

SWITCH MODE POWER SUPPLIES

Martin Folprecht

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xfolpr01@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Miroslav Patočka

E-mail: patocka@feec.vutbr.cz

Abstract: This article refers about my master thesis. The topic of my master thesis is the design and the construction of the switch mode power supply, which will be used as a laboratory tool. The design is shortly described and summarized in this article.

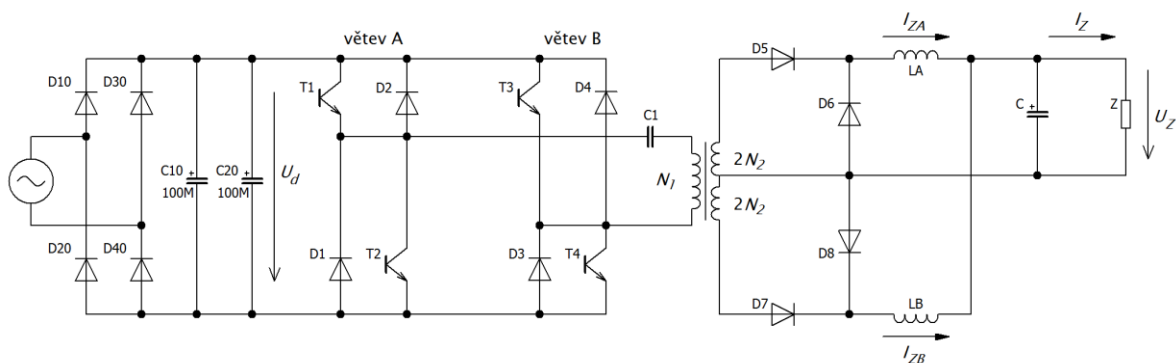
Keywords: Switch mode power supply; pulse transformer; pulse width modulation; MOS-FET transistors.

1 ÚVOD

Předmětem mé diplomové práce je návrh a konstrukce dvojjinného propustného měniče s impulsním transformátorem. Měnič je napájen z jednofázové sítě 230 V, 50 Hz. Výstupní stejnosměrné napětí lze regulovat v rozsahu 0 až 24 V, výstupní stejnosměrný proud lze regulovat v rozsahu 0 až 10 A. V režimu napěťové regulace je měnič vybaven nastavitelným proudovým omezením. Měnič pracuje na kmitočtu $f = 50$ kHz. Z důležitých uzlů jsou vyvedeny měřicí body, ke kterým je možné připojit osciloskop a ukázat studentům *Výkonové elektroniky* skutečné časové průběhy napětí.

2 VÝKONOVÁ ČÁST

Zapojení výkonové části měniče je uvedeno na obrázku 1. Výkonová část se skládá ze vstupního dvojpulsního usměrňovacího můstku (KBU8M, diody D₁₀ až D₄₀) se sběracími kondenzátory C₁₀ a C₂₀, spínacích tranzistorů (T₁ až T₄), primárních nulových diod (D₁ až D₄), impulsního transformátoru, sekundárních usměrňovacích (D₅ a D₇) a sekundárních nulových (D₆ a D₈) diod a výstupního LC-filtru. K řízení měniče je použit tzv. *první řídicí algoritmus*, který spočívá v současné spínání tranzistorů v jedné úhlopříčce (spínány jsou tedy současně tranzistory T₁ a T₄, nebo T₂ a T₃). Použity jsou MOS-FET tranzistory FCPF400N60 firmy Fairchild ($U_{DS} = 600$ V, $I_D = 10$ A). Výkonové diody D₁ až D₈ jsou typu MUR1560G ($U_{KA} = 600$ V, $I_{AV} = 15$ A). Impulsní transformátor je realizován na feritovém jádře ETD39, primární vinutí má $N_1 = 34$ závitů, dvojitě sekundární vinutí má $2 \cdot 2N_2 = 8$ závitů. Kvůli potlačení skin efektu je použito vf. lanko *Rupalit* [1].



Obrázek 1: Zapojení výkonové části.

Indukce v jádře má velikost $B_{max} = 0,35$ T. Každá z tlumivek LC-filtru má indukčnost $L_A = L_B = 600$ μ H. Tlumivky jsou realizovány na feritových jádrech ETD44, magnetická indukce má opět velikost $B_{max} = 0,35$ T. Vinutí každé z tlumivek má $N_A = N_B = 50$ závitů, vzduchová mezera má délku $l_v = 0,42$ mm. Baterie filtračních kondenzátorů má celkovou kapacitu $C = 108$ μ F a skládá se ze tří elektrolytických kondenzátorů (každý o kapacitě 33 μ F), osmi svitkových bezindukčních kondenzátorů (každý o kapacitě 1 μ F) a šesti keramických kondenzátorů (každý o kapacitě 220 nF) [1].

3 OPATŘENÍ PROTI STEJNOSMĚRNÉ MAGNETIZACI TRANSFORMÁTORU

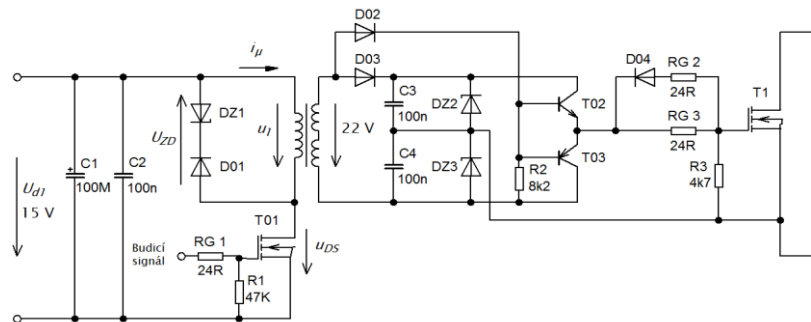
Při konstrukci dvojčinných měničů je největším problémem stejnosměrná magnetizace transformátoru, která je způsobena stejnosměrnou složkou primárního napětí. Zdálo by se, že problém lze plně odstranit použitím oddělovacího kondenzátoru C_1 . Ale není tomu tak, kromě oddělovacího kondenzátoru je nutné současně použít vhodný typ sekundárního usměrňovače se dvěma samostatnými tlumivkami. Jedno z řešení je na obrázku 1. Sekundární vinutí transformátoru je dvojité, ke každé sekci je připojen jednocestný usměrňovač s nulovou diodou a vlastní tlumivkou. Do série s primárním vinutím je spojen svitkový oddělovací kondenzátor C_1 . Jestliže jsou použity dvě tlumivky (L_A a L_B), proudy protékající tlumivkami mohou mít různou velikost I_{ZA} a I_{ZB} . Kladné a záporné proudové pulsy pak mohou mít různou výšku. Díky dvěma tlumivkám se v měniči ustálí rovnovážný stav, kdy plochy kladných a záporných sekundárních proudových pulsů mají stejnou velikost. Stejně jsou tedy i oba náboje Q_A a Q_B . Primární proud protékající oddělovacím kondenzátorem C_1 neobsahuje stejnosměrnou složku a kondenzátor se nabije pouze na malou hodnotu $U_{ss} = U_d \cdot \Delta s$, kde Δs je rozdíl střidy vyvolaný synchronním rušením (stavem, kdy jedna z úhlopříček můstku pracuje trvale s větší střidou než druhá úhlopříčka). Synchronní rušení vzniká v důsledku ovlivňování PWM modulátoru výkonovou částí měniče. Kondenzátor C_1 musí mít dostatečnou kapacitu, aby reaktanční napěťový úbytek na něm byl malý. Zvolen byl napěťový úbytek $\Delta U_C = 3$ V. Primární proudové pulsy mají výšku $I_1 = 1,176$ A. Pomocí Fourierovy transformace byl vypočítán vztah pro určení amplitudy první harmonické primárního proudu I_{a1} (1), kde s je střída [1], [2]:

$$I_{a1} = 2\sqrt{2} \frac{I_1}{\pi} \sqrt{1 - \cos(2\pi s)} \quad (1)$$

Ze znalosti amplitudy první harmonické primárního proudu a zvoleného napěťového úbytku pak byla vypočtena reaktance kondenzátoru a z ní kapacita $C_1 = 1,58$ μ F. Použitý je kondenzátor s kapacitou $C_1 = 1,5$ μ F a jmenovitým napětím 400 V. Každá sekce sekundárního vinutí dodává do příslušného usměrňovače proudové pulsy o výšce $I_Z/2$. Poloviční výška proudových pulsů musí být z důvodu energetické bilance kompenzována dvojnásobnou výškou sekundárních napěťových pulsů $2U_Z$. Proto mají obě sekce dvojnásobný počet sekundárních závitů, tedy $2N_2$ [1].

4 BUDIČ SPÍNACÍHO TRANZISTORU

Schéma budiče je nakresleno na obrázku 2. Každý ze spínacích tranzistorů (T1 až T4, obrázek 1) má

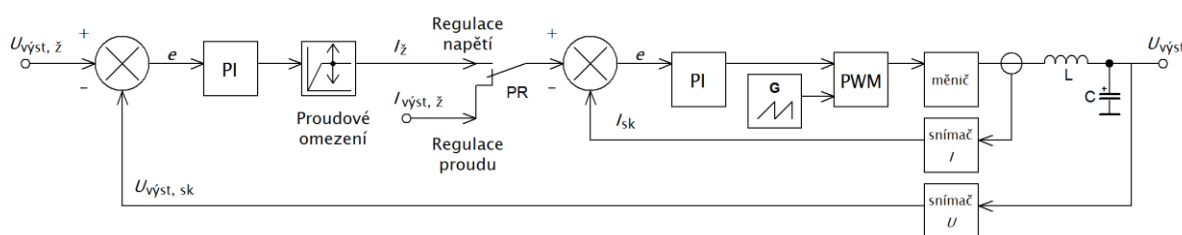


Obrázek 2: Zapojení budiče spínacího tranzistoru.

svůj vlastní budič s galvanickým oddělením řídicích napětí. Budič je řešený jako jednočinný propustný měnič s demagnetizací do Zenerovy diody. Budič umožňuje spínat výkonový tranzistor T_1 kladným napětím $U_{GS} = +15\text{ V}$ a vypínat záporným napětím $U_{GS} = -5\text{ V}$. Během demagnetizace je energie akumulovaná v jádře přeměňována na teplo v Zenerově diodě D_{Z1} . Budič je napájen napětím $U_{d1} = 15\text{ V}$ ze zvláštního zdroje. Transformátorek je realizován na jádře RM8 [1].

5 PWM MODULÁTOR A REGULAČNÍ OBVODY

Jako PWM modulátor je použit IO SG3525 od firmy ST Microelectronics. Obvod umožňuje spínat výkonové tranzistory pouze *prvním řídicím algoritmem*. K regulaci výstupních veličin je použita kaskádní regulační struktura s podřízenou proudovou smyčkou. Podřízená proudová smyčka eliminuje setrvačnost indukčnosti v LC-filtru, čímž snižuje řád regulované soustavy o jedničku. Regulační struktura je analogová a využívá pěti dvojitých OZ TL072. Žádané hodnoty napětí, proudu a proudového omezení se nastavují otočnými potenciometry. K napájení slouží samostatný napájecí zdroj $\pm 15\text{ V}$. Blokové schéma regulační struktury je nakresleno na obrázku 3 [3].



Obrázek 3: Blokové schéma regulační struktury spínaného zdroje.

6 ZÁVĚR

V článku jsou shrnuty výsledky návrhu dvojčinného propustného měniče s impulsním transformátorem, který bude sloužit jako výukový přípravek. Popsána je výkonová část měniče, budič spínacího tranzistoru a regulační struktura. Zvláštní důraz je kladen na opatření proti stejnosměrné magnetizaci impulsního transformátoru, vysvětleno je obvodové řešení silové části měniče a nastíněn výpočet kapacity impulsního oddělovacího kondenzátoru.

REFERENCE

- [1] PATOČKA, Miroslav. *Magnetické jevy a obvody ve výkonové elektronice, měřicí technice a silnoproudé elektrotechnice*. 1. vyd. V Brně: VUTIUM, 2011, 564 s. ISBN 978-80-214-4003-6
- [2] DRÁPELA, Jiří. *Kvalita elektrické energie a elektromagnetická kompatibilita*. Brno: FEKT VUT, 2016, s. 34-35.
- [3] ST MICROELECTRONICS. *SG2525A SG3525A: Regulating pulse width modulators*. June 2000.