

Alexandr Krejčířík

**SPÍNANÉ
NAPÁJECÍ
ZDROJE
S OBVODY TOPSwitch**

Praha 2002



Alexandr Krejčířík

Spínané napájecí zdroje s obvody TOPSwitch

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.

Autor a nakladatelství nepřijímají záruku za správnost tištěných materiálů. Předkládaná zapojení a informace jsou zveřejněny bez ohledu na případné patenty třetích osob. Nároky na odškodnění na základě změn, chyb nebo vynechání jsou zásadně vyloučeny.

Veškerá práva vyhrazena.

© Ing. Alexandr Krejčířík, 2002

Nakladatelství BEN – technická literatura, Věšínova 5, Praha 10

Alexandr Krejčířík: Spínané napájecí zdroje s obvody TOPSwitch

BEN – technická literatura, Praha 2002

1. vydání

ISBN 80-7300-031-8

TOPSwitch

1.	POPIS OBVODŮ TOPSWITCH	23
2.	NÁVRH ZPĚTNOVAZEBNÍHO OBVODU	113
3.	KONSTRUKCE TRANSFORMÁTORU	185
4.	NÁVRH ZDROJE POMOCÍ KŘIVEK	235
5.	METODY OCHRANY PROTI SÍTOVÉMU PŘEPĚTÍ	245
6.	PROBLÉMY NÁVRHU	255
7.	OBVODY PRO REGULACI NA KONSTANTNÍ PROUD A VÝKON	287
8.	NÁVRH ZDROJE S VÍCE VÝSTUPY	309
9.	NEIZOLOVANÝ ZPĚTNOVAZEBNÍ ZDROJ	339
10.	DALŠÍ PŘÍKLADY SPÍNANÝCH ZDROJŮ	349

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ	13
ÚVOD	19
1 POPIS ČINNOSTI OBVODŮ TOPSWITCH	23
1.1 Popis činnosti obvodů TOP100-104	24
1.1.1 Popis obvodů	24
1.1.1.1 Popis funkce jednotlivých vývodů	25
1.1.2 Popis funkce obvodů	26
1.1.2.1 Řídicí napětí obvodů	27
1.1.2.2 Reference typu bandgap	28
1.1.2.3 Oscilátor	28
1.1.2.4 Pulzně šířkový modulátor (PWM)	29
1.1.2.5 Budič hradla tranzistoru MOSFET	29
1.1.2.6 Chybový zesilovač (EA)	29
1.1.2.7 Proudové omezení v každém cyklu činnosti	29
1.1.2.8 Start obvodů	30
1.1.2.9 Vypínání vlivem zpětné vazby	30
1.1.2.10 Ochrana proti přehřátí	30
1.1.2.11 Vysoké napětí zpětnovazebního proudového vstupu	30
1.1.3 Zpětnovazební zdroj 5 V/5 W s TOP100	31
1.1.4 Zdroj 7,5 V/15 W se zpětnou vazbou oprtonem	32
1.1.5 Zdroj 15 V/30 W s přesnou zpětnou vazbou oprtonem	33
1.1.6 Preregulátor zvyšující vstupní napětí 110 V na výstupní 265 V	34
1.1.7 Aplikační doporučení obvodů TOPSwitch	35
1.1.8 Parametry obvodů TOP100-104	36
1.2 Popis činnosti obvodů TOP200-204, 214	38
1.2.1 Popis obvodů	38
1.2.2 Parametry obvodů	39
1.3 Popis činnosti obvodů TOP209-210	40
1.3.1 Popis obvodů	41
1.3.2 Popis vývodů	41
1.3.3 Aplikační doporučení	41
1.3.4 Parametry obvodů	42
1.4 Popis činnosti obvodů TOP221-227	43
1.4.1 Popis obvodů	43
1.4.2 Výběr typu obvodu	43
1.4.3 Popis vývodů	43
1.4.4 Dvojitý zdroj 5 V a 12 V/4 W	44

1.4.5	Univerzální zdroj 12 V/20 W	45
1.4.6	Aplikační podmínky	46
1.4.7	Nahrazení obvodů TOPSwitch obvodů TOPSwitch-II	46
1.4.8	Parametry obvodů TOPSwitch-II	47
1.5	Popis činnosti obvodů TOP232-234	48
1.5.1	Popis obvodů	50
1.5.2	Funkce vývodů	51
1.5.2.1	Činnost řídicího vývodu	53
1.5.3	Oscilátor a spínací kmitočet	55
1.5.4	Pulzně šířkový modulátor (PWM) a maximální střída spínání	55
1.5.5	Minimální střída spínání a přerušovaný režim	56
1.5.6	Chybový zesilovač	56
1.5.7	Proudové omezení na čipu s externím nastavením	57
1.5.8	Detekce podpětí (UV)	58
1.5.9	Detekce přepětí (OV)	59
1.5.10	Omezení maximální střidy DC_{MAX}	59
1.5.11	Vnější vypínání a zapínání (ON/OFF) a synchronizace	60
1.5.12	Měkký start zdroje	61
1.5.13	Vypnutí a autorestart zdroje	62
1.5.14	Tepelná ochrana s hysterezí	62
1.5.15	Reference typu bandgap	62
1.5.16	Proud vlastní spotřeby při vysokonapětovém napájení	62
1.5.17	Použití vývodů FREQUENCY a MULTIFUNCTION	63
1.5.18	Zdroj s výkonem 30 W	69
1.5.19	Zdroj s výkonem 35 W a vícenásobným výstupem	70
1.5.20	Zdroj o výkonu 17 W a pohotovostním režimem	72
1.5.21	Processorem řízené zapínání a vypínání zdroje	73
1.5.22	Srovnání obvodů řady TOPSwitch-FX s obvodů TOPSwitch-II	74
1.5.23	Pokyny k návrhu zdroje s obvodů TOPSwitch-FX	75
1.5.24	Rozmístění součástek na plošném spoji	77
1.5.25	Parametry obvodů řady TOP232-234	79
1.5.26	Výběr obvodu pomocí grafů	82
1.6	Popis činnosti obvodů TOP412-414	88
1.6.1	Popis obvodů	88
1.6.2	Zdroj 5V/2A	89
1.6.2	Aplikační doporučení	90
1.6.3	Parametry obvodů TOP412-414	91
1.7	Popis činnosti obvodů TOP242-249	92
1.7.1	Popis funkce jednotlivých vývodů	93
1.7.2	Popis činnosti obvodů	95
1.7.3	Parametry obvodů	103
1.7.4	Zdroj 12 V/2,5 A	104
1.7.5	Zdroj 70 W/19 V	106
1.7.6	Zdroj 250 W/48 V/5,2 A	107

1.7.7	Zdroj 60 W s vícenásobnými výstupy	108
1.7.8	Rozložení součástek	110
2	NÁVRH ZPĚTNOVAZEBNÍHO OBVODU	113
2.1	Základní principy zpětnovazebních obvodů pro TOPSwitch	114
2.1.1	Zpětnovazební zapojení zdroje	114
2.1.2	Lineární napájecí zdroje	116
2.1.3	Spínané zdroje	116
2.1.4	Teorie zpětné vazby	118
2.1.4.1	Ideální model nespojitého režimu	118
2.1.4.2	Ideální model spojitého režimu	120
2.1.4.3	Neideální model (nespojité i spojitý mód činnosti)	122
2.2	Postup návrhu	125
2.2.1	Postup krok za krokem	127
2.3	Jednoduchá zpětná vazba u obvodů TOP200	149
2.3.1	Jednoduchý zdroj s napětím 5 V a obvodem TOP200	149
2.4	Zapojení bez zpětné vazby	157
2.4.1	Zdroj bez zpětné vazby 5,1 V/20 mA	158
2.5	Účinnost zpětnovazebního zapojení s obvodem TOPSwitch	160
2.5.1	Zdroj 24 V/34 W	160
2.5.2	Účinnost zdroje STA204A s obvodem TOPSwitch	163
2.5.2.1	Měřicí technika účinnosti	164
2.5.2.2	Návrh pro vyšší účinnost	166
2.5.2.3	Špičková hodnota primárního proudu ve spojitém a nespojitém režimu	181
3	KONSTRUKCE TRANSFORMÁTORU	185
3.1	Konstrukční materiály transformátorů	187
3.2	Metody konstrukce transformátorů	188
3.2.1	Vinutí s definovanými okraji	188
3.2.2	Konstrukce transformátoru při použití trojitě izolovaných vodičů	190
3.2.3	Technika konstrukce transformátoru	191
3.2.3.1	Technika vícenásobných výstupů transformátoru	194
3.3	Program pro konstrukci transformátoru	198
3.3.1	Parametry programu, použité pro specifikaci transformátoru	199
3.3.2	Postup kroků konstrukce transformátoru	199
3.4	Příklady konstrukce transformátorů pro zdroj 12 V/15 W	204
3.4.1	Vstupní parametry programu	204
3.4.2	Příklad konstrukce transformátoru s okraji vinutí	208
3.4.3	Příklad konstrukce transformátoru s trojitě izolovanými vodiči	213
3.5	Program pro návrh zpětnovazebního transformátoru	220

4	NÁVRH ZDROJE POMOCÍ KŘIVEK	235
4.1	Typické ztráty	236
4.2	Přehled křivek rychlého výběru	237
4.3	Rychlý návrh	239
4.4	Výběr správného obvodu TOPSwitch-II	239
4.5	Univerzální zdroj +5 V s výkonem 30 W	240
4.6	Zdroj s výstupním výkonem 30 W, napájený z napětí 230 V	240
4.7	Teplota obvodu TOPSwitch-II	240
4.8	Vliv vstupního napětí na zdroj +12 V/35 W	242
4.9	Určení kapacity vstupního kondenzátoru	243
5	METODY OCHRANY PROTI SÍŤOVÉMU PŘEPĚTÍ	245
5.1	Typický přechodný napěťový test	246
5.2	Měření obvodových parametrů	248
5.3	Měření v diferenciálním módu	253
6	PROBLÉMY NÁVRHU	255
6.1	Příklady předcházení problémům v obvodech napájecího zdroje	260
6.1.1	Popis zapojení zdroje ST200 – 5 V/1 A	261
6.1.2	Popis zapojení zdroje ST202A – 7,5 V/2 A	262
6.1.3	Popis zapojení zdroje ST204A – 15 V/30 W	263
6.2	Ochrana interního tranzistoru proti přepětí	264
6.3	Návrh plošného spoje	265
6.3.1	Metoda zemnění do jednoho bodu	265
6.3.2	Ideální rozmístění součástek	266
6.3.3	Pravidla pro rozmístění součástek na plošném spoji	266
6.4	Návrh zpětnovazebního transformátoru	267
6.4.1	Výkon a indukčnost primárního vinutí	267
6.4.2	Křivky transformačního poměru závitů	270
6.5	Optimalizace účinnosti spínaného zdroje	270
6.6	Návrh tepelných poměrů	271
6.6.1	Chladič	271
6.6.2	Tepelná ochrana celého spínaného zdroje	272
6.7	Autorestart	272
6.8	Výstupní přepětěová ochrana	273
6.9	Proud pro změnu střídy	275

6.10	Činnost při minimální hodnotě střidy	275
6.11	Smyčka zpětné vazby	275
6.11.1	Základní techniky	275
6.11.2	Obvod TOPSwitch s rozšířenou šířkou pásma	277
6.12	EMI (Electromagnetic Interference, elektromagnetické rušení) ...	278
6.12.1	Přednosti obvodů TOPSwitch	278
6.12.2	Návrh odrušovacího filtru	278
6.13	Měkký start	278
6.13.1	Zpětná vazba s optronem	278
6.13.2	Zpětná vazba ze samostatného vinutí	279
6.14	Doporučené zapojení optronu	280
6.15	Obvod vypínání při vstupním podpětí	280
6.15.1	Zpětná vazba s optronem	280
6.15.2	Zpětná vazba ze samostatného vinutí	281
6.16	Zdvojovač napětí pro zvýšení výstupního napětí	282
6.17	Preregulátor PFC	
	(Power Factor Correction = korekce účinníku)	283
6.17.1	Inverzní (závěrné) napětí kolektor-emitor	284
6.17.2	Autorestart	284
6.17.3	Příklad zapojení preregulátoru pro výkon 65 W	284
7	OBVODY PRO REGULACI	
	NA KONSTANTNÍ PROUD A VÝKON	287
7.1	Tranzistorový obvod proudového limitu zdroje 7,5 V/1 A	288
7.1.1	Napěťový řídicí obvod	290
7.1.2	Proudový řídicí obvod	291
7.1.3	Vliv teploty přechodu	292
7.1.4	Kmitočtová kompenzace	292
7.1.5	Zdroj zpětnovazebního napětí	292
7.1.6	Napěťové poměry na optronu	293
7.1.7	Snímání proudu operačním zesilovačem	294
7.2	Popis zdroje 15 V/2 A	294
7.2.1	Napěťový řídicí obvod	295
7.2.2	Obvod řízení proudu	296
7.2.3	Primární a sekundární napájecí zdroj zpětnovazební smyčky	296
7.2.4	Sériový odpor optronu	299
7.2.5	Kmitočtová kompenzace smyček napěťové a proudové zpětné vazby	299
7.3	Řízení zdroje 15 V/2 A na konstantní výkon	300
7.3.1	Popis obvodu	300
7.3.2	Korekce nepřesného napětí Zenerovy diody	303

7.4	Zapojení zdroje s vysokou přesností proudového omezení výstupu	304
7.4.1	Nastavení výstupního napětí a výstupního proudu	305
7.4.2	Zpětnovazební vinutí primární strany	306
7.4.3	Zpětnovazební vinutí sekundární strany	307
8	NÁVRH ZDROJE S VÍCE VÝSTUPY	309
8.1	Postup návrhu	311
8.2	Požadavky na výstupní napětí	311
8.3	Návrh transformátoru	313
8.3.1	Přehled parametrů návrhu transformátoru	315
8.3.2	Výpočet počtu sekundárních závitů	316
8.3.3	Výběr výstupního vodiče	318
8.3.4	Oddělená sekundární vinutí	320
8.3.5	Společná výstupní vinutí	320
8.3.6	Konstrukce vinutí pro zlepšení křížové regulace	322
8.3.7	Kontrola návrhu	322
8.4	Návrh výstupního usměrňovače	323
8.5	Popis činnosti obvodu	325
8.6	Spojení optronem	329
8.7	Obvod měkkého startu	330
8.8	Zlepšení regulace při malých hodnotách výstupní zátěže	331
8.9	Výstupy záporného napětí	331
8.10	Výstupy 3,3 V a 5 V	332
8.10.1	Lineární stabilizátor	332
8.10.2	Odbočka na vinutí +5 V	333
8.10.3	Samostatná vinutí	333
8.11	Konstrukční detaily transformátoru	335
9	NEIZOLOVANÝ ZPĚTNOVAZEBNÍ ZDROJ	339
9.1	Zdroj pro stejnosměrný motor	340
9.1.1	Výběr součástek pro nastavení hodnoty výstupního napětí	342
9.1.2	Zatěžovací a převodní charakteristika, teplotní závislost	342
9.1.3	Zpětnovazební řídicí vstup a součástky zpětné vazby	343
9.2	Zdroj pro motor 5 V s pomocnými výstupy	343
9.3	Levný zdroj s výstupním napětím +5 V	345
9.4	Návrh transformátoru	347

10	DALŠÍ PŘÍKLADY SPÍNANÝCH ZDROJŮ	349
10.1	Levný zdroj s malým počtem součástek	350
10.2	Napájecí zdroj pro výkonový přijímač	355
10.2.1	Souhrn požadavků přijímače PLT-20 na napájení	356
10.2.2	Souhrn vlastností návrhu	356
10.2.3	Seznam součástek	358
10.2.4	Postup vinutí transformátoru	359
10.2.5	Zatěžovací charakteristika	360
10.2.6	Převodní charakteristika	361
10.2.7	Přechodová charakteristika na pulzní změnu zátěže	361
10.2.8	Závislost účinnosti na vstupním střídavém napětí	362
10.2.9	Závislost účinnosti zdroje na zatěžovacím proudu	363
10.2.10	Oteplení klíčových součástek	363
10.2.11	Měření základního střídavého šumu	363
10.2.12	Střídavá vstupní impedance	364
10.3	DC/DC měniče	365
10.3.1	Měnič z $-48\text{ V}/+3,3\text{ V}$	366
10.3.1.1	Transformátor	367
10.3.2	Měnič s vícenásobným výstupem $+5\text{ V}/\pm 15\text{ V}$	371
10.3.2.1	Transformátor měniče	373
10.3.3	DC/DC měnič $+48\text{ V}/-55\text{ V}$	375
10.3.3.1	Transformátor měniče	376
10.4	Spínaný zdroj 375 V/15 V bez transformátoru	378
10.5	Nabíječka pro akumulátory 12 V	380
	PŘÍLOHA I	383
	PŘÍLOHA II	384
	PŘÍLOHA III	385
	LITERATURA	386

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

A_e [cm²]	– efektivní průřez magnetického jádra transformátoru
A_L [H/T²]	– efektivní hodnota indukční konstanty jádra transformátoru bez vzduchové mezery v jádře
A_L [H]	– indukční konstanta jádra bez vzduchové mezery
A_{LG} [H]	– indukční konstanta pro nastavenou velikost šířky vzduchové mezery (G = gap = mezera)
AWG	– americké označení průměrů vodičů (American Wire Gauge)
B_{AC} [T]	– střídavá efektivní hodnota magnetické indukce
B_M, B_{MAX} [T]	– maximální hodnota magnetické indukce
BOOST	– označení pro spínané zdroje zvyšující napětí na výstupu proti napětí vstupnímu (boost = vzhůru)
BR	– označení můstkového usměrňovače na schématech (BR = bridge = most)
BUCK	– označení pro spínané zdroje, snižující výstupní napětí oproti napětí vstupnímu (buck off = shodit)
BV_{DSS} [V]	– závěrné napětí mezi kolektorem a emitorem tranzistoru MOSFET (BV = breakdown voltage = poruchové závěrné napětí)
BW [mm]	– šířka cívky pro vinutí (BW = bobin width = šířka cívky)
BW_E [mm]	– efektivní šířka cívky, např. pro vícevrstvé vinutí je dána součinem počtu vrstev vinutí a šířky cívky
C	– označení kondenzátoru na schématu
C_{DRAIN} [F]	– kapacita mezi vývody DRAIN a SOURCE obvodu TOPSwitch
C_{IN} [F]	– kapacita vstupního kondenzátoru zdroje
CMA [Cmils/A]	– proudová kapacita vodiče (Cmil = circular mil = plocha kruhového průřezu v milech, 1 mil = 1/1000 palce = 25,4 μm)
CMOS	– označení typu technologie tranzistoru řízeného polem (CMOS = Complementary Metal Oxide Semiconductor = komplementární – struktura s tranzistorem s kanálem N i P, vytvořená z kovu, oxidu a polovodiče)
CONTROL	– označení řídicího vstupu obvodů TOPSwitch (control = řízení)
cos φ	– účinnost
C_{SS} [F]	– kapacita kondenzátoru měkkého startu (SS = soft start)
C_T [F]	– kapacita vstupu CONTROL proti SOURCE
CuL	– označení pro měděný vodič s lakovou izolací
C_X [F]	– kapacita blokovacího kondenzátoru

C_{XT} [F]	– kapacita primárního vinutí transformátoru
D	– označení diody na schématu
DC/DC	– převodník ze stejnosměrného napětí na vstupu na stejnosměrné napětí na výstupu, obvykle o jiné velikosti či polaritě (DC = direct current = přímý, stejnosměrný proud)
DC_{MAX} [%]	– maximální hodnota střídavy spínání (DC = duty cycle = pracovní cyklus = obvykle poměr doby sepnutí k době periody, někdy i poměr doby sepnutí k době rozepnutí)
DC_{MIN} [%]	– minimální hodnota střídavy spínání
di/dt [A/s]	– rychlost nárůstu (nebo poklesu) proudu v čase, strmost nárůstu proudu
DIA [mm]	– průměr vodiče (dia = diameter = průměr)
DIA_s [mm]	– průměr sekundárního vodiče
DIL	– označení typu pouzdra integrovaného obvodu (DIL = dual in line = vývody ve dvou řadách)
DIP-8	– označení typu pouzdra integrovaného obvodu s osmi vývody
DRAIN	– označení elektrody obvodů TOPSwitch, na kterou je uvnitř struktury připojen i drain (kolektor) interního tranzistoru MOSFET
du/dt [V/s]	– rychlost nárůstu (nebo poklesu) napětí v čase, strmost nárůstu napětí
EA	– označení pro chybový zesilovač na schématu (EA = error amplifier = chybový zesilovač)
EMI	– označení pro elektromagnetickou kompatibilitu (EMI = electromagnetic interference = elektromagnetické vzájemné působení)
ESL [Ω]	– efektivní sériový odpor cívky (ESL = effective serial L = efektivní sériový – odpor – cívky)
ESR [Ω]	– efektivní sériový odpor kondenzátoru (ESR = effective serial resistor)
f_L [Hz]	– kmitočet sítě (L = line = síť)
f_s [Hz]	– kmitočet spínání, přepínání (S = switch = přepínání)
FREQUENCY	– označení vývodu obvodu TOPSwitch, pomocí kterého lze nastavovat hodnotu spínacího kmitočtu
HV RTN	– označení výstupního zemního vodiče (HV RTN = high voltage return = návrat vysokého napětí)
I_{ACRMS} [A]	– efektivní hodnota střídavého proudu (AC = alternating current = střídavý proud, RMS = root mean square = střední kvadratická hodnota = efektivní hodnota)
I_{AVG} [A]	– střední hodnota proudu (AVG = average = průměr)
I_C [A]	– nabíjecí proud vstupu CONTROL
I_{CTRL} [A]	– proud řídicí elektrody CONTROL obvodu TOPSwitch
I_D [A]	– proud elektrody DRAIN obvodu TOPSwitch, s níž je uvnitř struktury spojen drain (kolektor) interního MOSFET tranzistoru
I_{DC1} [A]	– vybíjecí proud řídicí elektrodou CONTROL při interním tranzistoru MOSFET sepnutém (DC = discharge current = vybíjecí proud)

I_{DC2} [A]	– vybíjecí proud řídicí elektrodou CONTROL při interním tranzistoru MOSFET rozepnutém
I_F [A]	– proud vývodem FREQUENCY
I_{LIMIT} [A]	– proud omezení, limitace obvodu TOPSwitch (limit = hranice, mez)
$I_{LIMIT\ int}$ [A]	– proud interního (vnitřního) omezení obvodem TOPSwitch
I_M [A]	– maximální hodnota proudu
$I_{M(DC)}$ [A]	– maximální hodnota proudu
I_{OB} [A]	– proudová hranice mezi spojitým a nespojitým režimem činnosti spínaného zdroje
I_P [A]	– špičková hodnota primárního proudu
I_{PRI} [A]	– proud primárním vinutím transformátoru
I_R [A]	– zvlněná hodnota primárního proudu
I_{RIPPLE} [A]	– efektivní hodnota zvlněného proudu (ripple = vlnění)
I_{RMS} [A]	– efektivní hodnota primárního proudu
I_{SEC} [A]	– proud sekundárním vinutím transformátoru
I_{SP} [A]	– špičková hodnota sekundárního proudu
I_{SRMS} [A]	– efektivní hodnota sekundárního proudu
I_{UV} [A]	– proud podpětí (UV = under voltage = pod napětí = podpětí)
j [A/mm ²]	– proudová hustota
K_{JA} [K/W]	– tepelný odpor mezi přechodem (junction = přechod) a okolím (ambient = okolí)
K_{JC} [K/W]	– tepelný odpor mezi přechodem a pouzdrem součástky (case = pouzdro)
K_{RP} [%]	– koeficient poměru zvlněného a špičkového proudu (RP = ripple peak = zvlnění – špička)
L [H]	– indukčnost
L	– označení cívky (tlumivky) na schématu
L_e [cm]	– efektivní délka magnetické siločáry jádra transformátoru
LED	– označení pro svítivou diodu na schématu (LED = light emitting diode = světlo emitující dioda)
L_g [m]	– velikost „vzduchové“ mezery v magnetickém obvodu jádra transformátoru (L_g = length gap = délka mezery)
L_{MAX} [H]	– maximální hodnota indukčnosti cívky
L_{MIN} [H]	– minimální hodnota indukčnosti cívky
L_P [H]	– indukčnost primárního vinutí transformátoru
M [mm]	– velikost (délka) izolační vzdálenosti mezi okrajem vinutí a cívkou transformátoru
MOSFET	– označení unipolárního tranzistoru (MOS = metal oxide semiconductor = kov oxid polovodič), řízeného polem (FET = field effect transistor = tranzistor s efektem elektrického pole)
MULTIFUNCTION	– označení vícefunkční elektrody obvodů TOPSwitch řady FX

N	– označení vinutí transformátoru
N_B	– počet závitů zpětnovazebního vinutí (B = bias = ovlivnit)
N_J [1/V]	– konstanta transformátoru, určující počet závitů na jeden volt daného vinutí
N_P	– počet závitů primárního vinutí transformátoru
N_S	– počet závitů sekundárního vinutí transformátoru
OD [mm]	– průměr vodiče včetně tloušťky jeho izolace (OD = out diameter = = vnější průměr)
OD_S [mm]	– průměr sekundárního vodiče včetně tloušťky jeho izolace
ON/OFF	– označení vstupu, kterým lze obvod TOPSwitch zapínat a vypínat (přechod z aktivní činnosti do neaktivní a naopak)
OV	– přepětí (OV = over voltage = přepětí)
P [W]	– výkon
P1 [W]	– příkon, primární výkon
P_{CXT} [W]	– ztrátový výkon přepínacími ztrátami
PF	– označení pro účinnost (cos φ) v USA (Power Factor = výkonový faktor)
PFC	– korekce účinku (Power Factor Correction = korekce výkonového faktoru)
P_{IR} [W]	– ztrátový výkon obvodů TOPSwitch vedením proudu sepnutým interním tranzistorem MOSFET
PIV_B [V]	– maximální hodnota závěrného (B = bias = ovlivnit) špičkového napětí na usměrňovací diodě zpětnovazebního usměrňovače (PIV = peak inverse voltage = špičkové závěrné napětí)
PIV_S [V]	– maximální hodnota závěrného špičkového napětí na usměrňovací diodě sekundárního usměrňovače
P_{MIN} [W]	– minimální hodnota výkonu
PN	– označení pro PN přechod (polovodičové diody, tranzistoru, ...)
P_O, P_{OUT} [W]	– výstupní výkon (O = output = výstup)
P_{PEAK} [W]	– špičkový výkon
PWM	– zkratka pro označení pulzně šířkové modulace jako regulačního principu spínaného zdroje (PWM = pulse width modulation = pulzně šířková modulace)
R	– označení odporu na schématu
R_A, R_B [Ω]	– ohmická hodnota odporu
RC	– označení pro RC člen, tj. pro dvojici odpor a kondenzátor
RCD	– označení pro ochranný obvod na primáru transformátoru, složený z odporu, kondenzátoru a diody
R_D [Ω]	– odpor diody D v propustném směru
R_{DS(ON)}	– odpor kanálu interního tranzistoru MOSFET v obvodu TOPSwitch mezi kolektorem (DRAIN) a emitorem (SOURCE) v sepnutém stavu (ON)

R_E [Ω]	– interní snímací odpor v TOPSwitch
R_{IL} [Ω]	– odpor nastavení omezení proudu
R_{LS} [Ω]	– odpor nastavení velikosti hranice podpětí a přepětí
R_{ZD2} [Ω]	– odpor Zenerovy diody ZD2 v pracovním bodě za kolenem její charakteristiky v závěrném směru
S_{Fe} [m^2]	– průřez jádra transformátoru
SMD	– suface mounting devices = povrchová montáž součástek
SMD-8	– typ pouzdra integrovaného obvodu s osmi vývody pro SMD montáž
SOURCE	– označení pro elektrodu obvodů TOPSwitch, která je interně spojena s emitorem (source) tranzistoru MOSFET
T [s]	– doba periody spínání
T1	– označení transformátoru na schématu
T_{100} [s]	– doba periody napětí po dvoucestném usměrnění sítě 50 Hz
t_c [s]	– doba po kterou vede dioda vstupního usměrňovače proud (C = conducting = vedení, vodivý)
TC [1/cm]	– počet závitů daného vodiče, který se vejde na 1 cm šířky vinutí cívky
THD	– označení pro zkreslení v USA (THD = total harmonic distortion = celkové harmonické zkreslení)
T_j [$^{\circ}C$]	– teplota přechodu (J = junction = přechod)
TO-220-7B	– typ pouzdra obvodů TOPSwitch se sedmi pozicemi pro vývody, ale jen s pěti skutečnými vývody
t_{OFF} [s]	– doba vypnutí, rozepnutí
t_{ON} [s]	– doba sepnutí
U	– označení integrovaného obvodu na schématu
U_{ACMAX} [V]	– nejvyšší možná efektivní hodnota střídavého (sítového) vstupního napětí spínaného zdroje
U_{ACMIN} [V]	– nejnižší možná efektivní hodnota střídavého (sítového) vstupního napětí spínaného zdroje
U_B [V]	– hodnota zpětnovazebního napětí
U_{BE} [V]	– napětí na bázevém přechodu bipolárního tranzistoru v propustném směru (mezi bází a emitorem)
U_{CES} [V]	– saturační napětí bipolárního tranzistoru
U_{CLO} [V]	– indukované napětí na primárním vinutí transformátoru
U_{CTRL} [V]	– napětí mezi řídicí elektrodou CONTROL a elektrodou SOURCE (zem) obvodu TOPSwitch
U_D, U_F [V]	– napětí na diodě v propustném směru (F = forward = přední)
U_{D2} [V]	– propustné napětí na diodě D2
U_{DB} [V]	– propustné napětí na diodě zpětnovazebního usměrňovače
U_{DS} [V]	– propustné napětí na diodě sekundárního usměrňovače
$U_{DS(ON)}$ [V]	– napětí mezi elektrodami DRAIN a SOURCE obvodu TOPSwitch při jeho sepnutí

U_{DSmax} [V]	– maximální napětí mezi elektrodami DRAIN a SOURCE obvodu TOPSwitch
U_{DS0} [V]	– napětí mezi elektrodami DRAIN a SOURCE obvodu TOPSwitch v jeho rozepnutém stavu
U_{IN} [V]	– stejnosměrné vstupní napětí (na kondenzátoru C1 zdroje)
U_{LED} [V]	– napětí na svítivé diodě (LED) optronu v propustném směru
U_{MS} [V]	– napětí mezi vývody MULTIFUNCTION a SOURCE
U_O, U_{OUT} [V]	– výstupní napětí
U_{OV} [V]	– velikost přepětí, při kterém reaguje přepětěová ochrana obvodů TOPSwitch
U_R [V]	– velikost závěrného napětí na diodě (R = reverse = zpětný)
U_{REF} [V]	– velikost referenčního napětí (obvykle obvodu TL431)
U_{UV} [V]	– velikost podpětí, při kterém reaguje podpětěová ochrana obvodů TOPSwitch
UV	– označení pro podpětí (UV = under voltage = podpětí)
U_{ZD2} [V]	– napětí na Zenerově diodě v pracovním bodě v závěrném směru za kolenem její VA charakteristiky
VA	– zkratka pro voltampérovou charakteristiku součástky
$W_{F(max)}$ [m]	– maximální hodnota tloušťky stěny cívky
$W_{T(min)}$ [m]	– celková šířka cívky včetně tloušťky bočních stěn (pro možnost zjištění, zda se taková cívka vejde do jádra)
Z [Ω]	– impedance
Z_C [Ω]	– impedance vstupní elektrody CONTROL proti SOURCE
ZD	– označení pro Zenerovu diodu na schématu, také ZD1, ZD2, ...
η [%]	– účinnost
π	– Ludolfovo číslo (3,14159...)
ΔI_{CTRL} [A]	– změna proudu řídicí elektrodou CONTROL
ΔI_D [A]	– změna proudu elektrodou DRAIN
ΔU_{OUT} [V]	– změna výstupního napětí zdroje
ΔU_{REF} [V]	– změna referenčního napětí
Φ_M [Wb]	– maximální (špičková) hodnota magnetického toku jádra
τ_{RR} [s]	– vypínací doba diody (RR = reverse recovery time = doba závěrného zotavení)

ÚVOD

Obvody TOPSwitch

Firma **Power Integrations, Inc.** 5245 Hellyer Avenue San Jose, CA 95138 USA vyrábí několik řad obvodů TOPSwitch. Tyto obvody lze vzhledem k jejich jednoduchosti přirovnat k třísvorkovým lineárním monolitickým stabilizátorům a lze je považovat za současné optimum řešení spínaných zdrojů o výkonu do **250 W**. V ČR se prodávají vybrané obvody, určené pro napájení ze sítě **230 V**, tj. obvody **TOP2xx**. Např. fa GM Electronic inzeruje (ke dni 14. 11. 2001) následující typy těchto obvodů:

typ	skl. číslo	cena Kč
TOP201YAI	332-055	190,-
TOP202YAI	332-056	245,-
TOP204YAI	332-053	370,-
TOP210PFI	332-054	125,-
TOP214YAI	332-064	237,-

Všechna zapojení, která jsou uvedena s obvody **TOP1xx** jsou určena pro střídavé napětí sítě **110 V** a lze je při použití obvodů **TOP2xx** aplikovat i na síťové napětí **230 V** po zdvojnásobení počtu primárních závitů transformátoru.

Detailní katalogové listy všech obvodů pro možnost porovnání jednotlivých typů jsou na adrese <http://www.powerint.com/datasheets.htm>, z těchto katalogových listů vycházejí i zde uveřejněné parametry.

Transformátory

Všechny obvody TOPSwitch jsou přednostně určeny do zapojení s transformátorem a zpětnou vazbou, ať již z výstupu nebo ze samostatného sekundárního zpětnovazebního vinutí. Protože transformátor jako součástku nelze koupit hotový a je nutno jej vždy individuálně vinout, je zde věnována způsobu zhotovení velká pozornost. Vlastní návrh transformátoru pak je dán programem v Excelu od fy **Power Integrations, Inc.**, který si lze volně zkopírovat po přihlášení na adrese <http://www.powerint.com/designsoftware.htm>. Program je však poplatný americké provenienci a tak v řadě bodů se označování veličin liší od evropských zvyklostí. Pokud by některý čtenář měl zájem o jeho českou mutaci, lze se obrátit na autora pomocí e-mailu.

Magnetické materiály pro konstrukci jader transformátorů, ale i další díly jako jsou kostry cívek a vodiče nejsou obvykle běžně na trhu. Velký sortiment těchto materiálů však prodává jak osobně, tak i na dobírku fa **Elektronika JD&VD**, Mečovská 378/3, 193 00 Praha Horní Počernice, jejíž nabídku najdete na adrese <http://www.ferity.cz/>. Vede prakticky celý sortiment firmy Pramet Šumperk, jako jsou jádra (E, EI, EDT, EC, EF, toroidy apod.) včetně cívkových koster, montážních spon a samopájecích vodičů.

Firma prodává i kusové množství, ceník je na uvedené adrese. Pro odběr ve větším množství je možno se obrátit i na adresu <http://www.tr.edb.cz/unilex.htm>, kde inzeruje firma, navijející transformátory, cívky i odrušovací tlumivky.

Schématá zapojení

Přestože jsou si všechna schémata zapojení spínaných zdrojů s obvodu TOPSwitch do značné míry podobná, byl pro přehlednost popisu zvolen způsob kreslení vždy celého zapojení a ne jen změněné části. Na některých schématech je vedením vodičů zdůrazněno spojení součástek v jediném zemním bodu, ale tento způsob spojování platí samozřejmě pro všechna uvedená zapojení. V jednotlivých popisech zapojení se i opakují několikrát stejná fakta tak, aby se omezil počet odkazů a čtenář nemusel číst celou knihu při studiu jednoho zapojení.

Některá schémata vycházejí z profesionálních výrobků – spínaných napájecí zdrojů řady ST200 (v knize je nejčastěji zmiňovaný typ ST202A). Jedná se o finální výrobky určené pro telekomunikační techniku, které nejsou bohužel na trhu běžně dostupné.

Bezpečnost

Vzhledem k tomu, že všechna zapojení jsou přímo galvanicky spojena se sítí, existuje zejména při oživování velké nebezpečí úrazu a to jak dotykem na fázový vodič proti zemi, tak dotykem mezi fázovým a nulovým vodičem. Pro oživování těchto typů zdrojů se doporučuje používat oddělovacího transformátoru **1 : 1 (230 V/230 V)**. Takové transformátory nejsou běžně k dispozici, ale lze je snadno nahradit dvojicí transformátorů. Nejvhodnější jsou toroidní transformátory **230 V/12 V** pro osvětlovací techniku, které se vyrábějí a standardně prodávají pro celou škálu potřebných výkonů. Připojíme-li na výstup takového transformátoru stejný další, ale v opačném převodu, dostaneme výsledkem oddělovací transformátor. Při jeho použití již je výstupní napětí **230 V** vzhledem k zemi plovoucí a dotykem na jeden z vodičů již nemůže dojít k úrazu. Samozřejmě nebezpečí dotyku mezi oběma výstupními vodiči trvá.

Z hlediska bezpečnosti při vlastním provozu zdroje je nutno věnovat mimořádnou péči realizaci transformátoru, který musí vyhovovat zejména z hlediska izolačních vzdáleností jak jednotlivých vinutí, tak potom i připojením na plošný spoj.

Měření

Pro všechny spínané zdroje obecně platí omezená možnost užívat při měření střídavých měřících přístrojů, které obvykle nemají možnost měřit skutečnou efektivní hodnotu daného průběhu. Většina přístrojů měří střední hodnotu po usměrnění a tuto hodnotu převádí koeficientem **1,11** na hodnotu efektivní, zobrazovanou na displeji. Koeficient **1,11** však platí pouze pro sinusový průběh a jakákoliv odchylka od tohoto sinusového průběhu znamená, že tyto přístroje užít nelze. Proto je nejčastější užívání osciloskopů, které průběhy zobrazují věrně. Většina osciloskopů má však svoji zem spojenou se zemí sítě a tím ve všech zapojeních spínaných zdrojů, kde je na vstupu můstkový usměrňovač jsou tyto osciloskopy vlastně nepoužitelné. Řešením je užít osciloskop se speciálním vstupem, jehož vstupní svorka nižšího potenciálu

může „plavat“ na poměrně vysokém napětí, nebo užít dvoukanálový osciloskop v diferenciálním zapojení a konečně užít oddělovací transformátor (viz výše) a zemnit osciloskopem právě ten jeden jediný měřený bod zapojení, kam připojujeme zem měřicí sondy.

Přestože spínané zdroje s obvody TOPSwitch lze považovat v současných aplikacích za „horkou“ novinku, existuje kromě firemní literatury velmi málo aplikačních publikací. Je možno jen doufat, že tato publikace se stane vodítkem pro širší aplikaci těchto obvodů, které se dostaly teprve nedávno na náš trh.

Publikace byla zpracována v rámci řešení úkolu Rozhodování a řízení pro průmyslovou výrobu, Vývoj inteligentních průmyslových automatů a prostředí pro jejich obsluhu 34-99136 – Napájecí zdroje průmyslových automatů.

Pokud by vznikly nějaké připomínky, případné dotazy, lze se obrátit na autora prostřednictvím e-mailové adresy

krejciri@feld.cvut.cz