

Potlačení vysokofrekvenčního rušení spínaných zdrojů

Spínané zdroje generují vysokofrekvenční rušení vlivem spínání o vysoké frekvenci. Toto rušení se šíří vzduchem pomocí elektromagnetického pole nebo po rozvodné síti ve formě proudů a napětí.

Zákonodárství vytváří limity pro úroveň rušení. Tyto limity jsou publikovány v evropských normách. Tabulka 1 uvádí nejdůležitější limity pro mobilní vysokofrekvenční přístroje (rušení třídy B). Vysokofrekvenční zařízení je takové, které pracuje na frekvenci, jež přesahuje 9kHz.

measurand	frequency range	limits	standard
electromagnetic interference at 10m distance	30 to 230 MHz 230 to 1000 MHz	30 dB(μ V/m) 37 dB(μ V/m)	EN55022 class B
current harmonics in the mains	0 to 2 kHz	see table 6.1 (PFC)	EN61000
conducted-mode interference voltages at the mains wires in respect to earth potential	0.15 to 0.5 MHz** 0.5 to 5 MHz 5 to 30 MHz	66 to 56 dB(μ V) Q* 56 to 46 dB(μ V) M* 56 dB(μ V) Q* 46 dB(μ V) M* 60 dB(μ V) Q* 50 dB(μ V) M*	EN55022 class B

* Q: Měřené kvazi-špičkovým detektorem

M: Měřené detektorem průměrné hodnoty

** Lineární pokles s logaritmem kmitočtu

Tabulka 1: Limity pro mobilní vf přístroje třídy B

Vyzařování vf rušení do prostoru:

Emise vf rušení u přístrojů se měří jako síla pole vf šumu (μ V/m). Síla vf rušení závisí na rychlosti vzrůstu spínaných proudů a napětí a významně i na motivu plošného spoje. Aby bylo vf vyzařování rušení nízké, měli bychom se držet tří principů:

- Smyčky, v nichž spínané proudy tečou, by měly zaujímat co nejmenší plochu, aby se udržovalo elmag. pole na nízké úrovni.
- Uzly, jejichž potenciál je při spínání vzhledem k zemi vyšší nebo nižší, by měly mít co nejmenší plochu, aby jejich parazitní kapacita vůči zemi byla co nejmenší.
- Spínané zdroje by měly mít kovový kryt.

Poznámka:

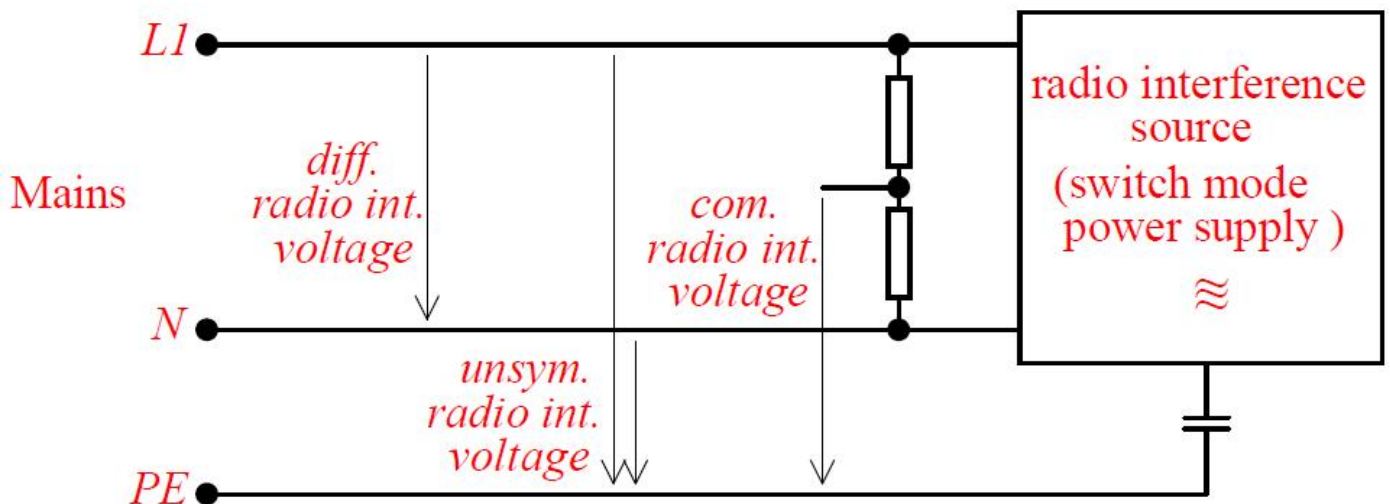
První dva principy, které omezují vyzařování do prostoru, jsou také užitečné pro omezování rušení, jež se šíří po vedení. Také bychom měli říci, že vysoké úrovně rušení mají za následek nepřesné spínání tranzistorů a problémy s řídicími obvody zpětnovazební smyčky. Toto často způsobuje slyšitelný šum.

Rušení šířící se po vedení

Spínané zdroje odebírají ze sítě vysokofrekvenční proudy. Tyto proudy způsobují pokles napětí na zdrojové impedanci sítě, které lze měřit na síťových přívodech. Podle evropských norem má být rušivé napětí měřeno mezi síťovými vodiči a zemí. Pro tato měření je vyžadováno zvláštní testovací vybavení, které zahrnuje měřič vf rušení a umělou síť. Toto vybavení požadováno pro definování charakteristické impedance sítě, aby bylo možné provádět porovnatelná měření.

Rozlišujeme mezi třemi různými vf rušivými napětími (viz obr. 1):

- **Nesymetrické vf rušivé napětí:** Jedná se o vysokofrekvenční napětí mezi zemí a každým vývodem sítě. Pouze toto napětí je měřeno podle norem. Limity v tabulce 1 jsou platné pouze pro toto napětí.
- **Rušivé napětí v souhlasném režimu (asymetrické vf rušivé napětí):** Jedná se o součet všech nesymetrických rušivých napětí proti zemi.
- **Rušivé napětí v diferenciálním režimu (symetrické vf rušivé napětí):** Toto je vf napětí mezi vývody sítě.



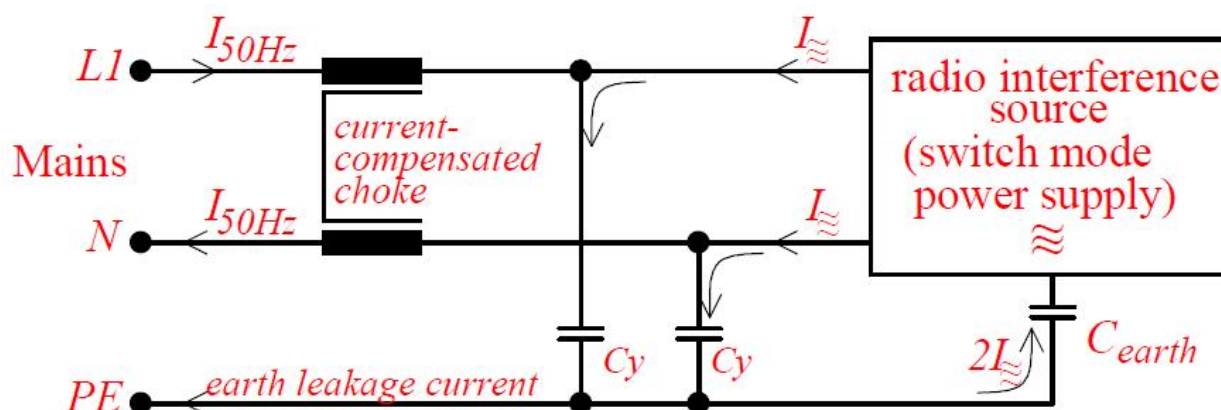
Obr. 1 Vysokofrekvenční rušivé napětí u jednofázové sítě

Ačkoli legislativa vyžaduje měřit pouze nesymetrické vf rušivé napětí, rušení v souhlasném a diferenciálním režimu jsou pro potlačení rušení rozhodující. Potlačení rušení v těchto režimech vyžaduje různé konstrukce a komponenty.

Potlačení vf rušení v souhlasném režimu:

Rušivá vf napětí ve souhlasném režimu na síťových vývodech $L1$ a N (pro trojfázovou síť $L1$, $L2$, $L3$ a N) jsou v napětí ve společném režimu vzhledem k potenciálu PE , což znamená, že si jsou rovny ve velikosti a fázi. Rušivé proudy I_{\approx} , které jsou vyvolány tímto napětím v souhlasném režimu, jsou také v souhlasném režimu. Tyto tečou zemí (zemním vodičem) a zpět přes parazitní kapacitu C_{earth} . Kapacita C_{earth} je velmi malá. Díky tomu má rušivé napětí ve souhlasném režimu velmi vysokou impedanci, což znamená, že tento zdroj rušení se chová jako zdroj proudu. Low-pass filtr (filtr typu dolní propust) pro potlačení rušivých napětí na vedení sítě musí být proto uspořádán podle obr. 2. Z hlediska spínaného zdroje low-pass filtr musí

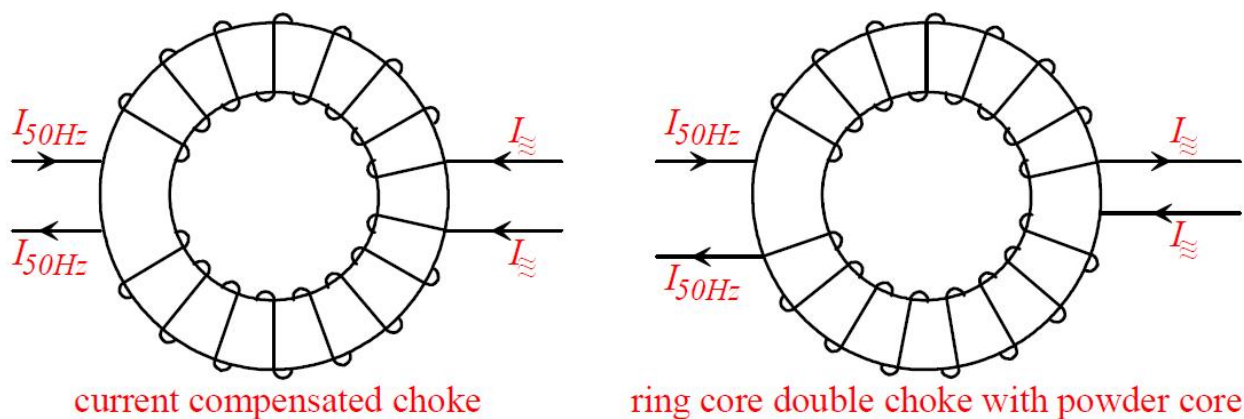
mít paralelní kondenzátor (C_y) a proudově kompenzovanou tlumivku. Proudově kompenzovaná tlumivka je vinuta tak, že při pracovním proudu (o frekvenci 50- nebo 60Hz) negeneruje žádné magnetické pole, viz obr. 3. Díky tomu tlumivka působí pouze proti rušení v souhlasném režimu a nijak neovlivňuje pracovní proud.



Obr. 2: Potlačení asymetrického (v souhlasném režimu) vf rušivého napětí

Těmto kondenzátorům se říká **y-kondenzátory**. Y-kondenzátory musí splňovat speciální bezpečnostní požadavky, protože v případě poruchy by připojily fázi sítě na zem. Y-kondenzátory nesmí překročit jistou hranici kapacity, aby se zajistilo, že nebude překročen maximální zemní svodový proud. Svodový zemní proud má frekvenci 50Hz (v některých zemích 60Hz). Maximální zemní svodový proud je 3,5mA (v lékařských přístrojích je to maximálně 0,5mA). Podle norem pro měření zemních svodových proudů musí být vývody $L1$ a N spojeny a maximální síťové napětí je aplikováno mezi $L1$ & N a PE . To znamená, že y-kondenzátory jsou zapojeny paralelně. Pro evropské síť 230V/50Hz vyplývá maximální hodnota y-kondenzátoru:

$$C_y \leq \frac{1}{2} \times \frac{230 \text{ V} + 10\%}{2 \pi 50 \text{ Hz} \times 3.5 \text{ mA}} \approx 22 \text{ nF}$$



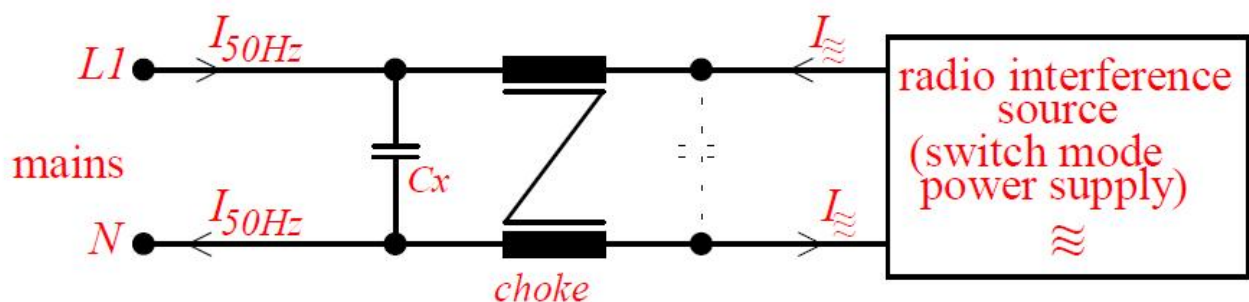
current compensated choke

ring core double choke with powder core

Obr. 3: vlevo: proudově kompenzovaná tlumivka pro potlačení souhlasného rušení, vpravo: proudově nekompenzovaná tlumivka pro diferenciální rušení (v tomto případě dvojitá tlumivka navinutá na toroidním jádru)

Potlačení vf rušení v diferenciálním režimu:

Rušivé vf napětí v diferenciálním režimu je vysokofrekvenční napětí mezi síťovými vodiči $L1$ a N . Pro omezení úrovně rušení je mezi vývody $L1$ a N vložen low-pass filtr (obr. 4). Rušivé napětí v diferenciálním režimu vzniká na základě pulzujícího proudu, který je ve spínaném zdroji odebrán z filtračního kondenzátoru za síťovým usměrňovačem. Vlivem impedance filtračního kondenzátoru je generováno vf napětí mezi $L1$ a N . Tento zdroj rušení má nízkou impedanci, což znamená, že zdroj rušení funguje jako zdroj napětí. Z hlediska spínaného zdroje filtr musí být uspořádán tak, že sériovou tlumivku následuje paralelní kondenzátor (viz obr. 4). Tlumivka nesmí být proudově kompenzovaná, protože rušivý proud v diferenciálním režimu a pracovní proud 50Hz (který je také diferenciálního typu) způsobují magnetické pole v jádře (viz obr. 3). Aby nedošlo k saturaci těchto tlumivek, je vyžadována vzduchová mezera. V toroidním jádře vzduchová mezera není vidět, protože "vzduchové" mezery je dosaženo množstvím lepidla v železném prachu. Také se používají otevřená jádra. U tohoto tylu se smyčka magnetického pole uzavírá prostorem. Toroidním jádrům se dává přednost, protože mají malé mag. Pole mimo jádro.



Obr. 4: Potlačení rušení v diferenciálním režimu

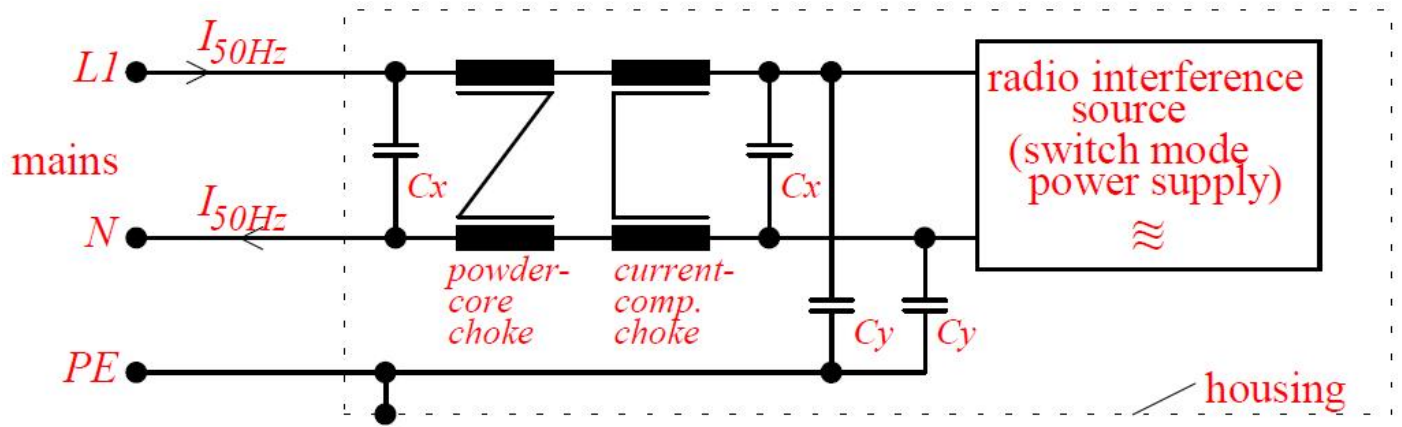
Kondenzátory pro tento účel se nazývají **x-kondenzátory**. Mají nižší jmenovité napětí než y-kondenzátory a není omezena jejich velikost. Běžně se používají hodnoty do $1\mu\text{F}$.

Poznámka:

Někdy je impedance zdroje rušení v diferenciálním režimu přibližně rovna impedance sítě. V tomto případě je vhodné použít low-pass filtr ve formě π -článku se dvěma x-kondenzátory (na obr. 4 nakresleno přerušovanou čarou).

Úplný vysokofrekvenční filtr:

Obr. 5 ukazuje úplný vf filtr. Hodnoty součástek mohou být nalezeny iterativně (metodou pokus-omyl) a s pomocí zkušenosti. Měřičem vf rušení lze měřit pouze nesymetrické rušivé napětí. Díky tomu není možné rozlišit mezi diferenciálním a souhlasným rušením. V praxi je pracovní kmitočet a několik vyšších harmonických rušení v diferenciálním režimu a všechny vysoké frekvence, řekněme nad 5MHz, jsou v souhlasném režimu. Často je požadována tlumivka s práškovým (toroidním) jádrem.



Obr. 5: Vysokofrekvenční filtr pro filtraci rušení v souhlasném a diferenciálním režimu

Zdroj: <http://schmidt-walter.eit.h-da.de/>

Překlad: Ladislav Kopecký