

**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

---

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

# OBSAH

<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>13</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>19</b>
<b>1 POPIS ČINNOSTI OBVODŮ TOPSWITCH .....</b>	<b>23</b>
<b>1.1 Popis činnosti obvodů TOP100-104 .....</b>	<b>24</b>
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
<b>1.2 Popis činnosti obvodů TOP200-204, 214 .....</b>	<b>38</b>
1.2.1 Popis obvodů .....	38
1.2.2 Parametry obvodů .....	39
<b>1.3 Popis činnosti obvodů TOP209-210 .....</b>	<b>40</b>
1.3.1 Popis obvodů .....	41
1.3.2 Popis vývodů .....	41
1.3.3 Aplikační doporučení .....	41
1.3.4 Parametry obvodů .....	42
<b>1.4 Popis činnosti obvodů TOP221-227 .....</b>	<b>43</b>
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
<b>1.5</b>	<b>Popis činnosti obvodů TOP232-234 .....</b>	<b>48</b>
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
<b>1.6</b>	<b>Popis činnosti obvodů TOP412-414 .....</b>	<b>88</b>
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
<b>1.7</b>	<b>Popis činnosti obvodů TOP242-249 .....</b>	<b>92</b>
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
<b>2</b>	<b>NÁVRH ZPĚTNOVAZEBNÍHO OBVODU .....</b>	<b>113</b>
<b>2.1</b>	<b>Základní principy zpětnovazebních obvodů pro TOPSwitch .....</b>	<b>114</b>
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
<b>2.2</b>	<b>Postup návrhu .....</b>	<b>125</b>
2.2.1	Postup krok za krokem .....	127
<b>2.3</b>	<b>Jednoduchá zpětná vazba u obvodů TOP200 .....</b>	<b>149</b>
2.3.1	Jednoduchý zdroj s napětím 5 V a obvodem TOP200 .....	149
<b>2.4</b>	<b>Zapojení bez zpětné vazby .....</b>	<b>157</b>
2.4.1	Zdroj bez zpětné vazby 5,1 V/20 mA .....	158
<b>2.5</b>	<b>Účinnost zpětnovazebního zapojení s obvodem TOPSwitch .....</b>	<b>160</b>
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
<b>3</b>	<b>KONSTRUKCE TRANSFORMÁTORU .....</b>	<b>185</b>
<b>3.1</b>	<b>Konstrukční materiály transformátorů .....</b>	<b>187</b>
<b>3.2</b>	<b>Metody konstrukce transformátorů .....</b>	<b>188</b>
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
<b>3.3</b>	<b>Program pro konstrukci transformátoru .....</b>	<b>198</b>
3.3.1	Parametry programu, použité pro specifikaci transformátoru .....	199
3.3.2	Postup kroků konstrukce transformátoru .....	199
<b>3.4</b>	<b>Příklady konstrukce transformátorů pro zdroj 12 V/15 W .....</b>	<b>204</b>
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
<b>3.5</b>	<b>Program pro návrh zpětnovazebního transformátoru .....</b>	<b>220</b>

<b>4</b>	<b>NÁVRH ZDROJE POMOCÍ KŘIVEK .....</b>	<b>235</b>
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
<b>5</b>	<b>METODY OCHRANY PROTI SÍŤOVÉMU PŘEPĚTÍ .....</b>	<b>245</b>
5.1	Typický přechodný napěťový test .....	246
5.2	Měření obvodových parametrů .....	248
5.3	Měření v diferenciálním módu .....	253
<b>6</b>	<b>PROBLÉMY NÁVRHU .....</b>	<b>255</b>
6.1	<b>Příklady předcházení problémům v obvodech napájecího zdroje .....</b>	<b>260</b>
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	<b>Ochrana interního tranzistoru proti přepětí .....</b>	<b>264</b>
6.3	<b>Návrh plošného spoje .....</b>	<b>265</b>
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	<b>Návrh zpětnovazebního transformátoru .....</b>	<b>267</b>
6.4.1	Výkon a indukčnost primárního vinutí .....	267
6.4.2	Křivky transformačního poměru závitů .....	270
6.5	<b>Optimalizace účinnosti spínaného zdroje .....</b>	<b>270</b>
6.6	<b>Návrh tepelných poměrů .....</b>	<b>271</b>
6.6.1	Chladič .....	271
6.6.2	Tepelná ochrana celého spínaného zdroje .....	272
6.7	<b>Autorestart .....</b>	<b>272</b>
6.8	<b>Výstupní přepětěová ochrana .....</b>	<b>273</b>
6.9	<b>Proud pro změnu střídy .....</b>	<b>275</b>

<b>6.10</b>	<b>Činnost při minimální hodnotě střidy .....</b>	<b>275</b>
<b>6.11</b>	<b>Smyčka zpětné vazby .....</b>	<b>275</b>
6.11.1	Základní techniky .....	275
6.11.2	Obvod TOPSwitch s rozšířenou šířkou pásma .....	277
<b>6.12</b>	<b>EMI (Electromagnetic Interference, elektromagnetické rušení) ...</b>	<b>278</b>
6.12.1	Přednosti obvodů TOPSwitch .....	278
6.12.2	Návrh odrušovacího filtru .....	278
<b>6.13</b>	<b>Měkký start .....</b>	<b>278</b>
6.13.1	Zpětná vazba s optronem .....	278
6.13.2	Zpětná vazba ze samostatného vinutí .....	279
<b>6.14</b>	<b>Doporučené zapojení optronu .....</b>	<b>280</b>
<b>6.15</b>	<b>Obvod vypínání při vstupním podpětí .....</b>	<b>280</b>
6.15.1	Zpětná vazba s optronem .....	280
6.15.2	Zpětná vazba ze samostatného vinutí .....	281
<b>6.16</b>	<b>Zdvojovač napětí pro zvýšení výstupního napětí .....</b>	<b>282</b>
<b>6.17</b>	<b>Preregulátor PFC</b>	
	<b>(Power Factor Correction = korekce účinníku) .....</b>	<b>283</b>
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
<b>7</b>	<b>OBVODY PRO REGULACI</b>	
	<b>NA KONSTANTNÍ PROUD A VÝKON .....</b>	<b>287</b>
<b>7.1</b>	<b>Tranzistorový obvod proudového limitu zdroje 7,5 V/1 A .....</b>	<b>288</b>
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
<b>7.2</b>	<b>Popis zdroje 15 V/2 A .....</b>	<b>294</b>
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
<b>7.3</b>	<b>Řízení zdroje 15 V/2 A na konstantní výkon .....</b>	<b>300</b>
7.3.1	Popis obvodu .....	300
7.3.2	Korekce nepřesného napětí Zenerovy diody .....	303



<b>7.4</b>	<b>Zapojení zdroje s vysokou přesností proudového omezení výstupu .....</b>	<b>304</b>
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
<b>8</b>	<b>NÁVRH ZDROJE S VÍCE VÝSTUPY .....</b>	<b>309</b>
<b>8.1</b>	<b>Postup návrhu .....</b>	<b>311</b>
<b>8.2</b>	<b>Požadavky na výstupní napětí .....</b>	<b>311</b>
<b>8.3</b>	<b>Návrh transformátoru .....</b>	<b>313</b>
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
<b>8.4</b>	<b>Návrh výstupního usměrňovače .....</b>	<b>323</b>
<b>8.5</b>	<b>Popis činnosti obvodu .....</b>	<b>325</b>
<b>8.6</b>	<b>Spojení optronem .....</b>	<b>329</b>
<b>8.7</b>	<b>Obvod měkkého startu .....</b>	<b>330</b>
<b>8.8</b>	<b>Zlepšení regulace při malých hodnotách výstupní zátěže .....</b>	<b>331</b>
<b>8.9</b>	<b>Výstupy záporného napětí .....</b>	<b>331</b>
<b>8.10</b>	<b>Výstupy 3,3 V a 5 V .....</b>	<b>332</b>
8.10.1	Lineární stabilizátor .....	332
8.10.2	Odbočka na vinutí +5 V .....	333
8.10.3	Samostatná vinutí .....	333
<b>8.11</b>	<b>Konstrukční detaily transformátoru .....</b>	<b>335</b>
<b>9</b>	<b>NEIZOLOVANÝ ZPĚTNOVAZEBNÍ ZDROJ .....</b>	<b>339</b>
<b>9.1</b>	<b>Zdroj pro stejnosměrný motor .....</b>	<b>340</b>
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
<b>9.2</b>	<b>Zdroj pro motor 5 V s pomocnými výstupy .....</b>	<b>343</b>
<b>9.3</b>	<b>Levný zdroj s výstupním napětím +5 V .....</b>	<b>345</b>
<b>9.4</b>	<b>Návrh transformátoru .....</b>	<b>347</b>

<b>10</b>	<b>DALŠÍ PŘÍKLADY SPÍNANÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>349</b>
<b>10.1</b>	<b>Levný zdroj s malým počtem součástek .....</b>	<b>350</b>
<b>10.2</b>	<b>Napájecí zdroj pro výkonový přijímač .....</b>	<b>355</b>
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
<b>10.3</b>	<b>DC/DC měniče .....</b>	<b>365</b>
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
<b>10.4</b>	<b>Spínaný zdroj 375 V/15 V bez transformátoru .....</b>	<b>378</b>
<b>10.5</b>	<b>Nabíječka pro akumulátory 12 V .....</b>	<b>380</b>
	<b>PŘÍLOHA I .....</b>	<b>383</b>
	<b>PŘÍLOHA II .....</b>	<b>384</b>
	<b>PŘÍLOHA III .....</b>	<b>385</b>
	<b>LITERATURA .....</b>	<b>386</b>

# SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

<b>A<sub>e</sub> [cm<sup>2</sup>]</b>	– efektivní průřez magnetického jádra transformátoru
<b>A<sub>L</sub> [H/T<sup>2</sup>]</b>	– efektivní hodnota indukční konstanty jádra transformátoru bez vzduchové mezery v jádře
<b>A<sub>L</sub> [H]</b>	– indukční konstanta jádra bez vzduchové mezery
<b>A<sub>LG</sub> [H]</b>	– indukční konstanta pro nastavenou velikost šířky vzduchové mezery (G = gap = mezera)
<b>AWG</b>	– americké označení průměrů vodičů (American Wire Gauge)
<b>B<sub>AC</sub> [T]</b>	– střídavá efektivní hodnota magnetické indukce
<b>B<sub>M</sub>, B<sub>MAX</sub> [T]</b>	– maximální hodnota magnetické indukce
<b>BOOST</b>	– označení pro spínané zdroje zvyšující napětí na výstupu proti napětí vstupnímu (boost = vzhůru)
<b>BR</b>	– označení můstkového usměrňovače na schématech (BR = bridge = most)
<b>BUCK</b>	– označení pro spínané zdroje, snižující výstupní napětí oproti napětí vstupnímu (buck off = shodit)
<b>BV<sub>DSS</sub> [V]</b>	– závěrné napětí mezi kolektorem a emitorem tranzistoru MOSFET (BV = breakdown voltage = poruchové závěrné napětí)
<b>BW [mm]</b>	– šířka cívky pro vinutí (BW = bobin width = šířka cívky)
<b>BW<sub>E</sub> [mm]</b>	– efektivní šířka cívky, např. pro vícevrstvé vinutí je dána součinem počtu vrstev vinutí a šířky cívky
<b>C</b>	– označení kondenzátoru na schématu
<b>C<sub>DRAIN</sub> [F]</b>	– kapacita mezi vývody DRAIN a SOURCE obvodu TOPSwitch
<b>C<sub>IN</sub> [F]</b>	– kapacita vstupního kondenzátoru zdroje
<b>CMA [Cmils/A]</b>	– proudová kapacita vodiče (Cmil = circular mil = plocha kruhového průřezu v milech, 1 mil = 1/1000 palce = 25,4 μm)
<b>CMOS</b>	– označení typu technologie tranzistoru řízeného polem (CMOS = Complementary Metal Oxide Semiconductor = komplementární – struktura s tranzistory s kanálem N i P, vytvořená z kovu, oxidu a polovodiče)
<b>CONTROL</b>	– označení řídicího vstupu obvodů TOPSwitch (control = řízení)
<b>cos φ</b>	– účinník
<b>C<sub>SS</sub> [F]</b>	– kapacita kondenzátoru měkkého startu (SS = soft start)
<b>C<sub>T</sub> [F]</b>	– kapacita vstupu CONTROL proti SOURCE
<b>CuL</b>	– označení pro měděný vodič s lakovou izolací
<b>C<sub>X</sub> [F]</b>	– kapacita blokovacího kondenzátoru

<b>C<sub>XT</sub> [F]</b>	– kapacita primárního vinutí transformátoru
<b>D</b>	– označení diody na schématu
<b>DC/DC</b>	– převodník ze stejnosměrného napětí na vstupu na stejnosměrné napětí na výstupu, obvykle o jiné velikosti či polaritě (DC = direct current = přímý, stejnosměrný proud)
<b>DC<sub>MAX</sub> [%]</b>	– maximální hodnota střídavy spínání (DC = duty cycle = pracovní cyklus = obvykle poměr doby sepnutí k době periody, někdy i poměr doby sepnutí k době rozepnutí)
<b>DC<sub>MIN</sub> [%]</b>	– minimální hodnota střídavy spínání
<b>di/dt [A/s]</b>	– rychlost nárůstu (nebo poklesu) proudu v čase, strmost nárůstu proudu
<b>DIA [mm]</b>	– průměr vodiče (dia = diameter = průměr)
<b>DIA<sub>s</sub> [mm]</b>	– průměr sekundárního vodiče
<b>DIL</b>	– označení typu pouzdra integrovaného obvodu (DIL = dual in line = vývody ve dvou řadách)
<b>DIP-8</b>	– označení typu pouzdra integrovaného obvodu s osmi vývody
<b>DRAIN</b>	– označení elektrody obvodů TOPSwitch, na kterou je uvnitř struktury připojen i drain (kolektor) interního tranzistoru MOSFET
<b>du/dt [V/s]</b>	– rychlost nárůstu (nebo poklesu) napětí v čase, strmost nárůstu napětí
<b>EA</b>	– označení pro chybový zesilovač na schématu (EA = error amplifier = chybový zesilovač)
<b>EMI</b>	– označení pro elektromagnetickou kompatibilitu (EMI = electromagnetic interference = elektromagnetické vzájemné působení)
<b>ESL [Ω]</b>	– efektivní sériový odpor cívky (ESL = effective serial L = efektivní sériový – odpor – cívky)
<b>ESR [Ω]</b>	– efektivní sériový odpor kondenzátoru (ESR = effective serial resistor)
<b>f<sub>L</sub> [Hz]</b>	– kmitočet sítě (L = line = síť)
<b>f<sub>s</sub> [Hz]</b>	– kmitočet spínání, přepínání (S = switch = přepínání)
<b>FREQUENCY</b>	– označení vývodu obvodu TOPSwitch, pomocí kterého lze nastavovat hodnotu spínacího kmitočtu
<b>HV RTN</b>	– označení výstupního zemního vodiče (HV RTN = high voltage return = návrat vysokého napětí)
<b>I<sub>ACRMS</sub> [A]</b>	– efektivní hodnota střídavého proudu (AC = alternating current = střídavý proud, RMS = root mean square = střední kvadratická hodnota = efektivní hodnota)
<b>I<sub>AVG</sub> [A]</b>	– střední hodnota proudu (AVG = average = průměr)
<b>I<sub>C</sub> [A]</b>	– nabíjecí proud vstupu CONTROL
<b>I<sub>CTRL</sub> [A]</b>	– proud řídicí elektrody CONTROL obvodu TOPSwitch
<b>I<sub>D</sub> [A]</b>	– proud elektrody DRAIN obvodu TOPSwitch, s níž je uvnitř struktury spojen drain (kolektor) interního MOSFET tranzistoru
<b>I<sub>DC1</sub> [A]</b>	– 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 <sup>2</sup> ]	– 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 pouzdem 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

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

$R_E$ [ $\Omega$ ]	– interní snímací odpor v TOPSwitch
$R_{IL}$ [ $\Omega$ ]	– odpor nastavení omezení proudu
$R_{LS}$ [ $\Omega$ ]	– odpor nastavení velikosti hranice podpětí a přepětí
$R_{ZD2}$ [ $\Omega$ ]	– odpor Zenerovy diody ZD2 v pracovním bodě za kolenem její charakteristiky v závěrném směru
$S_{Fe}$ [ $m^2$ ]	– průřez jádra transformátoru
<b>SMD</b>	– surface mounting devices = povrchová montáž součástek
<b>SMD-8</b>	– typ pouzdra integrovaného obvodu s osmi vývody pro SMD montáž
<b>SOURCE</b>	– označení pro elektrodu obvodů TOPSwitch, která je interně spojena s emitorem (source) tranzistoru MOSFET
<b>T</b> [s]	– doba periody spínání
<b>T1</b>	– 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)
<b>TC</b> [1/cm]	– počet závitů daného vodiče, který se vejde na 1 cm šířky vinutí cívky
<b>THD</b>	– označení pro zkreslení v USA (THD = total harmonic distortion = celkové harmonické zkreslení)
$T_j$ [ $^{\circ}C$ ]	– teplota přechodu (J = junction = přechod)
<b>TO-220-7B</b>	– 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
<b>U</b>	– označení integrovaného obvodu na schématu
$U_{ACMAX}$ [V]	– nejvyšší možná <b>efektivní</b> hodnota střídavého (sítového) vstupního napětí spínaného zdroje
$U_{ACMIN}$ [V]	– nejnižší možná <b>efektivní</b> 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 přepěťová 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 podpěťová ochrana obvodů TOPSwitch
<b>UV</b>	– 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
<b>VA</b>	– 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)
<b>Z</b> [ $\Omega$ ]	– impedance
$Z_C$ [ $\Omega$ ]	– impedance vstupní elektrody CONTROL proti SOURCE
<b>ZD</b>	– označení pro Zenerovu diodu na schématu, také ZD1, ZD2, ...
$\eta$ [%]	– účinnost
$\pi$	– Ludolfovo číslo (3,14159...)
$\Delta I_{CTRL}$ [A]	– změna proudu řídicí elektrodou CONTROL
$\Delta I_D$ [A]	– změna proudu elektrodou DRAIN
$\Delta U_{OUT}$ [V]	– změna výstupního napětí zdroje
$\Delta U_{REF}$ [V]	– změna referenčního napětí
$\Phi_M$ [Wb]	– maximální (špičková) hodnota magnetického toku jádra
$\tau_{RR}$ [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.

Detailed 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 obvody 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**