

**ZÁPADO ČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY
A TELEKOMUNIKACÍ**

BAKALÁ ŔSKÁ PRÁCE

**Procesorem řízený spínaný regulovatelný proudový zdroj
12V/50A, 700W**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Evžen VYROUBAL**
Osobní číslo: **E09B0345P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**
Název tématu: **Procesorem řízený spínaný regulovatelný proudový zdroj
12V/50A, 700W**
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je zkonstruovat spínaný zdroj určený pro napájení vyvíječe Brownova plynu (elektrolyzér). Charakterem se jedná o zařízení typu proudový zdroj s napětovým omezením. Lze volit mezi koncepcí izolovaného a neizolovaného zdroje. Pro řízení použijte procesor firmy Texas Instruments řady TMS320F28xx.

1. Prostudujte potřebnou literaturu a navrhnete koncepci zařízení.
2. Prostudujte nabídku dobře dostupných součástek a konkretizujte zapojení zařízení. Zohledněte možnost kolísání vstupního napětí od 10V do 15V. Omezení výstupního napětí volte 30 až 40V.
3. Fyzicky realizujte funkční vzorek.
4. Odměřte parametry sestaveného zařízení, zejména schopnost chodu na výkonovém limitu jak při proudovém, tak při napětovém limitu.
5. Jako volitelný úkol vytvořte pro PC jednoduchý software určený ke komunikaci s řídicím procesorem zařízení.

Anotace

Vyroubal Evflén. Procesorem řízený spínaný regulovatelný zdroj proudu. Plzeň, 2013.

Realizace návrhu spínaného zdroje proudu, s výstupními parametry 50 [A] a 30 [V], za řízení se řadí do skupiny neinvertujících DC-DC konvertorů a slouží jako napájecí zdroj pro generátor Brownova plynu, je složeno ze dvou částí, Step-Up a Step-Down konvertorů a je napájeno z 12[V] baterie, za řízení není galvanicky odděleno a k jeho řízení je využitý mikroprocesor.

Klíčová slova

Spínaný zdroj proudu, vodíkový booster, TMS320F28*.

Abstract

Design of a switching power supply with an output parameters 50 [A] and 30 [V]. The device belongs to the group of non-inverting DC-DC converters and provides energy for the Brown's gas generator, it is composed of two sections, Step-Up and Step Down-converter and it's powered from 12 [V] battery, the device is not electrically isolated and it's controlled by microprocessor.

Key words

Switching current source, hydrogen booster, TMS320F28*.

Prohlášení

Prohlašuji tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni. Prohláším, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce. Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při zpracování této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 11. října 2013

Evžen Vyroubal

.....

Podpis

Obsah

OBSAH.....	6
SEZNAM POUŽITÝCH VZORC	8
SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZK	8
SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK	8
SEZNAM SYMBOL	9
ÚVOD.....	10
REPERTE.....	10
1 ZP SOB PROVEDENÍ A POUŽITÍ SZP.....	11
1.1 VODÍKOVÉ BOOSTERY	11
1.1.1 Princip funkce.....	11
1.1.2 Efektivita booster	11
1.2 ZADANÉ PARAMETRY SZP	12
2 TEORETICKÝ NÁVRH SPÍNANÉHO ZDROJE PROUDU.....	13
2.1 ROZD LENÍ SPÍNANÝCH (IMPULZN REGULOVANÝCH) ZDROJ NAPÁJENÍ.....	13
2.2 POSTUP NÁVRHU SPÍNANÉHO ZDROJE PROUDU	15
2.2.1 Popis modelu zapojení SZP	16
2.2.2 Princip funkce Step-Up konvertoru.....	17
2.2.3 Princip funkce Step-Down konvertoru.....	19
2.3 VÝPO ET PROUDU NA INDUK NOSTI	20
2.4 VÝPO ET POTU ZÁVIT , POUŽITÝCH NA INDUK NOSTI.....	22
2.5 STANOVENÍ INDUK NOSTI.....	23
2.6 VÝPO ET HLOUBKY VNIKU A DIMENZO VÁNÍ VODI	23
2.7 STANOVENÍ FYZICKÝCH ROZM R INDUK NOSTI.....	23
2.8 VSTUPNÍ A VÝSTUPNÍ FILTR SZP	24
2.8.1 Vstupní filtr.....	24
2.8.2 Výstupní filtr	25
2.9 CHLAZENÍ SYSTÉMU SZP	25
3 PRAKTICKÁ REALIZACE SPÍNANÉHO ZDROJE PROUDU.....	28
3.1 ZP SOB PROVEDENÍ SZP	28
3.2 POUŽITÉ DPS	29
3.2.1 Hlavní DPS.....	29
3.2.2 Mikroprocesorová DPS.....	29
3.2.3 Napájecí DPS.....	30
3.2.4 M ící a ídíící DPS	30
3.3 PRINCIP ŘÍZENÍ SZP.....	30
3.4 M ENÍ PROUDU SZP	31
3.5 OCHRANY APLIKOVANÉ VE SZP.....	31
4 ROZBOR POUŽITÝCH SOU ÁSTEK.....	32
4.1 VÝKONOVÁ DIODA DSEI2x101-06A [4],	32
4.2 VÝKONOVÝ TRANZISTOR IXFN180N20[3],.....	32
4.3 SONDA M ENÍ PROUDU ACS 712 [7],.....	32
4.4 KAPACITORY K01063103,.....	32

ZÁV R	33
POUŽITÁ LITERATURA	34
P ÍLOHY	1

Seznam použitých vzorců

- Rov. 2-1 Výpočet doby otevření Step-UP.
- Rov. 2-2 Výpočet doby otevření Step-Down.
- Rov. 2-3 Výpočet zvlňení proudu Step-UP.
- Rov. 2-4 Výpočet zvlňení proudu Step-Down.
- Rov. 2-5 Výpočet počtu závitů pro Step UP.
- Rov. 2-6 Výpočet počtu závitů pro Step Down.
- Rov. 2-7 Výpočet indukčnosti.
- Rov. 2-8 Výpočet hloubky vniku.
- Rov. 2-9 Výpočet proudu do vstupního kapacitoru.
- Rov. 2-10 Výpočet proudu do výstupního kapacitoru.
- Rov. 2-11 Výpočet propustných ztrát.
- Rov. 2-12 Výpočet spínacích ztrát.
- Rov. 2-13 Výpočet celkových ztrát.
- Rov.2-14 Výpočet ztrát výkonu na diodě.

Seznam použitých obrázků

- Obr.1, ...,1 Model zapojení SZP.
- Obr.2, 1 1 .Spínaný zdroj proudu.
- Obr.3,1 1 . Schéma zapojení Step-UP konvertoru.
- Obr.4,1 1 . Schéma zapojení Step-Down konvertoru.
- Obr.5,1 1 .Průběhy proudů a napětí Step-UP konvertoru.
- Obr.6,1 1 .Průběhy proudů a napětí Step-Down konvertoru.

Seznam použitých tabulek

- Graf. 2.3-11 \hat{e}_I na indukčnosti pro fázi Step Up.
- Graf. 2.3-21 \hat{e}_I na indukčnosti pro fázi Step Up.
- Graf. 3.4-11 Pevodní tabulky napětí.

Seznam symbol

SZP	í í í í ..í ...	Spínaný zdroj proudu.
BP	í í í í í í ..	Bakalá ská práce.
U[V]	í í í í í ..	Jednotka nap tí ve voltech.
I[A]	í í í í í í	Jednotka el. proudu v ampérech.
P[W]	í í í í í ..	El. výkon ve wattech.
LC filtr	í í í ..	Pasivní filtr typu dolní propust.
DPS	í í í í í í	Deska plo-ých spoj .
JTAG	í í í í í .	Programovací konektor mikroprocesoru.
PWM	í í í í í .	Pulzn -í ková modulace.
ADC	í í í í í ..	P evodník analogových signálu na digitální.
μ [H/m]	í í í í	Permeabilita, schopnost materiálu zmagnetizovat se.
T[s]	í í í í í í	Perioda signal.
B[T]	í í í í í ...	Magnetická indukce v jednotkách Tesla.
SMD	í í í í í ..	Sou ástka s povrchovou montáží.
Zdroj	í í í í .	Zdroj nap tí, nebo proudu.
Jádro transformátoru		Feritové jádro.
Zát íí	í í í í .	Impedance p ipojená na výstup SZP.
Skin efekt	í í ..	Omezení vodivosti vodi e, p i vysokých frekvencích.
Tlumivka, cívká	í .	Induktor.
Driver	í í í í í	Za ízení pro napájení silových ástí obvod .
DC-DC	í í í í ..	M ní e se stejnosm rnou vazbou.
PWM	í í í í í .	Pulzn -í ková modulace.
U	í í í í í í í	Nap tí, jednotky 1V (volt).
I	í í í í í í í .	Proud, jednotky 1A (ampér).
P	í í í í í í í	P íkon, jednotky 1W (watt).
í í í í í í í		Hloubka vniku [mm].
.....		Velikost vzduchové mezery [mm].

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na problematiku návrhu a konstrukci procesorem řízeného, spínaného zdroje proudu, který slouží jako zdroj energie pro zařízení zvané vodíkový booster, který slouží k navýšení účinnosti motoru automobilu za účelem snížení spotřeby paliva.

Zařízení je pouze prototyp, nicméně je dimenzované na použití v automobilu, odolává tedy teplotnímu namáhání a stejně tak je jeho konstrukce masivní, což snižuje možnost výskytu poruchy na zařízení.

V této práci vám nejprve představím zařízení typu vodíkový booster, dále pak detailně popíšu postupy návrhu celého zařízení, jako i jeho komponent. Celý koncept se řadí do skupiny propustných neinvertujících DC-DC měničů bez transformátorové vazby, celek se sestává ze zapojení měničů Step-UP a Step-Down.

Referencie

Při srovnání této BP, například s prací Petra Týpána (Bakalářská práce spínané zdroje) [1], lze konstatovat, že koncept SZP této BP řeší problematiku na mnohem vyšší úrovni, nejenže toto zařízení pracuje s mnohonásobně vyšším výkonem nežli projekt uvedený v referenci, ale navíc se v této BP používá řízení pomocí mikroprocesoru, tyto dvě změny ovšem znamenají zásadní rozdíly při návrhu celého zařízení.

1 Způsob provedení a použití SZP

Spínaný zdroj proudu (dále jen SZP) v této aplikaci je takové zařízení, které dokáže zásobovat elektrickou energií za řízení typu vodíkový booster. Nejprve tedy k seznámení s vodíkovými boostery.

1.1 Vodíkové boostery

Vodíkové boostery, nebo také šbarn waterö, jsou zařízení primárně určená pro montáž do automobilu, kde snižují spotřebu fosilních paliv a zvyšují účinnost spalovacích motorů, dále pak zvyšují životnost motoru a zlepšují jeho emisní parametry, což způsobuje především přítomnost vodíku, který je dávkován do vzduchu a následně nasáván do motoru, tímto dojde k obohacení palivové směsi automobilu, napomáhá také rozpouštění karbonových usazenin v motoru. Jak je uvedeno v parametrech zařízení typu vodíkový booster. [2]

1.1.1 Princip funkce

Podstatou účinnosti zařízení je výroba vodíku, který posléze obohatí směs určenou ke spalování v motoru automobilu. Vodík se ve vodíkových boosterech (dále jen VB) získává elektrolýzou vody (H₂O). Ovšem na rozdíl od klasických elektrolyzátorů, neprodukuje VB elektrolýzou vznikající plyny, tedy vodík a kyslík odděleně, ale přímo směs těchto plynů, která obsahuje na každé dva atomy vodíku jeden atom kyslíku, tato směs se nazývá Brownův plyn a označuje se zkratkou HHO, jedná se o oxyhydrogen. Směs vodíku a kyslíku navíc zvyšuje koncentraci kyslíku v nasávaném vzduchu do motoru, což přispívá k navýšení jeho účinnosti.

1.1.2 Efektivita booster

Úvodem bych rád vnoval pár vět klasické námitce, že VB vyrábí vodík a kyslík s použitím elektrického proudu, generovaného jeho spalováním a tedy případná úspora energie by byla porušením zákona zachování energie, zde je třeba mít na mysli, že se nejedná o spalování samotného Brownova plynu, ale že se jedná o úsporu fosilního paliva, které je jím částečně nahrazeno.

Energie spotřebovaná na vývin relativně malého množství Brownova plynu je bohatě vyvážená ziskem z efektivnějšího spalování směsi s palivem.

Výrobci VB a jejich prodejci nejčastěji uvádějí snížení spotřeby fosilního paliva motoru o 5 až 30 %, tato široká škála hodnot má opodstatnění ve způsobu úpravy palivové směsi. VB jsou celkově záležitostí experimentálního provozu, nejsou tedy k dispozici žádné významné studie, ve kterých by byly uváděny konkrétní dlouhodobé objektivní údaje o efektivitě provozu VB.

Moderní motory, jak benzínové, tak i dieselové, nemají karburátory, které udržují dostatečnou míru stabilní poměry množství nasávaného vzduchu a množství přidávaného paliva. Tedy v případě karburátoru platí jednoduchá úvaha snížení spotřeby, při zvýšení kvality paliva, tím je směs obohacena směsí paliva o vodík a kyslík, motor podává lepší výkon, i když proto není nucen přetlakový plynový pedál, tedy při jízdě ve stejných podmínkách spotřebuje méně paliva, než tomu bylo před použitím VB.

V případě použití se vstříkovacím systémem automobilu, lze kvalitní instalací dosáhnout úspory paliva až o 30%. Zvýšení výkonu se u takovýchto systémů dá nastavit v autoservisě, před nastavením poměru vzduchu ve výfukových plynech (tedy úpravou napětí z lambda sondy, pomocí řízení typu EFIE (Electronic Fuel Injection Enhancer)).

1.2 Zadané parametry SZP

- **Výstupní výkon 700 W**
- **Vstupní napětí 10 až 12 V**
- **Výstupní napětí od 0 V do 40 V**
- **Maximální výstupní proud 50 A**

Ze zadaných parametrů je patrné, že se jedná o řízení konstrukce pro úpravu a přenos poměrně vysokých výkonů, z čehož plyne nutnost dimenzování použitých součástí i samotného plošného spoje (DPS) na tyto výkony a na ztráty, která ve SZP vznikají. Věmi body návrhu se zabývají následující kapitoly.

2 Teoretický návrh Spínaného zdroje proudu

Zde se budeme postupně vnovat návrhu zdroje, od prvotních úvah, přes stanovení parametrů součástek, po výpočty a odvození vzorců použitých pro dimenzování a návrh součástí spínaného zdroje proudu (dále jen SZP).

2.1 Rozdělení spínaných (Impulzně regulovaných) zdrojů napájení

Dělení SZP dle použití transformátoru v zapojení SZP:

- Spínané zdroje bez transformátoru:

- Nízkofrekvenční SZP :
 - Jedná se o SZP pracující s kmitočty do 50 [Hz].
- Nábojové pumpy:
 - Používají princip součtu napětí na kapacitorech.
- SZP s indukčností:
 - Pracují s kmitočtem nad 20 [kHz].
 - Step-Up konvertor
 - Zvyšuje napájecí napětí na výstupu SZP.
 - Step-Down konvertor
 - Snižuje napájecí napětí na výstupu SZP.
 - **DC o DC měniče**
 - **Invertující**
 - Na výstupu SZP obrátí polaritu napětí.
 - **Neinvertující**
 - Na výstupu SZP je polarita napětí stejná, jako na jeho vstupu.

- Spínané zdroje s transformátorem:

Tento typ SZP poskytuje pomocí transformátoru galvanické oddělení SZP.

- Jedno inné:

Sekundární vinutí transformátoru je nerozdělené.

- Propustné SZP

- Obsahují samostatnou indukčnost, která je součástí výstupního filtru, typu dolní propust.

- Blokuující SZP

- Neobsahují samostatnou indukčnost ve výstupním filtru, součástí výstupního filtru, typu dolní propust, je transformátor.

- Dvoj inné:

Sekundární vinutí transformátoru SZP je v tomto případě rozděleno na více vinutí.

Pro tuto bakalářskou práci jsem vybral zapojení bez transformátoru, které vykazuje nižší provozní ztráty (tedy jedná se o ztráty na transformátoru) a koncepci DC-DC neinvertujícího typu, který umožňuje mít výstupní napětí jak pod úroveň napájecího napětí SZP, tak i nad ní.

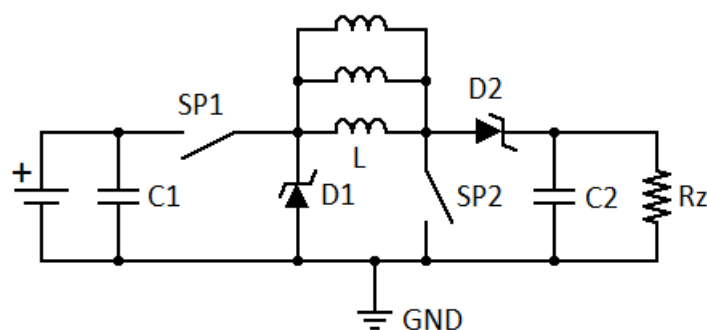
2.2 Postup návrhu spínaného zdroje proudu

Při výpočtech a návrhu SZP vycházíme ze zadaných hodnot (ve článku 1.2), při výpočtech uvažujeme dva základní režimy SZP, tedy režim Step-UP a režim Step-Down, u kterých se mohou v některých výpočtech měnit parametry. Jedná se tedy o DC-DC konvertor, jednoiný, propustný, který je složen ze spojení Step-Up a Step-Down konvertorů (mimo jiné). [6]

Návrh je rozložen do následujících etap, nejprve je nutné stanovit maximální zvláštní proud na indukčnosti (výsledkem je $\hat{I}[A]$), pro oba režimy chodu SZP (tedy zvlášť pro Step-UP a pro Step-Down), dále pak vypočítáme minimální požadované indukčnosti, opět pro oba režimy chodu a při výpočtech budeme uvažovat právě tu větší z obou hodnot, poté následuje fyzické řešení indukčnosti (jádro a kostra).

Poté určíme hloubku vniku pro použitou spínací frekvenci, určíme průměry vodičů, při respektování hloubky vniku. Určíme kapacitu kondenzátorů, stanovíme požadované parametry tranzistorů a diod, a vypočítáme chladičový systém, který bude nutné použít.

Principiinnosti navrhovaného SZP se nejlépe popíše dle následujícího schématu (Obr. 1). Jedná se o základní představu funkce SZP, nejde tedy o konečné schéma zapojení desky plošných spojů, jedná se tedy jen o model podle kterého je systém SZP sestaven.



Obr.1, Model zapojení SZP

2.2.1 Popis modelu zapojení SZP

Na modelu zapojení SZP (Obr.1) je patrné že se jedná o dva nezávislé obvody, které byly spojeny do jednoho konvertoru, při popisu zleva doprava obvod sestávající se ze spínače $SP1$ indukčnosti L , diody $D1$, kapacitor $C1, C2$ a zdroje napětí, což je zapojení známé jako Step-Down měnič. Zapojení obsahuje navíc kapacitor $C1$, který poskytuje SZP energii při spínacích proudových pulzech, například při krátkodobém výpadku vstupního napájecího napětí.

Dalším zapojením, které lze rozpoznat v tomto schématu je Step-Up konvertor, který je složen ze součástek L dále pak $D2, SP2, C2, C1$ a samozřejmě z napájecího zdroje napětí.

Indukčnost L je fyzicky rozdělena na tři vinutí, z čehož první proud, což bude upraveno v kapitole (2.5), indukčnost dále slouží jako akumulátor energie, v podobě magnetického pole, která se podílí na chodu konvertoru a také je součástí výstupního filtru, typu LC .

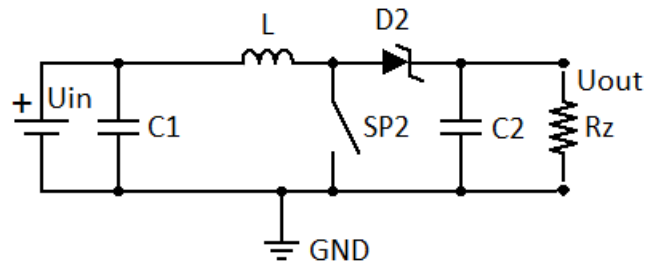
Kapacitory $C1$ hradí spotřebu elektrické energie při spínání SZP a $C2$ realizuje střední hodnotu napětí na výstupu SZP, také filtruje výstupní signál, tak aby odstranil pulzní proudy, které vznikají při spínání tranzistorů. Kapacitor $C2$ je navíc součástí výstupního LC filtru.

Diody $D1$ a $D2$ slouží pro řízení toku proudu, při jednotlivých fázích provozu SZP. V aplikaci SZP je nutné použít Schottkyho diody, jelikož má krátkou dobu přechodu od uzavřeného stavu do otevřeného a také má malé prahové napětí, z čehož vyplývají menší výkonové ztráty.

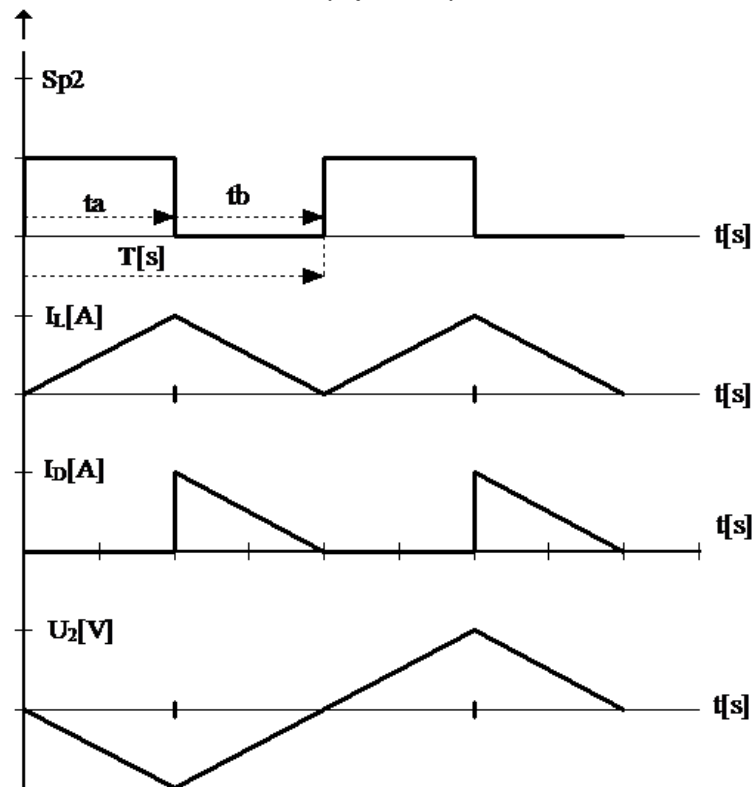
Spínače $SP1$ a $SP2$ jsou v praxi realizovány výkonovými tranzistory. $SP1$ je součástí zapojení pro konvertor Step-Down a $SP2$ je naopak součástí zapojení konvertoru Step-UP.

R_z je interpretace výstupní zatíhvací impedance, které je externí zatížení pro SZP, reprezentuje tedy vodičový booster.

2.2.2 Princip funkce Step-Up konvertoru



Obr.3, Schéma zapojení Step-UP konvertoru



Obr. 5, Průběhy proudů a napětí Step-Up konvertoru.

Na obrázku (obr.5) jsou zobrazeny průběhy spínání tranzistoru $Sp1$ a proudů protékajících diodou $D2$ (I_D na obrázku), proudů indukčnosti I_L a také průběh výstupního napětí U_2 , obrázek znázorňuje SZP ve funkci Step-Up konvertoru. Doba t_a odpovídá době sepnutí spínacího prvku, doba t_b odpovídá době vypnutí spínacího prvku. T je spínací perioda.

Konvertor pracuje ve dvou základních fázích pracovního cyklu, tedy je-li spínač sepnutý a je-li spínač vypnutý, proto k rozboru funkce Step-UP konvertoru použijeme dva kroky :

1.) $SP2$ je sepnutý:

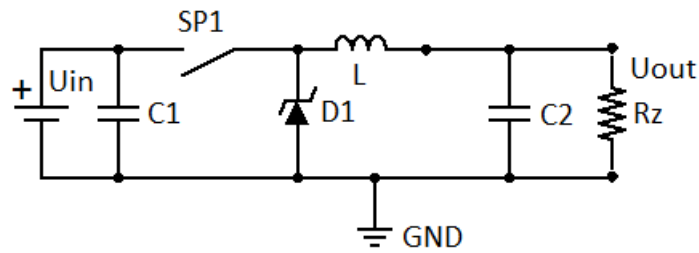
V indukčnosti L se akumuluje energie, případně odebíraný proud ze zátěže je hrazen z energie naakumulované v $C2$, dioda $D2$ je uzavřena a odděluje vstupní obvod od výstupního.

2.) $SP2$ je rozepnutý:

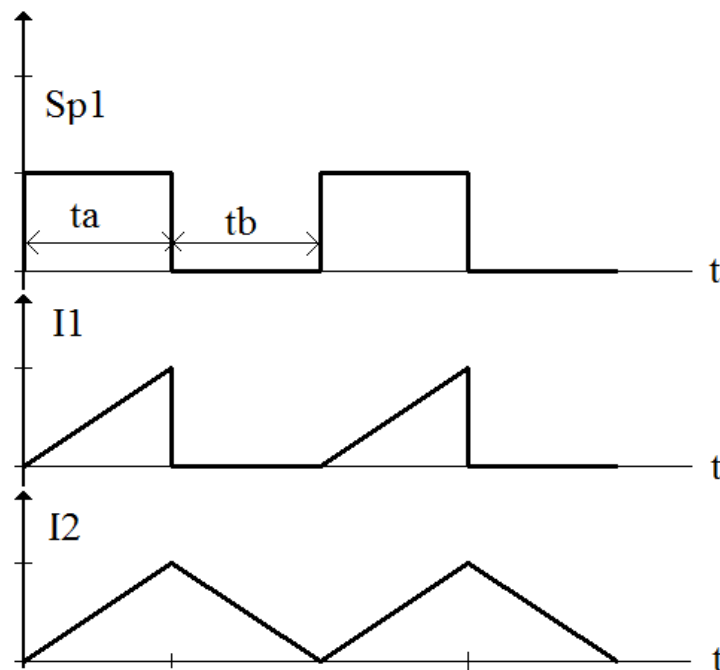
Napětí na indukčnosti L změnilo svoji polaritu, nicméně proud z indukčnosti teče stále stejným směrem (jelikož se jedná o stavovou veličinu, která se nemůže samovolně skokově změnit) a tím otevře diodu $D2$ a na její anodu bude napětí vstupního zdroje společně s napětím na indukčnosti, tyto napětí jsou v sérii a proto dojde k jejich superpozici (součet) což je napětí U_{out} , dále se kapacitor $C2$ nabíjí na hodnotu napětí U_{out} . Tedy na výstupu Step-Up zdroje platí že $U_{out} > U_{in}$.

Zdroj dosahuje účinnosti kolem 90 %.

2.2.3 Princip funkce Step-Down konvertoru



Obr.4, Schéma zapojení Step-Down konvertoru



Obr.6, Průběh proudů a napětí Step-Down konvertoru.

Na obrázku (obr. 6) jsou zobrazeny průběhy spínání tranzistoru $Sp2$ a proud protékající diodou $D2$ (I_1 na obrázku), proudu indukčnosti I_2 , obrázek znázorňuje SZP ve funkci Step-Down konvertoru.

Konvertor typu Step-Down umožňuje dosáhnout výstupního napětí U_{out} v menší hodnotě než vstupního napětí U_{in} , platí tedy vždy $U_{out} < U_{in}$. Popis opět rozdělíme na dvě fáze zdroje, podobně jako tomu bylo u Step-UP konvertoru.

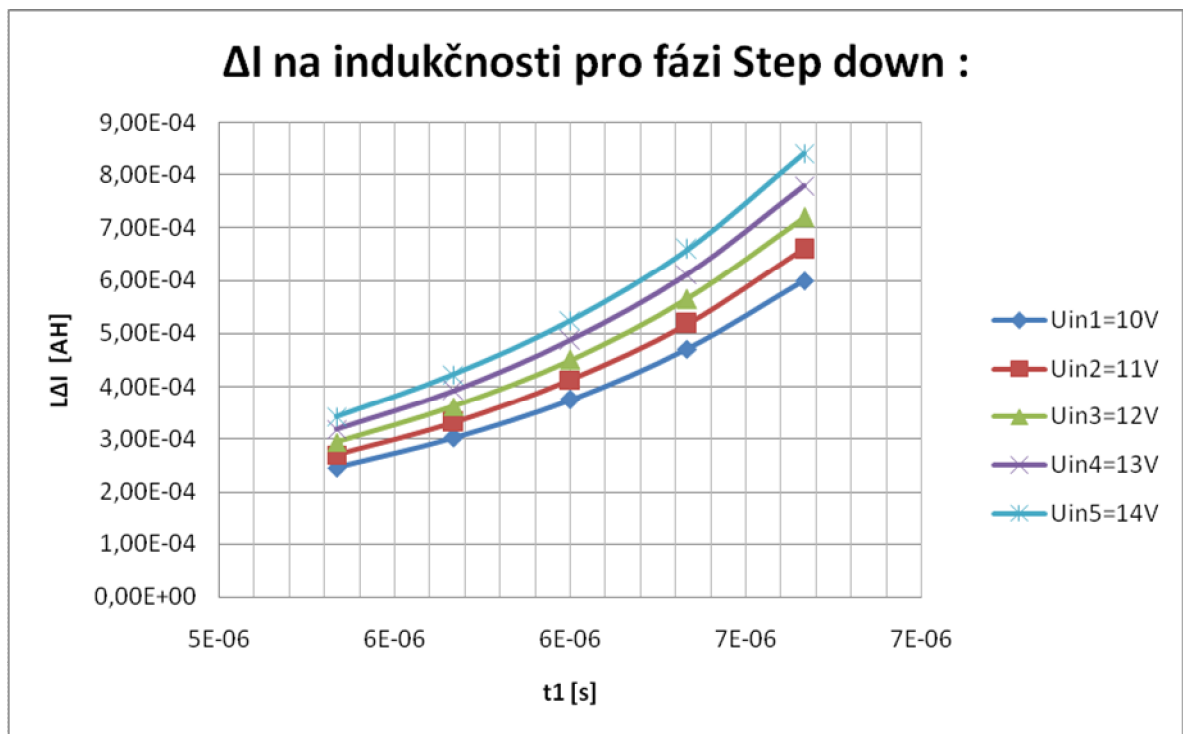
1.) Spína *SPI* sepnutý:

Induktance L akumuluje energii, a vzniká na ní rozdíl napětí U_{in} a U_{out} [V], prochází jí proud do $C2$ a Rz , dioda je záporně polarizovaná a proto uzavřená.

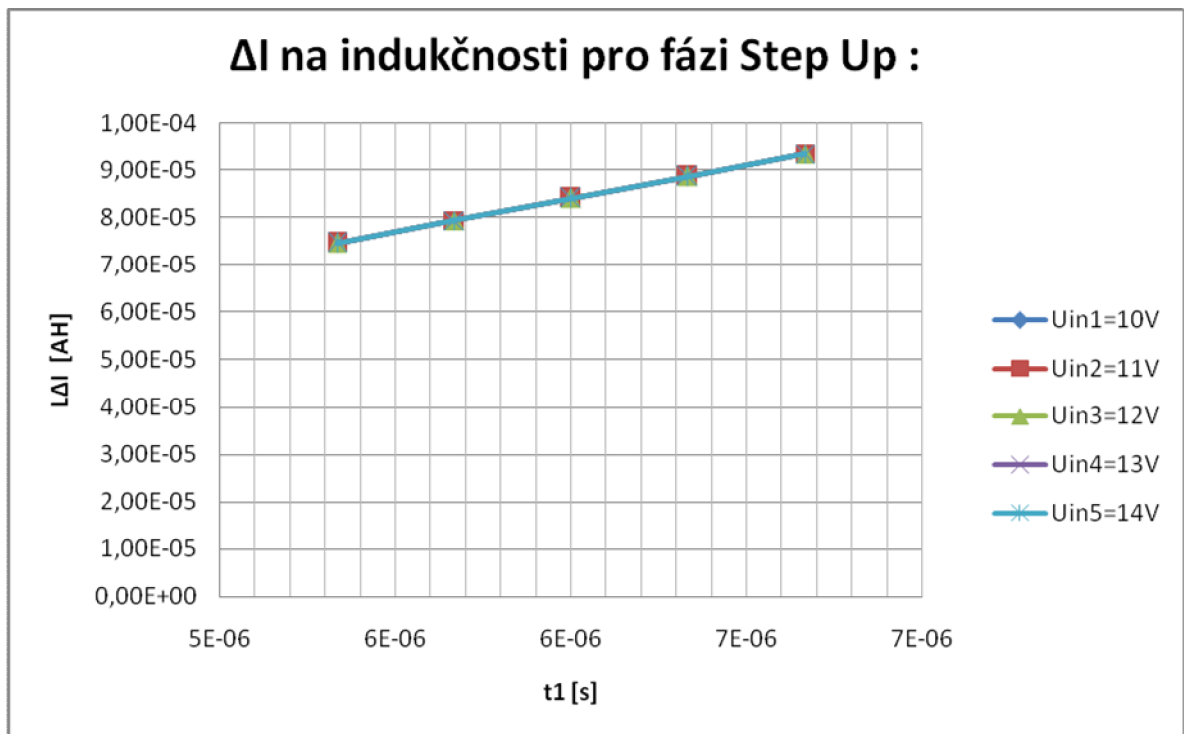
2.) Spína *SPI* rozepnutý:

Proud induktancí je stavová veličina, tedy pokračuje v toku stále stejným směrem, vlivem změny polarity napětí na induktanci se otevře dioda DI , uzavře obvod. Napětí na L se odečte od napětí na $C2$ a tím je docílen pokles napětí U_{out} , tedy platí $U_{out} < U_{in}$. Zdroj dosahuje až 95% účinnosti.

2.3 Výpočet proudu na induktanci



Graf. 2.3-1 ΔI na induktanci pro fázi Step Down.



Graf. 2.3-2 ΔI na indukčnosti pro fázi Step Up.

Pro výpočet změny proudu na indukčnosti, jehož výpočty pro jednotlivé fáze inductance SZP jsou zaneseny do grafu (Graf 2.3.1 a 2), nejprve určíme dobu otevření tranzistoru pro oba režimy (Step-Up a Step Down) kdy uvažujeme změny vstupního a výstupního napětí, z těchto hodnot stanovíme proudová zvládnutí pro jednotlivé případy,

pro konstrukci budeme dimenzovat indukčnost pro zvolenou nejvyšší změnu ze všech případů a protékající pracovní proud. Cílem je stanovit požadavek na indukčnost tak, aby změna proudu na indukčnosti dosahovala maximálně 30% střední hodnoty indukčnosti. Požadujeme co nejmenší změnu proudu na indukčnosti.

- Výpočet doby otevření tranzistoru $t1$
 - Výpočet pro režim chodu SZP Step-UP

Uvažujeme vstupní napětí v rozsahu 10 až 14 [V] a výstupní napětí od 11 do 30 [V] a frekvenci spínání tranzistoru $f_{sp}=100$ kHz, $T=0.0001$ [s]. Nejhorší kombinace parametrů nastává při vstupním napětí 10 [V]

Rov. 2-1

$$t_1 = T \cdot \left(1 - \frac{U_{in}}{U_{out}}\right) [s] = \left(1 - \frac{10}{30}\right) \cdot 0,00001 \cong 6,66 [\mu s]$$

- Výpočet pro režim chodu SZP Step-DOWN

Uvažujeme výstupní napětí v rozsahu 10 až 14 V a vstupní napětí od 11 do 30 V a frekvenci spínání tranzistorů 100 kHz.

Rov. 2-2

$$t_1 = T \cdot \left(\frac{U_{out}}{U_{in}}\right) [s] = \left(\frac{10}{30}\right) \cdot 0,00001 \cong 3,3 [\mu s]$$

- Výpočet zvládnutí proudu na induktivitě \hat{I}

Výpočet je opět proveden pro oba režimy chodu.

- ΔI pro Step-UP

Rov. 2-3

$$\Delta I = \frac{U_{in}}{L} \cdot t_{ON} = \left(\frac{14}{5e^{-5}}\right) \cdot 5,3e^{-6} = 1,87 [A]$$

- ΔI pro Step-Down

Rov. 2-4

$$\Delta I = \frac{U_{in} \cdot t_{ON}}{L} \cdot \left(1 - \frac{t_{ON}}{T}\right) = \left(\frac{14 \cdot 2,7e^{-5}}{5e^{-5}}\right) \cdot \left(1 - \frac{2,7e^{-5}}{1e^{-5}}\right) = 16,8 [A]$$

V příkladech byly uvedeny záměrné hodnoty, které vedly k maximálnímu zvládnutí, na které je induktivita dimenzována.

2.4 Výpočet počtu závitů, použitých na induktivitě

Počet závitů stanovíme ze znalosti maximálního zvládnutí proudu na induktivitě a induktivity, dále bude zapotřebí zadat konkrétní parametry jádra induktivity, které je nutno použít pro navýšení induktivity cívky bez znatelného nárůstu její fyzické velikosti.

Tedy je nutné vybrat konkrétní materiál pro jádro, při výpočtech vykazoval nejlepší výsledky materiál 3F3 a vzhledem k dimenzování vodičů bylo vybráno jádro ETD 59.

Vzorce pro výpočet počtu závitů indukčnosti:

- Pro režim Step-UP, kdy I na L je 70[A]

Rov. 2-5

$$N = \frac{\Delta I \cdot L}{\Delta B \cdot S_{EF}} = \frac{(70 + 8,4) \cdot 0,05^{e-3}}{0,3 \cdot 368^{e-6}} = 35,5 \cong 36[Z]$$

- Pro režim Step-Down, kdy I na L je 50[A]

Rov. 2-6

$$N = \frac{\Delta I \cdot L}{\Delta B \cdot S_{EF}} = \frac{(50 + 8,4) \cdot 0,05^{e-3}}{0,3 \cdot 368^{e-6}} = 26,45 \cong 27[Z]$$

Pro induktor tedy zvolíme 36 závitů, které při konstrukci rozdělíme do tří vinutí o dvanácti závitech.

2.5 Stanovení indukčnosti

Indukčnost je stanovena z požadavků na zvláštní proud, pracovní proud a z parametrů jádra indukčnosti L [H]. Dále je pak stanovena velikost vzduchové mezery δ [mm]:

Rov. 2-7

$$L = \frac{N^2}{\frac{l_{ef}}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot S_{ef}}} = \frac{36^2}{\frac{139^{e-3}}{4 \cdot 3,14^{e-7} \cdot 1680 \cdot 368^{e-6}}} \cong 7,24[mH]$$

$$\delta = \frac{N^2 \cdot \mu_0 \cdot S_{ef}}{L} = \frac{36^2 \cdot 1,256e^{-6} \cdot 368e^{-6}}{7,24e^{-3}} \cong 0,08[mm]$$

2.6 Výpočet hloubky vniku a dimenzování vodičů

Hloubku vniku přibližně stanovíme z následujícího vztahu:

Rov. 2-8

$$= \frac{N^2 \cdot \mu_0 \cdot S_{ef}}{L} = \frac{36^2 \cdot (4 \cdot 3,14^{e-7}) \cdot 368^{e-6}}{0,00724} = 1,198[mm]$$

2.7 Stanovení fyzických rozměrů indukčnosti

Při úvaze, kdy na 4[A] proud použijeme plochu minimálně 1 [mm²] měrného

vodiče. Měly by být stanoveny, například při protékajícím proudu o střední hodnotě 50 [A], bude nutné použít plochu vodiče nejméně 12,5 [mm²].

Dále je nutné uvážit ve výpočtu plochy vodiče hloubku vniku, stanovenou ve vláčku (2.5), o její hodnotu musíme přirozeně navýšit minimální velikost plochy vodiče, která bude akceptovat spínací frekvenci SZP 100 [kHz]. Bude tedy nutné uvažovat zhruba 13,5 [mm²] plochy vodiče,

Pro konstrukci hlavní indukčnosti použijeme měděné pásky o rozměrech 5x1 [mm], jelikož je indukčnost rozdělena na tři vinutí, poskytne tedy celkovou plochu vodiče přibližně 15 [mm²].

Dále je nutné uvažovat, zda-li se při daném počtu závitů fyzicky vejde, do vymezeného prostoru pro vinutí na zvolném jádru, například je nutné vzít v potaz trojnásobek počtu závitů, jelikož je indukčnost takto rozdělena.

Vhodným typem jádra je tedy ETD 59, s materiálem 3F3, pro který vyhlášené vlastnosti nejlépe z dostupné nabídky. Při zadaném počtu 12 závitů krát 3 vinutí a při uvažování proudu jednoho vodiče 5 [mm²] je tedy nutné uvažovat plochu 180 [mm²] pro všechny vinutí na jednom jádru.

2.8 Vstupní a výstupní filtr SZP

Jako vstupní a výstupní filtry například byly v návrhu použity dva elektrolytické kondenzátory s kapacitou 10[mF] a k nim paralelně připojené sítkové kondenzátory o kapacitách 470[nF], pro pokrytí rychlých spínacích obrovských proudů, které dodávají energii SZP při jeho chodu, filtry dále dle zapojení v obvodu na

2.8.1 Vstupní filtr

Vstupní filtr nalezneme na vstupu SZP, je přímo paralelně připojen ke zdroji vstupního napětí, slouží především pro zabezpečení dodávky energie do SZP, například sepnutím kterého z tranzistorů a pro napájení indukčnosti, chrání také zdroj energie na vstupu před velmi rychlými obrovskými proudy, které mohou zkrátit životnost zdroje energie, kterým je zde předpokládána automobilová baterie.

Postup výpočtu vstupního filtru:

Při výpočtu uvažujeme nejméně optimální kombinací parametrů, oba režimy SZP a známá napětí. Tedy pro proud $70 \text{ [A]} + \hat{I} = 8,4 \text{ [A]}$ a napětí 12 [V] .

Rov.2-9

$$I_C = C \cdot \frac{U_{CMAX}}{t_{ON}} \Rightarrow C = \frac{I_C \cdot t_{ON}}{U_{CMAX}} = \frac{78,4 \cdot 5e^{-6}}{12} = 653 \text{ [}\mu\text{F]}$$

2.8.2 Výstupní filtr

Výstupní kapacitní lánky slouží jednak pro zvýšení kvality výstupního napětí a proudu, který nese vlivem povahy SZP namodulované vyšší harmonické frekvence, které vznikají na spínacích tranzistorech SZP, tedy pro jejich filtraci, jelikož jsou součástí dolnoprostupního filtru typu LC, který slouží především k realizaci stejné hodnoty obdélníkového napětí na výstupu SZP a k odrušení výstupního signálu.

Dále je z něj hrazena energie přímo do spotřebiče, zatím, která je k němu přímo paralelně připojena. Přítomnost tohoto kapacitoru je tedy zásadní pro chod obou fází SZP, tedy Step-UP i Step-Down konvertor.

Postup výpočtu výstupního kapacitního lánku:

Při výpočtu uvažujeme nejméně optimální kombinací parametrů, oba režimy SZP a známá napětí. Tedy pro proud $50 \text{ [A]} + \hat{I} = 8,4 \text{ [A]}$ a napětí 30 [V] .

Rov.2-10

$$I_C = C \cdot \frac{U_{CMAX}}{t_{ON}} \Rightarrow C = \frac{I_C \cdot t_{ON}}{U_{CMAX}} = \frac{58,4 \cdot 5e^{-6}}{30} = 974 \text{ [}\mu\text{F]}$$

2.9 Chlazení systému SZP

Chladičový systém SZP je aktivní vzduchové, skládá se z pasivního chladiče a z malého ventilátoru, který se uplatní především při chodu na výkonovém limitu.

Při výpočtu chladičového systému, který zde reprezentuje zejména blok hliníkového chladiče, je potřebné zjistit hodnotu tepelných ztrát a to na všech součástkách silového obvodu SZP.

Nejvyšší ztráty vykazují spínací tranzistory, dále pak diody a indukčnost. Tepelné ztráty ostatních součástek, jako jsou například kapacitory, jsou oproti ztrátám na tranzistorech zanedbatelně malé, proto nemá význam tyto ztráty uvažovat ve výpočtech, stejně je tomu tak například v ostatních součástkách v zapojení SZP, vyjma těch které byly vyjmenovány výše.

Ve výpočtu nejprve určíme všechny propustné ztráty, pak v něm uvažujeme maximální hodnoty proudu na SZP, dále pak ztráty spínací, pro různé kombinace vstupních a výstupních napětí.

Součet ztrát propustných a ztrát spínacích dostaneme celkové ztráty na spínacích prvcích. Zbývá určit teplo, která bude odváděna do chladiče a vypočítat tak ztráty vztažené k oteplení chladiče. Při výpočtech jsou použity parametry součástek, které byly získány z dokumentací součástek, které vydávají výrobci součástek (dále jen Datasheety).

Nejprve vypočteme propustné ztráty, při výpočtech byly tyto ztráty nejvyšší pro tranzistory, uvedeme tedy například pro výpočet na tranzistoru, kde vynásobíme odpor kanálu tranzistoru s kvadrátem protékajícího proudu a sejmeme oteplení:

$$P_p = R \cdot I^2 [W] \quad \text{Rov.2-11}$$

$$P_p = 0,001 \cdot 70^2 = 4,9 [W]$$

Poté vypočteme spínací ztráty, opět na tranzistoru, uvedeme nejhorší případ z kombinací výpočtu pro vstupní a výstupní napětí, tedy pro oba tranzistory. Jedná se o ztráty celkové za spínací periodu.

Rov.2-12

$$P_s = \frac{U_{st}}{T} (I_{in} \cdot t_r + I_{out} \cdot t_f) [W]$$

$$P_s = \frac{30}{0,0001} (70 \cdot 6e^{-8} + 50 \cdot 2e^{-7}) = 21,3 [W]$$

Výsledek reprezentuje spínací ztrátu na jednom tranzistoru, v zapojení SZP jsou použity dva tranzistory.

Celkové ztráty vypočteme součtem ztrát spínacích a ztrát propustných:

Rov.2-13

$$P = P_p + P_s [W]$$

$$P = 4,9 + 42,6 \cong 47,5 [W]$$

- K této ztrátě připočítáme ztráty vypočítané pro dvě diody

Příklad výpočtu ztrát pro jednu diodu.

Rov.2-14

$$P_p = R \cdot I^2 [W]$$

$$P_p = 4,7e^{-3} \cdot 50^2 = 11,75 [W]$$

$$P_s = \frac{U_{st}}{T} (I_{in} \cdot t_r + I_{out} \cdot t_f) [W]$$

$$P_s = \frac{30}{0,00001} (70 \cdot 3e^{-8} + 50 \cdot 3,5e^{-8}) \cong 6,3 [W]$$

$$P = P_p + P_s [W]$$

$$P = 11,75 + 6,3 = 18,05 [W]$$

a získáme tak celkové ztráty :

$$P_{\text{celkové}} = 47,5 + 5,88 + 18,05 + 19,88 = 91,31 [W]$$

Dalším výpočtem je maximální teplo, které bude chladič odebírat, je vypočtena dle vztahu uvedeného níže, opět budeme uvažovat nejhodnější parametry ztrát:

$$T_{\text{chladič_max}} = T_{\text{chip-case}} + T_{\text{Chip-Chladič}} = (R_{c-c} \cdot P) + (R_{c-chl} \cdot P) [W]$$

Rov.2-14

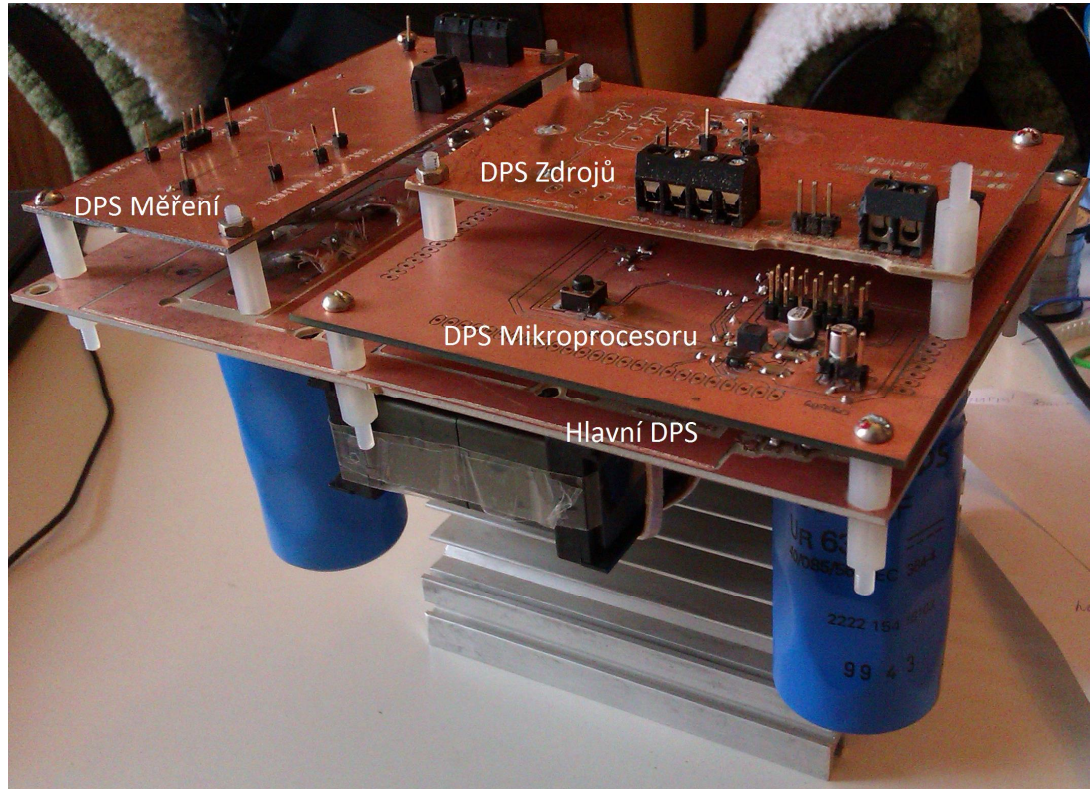
$$T_{\text{chladič_max}} = (0,5 \cdot 42,6) + (0,1 \cdot 42,6) = 3,24 [W]$$

$$\Delta T_{\text{max}} = \frac{T_{\text{Okolní}} - T_{\text{chladič_max}}}{P} [^{\circ}K / W]$$

$$\Delta T_{\text{max}} = \frac{150 - 3,24}{91,31} \cong 1,61 [^{\circ}K / W]$$

3 Praktická realizace spínaného zdroje proudu

3.1 Způsob provedení SZP



Obr. 2 Spínaný zdroj proudu.

SZP je složen z více kusů desek plošných spojů (dále jen DPS), do kterých jsou rozloženy součástky SZP v blocích, dle způsobu vyufití, jak ukazuje obrázek sestaveného SZP (Obr.2). Celkově je základnou celého SZP masivní pasivní chladič, na který je pomocí distančních sloupků pevně namontován hlavní DPS, ostatní DPS jsou obdobně umístěny nad hlavním DPS, kde slouží výhradně pro účely řízení a měření na SZP. Jednotlivé DPS (moduly) jsou nezávislé funkční celky, a jsou koncipovány do jisté míry univerzálně, například DPS obsahující řídicí mikroprocesor, pro spínání SZP, je navržena jako vývojová DPS, použitelná v budoucnu i na jiném projektu, i při rozšíření zdroje, v případě potřeby.

Součástky umístěné na hlavním DPS, jsou velmi výkonově odolné a masivní, vzhledem k protékajícímu proudu. Nejrozumnější součástí SZP je indukčnost, která je navinuta na jádře ETD59 [5], je rozdělena na tři vinutí o stejném počtu závitů, toto rozdělení

indukčnosti slouží k rozdělení proudů v poměru 1:3 a následnému měření protékajícího proudu proudovou sondou, která tak umožňuje měřit proud nejlépe je dodáván do zátěže. Výhody plynoucí z tohoto zapojení, jsou jednak naddimenzování potěrných ploch vodiče, pro přenesení proudu do zátěže, což může být při hromadné výrobě ekonomicky nevýhodné, ale při experimentální projektu naopak vítaná rezerva při chodu na výkonostním limitu a dále je možné použít levnější proudovou sondu integrovanou v SMD obalu.

Většina použitých součástek je typu SMD (surface mounting device), tedy součástky určené pro povrchovou montáž. SMD technologie umožní lépe využít oboustranný DPS a snižuje tím i rozměry výsledného systému SZP.

3.2 Použité DPS

V projektu SZP jsou použity celkem čtyři DPS, hlavní silová DPS, napájecí DPS, DPS měření a řízení a mikroprocesorová DPS. Jedná se o samostatné funkční moduly (s výjimkou hlavní DPS).

3.2.1 Hlavní DPS

Jedná se o DPS, na které jsou umístěny všechny výkonové součástky SZP, tedy induktor, tranzistory, diody a kondensátory, dále jsou zde připojeny vstupní a výstupní kondensátory a také sonda měření proudu. Přes hlavní DPS tedy protéká proud od zdroje napětí do zátěže, připojené k SZP.

3.2.2 Mikroprocesorová DPS

Mikroprocesorová DPS je koncipována jako vývojová DPS s 32 bitovým procesorem TMS320F28044 společnosti Texas Instruments, dále na této desce najdeme i 2,048 voltový napájecí lineární integrovaný stabilizátor, který slouží výhradně k napájení mikroprocesoru, jako reference pro A/D převodníky, reset tlačítko a několik pasivních součástek, které mikroprocesor vyžaduje, na DPS je nutné připojit napětí 1,8 [V], 3,3[V] a změnit, na DPS se tato napětí rozdělí na analogové a digitální pomocí pasivních LC filtrů (jeden filtr obsahuje jednu indukčnost a jeden kondensátor). Na DPS je umístěn JTAG konektor (programovací konektor).

3.2.3 Napájecí DPS

Napájecí DPS je opět sestaveny jako samostatný blok především lineárních integrovaných zdrojů, obsahuje celkem tři zdroje napájecího napětí 5[V], s různou zatížitelností a přesností, dále pak referenční napětí především pro mikroprocesorovou DPS 3,3[V] a 1,8[V]. Na této DPS dále nalezneme několik signalizačních diod, které signalizují především provozní a poruchové stavy SZP. Napětí jsou z DPS vyvedena na pinové konektory, ale i na jiné svorky, pro kabely, jelikož jsou z této desky odebírány napájecí napětí do všech DPS.

3.2.4 Měření a řízení DPS

Tato DPS zajišťuje měření proudu pomocí proudové sondy, dále pak měření napětí na vstupu a výstupu SZP. Zprostředkovává spínací pulzy PWM (pulzní kóde modulace) z procesoru, které slouží k řízení výkonových tranzistorů na hlavní DPS. Poskytuje také optické oddělení signálu pro procesor a také zde probíhá ošetření vstupních signálů pro procesor, pomocí napávacích omezočů, které zabrání poškození vstupního registru mikroprocesoru například. Jsou zde aplikovány Schmidty klopné obvody, které upravují signál tak, aby byl pro mikroprocesor jasně rozlišitelný.

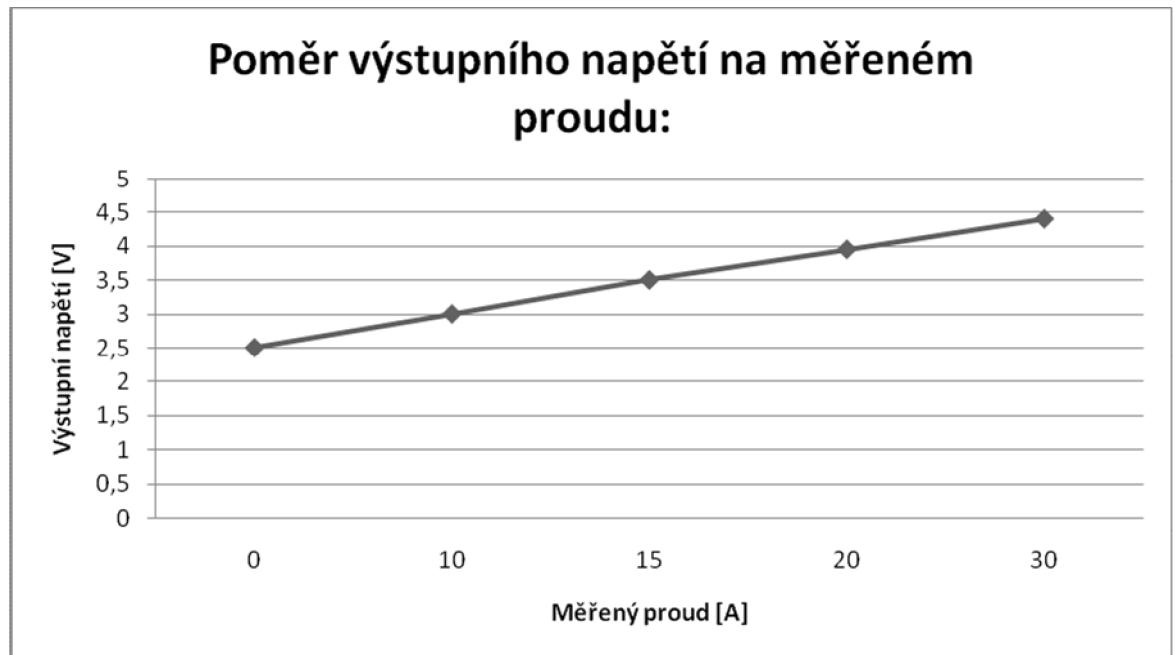
3.3 Princip řízení SZP

Při řízení SZP je nutné rozlišovat který mód je třeba použít, tedy zdali se má uplatnit část SZP, která zajišťuje funkci zdroje Step-UP nebo Step-Down, to zjistíme dle požadovaného (tedy nastaveného) výstupního napětí. Při použití jednoho z módů bude nutné správně nastavit tranzistor, který se při chodu zdroje neuplatní.

Při funkci SZP jako Step-Up DC to DC konvertor, je nutné mít trvale otevřený tranzistor TR1, aby tekla proud do indukčnosti a naopak, při funkci SZP jako Step-Down DC to DC konvertor, je nutné mít trvale rozepnutý TR2, aby nedocházelo k vyskartování výstupních svorek. Dále jde jen o spínání tranzistorů pomocí PWM z mikropočítače, spínání odpovídá frekvenci 100 [kHz], kdy řízením duty cyklu (doba vypnutí spínacího prvku u PWM modulace), dostaneme požadované výstupní napětí.

3.4 Měření proudu SZP

Měření proudu vzorkované na výstupu hlavní indukčnosti SZP je prováděno pomocí proudové sondy ACS712 [7], v integrovaném obvodu je zapojena hallova sonda proudu, a její výstup je upraven a zesílen na lépe měřitelné napětí. Protékajícímu proudu tedy odpovídá velikost napětí dle tabulky (Tab. 3.4-1)



Graf. 3.4-1 Pevodní tabulky napětí:

Sonda proudu je schopna měřit i proudy do záporné hodnoty -30A, čemuž odpovídá rozsah stupnice od 0,5[V] do 2,5[V], tuto funkci nicméně nevyužíváme. Signál napětí je samozřejmě upraven, před vstupem do mikroprocesoru.

3.5 Ochrany aplikované ve SZP

Ve které kontrole a omezení činnosti SZP řídí mikroprocesor, pomocí vyhodnocování poměru výstupního a vstupního napětí a údaje ze sondy proudu, například při náhlém zvýšení odběru proudu na výstupu (vyjma přiipojení výstupní zátěže SZP) je jednoduše rozepnut vstupní spínací výkonový tranzistor na vstupu SZP (čímž dojde k přerušení napájecího napětí celého SZP) a popřípadě sepnut tranzistor na výstupu zdroje, což způsobí uzavření elektrického obvodu mezi diodou a indukčností.

4 Rozbor použitých součástek

Při konstrukci SZP byly použity jak součástky typu THT (Součástky s dlouhými vývody, určené pro jednostranné DPS), tak i SMD (Součástky s krátkými vývody, určené pro povrchovou montáž na DPS), dále pak výkonové součástky, které ke své činnosti vyžadují chlazení, ale i součástky běžné. Vzhledem k množství použitých součástek bude potřeba zmínit pouze součástky s nestandardními parametry.

4.1 Výkonová dioda DSEI2x101-06A [4],

Jedná se o dvojitou výkonovou diodu v pouzdře SOT-227B (minibloc) se zatížitelností $2 \times 96[\text{A}]$ a dobou odezvy $35[\text{ns}]$, poskytuje izolační napětí $600[\text{V}]$.

4.2 Výkonový tranzistor IXFN180N20[3],

Jedná se o výkonový MOSFET tranzistor v pouzdře SOT-227B (minibloc) se zatížitelností $180[\text{A}]$, dobou odezvy $[250\text{ns}]$, odporem kanálu v propustném stavu $10[\text{m}\Omega]$. V zapojení SZP jsou použity jako výkonové spínací.

4.3 Sonda měření proudu ACS 712 [7],

Jde o hallové měřidlo proudu, které je integrováno v SMD pouzdře SOT-32 spolu s pomocnými obvody, jedná se o verzi obvodu, která dovoluje snímat proudy až o velikosti $30[\text{A}]$, což reprezentuje na výstupu obvodu úroveň napětí.

4.4 Kapacitory K01063103,

Kapacitor disponuje velikostí $10[\text{mF}]$, při $100[\text{Hz}]$ což plně dostává při aplikaci SZP a poklesu kapacity na přibližně $670 [\text{mF}]$, které pracují až do maximálního napětí $63[\text{V}]$, v zapojení SZP slouží jako vstupní a výstupní kapacity, a také je jeden z nich součástí výstupního LC filtru.

Závěr

Při projektu návrhu spínaného zdroje proudu byl zkonstruován 700[W] stejnosměrný zdroj, který při použití konceptu DC-DC konvertoru disponuje menšími fyzickými rozměry, oproti jiným řešení SZP.

Při konstrukci tedy nebyl použit transformátor, který bývá v podobných projektech nejrozměrnější, v tomto návrhu je použita pouze indukčnost, která je sice rozměrná, nicméně se jedná o úsporu místa a potenciálních nákladů na výrobu zařízení.

Při srovnání projektu SZP a referenční bakalářské práce šibakářské práce spínaného zdroje [1] je patrné, že se jedná o projekt vyjimečný především pro předepsaný výkon a výstupní parametry.

SZP proudu lze při dalším vývoji rozšířit o zobrazení činnosti na displeji a nastavování parametrů, bez nutnosti použití programátoru (což ovšem pro projekt napájení vodíkového boosteru není potřebné, postačí jedno nastavení parametrů).

Použitá literatura

- [1] TPAN L, Petr. *Bakalářská práce spínané zdroje*, Vysoké učení technické v Brně 29.5.2009.
(<https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/10441/Petr%20%C5%A0pan%C4%B1%20-%20Bakal%C3%A1%C5%99sk%C3%A1%20pr%C3%A1ce.pdf?sequence=1> , 29.4.2013-1200h-UTC+1)
- [2] Hydrogen Booster (<http://www.hydrogen-boost.com/hydrogeninjection.html>, 30.4.2013-1200h-UTC+1)
- [3] Datasheet tranzistorů, (<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/93669/IXYS/IXGN200N60B.html>, 28.5.2013-1200h-UTC+1)
- [4] Datasheet diody, (<http://www.bjrt.com/pdf/DSEI2x101.pdf> , 28.5.2013-1200h-UTC+1)
- [5] Datasheet ETD59/3F3, (<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/343550/FERROXCUBE/ETD59-3F3.html>, 28.5.2013-1200h-UTC+1)
- [6] Pinker, J.: *Mikroprocesory a počítače*, BEN, Plzeň 2004.
- [7] Datasheet ACS712 proudová sonda, (<http://www.datasheetarchive.com/ACS712-datasheet.html>, 28.5.2013-1200h-UTC+1)
- [8] Datasheet TMS320F28044, (<http://www.ti.com/lit/ds/sprs357c/sprs357c.pdf>, 28.5.2013-1200h-UTC+1)

P ílohy

P íloha A ó Schéma zapojení mikroprocesorové DPS .

P íloha B ó Schéma osazení mikroprocesorové DPS.

P íloha C - Schéma zapojení zdrojové DPS .

P íloha D - Schéma osazení zdrojové DPS.

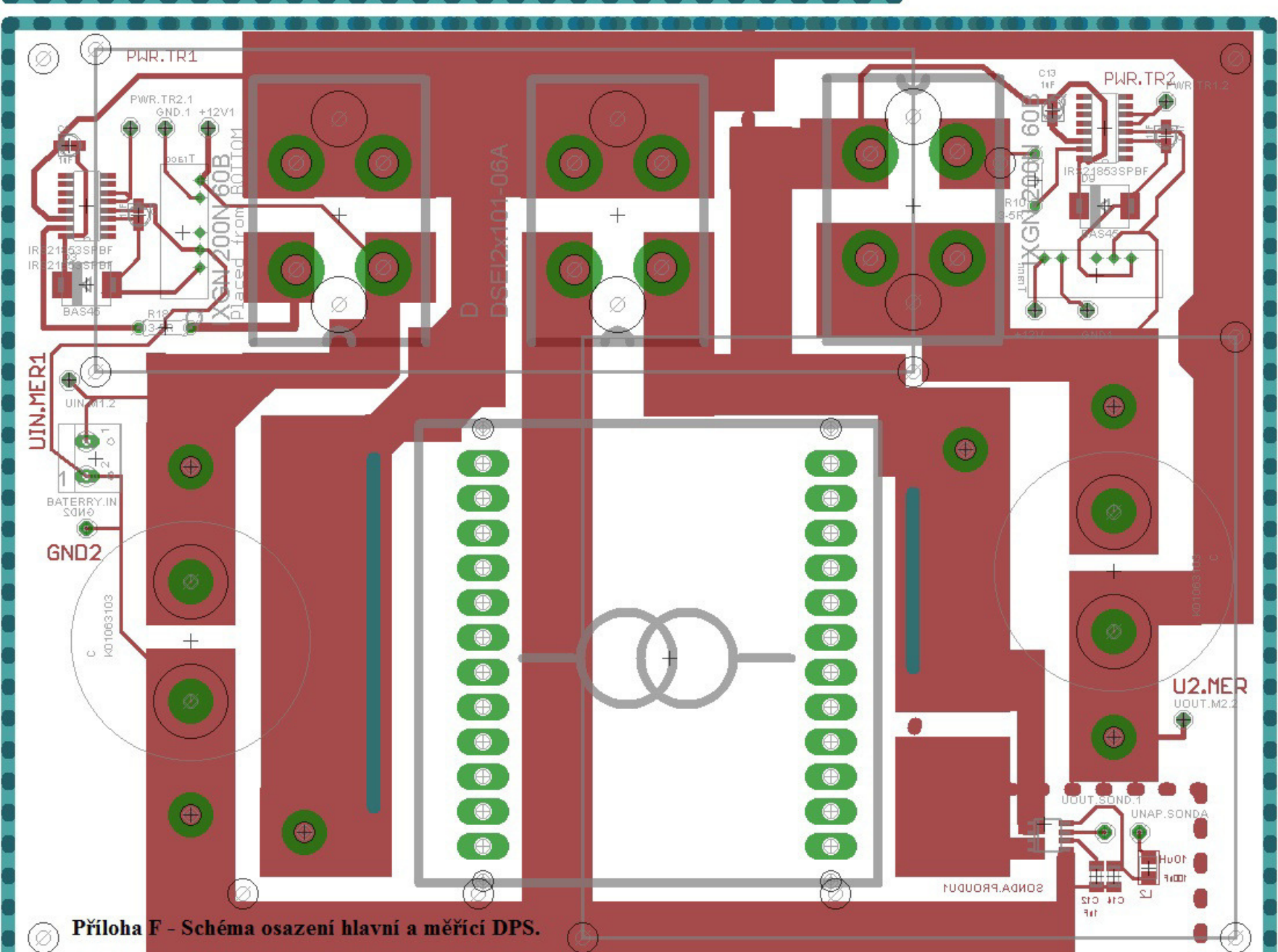
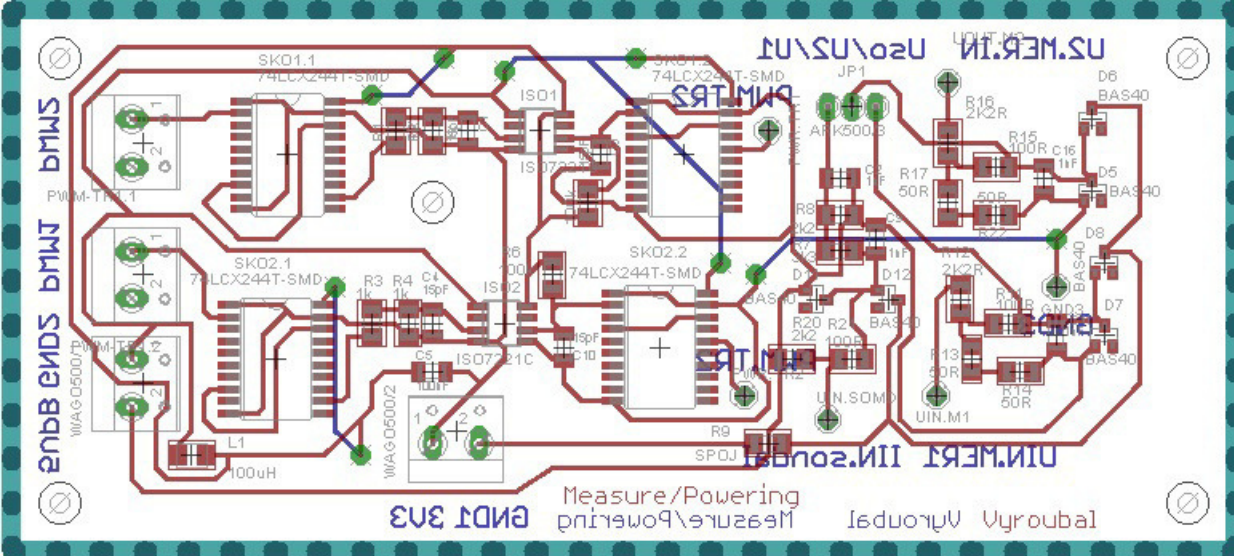
P íloha E1 - Schéma zapojení hlavní a m ící 1/4 DPS .

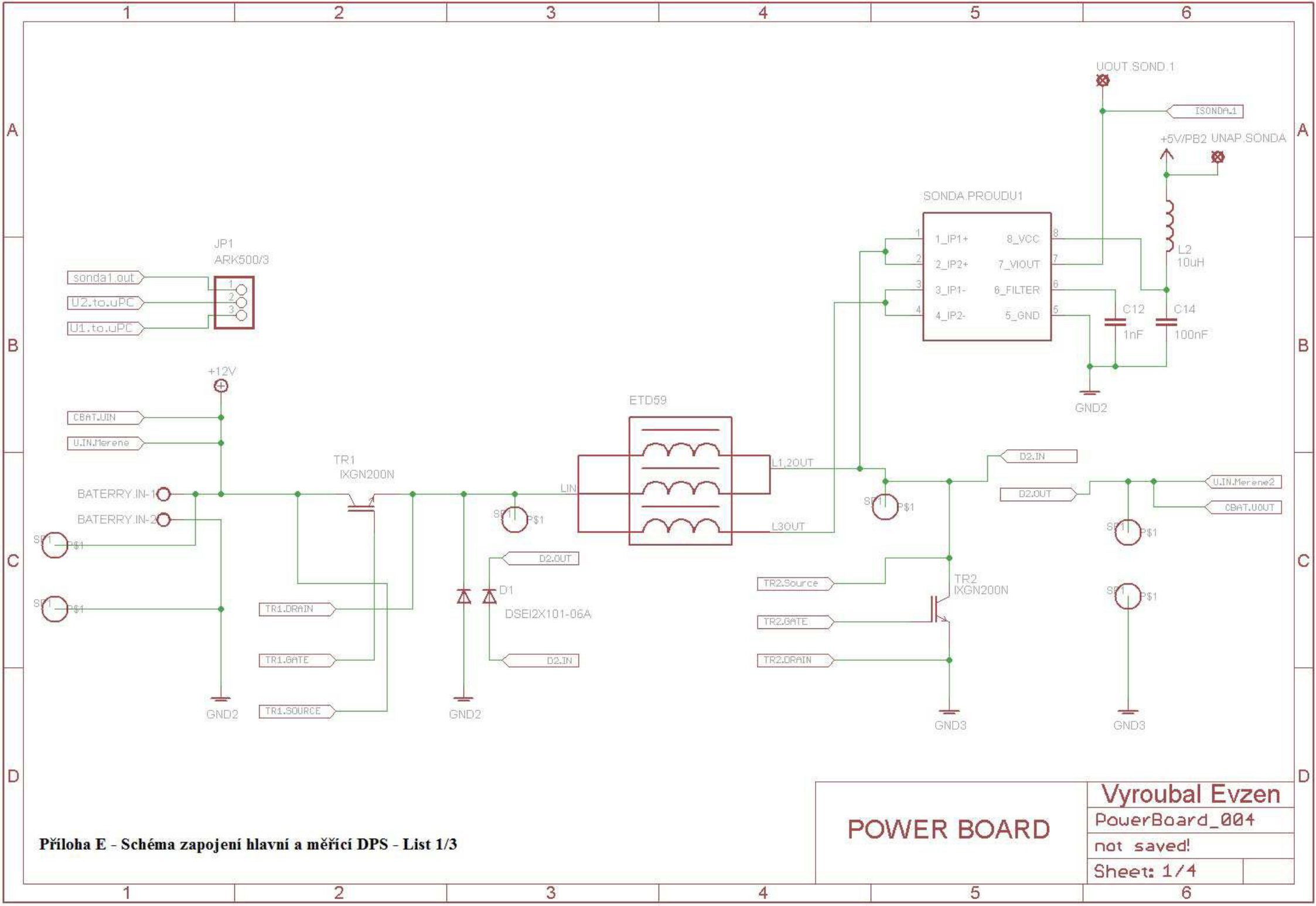
P íloha E2 - Schéma zapojení hlavní a m ící 2/4 DPS .

P íloha E3 - Schéma zapojení hlavní a m ící 3/4 DPS .

P íloha E4 - Schéma zapojení hlavní a m ící 4/4 DPS .

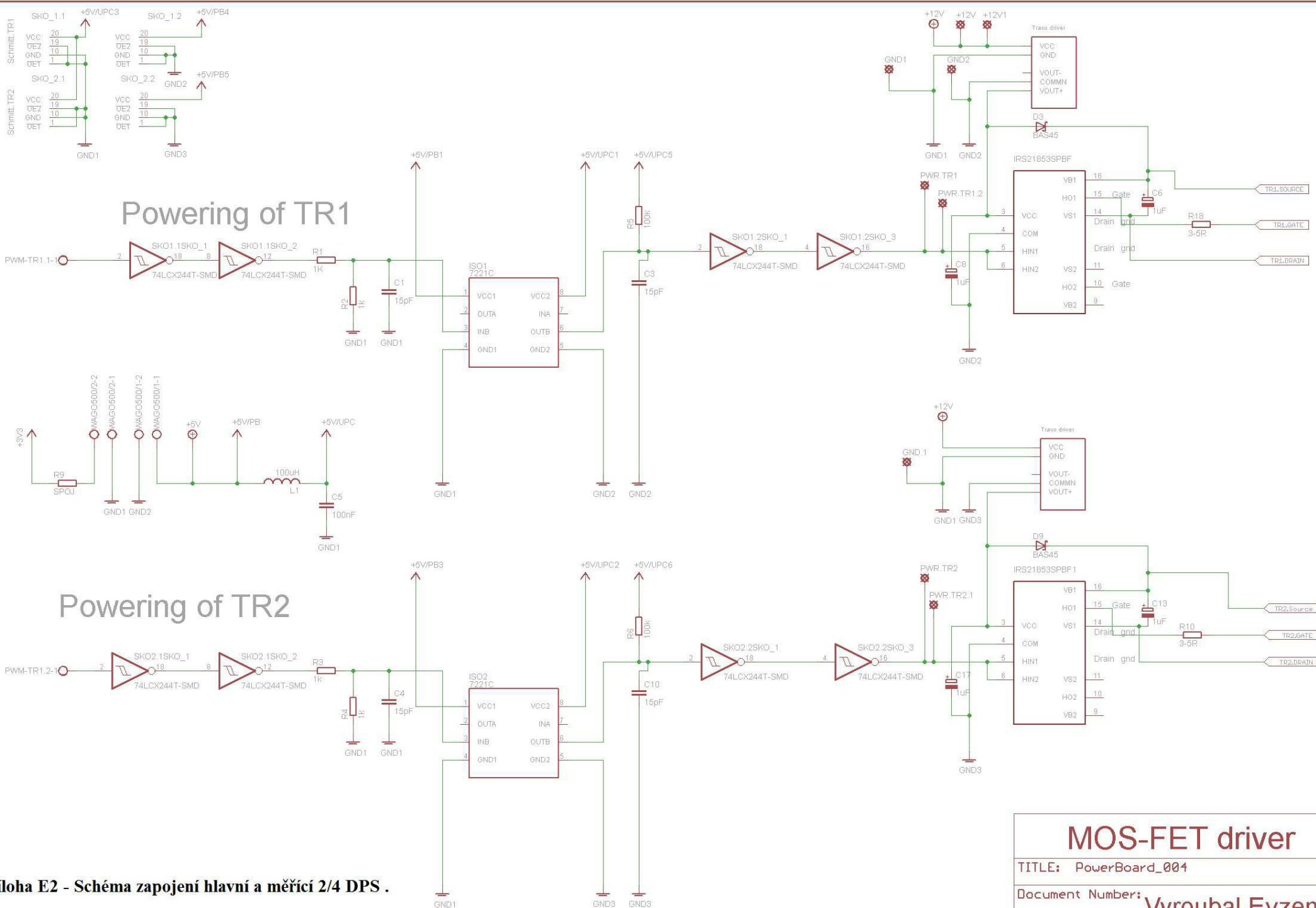
P íloha F - Schéma osazení hlavní a m ící DPS.





Příloha E - Schéma zapojení hlavní a měřicí DPS - List 1/3

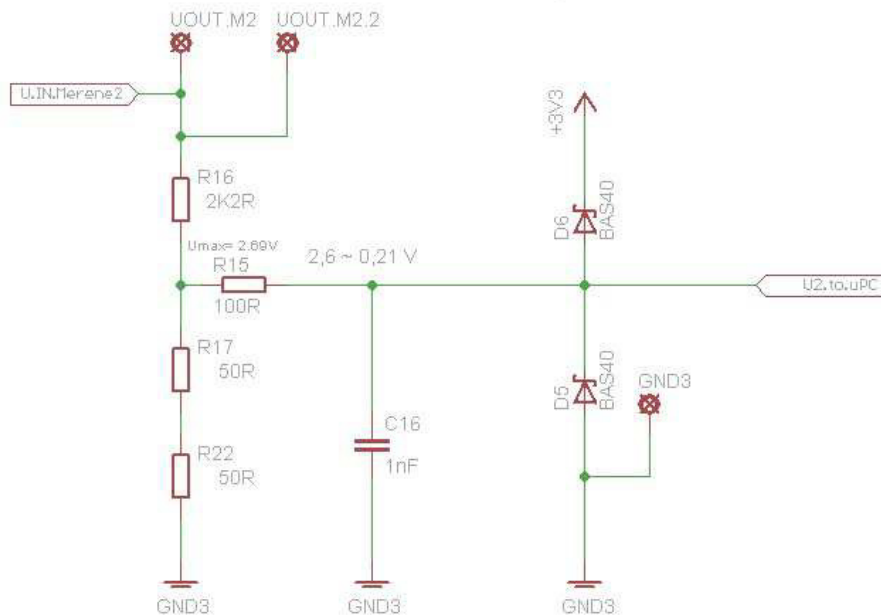
POWER BOARD	Vyroubal Evzen	
	PowerBoard_004	
	not saved!	
	Sheet: 1/4	



Príloha E2 - Schéma zapojení hlavní a měřící 2/4 DPS .

<h1>MOS-FET driver</h1>	
TITLE: PowerBoard_004	
Document Number:	Vyroubal Evzen
Date: 7. 5. 2013 18:34:02	Sheet: 2/4

Mereni napeti



Mereni proudu



Merici deska - Measuring board

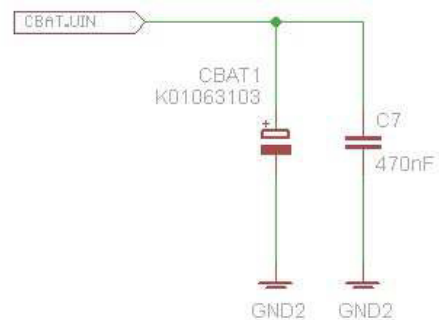
TITLE: PowerBoard_004

Document Number: **Vyroubal Evzen** REV:

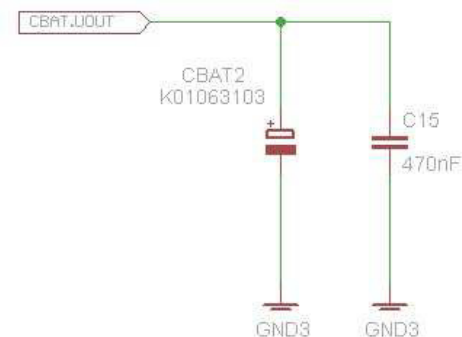
Date: 7. 5. 2013 18:34:02

Sheet: 3/4

Vstupní C filtr



Výstupní C filtr



Příloha E4 - Schéma zapojení hlavní a měřící 4/4 DPS .

KAPACITNI
BATERIE

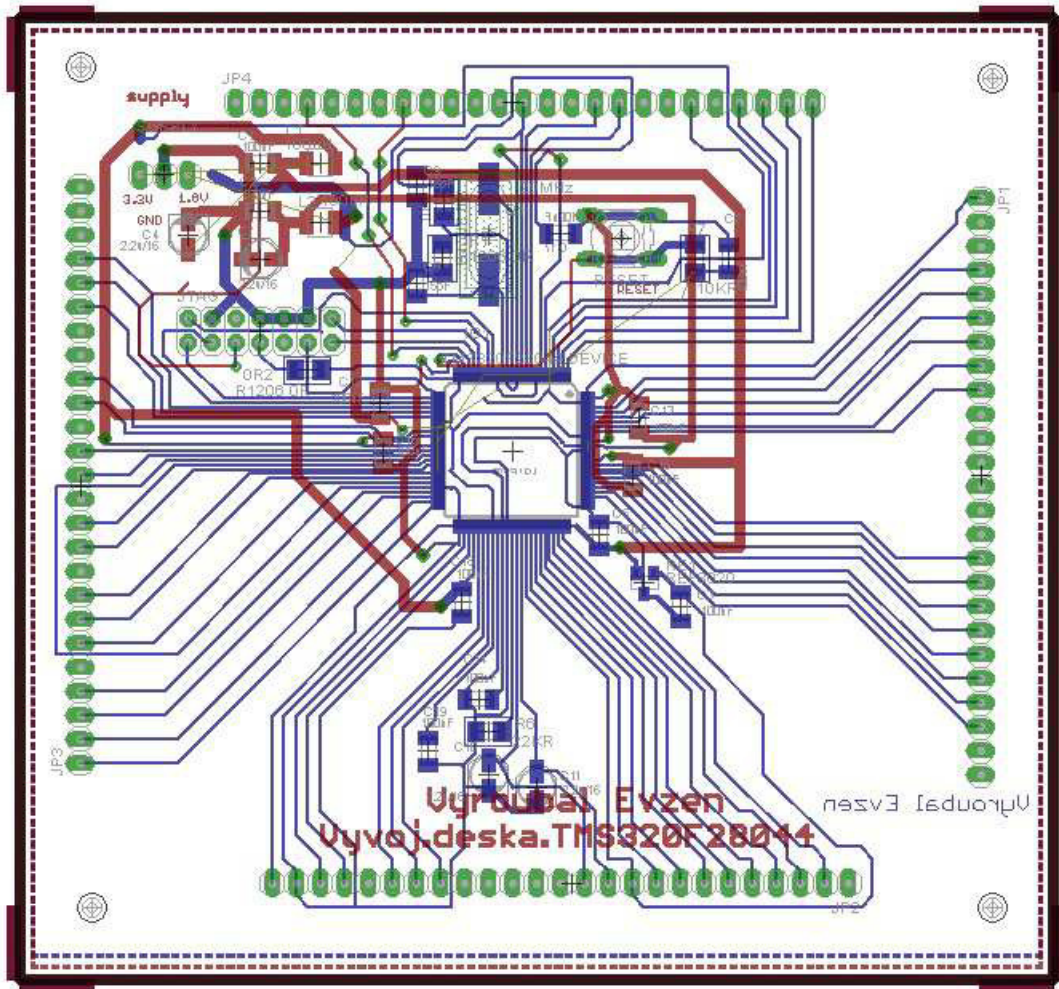
Vyroubal Evzen

PowerBoard_004

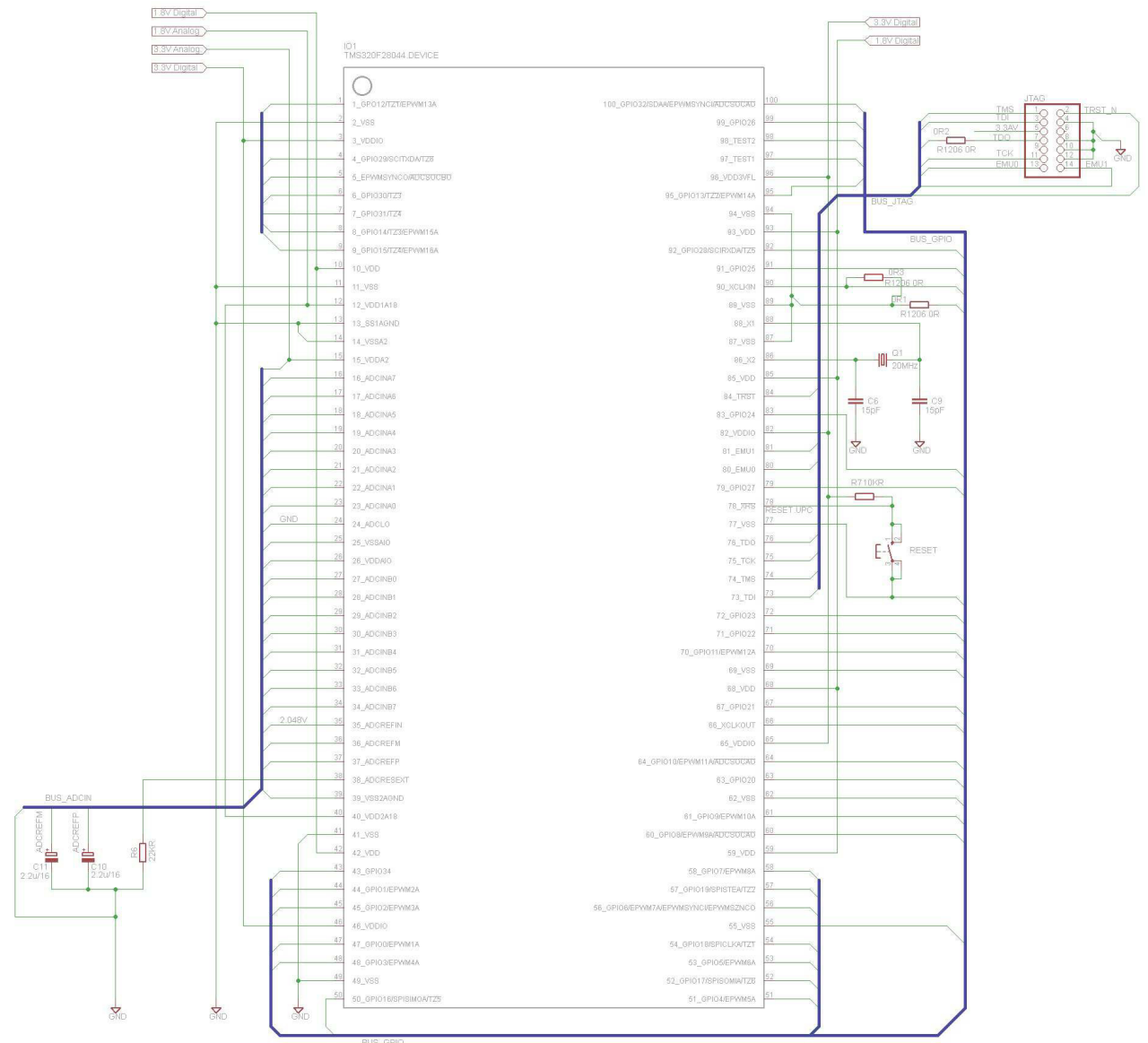
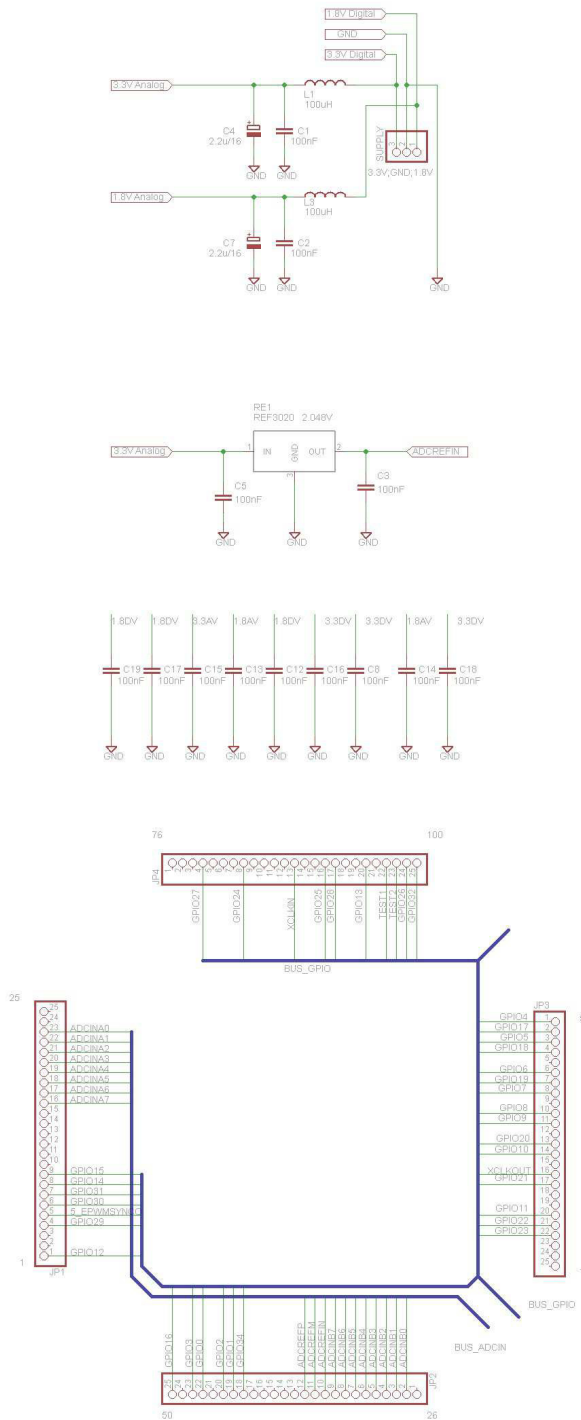
not saved!

Sheet: 1/4

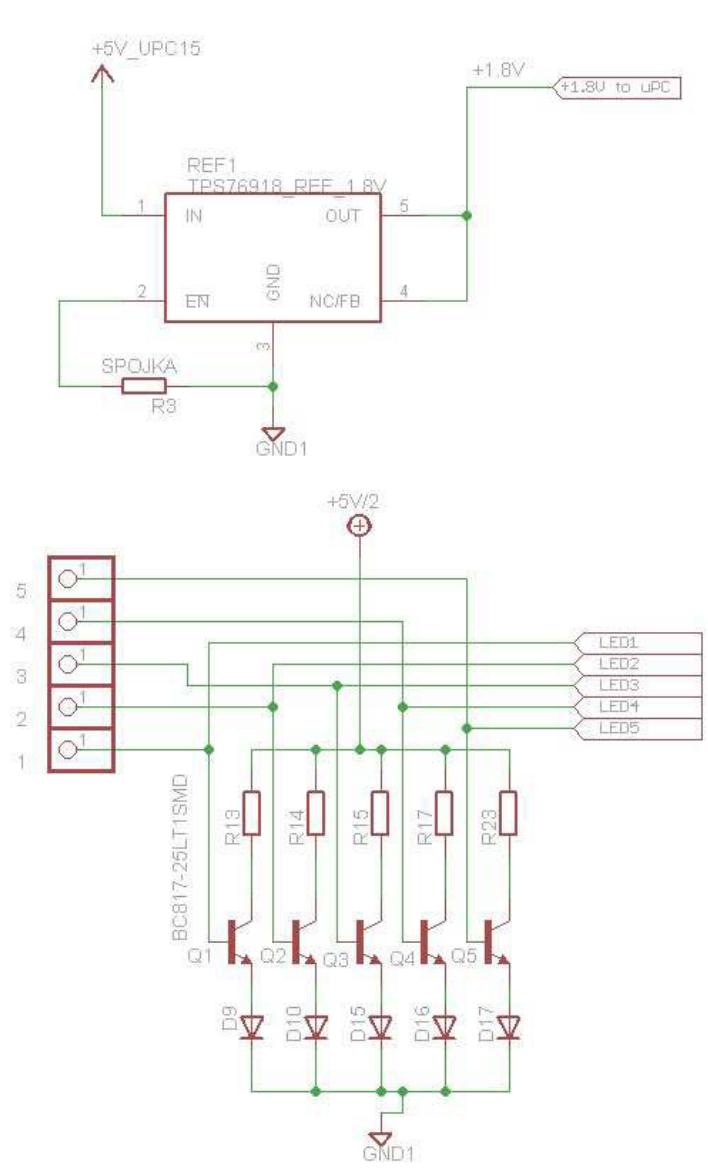
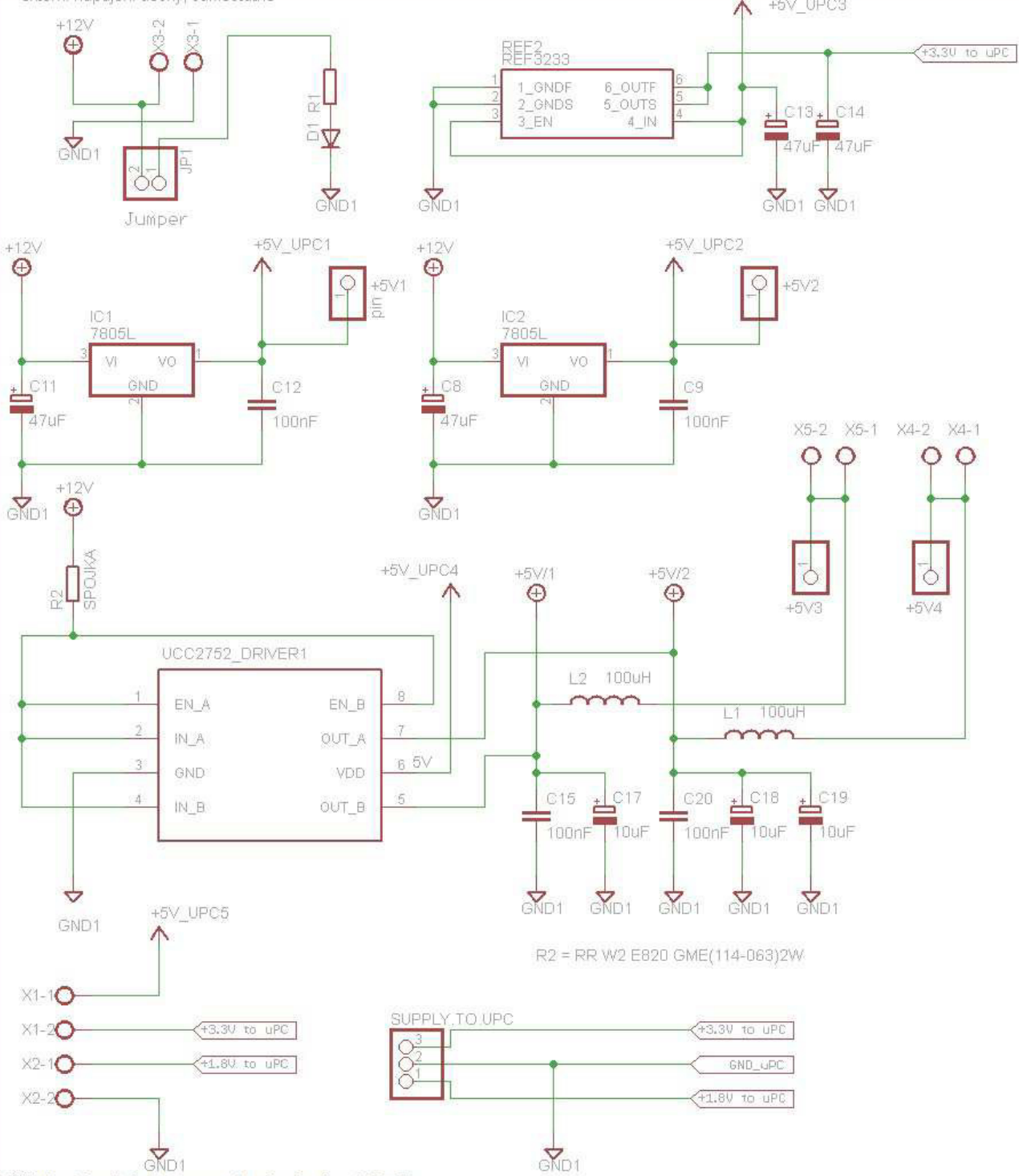
Příloha B – Schéma osazení mikroprocesorové DPS.



Příloha A - Schéma zapojení mikroprocesorové DPS .



externí napájecí deska, samostatně



Napájecí deska - Source Board	
TITLE: Sil.deska	
Document Number: Vyroubal Evzen	REV:
Date: 7. 5. 2013 12:40:44	Sheet: 1/1