

Potlačení rušení v pásmu 10 kHz až 30 MHz

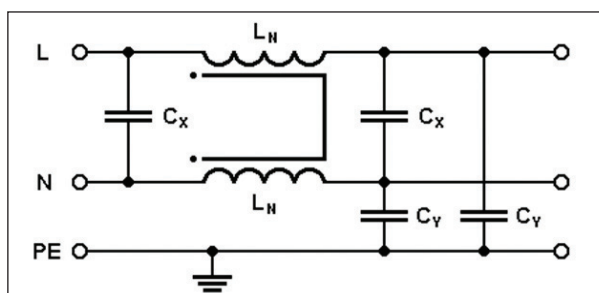
Elektronické přístroje jsou obecně citlivé vůči rušení, které je může zcela vyřadit z činnosti. Mimořádně citlivá jsou vůči rušení např. číslicová zařízení. Zároveň jsou však tyto přístroje mnohdy samy zdrojem rušení, a to zvláště obsahují-li polovodičové a mechanické spínače, kolektorové motory, rychlé číslicové či vysokofrekvenční obvody apod. Periodicky se opakující spínané děje generují širokopásmové diskrétní spektrum rušivých napětí, které sahá daleko do vř oblasti. Toto rušení se od svého zdroje šíří na kmitočtech do asi 30 MHz převážně po vedeních, nad tímto kmitočtem pak hlavně prostorem jako záření. Předmětem našeho zájmu bude oblast první, v níž mimořádně důležitou roli hraje síťový přívodní kabel.

Po síťovém přívodu se rušení šíří buď symetricky, kdy rušivý proud teče obdobně jako napájecí proud po fázovém vodiči L do přístroje a po nulovém N zpět ke svému zdroji, nebo nesymetricky, kdy obecně rozdílné rušivé proudy tečou do přístroje po fázovém i nulovém vodiči a zpět jsou ke svému zdroji odváděny ochranným vodičem PE. V prvním případě vzniká rušivé napětí mezi vodiči L a N, ve druhém pak mezi L a PE i mezi N a PE. Zvláštním případem nesymetrického šíření rušení, který má význam z měřicích důvodů, je šíření asymetrické, kdy jsou rušivé proudy v L a N vodiči zcela shodné a ve fázi. V praxi se většinou vyskytují kombinace uvedených šíření.

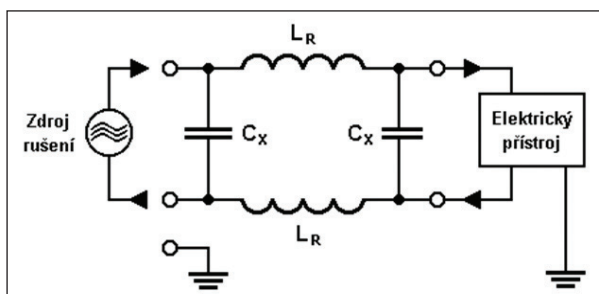
Síťový filtr

Úkolem síťového filtru je potlačit rušení, které do přístroje proniká po síťovém přívodu nebo jehož je naopak přístroj původcem, pod požadovanou úroveň.

Z hlediska funkce je pro jeho umístění nejvhodnější přechod mezi kabelem a krytem přístroje – proto se také jednoduché filtry pro nízké proudové zatížení mnohdy vestavují přímo do přístrojových zásuvek a vidlic, s nimiž tvoří jeden konstrukční celek. Jiné, vesměs složitější či rozměrnější filtry, jsou buď dodávány v kompaktním provedení s lankovými či kolíkovými



Obr. 1 Základní zapojení síťového filtru



Obr. 2 Filtr při symetrickém rušení

vývody, nebo je lze sestavit podle individuálních požadavků z jednotlivých komponent.

Síťový filtr, jehož základní a zároveň i nejpoužívanější zapojení je na obr. 1, je konstruován jako pasivní čtyřpól typu dolní propust. Jeho vřazení do síťového přívodu způsobí na vyšších kmitočtech výrazné impedanční nepřizpůsobení, jehož důsledkem je reflektování rušivého výkonu zpět ke zdroji rušení. Filtr působí obousměrně, tj. zeslabuje jak rušení vnikající ze sítě, tak i rušení působené samotným přístrojem. Jeho základními prvky jsou kondenzátory třídy X mezi vodiči L a N, kondenzátory

**Ing. Josef Jansa
PMEC spol. s r.o.**

třídy Y mezi vodiči L, N a PE a dvojitá proudově kompenzovaná tlumivka indukčnosti $2 \times L_N$ vřazená do přívodu L a N. Obvyklé hodnoty a provedení jednotlivých prvků filtru jsou následující:

C_X – desítky nF až jednotky μF na jmenovité napětí nejméně 250 V a špičkové pulzní napětí podle požadované třídy a kategorie přepětí (viz EN 132 400). Jejich průraz by v bezpečném přístroji neměl způsobit úraz elektrickým proudem. Velikost kapacity není teoreticky ohraničena, může však mít vliv na jalovou složku celkového odběru přístroje.

C_Y – jednotky až desítky nF v bezpečnostním provedení na jmenovité napětí nejméně 250 V a špičkové pulzní napětí podle požadované třídy a odolnosti proti přepětí (viz EN 132 400). Jejich průraz může vést k úrazu elektrickým proudem. Kondenzátory Y protéká tzv. únikový

proud, jehož přípustná velikost závisí na bezpečnostní třídě přístroje a jeho použití. Často používaná hodnota 2 až 3 nF pro únikový proud do 0,5 mA přitom vyhoví pro všechny aplikace vyjma lékařské elektroniky. U většiny běžných zařízení s přípustným únikovým proudem do 3,5 mA lze kapacitu C_Y zvýšit až na 22 nF – vždy je však nutno mít na paměti, že při poruše PE vodiče může za určitých okolností únikový proud protékat tělem obsluhy. Při použití několika kondenzátorů Y ve vícenásobných filtrech je dále nutno si uvědomit, že se hodnoty C_Y , a tedy i hodnoty únikového proudu, sčítají.

L_N – stovky μH až desítky mH na feritovém či nanokrystalickém vysokopermeabilním toroidním (technicky méně výhodně i na bezmezerovém skládaném) jádře na jmenovité napětí 250 V s izolační odolností 1 500 V. Její průraz by v bezpečném přístroji neměl způsobit úraz elektrickým proudem. Velikost indukčnosti není teoreticky omezena, limitujícím faktorem jsou však obvykle rozměry tlumivky při její požadované proudové zatížitelnosti. (Stejně bezpečnostní požadavky platí i pro níže zmíněné dvojité tlumivky na železoprachovém toroidním jádře).

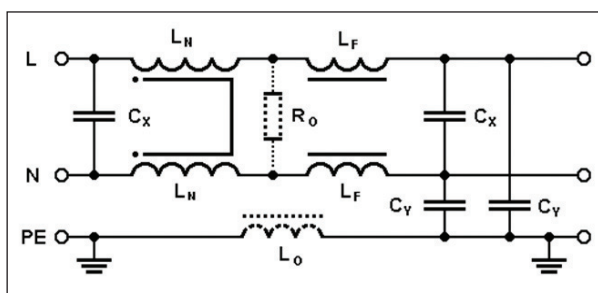
Filtr při symetrickém rušení

Při symetrickém šíření, kdy je rušivý proud superponován na proud napájecí, působí kondenzátory X vůči rušení jako částečný zkrat. Proudově kompenzovaná tlumivka se z podstaty své funkce vůči napájecímu, a tedy i symetrickému rušivému, proudu teoreticky vůbec neuplatní, prakticky však můžeme uvažovat její rozptylovou indukčnost L_R , která je přibližně 200krát menší než jmenovitá indukčnost L_N . Kondenzátory Y, jejichž kapacita je řádově menší než kapacita kondenzátorů X, můžeme zanedbat úplně, takže celý filtr lze zjednodušit do náhradního schématu podle obr. 2.

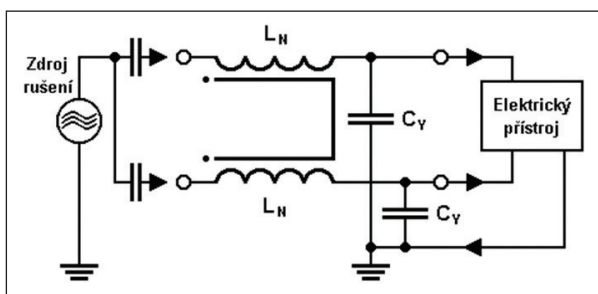
Protože je velikost rozptylové indukčnosti dána použitou kompenzovanou tlumivkou a ovlivnit ji prakticky nelze, je zřejmé, že je v případě nedostačujících odrušovacích vlastností filtru nutno zvýšit kapacitu kondenzátorů X – v praxi používaná mez je asi $1\mu\text{F}$. Dalšího zvýšení symetrického útlumu lze dosáhnout zvětšením účinné indukčnosti v obvodu, tj. zařadit za kompenzovanou tlumivku vhodně dimenzovanou dvojitou nekompensovanou tlumivkou s železoprachovým jádrem, jejíž indukčnost desítek až stovek μH je vůči napájecímu proudu, a tedy i symetrickému rušení, účinná. V případě dostatku místa lze tuto dvojitou tlumivku nahradit i dvěma samostatnými tlumiv-

kami jednoduchými, které jsou navíc funkční i při asymetrickém či nesymetrickém šíření, byť je jejich indukčnost jen zlomkem hodnot dosahovaných tlumivkami proudově kompenzovanými. Schéma takto rozšířeného filtru je na obr. 3, přičemž náhradní schéma podle obr. 2 zůstává v platnosti s tím, že hodnota L_R zahrnuje rovněž indukčnost L_F těchto dodatečných tlumivek. (R_O , na obr. 3 čárkovaně, je vybíjecí rezistor kondenzátorů X – jeho užívaná velikost je 470 $\text{k}\Omega$ až 1 $\text{M}\Omega$).

Časté a zvláště při odrušení fázově řízených tyristorových a triakových regulátorů i velmi účinné je též použití jen jedné jednoduché železoprachové tlu-



Obr. 3 Rozšířené zapojení filtru



Obr. 4 Filtr při asymetrickém rušení

mičky relativně velké indukčnosti několika mH ve vodiči L.

Filtr při asymetrickém rušení

Při asymetrickém šíření neleží na kondenzátorech X žádné rušivé napětí, takže jsou vůči rušení neúčinné a můžeme je zanedbat. Plně se naopak uplatní indukčnost proudově kompenzované tlumivky a kapacita kondenzátorů Y, které odvádějí rušivé proudy do vodiče PE. Celý filtr z obr. 1 tak lze zjednodušit do náhradního schématu podle obr. 4.

Je zřejmé, že v případě nedostačujících odrušovacích vlastností filtru je možno buď zvětšit hodnotu indukčnosti tlumivky, nebo, není-li to z důvodu proudové zátěže tlumivky či z jiných důvodů (např. přílišné zástavné rozměry větší rozměrové řady) možné, zařadit další kompenzovanou tlumivku téhož typu. Kapacitu C_Y oproti tomu kvůli velikosti únikového proudu obvykle příliš zvyšovat nelze.

Další doporučovanou možností potlačení asymetrických rušivých proudů, šířících se po ochranném vodiči, je zapojení jednoduché toroidní feritové tlumivky indukčnosti stovek μH až jednotek mH do PE vodiče, čímž vlastně dojde k vysokofrekvenčnímu oddělení země napájecí od země přístrojové – viz tlumivka L_O v rozšířeném filtru na obr. 3 čárkovaně. Protože přerušení této tlumivky může vést k úrazu elektrickým proudem, jsou na ni kladeny velmi přísné bezpečnostní požadavky – nejmenší přípustnou dimenzí je proud 16 A při průřezu vinutí nejméně 1mm^2 a odporu pod 62 $\text{m}\Omega$.

Filtr při nesymetrickém rušení

Při nesymetrickém šíření se bude v závislosti na rozdílu okamžité velikosti rušivých proudů ve vodičích L a N proudově kompenzovaná tlumivka chovat vůči těmto proudům jako indukčnost, jejíž velikost se pohybuje někde mezi jmenovitou a rozptylovou hodnotou. Na okamžité velikosti rušivých proudů závisí i účinek kondenzátorů X. Znamená to, že vlastnosti filtru při nesymetrickém šíření jsou proměnlivou a obtížně definovatelnou „směsicí“ výše diskutovaného chování při šíření asymetrickém a symetrickém. V praxi se proto pro zjednodušení uvažuje obvykle pouze rušení asymetrické.

Měření filtrů

Schopnost filtru potlačit rušení se obvykle prezentuje křivkou kmitočtové závislosti vložného útlumu, který je známým

vztahem $A_U = 20 \cdot \log(U_{vst}/U_{výst})$ definován jako v decibelech vyjádřený poměr velikosti rušivého signálu před a po průchodu filtrem. Filtr, který při měření není zatížen pracovním proudem, je přitom přes oddělovací odporové útlumové články vřazen do standardní 50Ω měřicí linky. Takto definované podmínky nejsou sice plně srovnatelné s reálnými a značně proměnnými poměry v praktických aplikacích, umožňují však snadné a objektivní porovnání vlastností jednotlivých filtrů navzájem. Jestliže tedy z výsledků měření rušení vyvíjeného či testovaného přístroje vyplývá potřeba potlačit rušení v určité kmitočtové oblasti, křivky vložného útlumu usnadní návrh obvodově a ekonomicky optimálního zapojení příslušného filtru.

V katalozích výrobců odrušovacích filtrů nalezneme nejčastěji křivky asymetrického útlumu (common mode), který lze měřit poměrně snadno v zapojení podle obr. 5a. Méně často je uváděn i útlum symetrický (differential mode), jehož měření je v důsledku nutnosti použití širokopásmových symetizačních členů podstatně obtížnější a méně přesné – obr. 5b. Nesymetrický útlum se pravděpodobně z důvodů výše zmíněné nejednoznačnosti neměří, byť některé firmy tuto možnost teoreticky uvádějí – např. jako asymetrické měření s jednou větví filtru ukončenou standardní impedancí (assymetric measurement, one branch terminated by Z) – obr. 5c.

Praktické poznatky z měřicího pracoviště PMEC

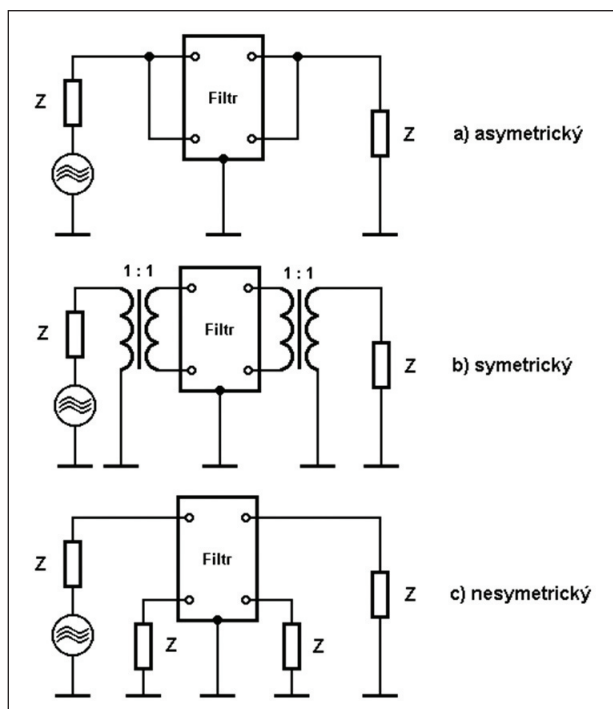
Při asymetrickém uspořádání je v kmitočtovém rozsahu 10 kHz až 20 MHz dosahováno chyby měření do ± 2 dB, což potvrdilo i srovnání výsledků mě-

řeních nutno dodržovat hlavní zásady vysokofrekvenčních konstrukcí, jako jsou krátké zemnicí vzdálenosti, co nejkratší vývody součástek, minimální vazební kapacity apod. – a to jak měřeného objektu, tak i měřících přípravků. V opačném případě se mohou na nejvyšších kmitočtech lišit výsledky z různých pracovišť i o mnohonásobek uvedených chyb.

Protože se u rozměrnějších filtrů, navíc mnohdy zalitých hmotou s relativní permitivitou podstatně větší než jedna, obvykle nelze vyvarovat venkovních přívodů (a někdy i vnitřních spojů) nezanedbatelné délky, liší se obvykle na vyšších kmitočtech naměřené útlumy těchto filtrů od průběhů útlumu filtrů sestavených ve fázi vývoje z těchto součástek metodou „vzdušné montáže“. Vzhledem k tomu, že je však z hlediska rušení v naprosté většině případů kritickou oblastí pásmo nižších kmitočtů a nad 5 MHz již problémy téměř nena- stávají, nejsou v praxi výše uvedené „vysokofrekvenční“ chyby obvykle nijak podstatné.

Přestože příslušné normy předepisují pro měření rušení šířícího se po vedení kmitočtové pásmo 150 kHz až 30 MHz, měří se křivky vložného útlumu filtrů v praxi běžně již od kmitočtu 10 kHz. Je to logické, neboť si stačí uvědomit, že např. základní harmonická moderních spínaných zdrojů mnohdy značného výkonu leží obvykle v pásmu 40 až 100 kHz.

www.pmec.cz



Obr. 5 Měření vložného útlumu filtru

ní několika pracovišť. Při symetrickém uspořádání je v pásmu 100 kHz až 1 MHz odhadovaná chyba měření rovněž asi ± 2 dB, mimo toto pásmo chyba v závislosti na impedanci měřeného objektu roste (opět odhadem) až k hodnotě ± 5 dB na obou hraničních kmitočtech. Mezní měřitelný útlum je 80 dB.

Na horním okraji měřeného pásma, tj. nad asi 5 MHz, je již při přesných mě-

místo na 1/4