] BEZOUSEK, P., SCHEJBAL, V. Radar Technology in the Czech Republic, *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 2004, vol. 19, no. 8, p. 27 – 34.
- [16] HEMMING, L. H. *Electromagnetic anechoic chambers. A Fundamental Design and Specification Guide*. N. York: J. Wiley, 2002.
- [17] HEMMING, L. H. *Architectural Electromagnetic Shielding Handbook. A Design and Specification Guide*. Piscataway: IEEE Press, 1992.