

Zdeněk Faktor

Transformátory a tlumivky pro spínané napájecí zdroje

2002



Přestože transformátory a tlumivky byly v nejmodernějších elektronických zařízeních do značné míry nahrazeny jinými obvody prvky, zastávají dosud nezastupitelnou úlohu především ve zdrojích a v některých sdělovacích zařízeních. S přechodem na moderní spínací zdroje podstatně stoupají nároky na použité materiály a konstrukci transformátorů. Při jejich výpočtech už nevystačíme s několika empirickými vzorečky a trojčlenkou.

Tato příručka usnadní efektivní návrh transformátorů a tlumivek s využitím znalosti fyzikálních principů a vlastností současných materiálů. Souhrnné informace, včetně mnoha tabulek, grafů a katalogových údajů, umožňují přesně vybrat vhodný tvar obvodu, jeho materiál i postup výroby. V naší literatuře se kniha s podobně širokým a odborným přístupem nevyskytuje. Příručka se jistě stane nedocenitelnou pomůckou nejen projektantů, konstruktérů a studentů odborných škol, ale také vyspělejších amatérů.

Zdeněk Faktor

Transformátory a tlumivky pro spínané napájecí zdroje

Bez předchozího písemného svolení nakladatelství nesmí být kterákoli část kopírována nebo rozmnožována jakoukoli formou (tisk, fotokopie, mikrofilm nebo jiný postup), zadána do informačního systému nebo přenášena v jiné formě či jinými prostředky.

Za původnost a jazykovou i věcnou správnost díla zodpovídá autor. Uvedené názvy výrobců, výrobků, metod a různých materiálů mohou být ochrannými známkami. Nároky na odškodnění na základě změn, chyb nebo vynechání jsou zásadně vyloučeny.

Všechna práva vyhrazena.

© Ing. Zdeněk Faktor CSc., Praha 2002

© Nakladatelství BEN – technická literatura, Věšínova 5, Praha 10

Faktor Zdeněk: Transformátory a tlumivky pro spínané napájecí zdroje
BEN – technická literatura, Praha 2002

1. vydání

ISBN 80-86056-91-0

Předmluva

Nejběžnější napájecí zdroj elektrických zařízení s malým odběrem proudu, hlavně rozhlasových přijímačů, byl před rozšířením polovodičových usměrňovacích prvků dvojecestný usměrňovač síťového napětí s tlumivkovým filtrem se vstupní kapacitou. Usměrňovačem byla elektronka. Ta byla založena na objevu T. A. Edisona z roku 1883. Je-li ke kovovým elektrodám umístěným ve vakuu, z nichž jedna je silně zahřátá, připojeno stejnosměrné napětí, prochází jimi přes vakuum elektrický proud. Tento objev zůstal po dvacet let nevysvětlen a nevyužit. Později se poznalo, že jde o elektronovou termoemisi. Až v roce 1904 byl tento objev využit J. A. Flemingem pro sestavení vakuové usměrňovací elektronky. Tím se začalo ohromné rozšíření elektroniky.

Klasická usměrňovací vakuová dioda byla elektronka označovaná AZ11. Byla to duodioda se společnou přímo žhavenou katodou. Žhavicí napětí bylo 4 V, žhavicí proud 4 A. Nejvyšší usměrňovaný proud byl 150 mA, anodová ztráta 7 W. Závěrné napětí 1500 V, vnitřní odpor 100 Ω . Usměrněné napětí bylo 250 V. Tato elektronka byla ve tvaru skleněného válce o průměru kolem 5 cm a výšce asi 10 cm. Vývody byly na bakelitové patici, která se zasouvala do zásuvky, umístěné na kostře zařízení. Účinnost této usměrňovací elektronky byla 85 až 95 %. (Elektronky řady A byly později nahrazeny elektronkami řady E, např. EZ 80, EZ 81 a ještě později typ GZ 31. Žhavicí napětí 6,3 V, žhavicí proud 3,5 až 6,3 A.)

Pro větší proudy se ve slaboproudé technice používaly selenové usměrňovače v můstkovém zapojení s filtrem s nárazovou tlumivkou. Usměrňovač byl sestaven

z kovových kruhových destiček, na kterých z jedné strany byla nanesena selenová vrstva, chráněná slabou kovovou vrstvou. Závěrné napětí jedné desky bylo 15 V, usměrněný proud mohl být až do 50 mA/cm² selenové plochy. Při této proudové hustotě vznikala na desce úbytek napětí 1 V. Vrstvením selenových kotoučů se usměrňovalo napětí až několik kV pro obrazovky. Průměr kotoučů pro tento účel byl do 10 mm.

Polovodičovou technologií se pronikavě změnily napáječe elektronických zařízení. Převládají napáječe s měničem kmitočtu, pracující v oblasti 20 kHz až 10 MHz, označované jako spínané zdroje. V současné době jsou spínané zdroje jedinou alternativou v konstrukci napáječů malých výkonů. Pro nejmenší výkony jsou perspektivní napáječe s piezoelektrickými a magnetostrikčními transformátory.

Měniče, i když jsou mnohdy napájeny ze zdroje malých napětí, umožňují dosáhnout napětí již nebezpečných. Je nutná opatrnost a musíme nezbytně respektovat technické normy o bezpečnosti práce s transformátory.

Přestože je význam této knihy v elektrotechnice okrajový, byla věnována velká pozornost správnosti a srozumitelnosti výkladu. Postupuje se od nezbytných základních fyzikálních poznatků k praktické realizaci výrobku. Spojení teorie a praxe je ověřováno na příkladech. Je připojen popis vhodných měřicích metod, které umožní kontrolovat jednotlivé kroky návrhu.

Děkuji proto Ing. J. Novákovi za technické připomínky k textu, které vedly k jeho opravě a doplnění, své ženě Marii za pročitání textu, úpravu tabulek a obrázků a paní H. Vokurkové za přepsání textu.

autor

Obsah

Předmluva	3
1. Spínané napájecí zdroje – základní vlastnosti a pojmy	9
2. Akumulační měniče	26
2.1 Akumulační měniče s tlumivkou	26
2.1.1 Akumulační měnič s transformátorem	27
2.1.2 Akumulační měniče se vzestupným napětím	32
2.1.3 Tlumivka s odbočkou u akumulacího měniče se vzestupným napětím	34
2.1.4 Akumulační měniče se sestupným napětím	35
2.1.5 Tlumivka s odbočkou u akumulacího měniče se sestupným napětím	36
2.2 Akumulační měniče s kondenzátorem	37
2.2.1 SEPIC s uzemněným spínačem	39
3. Propustné měniče	41
4. Transformátory pro dvojčinné měniče	49
4.1 Dvojčinný transformátor s dvojcestným usměrněním	49
4.2 Některá zapojení dvojčinných měničů	55
5. Porovnání výkonnosti transformátorů, tlumivek a jejich vinutí pro různé typy měničů	57
6. Rezonanční měniče	68
6.1 Schémata některých rezonančních měničů	78
6.1.1 Akumulační rezonanční měniče se sestupným napětím s činností v nule proudu (typ buck)	78
6.1.2 Akumulační invertující rezonanční měnič s činností v nule proudu (typ flyback)	81
6.1.3 Propustný kvazirezonanční měnič s transformátorem a s činností v nule proudu	83
6.1.4 Akumulační kvazirezonanční měnič s transformátorem a s činností v nule proudu (typ flyback)	86
6.1.5 Akumulační rezonanční měnič se sestupným napětím s činností v nule napětí (typ buck)	88
6.1.6 Akumulační rezonanční měnič s invertujícím napětím s činností v nule napětí (typ flyback)	90
6.1.7 Propustný kvazirezonanční měnič s činností v nule napětí	92
6.1.8 Akumulační měnič s transformátorem s činností v nule napětí s pulzně šířkovou modulací (ZVS PWM, typ flyback)	94
6.1.9 Dvojčinný rezonanční měnič s činností v nule proudu	97

7. Maticové transformátory pro napájecí zdroje velkých stejnosměrných proudů	102
8. Planární vinutí	110
9. Kompenzace účinníku u spínaných zdrojů malých výkonů	113
10. Praktické použití teorie transformátoru a tlumivek spínaných zdrojů pro jejich návrh	119
10.1 Vodiče	122
10.2 Vinutí transformátorů a filtračních tlumivek pro spínané zdroje	126
10.3 Železoprachová jádra	135
10.4 Ferity	142
10.5 Jádra z amorfních magnetických materiálů	149
10.6 Jádra složená nebo vinutá z magnetických plechů s krystalickou strukturou. Výpočet chladicích povrchů sestav s C jádry	150
11. Příklady výpočtů transformátorů a tlumivek spínaných zdrojů	154
11.1 Tlumivka pro akumulární měnič se vzestupným napětím	154
11.2 Tlumivka pro akumulární měnič se sestupným napětím	157
11.3 Tlumivka pro akumulární měnič s galvanickým oddělením výstupu od vstupu	161
11.4 Tlumivka pro akumulární měnič se sestupným napětím a galvanickým oddělením výstupu od vstupu	164
11.5 Návrh transformátoru a tlumivky pro propustný měnič	169
11.6 Návrh transformátoru a tlumivky pro propustný měnič napájený ze síťového napětí	175
11.7 Základní údaje pro návrh transformátoru a výstupního filtru ($L_0 C_0$) pro propustný měnič	181
11.8 Návrh transformátoru a tlumivky pro dvojčinný spínaný měnič	182
11.9 Návrh filtrační tlumivky s kruhovým jádrem	188
11.10 Určení hodnoty nabíjecího kondenzátoru	190

11.11	Určení hodnoty výstupního kondenzátoru spínaného zdroje	192
11.12	Výpočet vyhlazovacího filtru	192
11.13	Izolační transformátor v regulačním obvodu	193
11.14	Filtr pro třífázově napájený spínaný zdroj	194
11.15	Tlumivka s jádrem z amorfních magnetických materiálů	197
11.16	Impulzní transformátor	199
11.17	Tlumivky pro spínaný zdroj typu SEPIC	203
11.18	Planární vinutí transformátoru s velkým výkonem	206
	a) Transformátor s výkonem 200 kW, 40 kHz	206
	b) Transformátor 12 kW, 150 kHz	208
12.	Měření vlastností transformátorů a filtračních tlumivek pro spínané zdroje	210
12.1	Měření počáteční a efektivní permeability jádra	210
12.2	Určení velikosti mezery v magnetickém obvodu vybraného jádra při zadané indukčnosti jeho vinutí a počtu závitů	211
12.3	Měření tvaru hysterezní smyčky a ztrát	212
12.4	Měření vratné permeability	215
12.5	Měření magnetovacího proudu	217
12.6	Zjišťování orientace vinutí	217
12.7	Zjišťování zkratů na vinutí	218
12.8	Měření převodu	218
12.9	Měření rozptylové indukčnosti	218
12.10	Měření vlastní kapacity vinutí	218
12.11	Zjištění minimální velikosti mezery v magnetickém obvodu pro snížení zdánlivé remanence a určení počáteční hodnoty permeability jádra pro tuto mezeru	219
12.12	Měření elektrické pevnosti vinutí	219
	Seznam použitých zkratk	220
	Literatura	224
	Rejstřík	226

Prezentace firem	228
ELEKTROKOV a. s. (transformátory, tlumivky, svářecí technika, usměrňovače)	228
Válcovny plechu TECHNOTRON (magnetické obvody, plechy)	229
PMEC s.r.o. (toroidní tlumivky a transformátory)	230
VS-ELEKTRON spol. s r. o. (vinuté cívky pro elektrotechniku)	231
VAKAR s. r. o. (výroba vinutých magnetických obvodů)	231
BV elektronik s. r. o. (transformátory, tlumivky, materiály)	232
TRONIC spol. s r. o. (poradenská, vývojová a výrobní činnost)	233
OK technik cz s. r. o. (filtry, měření, elektromagnetická kompatibilita)	234
ELEKTROMITA s. r. o. (distribuce transformátorů, tlumivek a feritových jader)	234
Elektronika JD&VD (prodej feritových výrobků)	235
Knihy nakladatelství BEN – technická literatura	236
Adresy a spojení na firmu BEN – technická literatura	241
A na závěr pár slov o nás	242