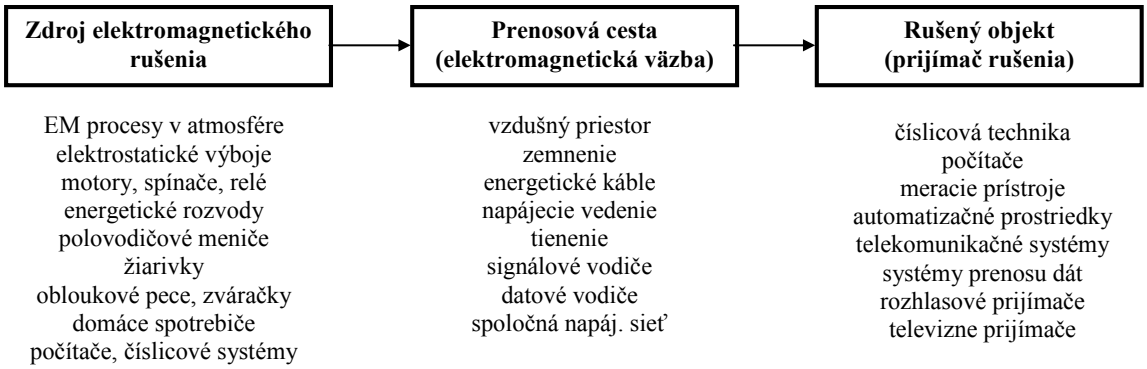
SPÔSOBY ODSTRAŇOVANIA RUŠENIA V NN SYSTÉMOCH

Mikuláš Šostronek[1]

ÚVOD

Elektromagnetická kompatibilita je schopnosť systému spoľahlivo pracovať v určitom elektromagnetickom prostredí a súčasne nevytvárať pri svojej činnosti elektromagnetické rušenie, ktoré bude prekračovať určitú tolerovateľnú hranicu.

Základný reťazec elektromagnetickej kompatibility (EMC) popisuje vytvorenie rušenia zdrojom, prenos rušenia väzobnou cestou a prijímanie rušenia prijímačom (obeťou rušenia). Táto situácia je naznačená na obr. 1.



Obr. 1 Základný reťazec EMC [2]

Rušenie je možné potlačiť priamo pri zdroji rušenia, alebo na prenosovej ceste alebo pri prijímači rušenia.

Najlepšou cestou pre zabránenie vzniku rušenia je jeho potlačenie priamo pri zdroji rušenia. Tým zabezpečíme, že nebude rušený prijímač rušenia ani ďalšie iné objekty. Je to ideálny prípad, ale nie vždy sa môže realizovať, napríklad ak je rušivý signál zároveň signálom prenášajúcim určitú informáciu (napr. TV a rozhlasové vysielače).

Technickým prostriedkom pre potláčanie rušenia hovoríme odrušovacie prostriedky, ktoré sa používajú na odstránenie rušenia a to jednak pri zdroji rušenia ale aj pri prijímači rušenia.

Medzi odrušovacie prostriedky patria:

- odrušovacie tlmivky a jednoprvkové tlmivkové filtre,
- odrušovacie kondenzátory a kondenzátorové filtre,
- odrušovacie filtre LC,
- prepäťové ochranné prvky (bleskoistky, plynové výbojky, varistory, obmedzovacie diódy),
- elektromagnetické, elektrické a magnetické tienenie.

Výber odrušovacieho prostriedku závisí od toho, či chceme potlačiť rušenie šíriace sa vedením (napr. cez napájacie káble), alebo vyžarovaním (napr. mikrovlnnej rúry).

Pre obmedzenie rušenia po vedeniach, prípadne zvyšovanie odolnosti voči tomuto rušeniu sa používajú odrušovacie tlmivky, kondenzátory, frekvenčné filtre LC a obmedzovače prepätia. Obmedzenie rušenia vyžarovaním, prípadne zvýšenie odolnosti voči rušivým poliam sa nedá zvyčajne dosiahnuť bez správne vyhotoveného tienenia. Nesprávna voľba odrušovacieho prostriedku nielenže neprinesie očakávaný efekt, ale môže byť dokonca príčinou zhoršenia parametrov odrušovaného zariadenia alebo ohrozenia bezpečnosti obsluhy.

[1] **Ing. Mikuláš Šostronek, PhD.,** Katedra elektroniky, AOS gen. M. R. Štefánika v Liptovskom Mikuláši, 031 19 Liptovský Mikuláš, fax: 044/552 49 59, tel: 0960 423 244, e_mail: Mikulas.Sostronek@aos.sk

Nevhodne zvolený odrušovací prostriedok či jeho nesprávna inštalácia môže vo svojom výsledku zvýšiť celkovú úroveň rušenia tak, že „odrušené“ zariadenie ruší (alebo je rušené) viac než zariadenie neodrušené.

Doterajšia prax EMC elektrických prístrojov a zariadení ukazuje, že na parazitných prenosoch a rušení dvoch (aj vzdialených) prístrojov má takmer vždy podiel rozvodná elektrická sieť. Energetické vodiče vchádzajúce do prístroja sa najrôznejším spôsobom parazitne viažu s vnútornými časťami prístroja. Mimo prístroja sa tieto napájacie vodiče rozdeľujú do mnohých iných priestorov a prístrojov a realizujú tak priamu (často dokonca galvanickú) väzbu medzi vnútornými časťami rôznych prístrojov. Vo všetkých týchto prípadoch prenášajú obidva napájacie vodiče rušivý signál v jednom smere; pričom spätným vodičom je zem.

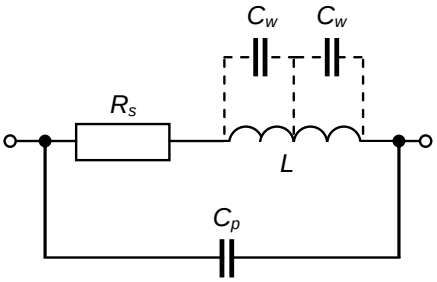
Potlačenie rušenia prenášaného sieťou je možné realizovať v zásade dvoma spôsobmi, ktoré sa obvykle používajú spoločne. Prvý spočíva v zmenšení parazitnej kapacity medzi sieťovými vodičmi a ostatnými časťami prístroja (vodiče a členy napájania čo najviac vzdialiť od vodičov a členov signálovej časti prístroja, prípadne riešiť napájač ako samostatný diel). Druhý spôsob je založený na zabudovaní odrušovacieho filtra (filtrov) do prívodu napájacej siete. Ako v týchto filtroch, tak aj samostatne sa používajú špeciálne odrušovacie tlmivky, kondenzátory a prepäťové ochranné prvky.

1.1 Odrušovacie tlmivky

Tlmivka by mala mať vysokú impedanciu nad danou frekvenciou. Ak požadujeme vysokú hodnotu indukčnosti spolu s malými rozmermi tlmivky, jej závity by mali byť navinuté na jadre s permeabilitou $\mu_r >> 1$. V prípade filtrov je veľmi dôležité poznať správanie sa tlmivky v širokom pásme frekvencií vrátanie frekvenčne závislého správania sa materiálu jadra tlmivky.

1.1.1 Náhradná schéma tlmivky

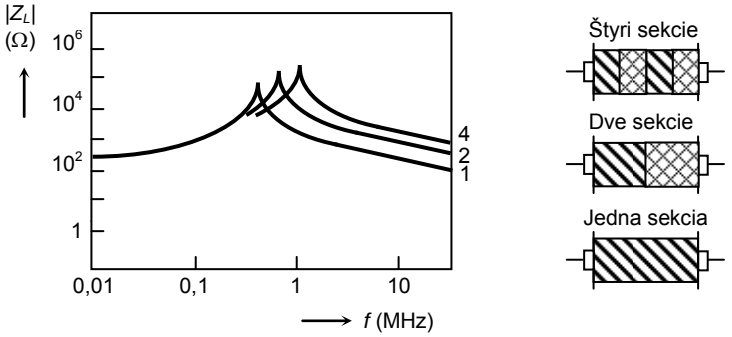
Obr. 2 reprezentuje náhradnú schému tlmivky. L je požadovaná indukčnosť, R_s opisuje straty (straty vírivými prúdmi, straty vo vinutí tlmivky) a C_p je činná parazitná kapacita. Táto kapacita je súčtom mnohých častí: medzi závitová kapacita (C_w), kapacita medzi vrstvami závitov, kapacita medzi vrstvami závitov a jadrom.



Obr. 2 Náhradná schéma tlmivky [1]

Kapacitu C_p môžeme znížiť napr. tak, že cievku nenavinieme v plnej šírke na jadro, ale vytvoríme sekcie závitov, ktoré budú uložené vedľa seba. Príklad takéhoto vinutia je na obr. 3.

Z obr. 3 je zrejmé, že tlmivka sa správa ako paralelný rezonančný obvod, čo súhlasí s náhradnou schémou na obr. 2. Pod rezonančnou frekvenciou sa tlmivka správa ako indukčnosť, nad rezonančnou frekvenciou ako kapacita.



Obr. 3 Hodnoty impedancie tlmivky navinutej troma spôsobmi [4]

1.1.2 Tlmivky s jadrom z materiálu μ_r >> 1

Na dosiahnutie vysokej hodnoty indukčnosti pri malých rozmeroch môže byť cievka tlmivky navinutá na jadro z materiálu s vysokou permeabilitou μ_r. Ak použijeme takéto jadro, musíme uvažovať s nasledujúcimi javmi:

1) Sériový odpor

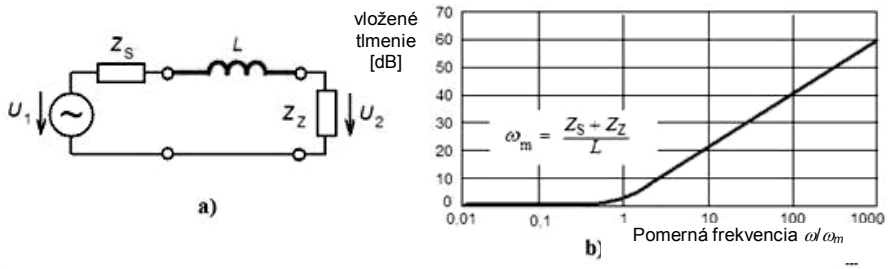
Jadro môže zvýšiť R_s. To môže byť nevýhodné pre užitočný signál. Ale voči rušivému signálu je to výhodné, pretože vstupujúce rušenie sa čiastočne absorbuje (mení sa na teplo) a tak nemusí byť potlačené len odrazom (od vysokej impedancie tlmivky). Relatívne stratový materiál jadra, ktorý je účinný v relatívne širokom frekvenčnom pásme je napr. 80 % NiFe [3].

2) Saturácia (nasýtenie)

Prúdy v tlmivke môžu materiál jadra priviesť do saturácie. Saturácia je takmer vždy nežiaduca, pretože spôsobuje obrovské zmenšenie indukčnosti tlmivky. Saturácia je navyše nelineárny jav, ktorý v tomto prípade spôsobí tvorbu harmonických prúdov tlmivky. Tlmivka, ktorá má potláčať rušenie sa tak stane novým zdrojom rušenia

1.1.3 Použitie tlmiviek

Pretože sa odrušovacie tlmivky zapájajú do prúdových obvodov odrušovaného zariadenia, sú ich rozmery v prvej rade dané veľkosťou pretekajúceho pracovného prúdu. Principiálne zapojenie odrušovacej tlmivky medzi zdroj rušenia (napr. napájací vstup prístroja) je uvedené na obr. 4.



Obr. 4 Zapojenie odrušovacej tlmivky do vedenia (a) a frekvenčný priebeh jej vloženého tlmenia (b) [2]

Odrušovacia tlmivka je zapojená v sérii s vnútornou impedanciou (vnútorným odporom) siete Z_S a vstupnou impedanciou (odporom) napájacieho vstupu chráneného prístroja Z_Z. Analýzou tohto **jednoprvkového tlmivkového filtra** ľahko určíme jeho základný parameter – **vložené tlmenie** v [dB] .

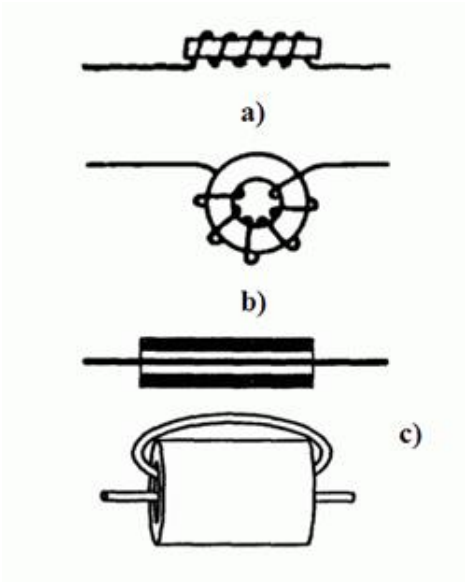
$$L = 20\log\left|\frac{U_{20}}{U_2}\right| = 20\log\left|1 + \frac{j\omega L}{Z_S + Z_Z}\right| \qquad \textbf{(1)}$$

Kde: U_2 je napätie na výstupe filtra (na záťaži Z_Z) a U_{20} je rovnaké napätie bez prítomnosti filtra, t.j. bez zapojenej tlmivky. Frekvenčný priebeh tlmenia má dve oblasti naznačené v obr. 4:

$$\begin{aligned} &L \approx 0 && [\mathrm{dB}] && \text{pre} && \omega L << Z_S + Z_Z \\ &L \approx 20\log\frac{\omega L}{Z_S + Z_Z} && [\mathrm{dB}] && \text{pre} && \omega L >> Z_S + Z_Z \end{aligned} \qquad \textbf{(2)}$$

Je zrejmé, že *tlmivku je možné pre účinné potlačenie rušenia na vedení použiť len v nízkoimpedančných systémoch, kedy impedancia zdroja i prijímača rušenia sú omnoho menšie než reaktancia tlmivky na frekvenciách odrušovaného pásma* $(Z_S + Z_Z << \omega L)$. Súčasne je jasné, že ak vyhovie tlmivka svojím vloženým tlmením v určitom impedančnom systéme (napr. $Z_S = Z_Z = 50\ \Omega$), vyhovie aj v každom systéme s nižšími hodnotami impedancií zdroja a prijímača rušenia.

Existuje veľké množstvo rôznych konštrukčných typov odrušovacích tlmiviek, ktoré je možné podľa účelu použitia a podľa druhu odrušovacieho zariadenia rozdeliť v podstate do dvoch skupín

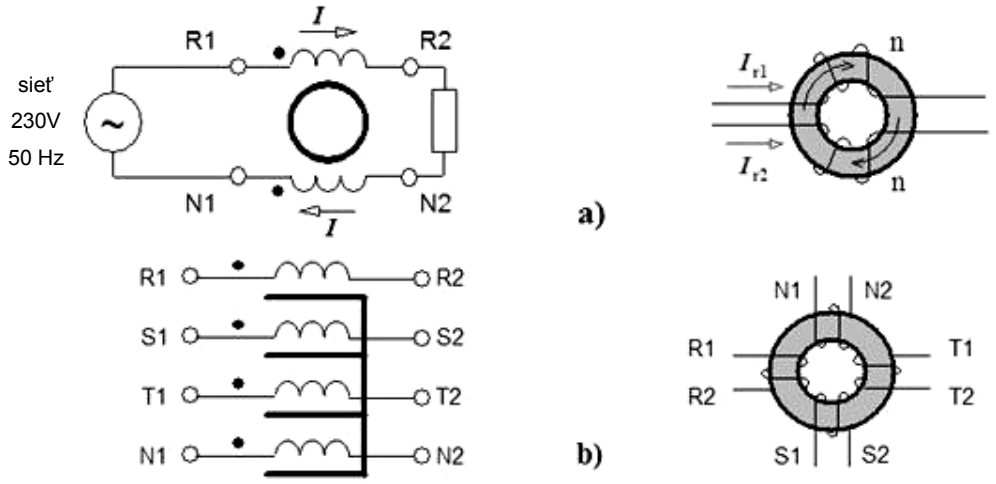


Obr. 5 Odrušovacie tlmivky na feritovom jadre: (a) otvorenom, (b) uzavretom, (c) vysokofrekvenčnom. [2]

a) ***Tlmivky pre potlačenie symetrickej zložky rušenia v napájacích obvodoch, pre potlačenie parazitných väzieb medzi signálovými a riadiacimi obvodmi, vysokofrekvenčné blokovacie tlmivky***. Tieto tlmivky sa zapájajú bežným spôsobom pozdĺžne do prúdových vodičov [pozri obr. 4 (a)] a pracovný prúd obvodu nimi preteká v rovnakom smere ako rušivý prúd. Konštrukčne sú tlmivky vyhotovené na otvorenom magnetickom jadre alebo na uzatvorenom jadre v tvare jednoduchého prstenca alebo ako vzduchové (s nemagnetickým jadrom či bez jadra). Napriek tomu, že vzduchové tlmivky sú konštrukčne jednoduchšie a lacnejšie, používajú sa v odrušovacej technike len výnimočne. Ich základnou *nevýhodou je pomerne malá dosiahnuteľná indukčnosť (*μH*), relatívne veľký činiteľ akosti Q>>* 1 *a značné rozptylové magnetické pole*, ktoré vyžaduje použitie tieniacich krytov. Niektoré z konštrukcií odrušovaných tlmiviek na feritovom jadre sú na obr. 5.

b) ***Tlmivky pre potlačenie nesymetrickej zložky rušenia v napájacích obvodoch***, tzv. **tlmivky s prúdovou kompenzáciou**. Princíp tejto tlmivky na obr. 6 spočíva v tom, že fázový a spätný vodič (príp. fázové vodiče a spätný vodič) sú navinuté na spoločnom jadre v rovnakom zmysle tak, že pre pracovný prúd 50 Hz a pre protifázové rušivé prúdy majú ich magnetické toky opačný smer, vzájomne sa rušia a výsledná indukčnosť pre pracovný prúd 50 Hz je takmer nulová.

Pre súfázové rušivé prúdy obidvoch vodičov (teda pre rušivé prúdy pretekajúce obidvoma vodičmi v rovnakom smere) majú magnetické toky súhlasný smer, takže efektívna indukčnosť pre tieto prúdy je dosť veľká. Pritom tu nedochádza ani k presýteniu jadra, ani k úbytku napätia v obvode pracovného prúdu 50 Hz.



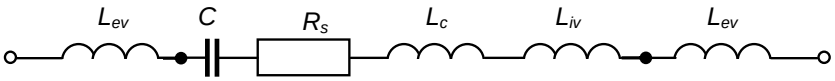
Obr. 6 Odrušovacie tlmivky s prúdovou kompenzáciou: (a) jednofázová, (b) trojfázová. [2]

1.2 Odrušovacie kondenzátory

Kondenzátor je často používaný ku skratovaniu frekvencií za určitou hodnotou. Znalosť vlastností kondenzátorov v širokom frekvenčnom rozsahu je veľmi dôležitá pri použití vo filtroch.

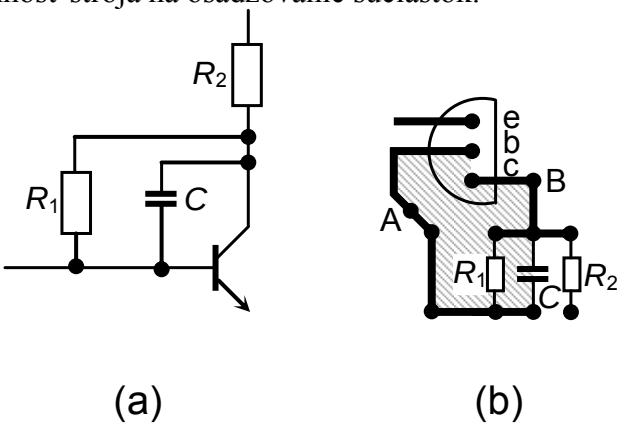
1.2.1 Náhradná schéma kondenzátora

Všeobecný tvar náhradnej schémy kondenzátora je na obr. 7. L_{ev} je parazitná indukčnosť vonkajších prívodov, L_{iv} je parazitná indukčnosť vnútorných prívodov a L_c je parazitná indukčnosť podľa typu kondenzátora (napr. zvitkové kondenzátory). R_s je odpor, ktorý započítava (frekvenčne závislé) straty. Nakoniec C je nominálna hodnota kapacity špecifikovaná výrobcom.



Obr. 7 Náhradná schéma kondenzátora [1]

Vplyv indukčnosti môže byť minimalizovaný umiestnením kondenzátora čo najbližšie k bodu, medzi ktorým sa uvažuje zaviesť nízku impedanciu. Obr. 8 (a) znázorňuje schému zapojenia a obr. 8 (b) zobrazuje dosku plošného spoja generovanú CAD programom, ktorý bol optimalizovaný pre činnosť stroja na osadzovanie súčiastok.



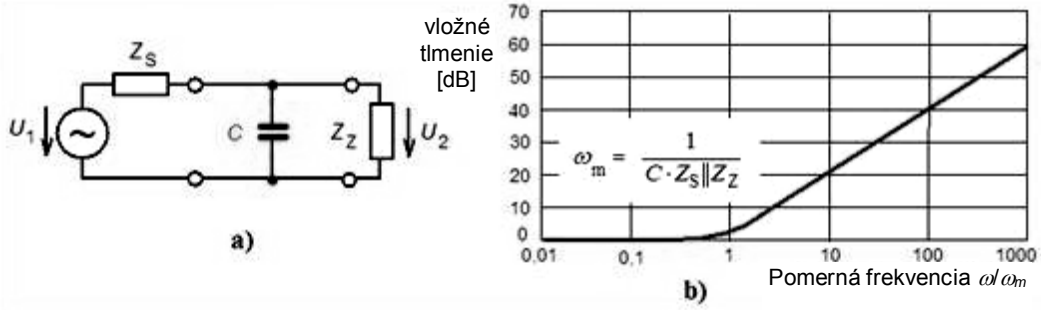
Obr. 8 (a) Obvodová schéma, (b) doska plošného spoja navrhnutá CAD programom bez zásad EMC. K vyriešeniu problému sa musí kondenzátor *C* prepojiť medzi body A a B. [1]

Audio zariadenie, v ktorom bol obvod použitý je nedostatočne odolné voči rušivým poliam v MHz rozsahu, pretože konštruktér obvodu navrhol umiestniť kondenzátor *C* presne tak, ako je na obvodovej schéme z toho dôvodu, aby zvýšil odolnosť zariadenia. Tým, že sa zväčšila dĺžka prívodných spojov, kondenzátor nemá dostatočnú kapacitu, pretože slučka, ktorú vytvára spolu s tranzistorom (šrafovaná oblasť v obr. 8 (b)) sa správa ako dobrá anténa.

Aby sa odstránil tento problém musí sa kondenzátor umiestniť medzi body A a B v obr. 7(b). Doska plošného spoja musí byť prepracovaná z toho dôvodu, že návrhový CAD program robil podobné chyby – čo je dosť drahá záležitosť. Umiestnenie kondenzátora medzi body A a B odstráni dva problémy. Za prvé, činná indukčnosť kondenzátora sa radikálne zmenší a za druhé, rušivý signál indukovaný poľom slučky cez R_1 a tranzistor je skratovaný.

1.2.2 Použitie kondenzátorov

Odrušovacie kondenzátory môžu byť používané buď samostatne alebo spojené do určitých kombinácií tzv. **kondenzátorových filtrov** alebo ako súčasti odrušovacích filtrov LC, prípadne článkov RC. Odrušovací kondenzátor sa zapojuje paralelne k vnútornej impedancii Z_S a vstupnej impedancii napájacieho vstupu chráneného (odrušovaného) prístroja Z_Z podľa obr. 9.



Obr. 9 Zapojenie odrušovacieho kondenzátora do vedenia (a) a frekvenčný priebeh jeho vloženého útlmu (b) [2]

Vložené tlmenie v [dB] tohto **jednoprvkového kondenzátorového filtra** je rovné

$$L = 20\log\left|\frac{U_{20}}{U_2}\right| = 20\log\left|1 + j\omega C\frac{Z_S Z_Z}{Z_S + Z_Z}\right| \qquad (3)$$

kde U_2 je napätie na výstupe filtra na záťaži Z_Z a U_{20} je rovnaké napätie bez prítomnosti filtra, t.j. bez zapojeného kondenzátora. Frekvenčný priebeh tlmenia (3) má dve časti uvedené v obr. 9 (b):

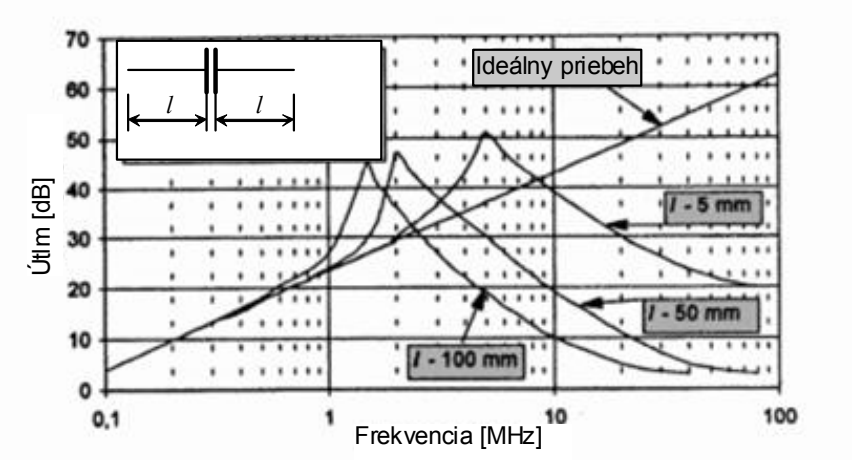
$$L \approx 0 \quad [\mathrm{dB}] \quad \text{pre} \quad \omega C << 1/(Z_S \parallel Z_Z)$$

$$L \approx 20\log\left(\omega C\frac{Z_S . Z_Z}{Z_S + Z_Z}\right) \quad [\mathrm{dB}] \quad \text{pre} \quad \omega C >> 1/(Z_S \parallel Z_Z) \qquad (4)$$

Použitie odrušovacích kondenzátorov alebo kondenzátorových filtrov je teda účinné vtedy, ak je ich reaktancia omnoho menšia než vnútorná impedancia zdroja rušenia a impedancia napájacej siete.

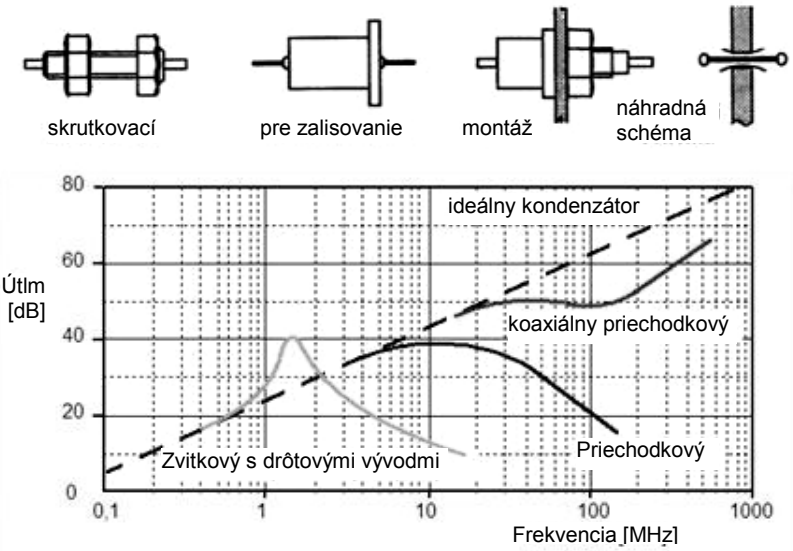
Odrušovací kondenzátor je teda nutné používať vo vysokoimpedančných systémoch. Pri nižších hodnotách impedancií zdroja a prijímača rušenia účinnosť odrušenia kondenzátorom klesá. Podobne ako pri tlmivkách, majú pre odrušovacie vlastnosti kondenzátorov zásadný význam ich parazitné parametre, z ktorých najdôležitejšie sú parazitná indukčnosť prívodov kondenzátora a jeho zvodový odpor. Indukčnosť prívodov vytvára s vlastnou kapacitou kondenzátora parazitný rezonančný obvod, nad ktorého rezonančnou frekvenciou má odrušovací kondenzátor induktívny charakter a jeho vložené tlmenie

s rastúcou frekvenciou klesá. To je naznačené na obr. 9 pre niekoľko hodnôt dĺžky prívodov dvojpólového kondenzátora.



Obr. 10 Vplyv dĺžky prívodov dvojpólového kondenzátora 250nF na jeho hodnotu vložného tlmenia [2]

Prívod s dĺžkou 5 mm pritom predstavuje indukčnosť cca 5 až 10 nH. Dobré odrušovacie kondenzátory preto musia mať dĺžku prívodov čo najkratšiu, čo je predovšetkým otázkou ich vhodného konštrukčného vyhotovenia. Z toho hľadiska sú najvhodnejšie prechodkové kondenzátory a najmä koaxiálne prechodkové kondenzátory. Niekoľko konštrukčných variantov spolu s frekvenčným priebehom ich vloženého tlmenia sú naznačené na obr. 10



Obr. 11 (a) Rôzne typy a montáž prechodkových kondenzátorov;
(b) frekvenčný priebeh vložného útlmu rôznych druhov kondenzátorov [2]

Pokiaľ to umožňuje konštrukcia odrušovacieho zariadenia, dávame preto prechodkovým kondenzátorom prednosť pred dvojpólovými alebo nekoaxiálnymi prechodkovými kondenzátormi a to najmä pri odrušení frekvencií vyšších než asi 1MHz.

1.3 Sieťové filtre

Vysoké hodnoty útlmu filtra sa dajú dosiahnuť len keď je filter správne nainštalovaný a zariadenie je umiestnené v kovovom kryte (Faradayova klietka). Kovový kryt je vždy nutný, pokiaľ chceme dosiahnuť tlmenie 50 dB alebo viac pri frekvenciách nad 1 MHz.

Trh je zaplavený množstvom rôznych filtrov. Je to hlavne z toho dôvodu, že mnoho ľudí sa rozhodne zmeniť filter, keď zistia že ich zariadenie nespĺňa požiadavky na EMC,

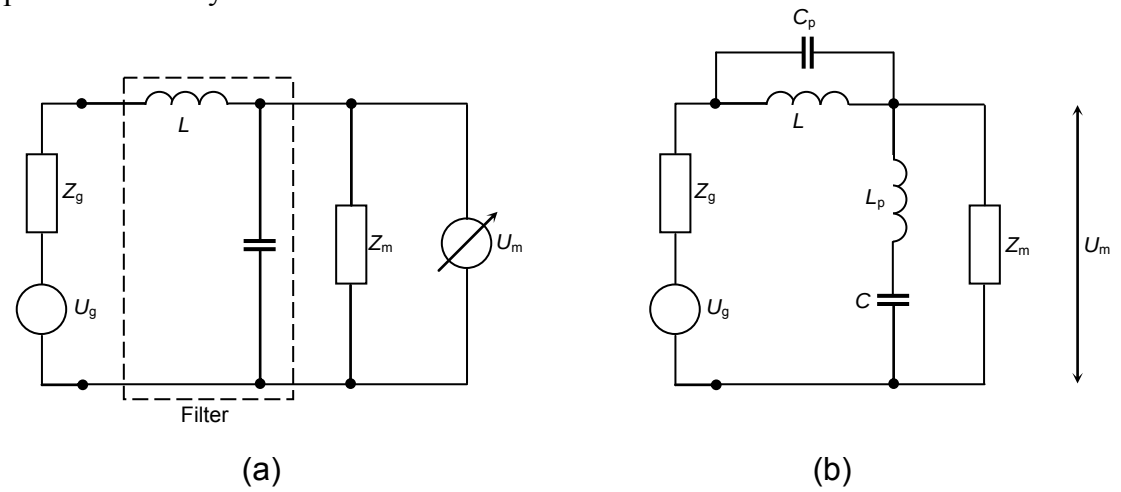
takže každý filter môže byť za určitých okolností dobrým filtrom. Dôležité parametre pre voľbu filtra sú najmä vnútorné impedancie zdroja rušenia a prijímača rušenia (obete rušenia). Pokiaľ správne odhadneme veľkosť týchto impedancií, môžeme okamžite vylúčiť široký sortiment dostupných filtrov.

Je potrebné mať na pamäti, že sieťové filtre sú zriedkavo konštruované tak, aby rozptýlili (pohltili) energiu, aj keď takéto filtre sa dostávajú stále častejšie do pozornosti [5,6]. Sieťový filter pracuje vo všeobecnosti ako reflektor, pretože je skonštruovaný z reaktančných prvkov. Použitie filtra preto nemusí nutne zvýšiť EMC, pretože odrazy energie môžu zapríčiniť (iný) interferenčný problém.

1.3.1 Tlmiace charakteristiky

Ľubovoľný praktický sieťový filter je zvyčajne dodávaný so základnou obvodovou schémou, ktorá nezodpovedá tlmiacim charakteristikám filtra. Je to preto, lebo táto schéma obsahuje len ideálne prvky (s ich nízkofrekvenčnými hodnotami), zatiaľ čo charakteristiky skutočného filtra sú určené z väčšej časti jeho parazitnými prvkami. Budeme uvažovať jednofázový LC filter typu dolný priepust.

Základná obvodová schéma na obr. 12 je rozšírená o parazitné prvky L_p kondenzátora a C_p tlmivky a parazitnú kapacitu kovového krytu filtra. Zdroj rušenia je reprezentovaný generátorom $\{U_g, Z_g\}$ a obeť rušenia meracím zariadením $\{U_m, Z_m\}$. Stratové odpory, ktoré nie sú podstatné boli vynechané.



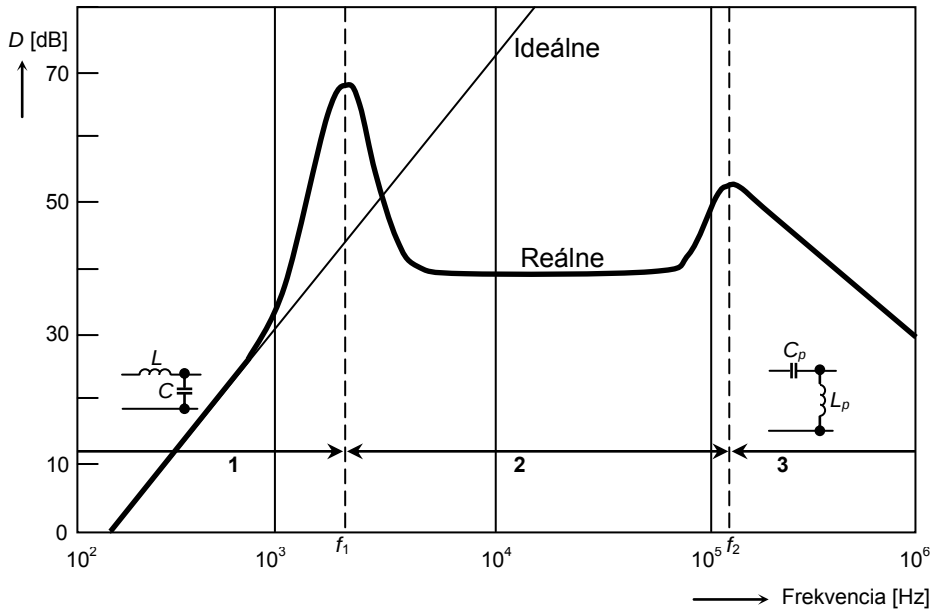
Obr. 12 (a) Základný obvodová schéma LC filtra s generátorom ako zdroj rušenia a voltmetrom ako prijímač rušenia; (b) rozšírená základná obvodová schéma s parazitnými prvkami [1].

Pásmový priepust je viazaný (ohraničený) rezonančnou frekvenciou L a C. Na vyšších frekvenciách budeme očakávať tlmenie D LC filtra, ktoré sa bude zvyšovať so štvorcom frekvencie (f^2). V obr. 13 je to **„ideálna“** čiara, t.j. zo sklonom 40 dB na dekádu. Za určitou frekvenciou je skutočné tlmenie filtra značne odlišné od ideálnej čiary.

Skutočná krivka je rozdelená do troch oblastí, ktoré sú oddelené rezonančnými špičkami. Špička na frekvencii f_1 je určená paralelným rezonančným obvodom L a C_p, ktorý je tvorený vysokou impedanciou tlmivky. Špička na f_2 je určená sériovým rezonančným obvodom C s L_p, ktorý je tvorený nízkou impedanciou kondenzátora. Filter preto tvorí napäťový delič na obidvoch týchto frekvenciách. Výška špičiek je obmedzená stratovými odpormi, ktoré boli zanedbané a impedanciami Z_g a Z_m zdroja a obete rušenia. Tieto posledné dve impedancie môžu tiež ovplyvniť frekvencie f_1 a f_2.

V oblasti 1, kde je $f < f_1$ je skutočná krivka filtra na obr. 13 z veľkej časti taká, ako sme očakávali (lineárna). V oblasti 2, kde $f_1 < f < f_2$ je útlm D viac menej konštantný a je určený kapacitným deličom C_p a C vtedy keď $f_1 < f_2$; a indukčným deličom L a L_p pokiaľ je frekvencia sériového rezonančného obvodu nižšia než paralelného rezonančného odporu, t.j.

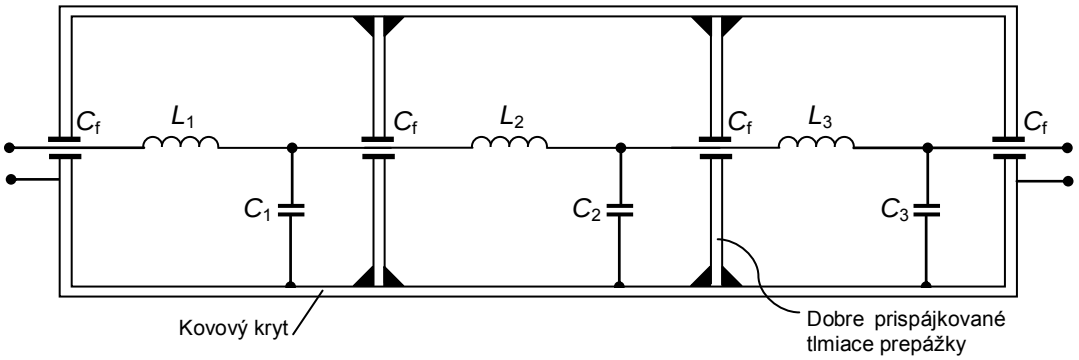
$f_1 < f_2$. V oblasti 3, kde $f > f_2$, útlm D klesá so vzrastajúcou frekvenciou (!). To je spôsobené horným priepustom z parazít L_p a C_p, aj keď ideálny filter je dolný priepust. Oblasť 3 nie je vždy špecifikovaná výrobcami, ale určite je podstatnou vlastnosťou filtra. Charakteristika môže vykazovať pokles v tejto oblasti najmä keď sériový rezonančný obvod C_p a L_p nie je v tomto frekvenčnom rozsahu uvažovaný.



Obr. 13 Základný tvar tlmiacej charakteristiky s tromi charakteristickými oblasťami [1].

Pri použití filtra musíme robiť určité ústupky, čo sa týka väzby s okolím, najmä kapacitnou väzbou C_p. To je dôvod prečo musí byť filter zvyčajne montovaný v kovovom kryte, takže C_p potom môžeme považovať za konštantu. Samozrejme, že tu môže vzniknúť aj induktívny presluch medzi vstupnými a výstupnými slučkami filtra.

Aby sme obmedzili presluch spôsobený poľami medzi vstupnými a výstupnými obvodmi, je filter rozdelený do sekcií, najmä keď požadujeme vysoké tlmenie D na vysokých frekvenciách. Sekcie sú uzavreté v kovových oddeleniach a prepojené sú prechodkovými kondenzátormi. Úloha kondenzátorov C_1, C_2, C_3, atď. môže byť niekedy nahradená týmito prechodkovými kondenzátormi. Náčrtok princípu s iba ideálnymi súčiastkami je znázornený na obr. 14. Vrchnák musí presne pasovať na kryt filtra a kovové tlmiace prepážky.



Obr. 14 Rozdelenie filtra na sekcie, každá je montovaná v jej vlastnom EM utesnenom oddelení, so spojením cez prechodkové kondenzátory [1].

Každá sekcia filtra v zobrazení na obr. 14 sa správa tak ako v obrázku 12; ale f_1 a f_2 môžu byť volené pre každú sekciu osobitne, takže celý filter bude poskytovať dostatočné tlmenie v širokom frekvenčnom pásme.

Pre dosiahnutie dostatočne vysokej indukčnosti je tlmivka zvyčajne navinutá na jadre ($\mu_r >> 1$). Je potrebné dať si pozor na saturačné javy s ich pridruženými nelineárnymi účinkami. Pri sieťových filtroch veľmi záleží na špičkovej hodnote prúdu (napr. v priebehu prudkej zmeny pri spínaní alebo pri tyristorovom riadení), pretože úlohou filtra je potlačiť túto špičku. Maximálna prípustná hodnota indukčnosti závisí na maximálne prípustnom poklese napätia na tlmivke pri frekvencii siete. Maximálna prípustná hodnota kapacity medzi nulovým vodičom alebo fázou a ochranným uzemňovacím vodičom môže byť obmedzená bezpečnostnými požiadavkami alebo obvodovým ističom. Tieto obmedzenia príliš ovplyvňujú konštrukciu kompaktných sieťových filtrov s veľmi vysokým útlmom *D*.

Záver

Na rušení medzi dvoma systémami sa podieľa najmä sieťové rušenie, ktoré je v nn systémoch spôsobené najmä elektrickými motormi, tyristorovými regulátormi, spínačmi (prechodovým javom) a pod. Toto rušenie je najvýhodnejšie odstrániť priamo pri zdroji rušenia. V nízko ohmových systémoch je výhodné použiť samostatné odrušovacie tlmivky, alebo LC filtre. Vo vysoko ohmových systémoch sa používajú odrušovacie kondenzátory. LC filtre by mali byť umiestnené v kovovom kryte a správne pripevnené ku kostre (vodivej kovovej časti) zariadenia, v opačnom prípade sa odrušovací efekt znižuje, alebo bude novým zdrojom rušenia v danom zariadení (napr. bude rušiť signálové vedenie). Pri využití komerčných filtrov je dôležité overiť si, či výrobca uvádza tlmiacu charakteristiku filtra, pretože v niektorých prípadoch môžu byť parazitné hodnoty kapacít a indukčností tak veľké, že filter sa bude správať podľa našich predpokladov len po určitú frekvenciu a nad touto frekvenciou už filter nebude plniť svoju úlohu (teda nebude tlmiť vyššie harmonické zložky rušivého signálu). V súčasnosti sú na trhu aj sieťové zásuvky (napr. zásuvky na počítačoch), ktoré sa montujú priamo na vodivú kovovú časť zariadenia, v ktorých je už zabudovaný sieťový filter.

Literatúra

[1] Goedbloed, J.J.: Electromagnetic compatibility. Prentice Hall, New York 1992.;

[2] Encyklopedie EMC. http://www.urel.feec.vutbr.cz/EncyklopedieEMC/index.php, dňa 3. 12. 2008;

[3] Mullenheim, T.: „The HF-properties of RFI suppresion chokes with soft magnetic tape wound cores compared with ferrite cores“ In: Proc. Int. Symp. on EMC, Zurich, 1983, p. 213;

[4] Wilhelm, J. et al.: Elektromagnetische Verträglichkeit. Expert. Grafenau, 1981;

[5] Broyde, F.: “Dissipative filters for power electronics applications”. In: Proc. Int. Symp. on EMC, Zurich. March 1987, pp. 393-8;

[6] Witzig, M.: Absorbing power-line filters. In: Proc. Int. Symp. on EMC, Zurich. March 1987, pp. 387-392.

Recenzent článku: doc. Ing. Ján OCHODNICKÝ, PhD., Katedra Elektroniky,
AOS gen. M. R. Štefánika, 031 01 Liptovský Mikuláš, dňa 3. 2. 2009.