

Železoprachové toroidní tlumivky

Ing. Josef Jansa

Tento článek by chtěl seznámit technickou veřejnost s použitím železoprachových toroidních tlumivek a upozornit na jejich přednosti ve stejnosměrných i střídavých aplikacích. Navazuje na předchozí články [1] a [2] a doplňuje je o u nás zatím málo publikované informace.

Úvod

Existence kovových práškových jader byla u nás (po neúspěšné delimitaci jejich výroby do bývalé NDR v šedesátých letech) po dlouhé roky téměř zapomenuta. Zájem o ně znovu vzrostl s nástupem techniky spínaných zdrojů a potřebami odrušení polovodičových spínačů. V těchto aplikacích se jejich vlastnosti ukazují jako velmi výhodné a po právu tak nahrazují u nás donedávna téměř výlučně používaná dělená feritová jádra se vzduchovou mezerou.

Kovová prášková jádra

Kovové jádro z kompaktního materiálu by, jak známo, bylo zatíženo příliš velkými ztrátami vířivými proudy. Aby se jim zabránilo, je nutné rozdělit objem jádra do elektricky od sebe oddělených oblastí.

U běžných skládaných či páskových jader (EI, M, C, toroidů apod.) se toho dosahuje plošnou jednostrannou izolací plechu. V práškových jádrech, která se podobně jako jádra feritová skládají z mnoha od sebe oddělených zrn, je naproti tomu izolace prostorová, třírozměrná. V jádru se tak střídají magnetické a nemagnetické oblasti, které vlastně představují vzduchovou mezeru, rovnoměrně rozloženou v celém objemu jádra. Vysokým zhuštěním, velmi homogenní velikostí jednotlivých zrn a jejich perfektní izolací se dosahuje výborných magnetických vlastností, k nimž patří především velká indukce nasycení (více než 1 T), dobrá frekvenční použitelnost (řádově do stovek kHz), časová a teplotní stabilita (přes 120 °C), odolnost vůči stejnosměrné magnetizaci a dobrá schopnost akumulace energie.

Základními druhy kovových práškových materiálů jsou karbonylové železo pro levná, univerzální a nejběžněji používaná železoprachová jádra, železo-nikl pro jádra s velkým syčením a molybden-permaloy pro nejnáročnější nízkofrekvenční jádra.

Variabilitou lisovacích podmínek, izolací zrn a teplotním režimem lze parametry kovového práškového jádra ovlivnit v širokých mezích, přičemž požadovaných výsledných magnetických vlastností se dosahuje koncovým žiháním. Izolace vinutí a ochrana proti

vlivům okolí je zajištěna potažením kovových práškových jader ochrannou plastovou vrstvou. Obvyklými materiály jsou zde epoxidové pryskyřice, polyuretany apod.

Železoprachová jádra

Nejčastěji používaným kovovým práškovým materiálem je čisté železo. Jádra z tohoto materiálu mají pod různým označením a s velmi podobnými vlastnostmi ve svém sortimentu prakticky všichni výrobci kovových práškových jader. Jako typický představitel je dále popisován nejrozšířenější železoprachový materiál, který je též použit v níže uvedených řadách tlumivek firmy P MEC Šumperk.

Jeho počáteční permeabilita, měřená při indukci 1 mT a kmitočtu 10 kHz, je $75 \pm 10\%$, s teplotním součinitelem $0,825 \cdot 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$. Při současném působení stejnosměrné magnetizace se uvedený teplotní součinitel zmenšuje.

Frekvenčním průběhem ztrát v jádru jde o materiál mimořádně vhodný pro potřeby odrušení nad 25 kHz, velkým nárůstem indukčnosti při střídavém buzení je pak vhodný pro užití ve světelných stmívačích. Obecně jde o materiál univerzálně použitelný ve všech typických aplikačních oblastech, které lze podle převládajícího charakteru magnetizačních dějů rozdělit na aplikace střídavé a stejnosměrné.

Střídavé aplikace

Permeabilita

Se zvětšující se střídavou indukcí roste relativní permeabilita železoprachového materiálu až k vrcholu, kterého dosahuje při indukci asi 550 mT (viz obr. 1). Při větší indukci se postupně nasycuje materiál a jeho permeabilita a tudíž i indukčnost tlumivky se zmenšují. Pro představu závislosti výsledné indukčnosti tlumivky na protékajícím střídavém proudy je uveden obr. 2, který je v praxi pou-

žíván pro výběr tlumivky vhodné pro danou aplikaci.

Kmitočtová závislost

Efektivní permeabilita železoprachového materiálu je až do kmitočtu 30 kHz prakticky konstantní. Od tohoto bodu vykazuje velmi mírně klesající tendenci, takže na kmitočtu 100 kHz, který je zhruba doporučenou mezí praktické použitelnosti tohoto materiálu, se zmenšuje o necelá 3%. (Při měření kmitočtových závislostí na reálné cívičce nelze opomenout mezizávitovou kapacitu vinutí, která spolu s indukčností cívky vytváří rezonanční obvod - proto se parametry na vysokých frekvencích měří i na jediném závitě).

Ztráty

Ztráty v jádře jsou výsledkem střídavého magnetického pole v jádru. Jejich velikost je pro daný materiál dána pracovním kmitočtem a celkovým rozkmitem magnetické indukce. Protože detailní stanovení velikosti ztrát má význam spíše pro návrháře tlumivek, uvedme pouze, že tyto ztráty jsou přibližně úměrné kmitočtu a čtverci indukce. Pro orientaci může dobře posloužit následující tab. 1, udávající měrné ztráty v závislosti na kmitočtu a špičkové hodnotě magnetické indukce:

Je velmi dobře patrné, jak pro přibližně stejné ztráty (a tím při zanedbání ztrát v mědi i stejný ohřev tlumivky) se s rostoucím kmitočtem zmenšuje i „využitelná“ indukce. Je-li tlumivka provozována v aplikaci, v níž zcela převládá stejnosměrná složka proudu (např. vyhlazovací tlumivka), je oteplení ztrátami v jádře obvykle zanedbatelné a tlumivka se ohřívá především činnými ztrátami ve vinutí.

Stejnosměrné aplikace

Jak je zřejmé z obr. 3, se zvětšující se intenzitou stejnosměrného magnetizačního pole počáteční permeabilita materiálu a tím i indukčnost tlumivky klesá. Permeabilita je zde přitom stanovena při střídavé indukci 1 mT. Tento pokles je přitom pozvolný a souvisí s linearizačními účinky rozložené vzduchové mezery. Většina výstupních stejnosměrných tlumivek však pracuje se špičkovou hodnotou superponované střídavé indukce vyšší, nejčastěji kolem 20 mT (často i 100 mT). Výsledná permeabilita je potom kombinací obou efektů, tj. jak „stejnosměrného poklesu“ podle obr. 3, tak i „střídavého růstu“ podle obr. 1.

Pro návrh stejnosměrných tlumivek se proto používají experimentálně získané diagramy, z nichž lze pro

Tab. 1. Tabulka měrných ztrát

Kmitočet [kHz]	0,05	1	5	10	25	50	100	250
Indukce [mT]	700	170	75	52	30	20	13	7
Ztráty [mW/cm ³]	68	72	72	70	72	73	77	76

požadovanou akumulovanou energii ($\frac{1}{2} LI^2$) a danou procentuální velikost superponované střídavé složky určit vhodné jádro a potřebný počet ampér-závitů.

Aplikace kovových práškových jader

Nejčastější aplikací kovových práškových jader jsou toroidní tlumivky, používané jednak pro odrušení polovodičových spínačů a jednak jako akumulací a filtrační tlumivky ve spínaných zdrojích.

Tyristorové a triakové odrušovací tlumivky

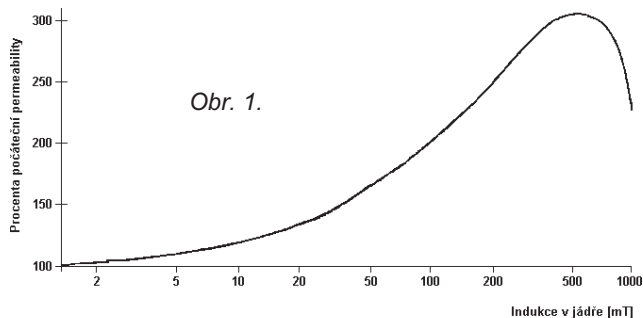
Elektrické a elektronické přístroje, osazené moderními polovodičovými výkonovými spínači jako jsou tyristory a triaky, jsou obecně zdrojem symetrických rušivých napětí, která zasahují kmitočtové spektrum až do oblasti 100 MHz. Pro splnění požadavků EMC (elektromagnetické kompatibility) je nutné úrovně těchto napětí zmenšovat odrušovacími tlumivkami a kondenzátory tak, aby nerušily např. audio, video či výpočetní techniku.

Kvůli potřebné širokopásmovosti a požadovanému velkému magnetickému sycení se pro odrušovací tlumivky používají kovová prášková jádra s malou permeabilitou, která navíc silně tlumí oscilační náchylnost regulačního obvodu a zabráňují tak zpětnému spouštění triaku či tyristoru. S výhodou se rovněž využívá výše popsaného vzrůstu permeability při střídavém buzení, takže skutečná indukčnost může být při správném výběru tlumivky i podstatně větší než jmenovitá.

Typická kmitočtová oblast použití tyristorových odrušovacích tlumivek je pásmo 150 kHz až 30 MHz. Úroveň rušení na dolním okraji tohoto pásma jsou přibližně desetkrát větší než při 1 MHz a působí proto větší problémy při odrušení. Pro potlačení symetrické složky rušení např. v pásmu DV proto mohou k úspěchu vést tlumivky s indukčností alespoň 1 mH.

Akumulační a filtrační tlumivky

Tyto tlumivky, charakteristické vysokou stejnosměrnou magnetizací, nelze realizovat na jádrech s velkou permeabilitou, které se již při malých



Tab. 2. Sortiment železoprachových tlumivek

Typová řada:	PMEC 221	PMEC 222	PMEC 223	PMEC 224
Indukčnost/ /proud [μH/A]	100/1,0 180/0,7 330/0,5 560/0,7 1000/0,5	100/1,3 180/1,0 330/1,3 560/1,0 1000/0,7	100/1,7 180/1,3 560/0,4 1000/0,3 1800/0,4	100/2,3 180/1,7 560/0,5 1000/0,4 1800/0,5

proudech nasatí a tím náhle ztratí indukčnost. Rovněž schopnost akumulovat magnetickou energii, která je úměrná čtverci indukce a nepřímo úměrná permeabilitě, je u jader s velkou permeabilitou malá. Efektivní permeabilita těchto jader musí být proto uměle zmenšována zavedením vzduchové mezery.

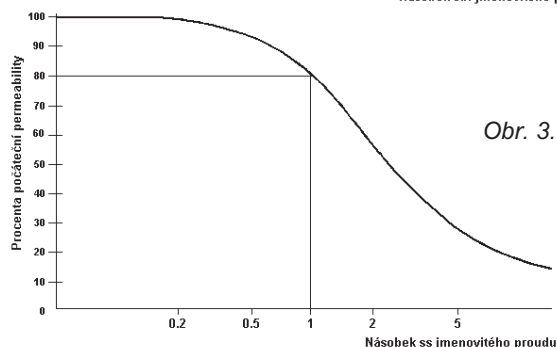
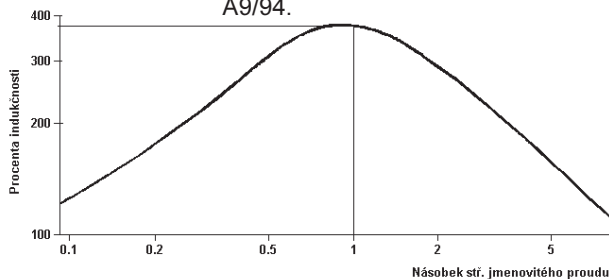
Prášková jádra si tuto mezeru (navíc rozloženou a proto v mnohém výhodnější) přináší takřka již v sobě a jsou tak technicky i ekonomicky dobrou alternativou jader mezerových. Volba jmenovitého proudu tlumivky závisí též na kmitočtu a podílu střídavé složky, jakož i na odvodu tepla do okolí. Vhodnost tlumivky proto musí být posuzována vždy v konkrétní aplikaci.

Železoprachové tlumivky firmy PMEC Šumperk

Jako příklad aplikace železoprachových jader je v tab. 2 uveden standardní sortiment jednoduchých železoprachových tlumivek univerzálního použití, který na náš trh dodává firma PMEC Šumperk.

Tlumivky řad PMEC 225 až PMEC 227 pro větší výkony, stejně jako tlumivky mimo uvedené standardní řady se dodávají po dohodě se zákazníkem. Řady 221 až 223 lze dodat pouzdřenou v horizontálním i vertikálním pouzdru, řadu 224 pouzdřenou v horizontálním pouzdru a řady 225 až 227 nepouzdřenou.

Obr. 2. Závislost výsledné indukčnosti tlumivky na protékajícím střídavém proudu



Technické parametry

Kategorie klimatické odolnosti:

40/125/21.

Tolerance indukčnosti (měřeno při 10 kHz, 50 mV a 25 °C): ± 20 %.

Pokles indukčnost při stejnosměrném proudu I_{JM} : - 20 %.

Nárůst indukčnosti při střídavém proudu I_{JM} : > 200 %.

Oteplení vinutí při stejnosměrném proudu $1,4 \times I_{JM}$: < 55 °C.

Tlumivky firmy PMEC jsou optimalizovaně navrženy tak, že ve stejnosměrné aplikaci dosahuje při zatížení tlumivky jmenovitým proudem počáteční permeabilita jádra 80 % maximální hodnoty, jak je též zřejmé z obr. 3. V čistě střídavé aplikaci leží tento pracovní bod přibližně uprostřed oblasti maximální indukčnosti - viz obr. 2. Je zřejmé, že v okolí tohoto bodu dosahují tlumivky více než trojnásobné indukčnosti oproti jmenovité. (Této skutečnosti také často využívají někteří výrobci, kteří udávají u „střídavých“ tlumivek přímo tyto zlepšené údaje).

Kontaktní adresa výrobce:

PMEC spol. s r. o., Nemocniční 23, 787 01 Šumperk.

Tel./fax: (0649) 216 582

Literatura

[1] Jansa, J.: Dvojitě proudově kompenzované odrušovací tlumivky. AR A7/92.

[2] Jansa, J.: Odrušovací tlumivky. AR A9/94.