

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

ZÁLOHOVANÝ NAPÁJECÍ ZDROJ PRO LÉKAŘSKÝ PŘÍSTROJ S  
MANAGEMENTEM PO I2C

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

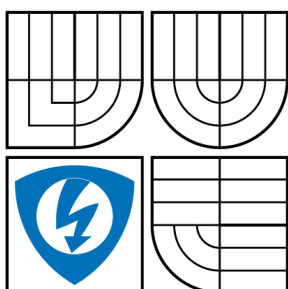
Bc. VÍT DANĚČEK

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## ZÁLOHOVANÝ NAPÁJECÍ ZDROJ PRO LÉKAŘSKÝ PŘÍSTROJ S MANAGEMENTEM PO I2C

UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY WITH MANAGEMENT SYSTEM  
UTILIZING I2C BUS FOR MEDICAL DEVICES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

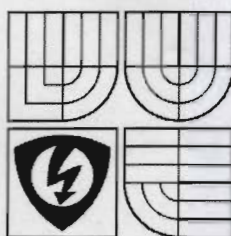
Bc. VÍT DANĚČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PAVEL ŠILHAVÝ, Ph.D.

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
Telekomunikační a informační technika

**Student:** Daněček Vít, Bc.

**Ročník:** 2

**ID:** 54524

**Akademický rok:** 2007/08

## NÁZEV TÉMATU:

**Zálohovaný napájecí zdroj pro lékařský přístroj s managementem po I2C**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Nastudujte problematiku pulsních DC/DC měničů bez použití transformátoru. Věnujte se rovněž problematice zálohovaných zdrojů bez přerušení napájení (UPS). Navrhněte a realizujte napájecí zdroj pro lékařský přístroj, zálohovaný pomocí Li-on baterie. Vstupem zdroje bude napájecí adaptér, schválený pro použití v lékařských přístrojích dle ČSN EN61000. Výstupní napětí budou 5 V/ 3 A, 12 V/ 1,5 A a -12V/ 0,1 A. Okamžitý stav baterie, stav nabití, teplotu baterie, okamžitý odběr z baterie bude možno monitorovat. Komunikační sběrnici bude I2C 100 kb/s.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Faktor, Z. Transformátory a tlumivky pro spínané napájecí zdroje. BEN Praha 2002. ISBN: 80-86056-91-0.
- [2] Krejčířík, A. Napájecí zdroje 3. BEN Praha 2002. ISBN: 80-86056-56-2.
- [3] Šandera, J. Návrh plošných spojů pro povrchovou montáž - SMT a SMD. BEN Praha 2006. ISBN: 80-7300-181-0.

**Termín zadání:** 11.2.2008

**Termín odevzdání:** 28.5.2008

**Vedoucí projektu:** Ing. Pavel Šilhavý, Ph.D.

**prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.**  
předseda oborové rady



## UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

# LICENČNÍ SMLOUVA

## POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

### 1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Vít Daněček  
Bytem: Kopeckého 951, 46014, Liberec - Liberec  
XIV-Ruprechtice  
Narozen/a (datum a místo): 19.8.1983, Kyjov

(dále jen "autor")

a

### 2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií  
se sídlem Údolní 244/53, 60200 Brno 2  
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:  
prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

(dále jen "nabyvatel")

## Článek 1

### Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
- diplomová práce
- bakalářská práce

jiná práce, jejíž druh je specifikován jako .....

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Zálohovaný napájecí zdroj pro lékařský přístroj s  
managementem po I2C

Vedoucí/školitel VŠKP: Ing. Pavel Šilhavý, Ph.D.

Ústav: Ústav telekomunikací

Datum obhajoby VŠKP: .....

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- tištěné formě - počet exemplářů 1
- elektronické formě - počet exemplářů 1

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

## Článek 2

### Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
  - ihned po uzavření této smlouvy
  - 1 rok po uzavření této smlouvy
  - 3 roky po uzavření této smlouvy
  - 5 let po uzavření této smlouvy
  - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

## Článek 3

### Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: .....

.....

Nabyvatel

.....

Autor

## ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je návrh a realizace napájecího zdroje pro lékařský přístroj, zálohovaný pomocí baterie LI-ION. Součástí tohoto zdroje je management komunikující po I2C sběrnici.

Elektrické parametry kladené na medicínské napájecí zdroje definuje norma EN 61000-3-2. V případě napájecích zdrojů pro medicínská zařízení je výrazný důraz kladen na zvýšenou elektrickou pevnost. Tyto zdroje musí v případě výpadku síťového napájení dodávat po dobu 2 hodin energii do připojených elektronických zařízení na výstupu.

Proto oproti jiným elektrickým zdrojům je volena kombinace primárního a sekundárního okruhu napájení. Primární tvoří napájecí síťový adaptér, jenž dodává potřebný výkon do zátěže a dobíjí záložní baterii. Sekundární je tvořen baterií, která slouží jako záložní zdroj výkonu při výpadku primárního okruhu. U těchto zdrojů jsou kladeny požadavky na minimální hmotnost, rozměry, velkou celkovou účinnost a to i při nabíjení baterie.

V této diplomové práci byl navržen a vyvinut napájecí zdroj pro medicínský přístroj, zálohovaný pomocí baterie LI-ION s managementem komunikujícím po I2C sběrnici.

Výsledné hodnoty navrženého zdroje jsou 5 V/ 3 A, 12 V/ 1,5 A a -12V/ 0,1 A. Management tohoto zdroje podává informace o tom, zda zdroj je napájen z baterie nebo ze sítě, okamžitý stav nabití baterie, teplota baterie. Komunikace probíhá s vnějším řídicím prvkem po sběrnici I2C s rychlostí 100 kb/s.

**Klíčová slova:** I2C, SMB, UPS, „smart“ LI-ION baterie, zvyšující napěťový DC/DC měnič, snižující napěťový DC/DC měnič, invertující napěťový DC/DC měnič

## ABSTRACT

Object my master's thesis is the design a Medical device uninterruptible power supply with managment system utilizing I2C bus.

Norm EN 61000-3-2 define electric parameters for medical device power supply. In case of power supply for medial equipment is expressive accent on increased electric strength. This power supply have usually primary and secondary power circuit. Primary power circuit form line accumulator, which supplies needed output to the load and recharge reserve battery. Secondary is formed battery-pack, which serve as back-up power supply at drop-out prime circle. They have a minimum weight, small proportions, large overall effectivity also charging battery-pack and monitoring battery-pack charging condition.

Result whole those master's thesis is design Medical device uninterruptible power supply with managment system utilizing I2C bus and realization board layout. Resulting characteristics designed supply unit are: Output voltages are 5V/ 3 A , 12V/ 1,5 A and -12V/ 0,1 A. Managment support information about: Line adapter/ battery pack switch, battery-pack charging condition and actuall temperature battery-pack.

**Keywords:** I2C, SMB, UPS, „smart“ LI-ION battery pack, buck converter, boost converter, inverting converter

DANĚČEK, V. *Zálohovaný napájecí zdroj pro lékařský přístroj s managementem po I2C*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 53 s., 15 s. příloh. Vedoucí diplomové práce byl Ing. Pavel Šilhavý, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Zálohovaný napájecí zdroj pro lékařský přístroj s managementem po I2C“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne .....

.....  
(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Pavlovi Šilhavému Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé semestrální práce.

V Brně dne .....

.....  
(podpis autora)

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Návrh koncepce zálohovaného napájecího zdroje</b> .....	<b>7</b>
2.1.	Analýza problematiky koncepce napájecího zdroje .....	7
2.1.1.	Přepínací obvody mezi napájecím adaptérem a baterií .....	8
2.1.2.	Baterie.....	8
2.1.3.	Analogová část samotného zdroje .....	9
2.2.	Vlastní návrh koncepce zálohovaného napájecího zdroje .....	10
<b>3</b>	<b>Blok UPS</b> .....	<b>13</b>
3.1.	Popis funkcí obvodu BQ24703 .....	13
3.1.1.	Detekce přítomnosti napětí napájecího adaptéru (ACDET) .....	13
3.1.2.	Detekce vybití baterie LI-ION (BATDEP).....	14
3.1.3.	Obvod nabíjení baterie LI-ION.....	14
3.1.4.	Nastavení prahové hodnoty napětí baterie LI-ION (BATP) .....	14
3.1.5.	Nastavení hodnoty nabíjecího proudu do baterie LI-ION (SRSET) .....	15
3.1.6.	DPM - Nastavení prahové hodnoty aktivačního elektrického proudu (ACSET).....	15
<b>4</b>	<b>Blok napěťových měničů DC/DC</b> .....	<b>17</b>
4.1.	Princip činnosti lineárně a spínavě řízeného napěťového měniče DC/DC bez transformátoru.....	19
4.2.	Spínavě řízené napěťové měniče DC/DC s primárním akumulacním prvkem kondenzátorem .....	21
4.2.1.	Spínavě řízené napěťové měniče DC/DC s primárním akumulacním prvkem kondenzátorem – Invertor napětí.....	22
4.2.2.	Spínavě řízené napěťové měniče DC/DC s primárním akumulacním prvkem kondenzátorem – Zdvojovač napětí.....	24
4.3.	Spínavě řízené napěťové měniče DC/DC s primárním akumulacním prvkem tlumivkou .....	25
4.3.1.	Spínavě řízené napěťové měniče DC/DC – Řízení realizováno napěťovou zpětnou vazbou .....	26
4.4.	Spínavě řízené napěťové měniče DC/DC – Řízení realizováno proudovou zpětnou vazbou .....	28
4.4.1.	Spínavě řízené napěťové měniče DC/DC bez transformátoru s primárním akumulacním prvkem tlumivkou – Zvyšující měnič.....	31
4.4.2.	Spínavě řízené napěťové měniče DC/DC bez transformátoru s primárním akumulacním prvkem tlumivkou – Snižující měnič .....	33
4.5.	Zvyšující napěťový měnič +12 V/DC.....	35
4.5.1.	Princip zvyšujícího napěťového měniče .....	35
4.5.2.	Simulace spínače +12 V/Switch .....	38
4.6.	Snižující napěťový měnič +5 V/DC .....	40
4.7.	Invertující měnič -12 V/DC .....	43
<b>5</b>	<b>Blok řízení</b> .....	<b>46</b>
<b>6</b>	<b>Závěr</b> .....	<b>49</b>
<b>7</b>	<b>Seznam použité literatury</b> .....	<b>52</b>
<b>8</b>	<b>Seznam příloh</b> .....	<b>53</b>

# Seznam obrázků

OBR. 2.1: VNITŘNÍ BLOKOVÁ STRUKTURA ZÁLOHOVANÉHO NAPÁJECÍHO ZDROJE .....	10
OBR. 3.1: PRINCIP DYNAMIC POWER MANAGMENTU .....	16
OBR. 4.1: BLOKOVÉ SCHÉMA A) LINEÁRNĚ ŘÍZENÉHO SNIŽUJÍCÍHO DC/DC MĚNIČE, B) SPÍNAVĚ ŘÍZENÉHO SNIŽUJÍCÍHO DC/DC MĚNIČE BEZ TRANSFORMÁTORU..	19
OBR. 4.2: PRŮBĚHY SIGNÁLŮ SPÍNAVĚ ŘÍZENÉHO SNIŽUJÍCÍHO DC/DC MĚNIČE A) VÝSTUPNÍ NAPĚTÍ OSCILÁTORŮ $U_{OSC}$ , B) VÝSTUPNÍ NAPĚTÍ KOMPARÁTORU $U_{KMP}$ , C) ŘÍDICÍ SIGNÁL TRANZISTORU USW.....	20
OBR. 4.3: NAPĚŤOVÝ INVERTOR DC/DC NAPĚTÍ.....	22
OBR. 4.4: PRŮBĚHY ELEKTRICKÝCH VELIČIN U NAPĚŤOVÉHO DC/DC MĚNIČE- INVERTORU: A) PRŮBĚH ELEKTRICKÉHO PROUDU $I_{IN}$ B) PRŮBĚH ELEKTRICKÉHO PROUDU $I_{OUTC}$ C) PRŮBĚH ELEKTRICKÉHO NAPĚTÍ $U_{OUT}$ .....	23
OBR. 4.5: NAPĚŤOVÝ ZDVOJOVAČ DC/DC NAPĚTÍ.....	24
OBR. 4.6: PRŮBĚHY ELEKTRICKÝM VELIČIN U ZDVOJOVAČE NAPĚTÍ: A) PRŮBĚH ELEKTRICKÉHO PROUDU $I_{IN}$ B) PRŮBĚH ELEKTRICKÉHO PROUDU $I_{OUTC}$ C) PRŮBĚH ELEKTRICKÉHO NAPĚTÍ $U_{OUT}$ .....	25
OBR. 4.7: BLOKOVÉ SCHÉMA SPÍNAVĚ ŘÍZENÉHO SNIŽUJÍCÍHO DC/DC MĚNIČE BEZ TRANSFORMÁTORU S ŘÍZENÍM REALIZOVANÉHO NAPĚŤOVOU ZPĚTNOU VAZBOU.....	26
OBR. 4.8: ELEKTRICKÉ PRŮBĚHY NAPĚTÍ A) OSCILÁTORU A ROZDÍLOVÉHO SIGNÁLU, B) ŘÍDICÍHO SIGNÁLU.....	27
OBR. 4.9: BLOKOVÉ SCHÉMA SPÍNAVĚ ŘÍZENÉHO ZVYŠUJÍCÍHO DC/DC MĚNIČE BEZ TRANSFORMÁTORU S ŘÍZENÍM REALIZOVANÉHO PROUDOVOU ZPĚTNOU VAZBOU .....	29
OBR. 4.10: ELEKTRICKÉ PRŮBĚHY NAPĚTÍ ZVYŠUJÍCÍHO DC/DC MĚNIČE ŘÍZENÉHO PROUDOVOU ZPĚTNOU VAZBOU A) PŘEVODNÍKU PROUDU NA NAPĚTÍ A ROZDÍLOVÉHO, B) ŘÍDICÍHO SIGNÁLU.....	30
OBR. 4.11: ZVYŠUJÍCÍ MĚNIČ DC/DC NAPĚTÍ REALIZOVANÝ POMOCÍ OBVODU MC33063..	31
OBR. 4.12: PRŮBĚH A) ELEKTRICKÉHO NAPĚTÍ SPÍNACÍ TRANZISTORU Q1, B) ELEKTRICKÉHO PROUDU TLUMIVKOU $L_1$ U ZVYŠUJÍCÍHO NAPĚŤOVÉHO DC/DC MĚNIČE.....	32
OBR. 4.13: SNIŽUJÍCÍ MĚNIČ DC/DC NAPĚTÍ REALIZOVANÝ POMOCÍ OBVODU MC33063A	33
OBR. 4.14: ZVYŠUJÍCÍ NAPĚŤOVÝ MĚNIČ +12 V/DC .....	35
OBR. 4.15: VNITŘNÍ BLOKOVÁ STRUKTURA INTEGROVANÉHO OBVODU MC33063A.....	36
OBR. 4.16: ZAPOJENÍ TESTOVACÍHO OBVODU.....	38
OBR. 4.17: GRAF PRŮBĚHU NAPĚTÍ A) NA HRADLU GATE N-MOSFET B) NA HRADLU GATE P-MOSFET C) DRAIN P-MOSFET.....	39
OBR. 4.18: SNIŽUJÍCÍ NAPĚŤOVÝ MĚNIČ +5 V .....	40
OBR. 4.19: INVERTUJÍCÍ NAPĚŤOVÝ MĚNIČ -12 V .....	43
OBR. 5.1: BLOKOVÉ SCHÉMA ŘÍDICÍHO BLOKU .....	46

# Seznam tabulek

TAB. 2.1: POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH TECHNOLOGIÍ BATERÍ.....	8
TAB. 5.1: POPIS VÝVODŮ OBVODU PCA9538PW .....	47
TAB. 5.2: ADRESY I2C K IO OBVODŮM BLOKU ŘÍZENÍ .....	48

# Seznam použitých zkratek

<b>Zkratka</b>	<b>Anglický význam</b>	<b>Český význam</b>
UPS	Uninterruptible Power Source	Nepřerušitelný zdroj energie
SMB	System Managment Bus	Sběrnice System Managment Bus
DPM	Dynamic power managment	Dynamický systém řízení výkonu
PWM	PWM	Pulzně šířková modulace
I2C	Inter-integrated circuit	Sběrnice I2C
LDO	Low-drop out	Nízkoztrátový stabilizátor

# 1 Úvod

Návrh napájení medicínských elektronických zařízení je problematikou podrobovanou neustálému vývoji. Prioritou u těchto napájecích zdrojů je dodávat konstantní výstupní napětí, po co nejdelší dobu, a to i při výpadku síťového napájení, tzv. UPS. Dle normy EN 61000-3-2 je doba stanovena na 2 hodiny. Proto je volena kombinace primárního a sekundárního okruhu napájení. Primární tvoří napájecí síťový adaptér, jenž dodává potřebný výkon do zátěže a dobíjí záložní baterii. Sekundární je tvořen baterií, která slouží jako záložní zdroj výkonu při výpadku primárního okruhu. Požadavky kladené na tyto zdroje jsou nízká hmotnost, malé rozměry, velká celková účinnost a vysoká spolehlivost. Vyžadováno je navíc schopnost informovat o stavu aktuální úrovně napětí baterie a její efektivní nabíjení.

Jako primární zdroje napájení jsou úspěšně používány spínané zdroje, jež zaznamenávají masový rozvoj. Jejich výhoda spočívá v minimalizaci jejich rozměrů, nízké hmotnosti a velké účinnosti. Výstupní napětí při správném návrhu dosahuje stejné úrovně výstupního zvlnění jako u klasického napájecího zdroje. Možnost výskytu vyšších harmonických složek spínacího prvku, lze úspěšně eliminovat správným návrhem výstupního filtru. Proto jsou spínané zdroje masivně rozšiřovány do primárních okruhů těchto medicínských elektronických zařízení.

Jako sekundární zdroje napájení jsou používány různé typy baterií „battery-pack“. Hlavními požadavky na ně jsou velká kapacita baterie, malá fyzická velikost, nízká hmotnost, možnost zatěžování a nabíjení velkými elektrickými proudy (jednotky ampér). Moderní „smart“ LI-ION baterie obsahují navíc vnitřní číslicové integrované obvody, jež ukládají informace o nabíjení, vybíjení, vnitřní teplotě a aktuální úrovni nabití. Pro tyto obvody byla navržena speciální sběrnice SMB, jež vychází principiálně ze sběrnice I2C, ale není s ní zcela kompatibilní. Z tohoto důvodu výrobci IO vyrábějí speciální přizpůsobovací obvody mezi těmito sběrnicemi.

Jako přepínače mezi primárním a sekundárním okruhem složí speciální integrované obvody. Stejně tak se vyrábějí speciální obvody pro nabíjení baterie. V dnešní době je snaha výrobců integrovaných obvodu oba typy těchto obvodu funkčně integrovat do jednoho. Takto výsledné obvody obsahují kromě výše zmíněných vlastností i dodatečné signalizační obvody, jež informují řídicí prvek o sta-

vu přepínání apod. Některé obsahují dynamic power management (DPM), který umožňuje efektivně využívat zdroj elektrického napětí, nabíjet baterii a přitom dodávat do vnějšího systému potřebný elektrický proud.

Cílem této diplomové práce je nastudování problematiky pulzních DC/DC měničů bez použití transformátoru a UPS. Dále pak návrh a realizace napájecího zdroje pro lékařský přístroj, zálohovaný pomocí baterie LI-ION s následujícími parametry návrhu: Vstupem zdroje bude napájecí adaptér 12 V, schválený pro použití v lékařských přístrojích dle EN 61000. Výstupní napětí budou 5 V/ 3 A, 12 V/ 1,5 A a -12V/ 0,1 A. Informace o tom, zda zdroj je napájen z baterie nebo ze sítě, okamžitý stav nabití baterie, teplota baterie a další parametry bude možno monitorovat. Komunikační sběrnici bude I2C 100 kb/s.

## 2 Návrh koncepce zálohovaného napájecího zdroje

Zálohované napájecí zdroje pro medicínské přístroje jsou v dnešní době komplexní elektrické zařízení. Jejich nedílnou součástí jsou výkonové, řídicí, senzorové a komunikační bloky. Proto tyto elektrické zařízení při návrhu vyžadují spojení koncepce odvětví různých oborů analogové a číslicové techniky. Jako samotnou a specializovanou část návrhu lze označit volbu vhodného elektrochemického zdroje pro záložní napájení.

Řídicí, senzorové a komunikační bloky ke klasické funkci napájecího elektrického síťového zdroje, přidávají řadu přídavných funkcí, jež dříve plnily externí měřicí přístroje v případě potřeby. Pro příklad lze uvést monitorování aktuálního stavu nabití elektrochemického zdroje, číslicovou komunikaci s externími mikrokontrolery, či měření aktuálního odebíraného proudu z elektrochemického zdroje napětí. Implementace „smart“ technologií v bateriích a senzorech umožňuje efektivní a komplexní předávání důležitých informací nadřazeným řídicím prvkům.

### 2.1. Analýza problematiky koncepce napájecího zdroje

Při samotném návrhu koncepce je potřeba vzít v úvahu rozdílnost zálohovaného napájecího zdroje pro medicínské přístroje oproti jinému elektrickému napájecímu zdroji. U medicínského přístroje se předpokládá schopnost jeho mobility. Proto je nutné, aby v případě odpojení, či vypnutí napájecího adapterů, byl napájecí zdroj schopen po dobu 2 hodiny (EN 61000-3-2) napájet elektrické obvody daného zařízení ze záložní baterie. Dále je nutné, aby byla obsluha informována o aktuálním stavu baterie, či dalších potřebných údajích. Tato skutečnost vyžaduje použití čidel a číslicových obvodů.

Pro monitorování a řízení daný zdroj potřebuje dodatečné obvody, jež komunikují s externím řídicím prvkem. Ke komunikaci je nutné tedy při návrhu koncepce zvolit komunikační sběrnici.

Hlavní činnosti samotného zdroje je získání požadovaného výstupního napětí ze vstupního pro danou zátěž. Tedy je potřeba výkonové analogové části s velkou celkovou účinností. K analogové části lze přiřadit i přepínač mezi adapté-

rem a baterií. Dále je doporučeno, aby dané zdroje obsahovali i nabíjecí obvody baterie.

### 2.1.1. Přepínací obvody mezi napájecím adaptérem a baterií

Úkolem přepínacích obvodů je v případě potřeby přepnout vstupní zdroj elektrické energie a tím zajistit nepřerušovanou dodávku energie do zátěže. Obvody přepínají mezi baterií a vstupním adaptérem. Na tyto přepínače je kladen požadavek minimálního odporu v sepnutém stavu a jeho vysoká rychlost přepnutí mezi stavy. Samotné přepínání v dnešní době realizují unipolární tranzistory, jež jsou řízeny ze speciálních integrovaných obvodů. Možné reléové přepínání je realizovatelné, ale je nevhodné. Tyto přepínače mají kratší životnost. Hmotnost relé je větší jako hmotnost SMD tranzistorů. Speciální řídicí obvody unipolárních tranzistorů bývají integrovány s nabíjecími obvody baterií. Každý větší výrobce integrovaných obvodů vyrábí tyto obvody označované v anglické literatuře system power selector. S možností nabíjení pak multichemistry battery chargers with automatic system power selector. Odlišují se přesností nabíjení baterie. Dále pak chemickou technologií baterie (LI-ION, LI-POL, univerzální), počtu článků v baterii a zda jsou integrovány unipolární tranzistory.

S ohledem na tyto vlastnosti byl pro návrh zvolen multifunkční obvod BQ24703 [8].

### 2.1.2. Baterie

Baterie plní funkci sekundárního zdroje elektrické energie. Je požadovaná velká kapacita (mAh), velké svorkové napětí (Wh/dm<sup>3</sup>), velká měrná kapacita hmotnosti (Wh/kg), vysoká měrná kapacita objemu (Wh/dm<sup>3</sup>), velký počet nabíjecích cyklů, velký odebíraný výkon.

**Tab. 2.1: Porovnání jednotlivých technologií baterií**

Provedení	NiCd	NiMH	Li-ion	Li-pol
Svorkové napětí [V]	1,0-1,3	1,0-1,3	2,7-4,1	3,7
Měrná kapacita hmotnosti [Wh/kg]	45-80	60-120	90-120	130-200
Měrná kapacita objemu [Wh/dm <sup>3</sup> ]	120	170	270	300
Počet nabíjecích cyklů	>200	>300	>1200	>1000

Z prvotního návrhu byla vyřazena Nikl kadmiová a Nikl-metal hybridová technologie. Důvodem byla příliš velká hmotnost a minimální počet nabíjecích cyk-

lů jak je patrné z tab. 2.1 [1], [10]. Pro výběr zbyla technologie Lithium-ion a Lithium-ion polymer.

Lithium-ion polymer technologie většinou vykazuje lepší vlastnosti než Lithium-ion. Její nevýhoda spočívá v menším počtu nabíjecích cyklů a v mnohem náročnějším nabíjení. Je obecně oproti baterii Li-ion více náchylná k případné explozi v případě přehřátí, či špatného nabíjení. Lithium-ion polymer baterie vyžadují balanční obvody, je provádí vyrovnávání napětí na jednotlivých člancích. Lithium-ion polymer baterie jsou dražší jako Lithium-ion baterie. Z těchto důvodů byla zvolena Lithium-ion CBI06090B.

Tato baterie obsahuje vnitřní integrované obvody komunikující po sběrnici SMB. Integrované obvody plní senzorovou činnost a měří teplotu baterie a stav nabití. Vzhledem k tomu, že pro komunikaci mezi jednotlivými bloky celého medicínského zařízení je použita sběrnice I2C, byl zvolen převodník I2C a SMBUS PCA9306.

### **2.1.3. Analogová část samotného zdroje**

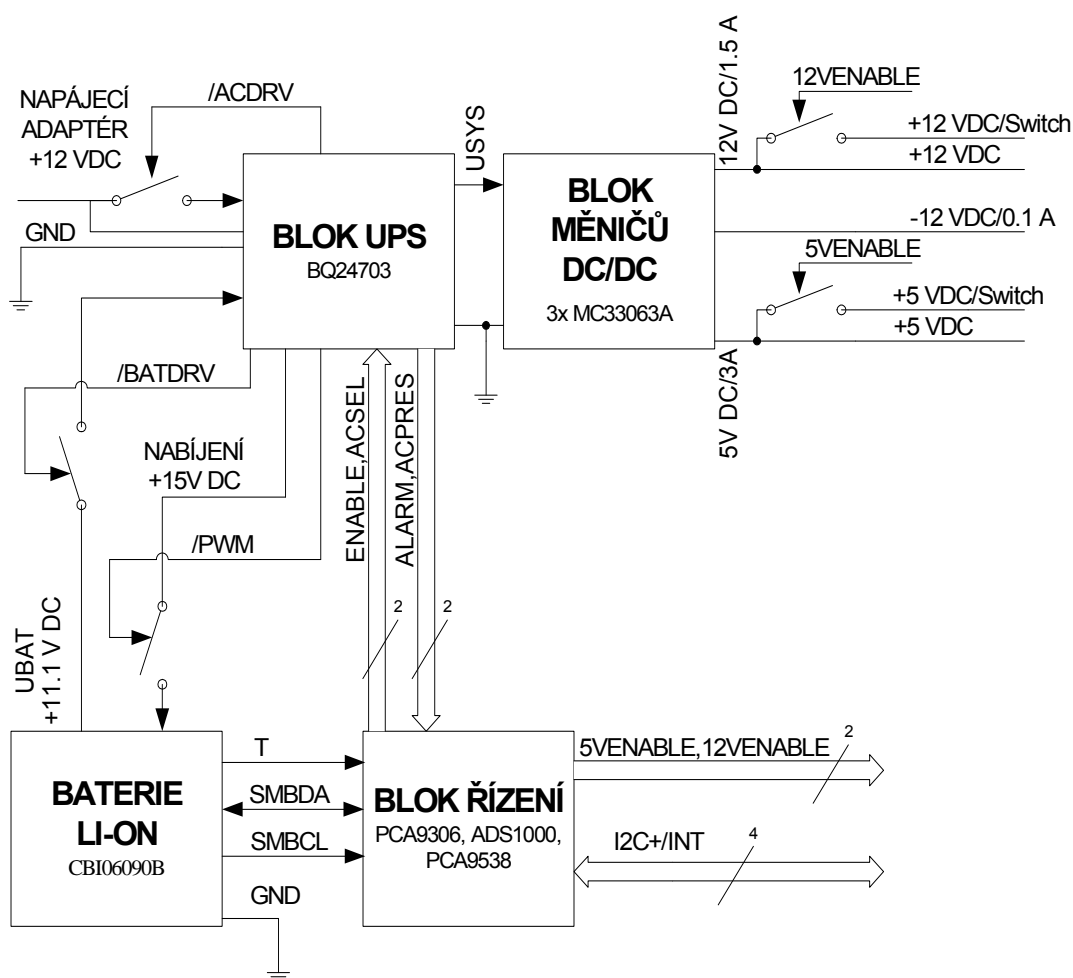
Analogová část je principiálně totožná z jakýmkoliv jiným síťovým elektrickým zdrojem. Rozdíl je v tom, že v případě napájecích zdrojů pro medicínská zařízení je výrazný důraz kladen na zvýšenou elektrickou pevnost (EN 61000-3-2) a je vyžadována velká celková účinnost. Při volbě analogové části můžeme zvolit dvě koncepce. První koncepce je složena z transformátoru, usměrňovače, filtru a stabilizátoru. Druhá je obsahuje spínaný zdroj a na jeho výstupu je připojen DC/DC napěťový měnič.

První koncepce je celkově méně účinná oproti druhé koncepci. Důvodem jsou výkonové ztráty ve stabilizátoru. Dále je nevýhodná velká hmotnost a velké rozměry celé této koncepce. V případě potřeby různých výstupních napětí se stává celá koncepce dražší, a ještě méně účinná jako druhá koncepce. Proto tato koncepce nebyla zvolena.

Druhá koncepce má větší celkovou účinnost oproti první. Důvodem je snížení ztrát nahrazením klasického LDO, napěťovým DC/DC měničem. Tato koncepce má menší hmotnost a menší rozměry oproti první koncepci. V případě potřeby různých výstupních napětí se stává celá koncepce levnější ve srovnání s první koncepcí. Proto byla zvolena tato koncepce.

## 2.2. Vlastní návrh koncepce zálohovaného napájecího zdroje

Zálohovaný napájecí zdroj pro lékařský přístroj s managementem po I2C (dále jen napájecí zdroj) je tvořen dvěma částmi, jejichž součástí jsou čtyři hlavní bloky. Blokové schéma je vyobrazeno na obr. 2.1. První je číslicová část, která je tvořena blokem řízení, jenž provádí řízení celého napájecího zdroje a komunikuje po I2C sběrnici s ostatními vnějšími bloky. Druhou analogovou část tvoří bloky UPS, měničů napětí DC/DC a baterie LI-ION.



Obr. 2.1: Vnitřní bloková struktura zálohovaného napájecího zdroje

Blok řízení je tvořen analogově-číslicovým převodníkem ADS1000, osmi-bitovým expandérem I/O bran externího mikrokontroléru PCA9538 a obousměrným napěťovým převodníkem I2C-SMB PCA9306 [8].

Analogově-číslicovým převodníkem ADS1000 [8] , převádí napěťovou úroveň signálu T na číslicovou informaci. Tuto informaci posílá přes I2C sběrnici externímu mikrokontroléru pro další vyhodnocení. Úroveň elektrického napětí signálu T je úměrná teplotě uvnitř baterie. Signál T slouží primárně jako indikátor přehřátí. Přehřátí může u baterie LI-ION způsobit její následnou explozi.

Obousměrným napěťovým převodník I2C-SMB PCA9306, slouží jako přizpůsobovací člen mezi sběrnicemi I2C a SMB. Přizpůsobení probíhá konverzí mezi napětím I2C +5 V na +2.5 V SMB. Přes tento obvod jsou vyčítány informace z vnitřních elektrických obvodů „smart“ LI-ION baterie. Tyto údaje jsou následně předávány externímu mikrokontroléru přes I2C sběrnici. Vnitřní obvody „smart“ baterie umožňují čtení i zápis dat. Signál SMBDA slouží jako datový signál sběrnice SMB [9] a SMBCL jako taktovací hodinový signál stejné sběrnice.

Osmibitový expandér I/O bran PCA9538 externího mikrokontroléru, slučuje data ze všech ostatních číslicových signálů použitých ve zdroji. Tyto data následně předává vnějšímu mikrokontroléru přes I2C sběrnici. Tento obvod byl použit ke snížení počtu nezbytně nutných vodičů vedoucích k externímu mikrokontroléru. Tento obvod má pět řídicích výstupních signálů a dva indikační kanály. Řídicí signály jsou ENABLE, ACSEL, 5VENABLE, 12VENABLE a vnitřní ENABLE2. Indikační signály pak ALARM a ACPRESS. Signál ALARM indikuje vybití baterie. Tedy pokles napětí na baterii pod hodnotu 9V. ACPRESS signál udává informaci, že je připojen vnější adapter s elektrickým napětím rovnému 12V. Signál ENABLE povoluje nabíjení baterii LI-ION. ACSEL signál nastavuje, zda se má výstupní hodnota elektrického napětí do bloku měničů ( $U_{SYS}$ ) přijímat z napájecího adaptéru, či baterie LI-ION. Řídicí signál 5VENABLE připojuje elektrické napětí na výstup zdroje +5 VDC/Switch. Stejnou funkci má i signál 12VENABLE, jen s tím rozdílem, že slouží pro řízení +12 VDC/Switch. Odpojení obousměrného napěťového převodníku I2C-SMB PCA9306 od I2C sběrnice umožňuje logický signál ENABLE2.

Blok baterie LI-ION je tvořen „smart“ LI-ION baterií, jejímž hlavním úkolem je po snížení úrovně hladiny napětí na napájecím adaptéru pod 12 V (předpoklad, že na něm není potřebné elektrické napětí) dodávat do zátěže požadovanou energii. „Smart“ LI-ION baterie je speciální typ baterie, jenž kromě monočlánků obsahuje vnitřní elektrické integrované obvody. Tyto obvody zaznamenávají různé důležité informace jako např. velikost nabíjecích a vybíjecích proudů, počet cyklu nabití, sériové číslo, teplotu aj. Přístup k informacím u těchto obvodu se provádí

přes SMB [9] pomocí signálů SMBDA a SMBCL. V tomto zapojení je použita baterie LI-ION CBI06090B.

Dalším blokem je UPS. Tento blok provádí tři hlavní funkce. Plní funkci přepínače mezi napájecím adaptérem a baterií LI-ION. Další funkcí je nabíjení baterie LI-ION pomocí PWM signálu. Poslední a hlavní funkcí je předávat výkon ze dvou výše zmíněných vstupních zdrojů do zátěže. V tomto případě je zátěž blok měničů. Tento blok komunikuje přes výše zmíněné logické signály s osmibitovým expandérem I/O bran externího mikrokontroléru PCA9538. Dále obsahuje dodatečné 3 řídicí analogové signály. Signál /PWM slouží pro spínání P-MOSFET tranzistoru při nabíjení baterie LI-ION. Dále pak /ACDRV a /BATDRV signály připojují dle potřeby napájecí adapter, nebo baterii.

Poslední blok obsahuje tři napěťové měniče DC/DC. Prvním je „step-up“ zvyšující napěťový měnič, jenž převádí hodnotu napětí  $U_{SYS}$  na hodnotu +12 V/DC. Druhým je „step-down“ snižující napěťový měnič, jenž převádí hodnotu napětí  $U_{SYS}$  na hodnotu +5 V/DC. Třetím je invertující měnič, jenž převádí hodnotu napětí  $U_{SYS}$  na hodnotu -12 V/DC. Informace k napěťovým měničům DC/DC lze nalézt v [1], [2], [3], [4], [6].

## 3 Blok UPS

Blok UPS je tvořen obvodem BQ24703 a provádí tři hlavní operace. Plní funkci přepínače mezi napájecím adaptérem a baterií LI-ION. Další funkcí je nabíjení baterie LI-ION pomocí PWM. Poslední a hlavní činností je předávat výkon ze dvou výše zmíněných vstupních zdrojů do zátěže. V tomto případě je zátěž blok měničů. Blok UPS komunikuje přes logické signály ENABLE, ACSEL, ALARM a ACPRESS s osmibitovým expandérem I/O bran PCA9538 externího mikrokontroléru. Dále obsahuje dodatečné 3 analogové řídicí signály. Signál /PWM slouží pro spínání P-MOSFET tranzistoru při nabíjení baterie LI-ION. Dále pak /ACDRV a /BATDRV signály připojují dle potřeby napájecí adaptér, nebo baterii.

Obvod BQ24703 obsahuje tzv. dynamic power management (DPM), jenž umožňuje efektivně využívat zdroj elektrického napětí, nabíjet baterii a přitom dodávat do vnějšího systému potřebný elektrický proud. Proporciálně snižuje nebo naopak zvyšuje nabíjecí elektrický proud do baterie, dle zatížení vnějším systémem.

### 3.1. Popis funkcí obvodu BQ24703

#### 3.1.1. Detekce přítomnosti napětí napájecího adaptéru (ACDET)

Funkci ACDET je detekce nastaveného vstupního napětí připojeného adaptéru. Pokud nastane stav, kdy vstupní elektrické napětí poklesne pod hodnotu  $U_{ACDET}$  dojde k přepnutí zátěže na baterii LI-ION. Vnitřní 5 V reference je vypnuta a obvod se přepne do nízko příkonového módu.

Vztah pro nastavení detekce pro vývod 1 BQ24703 ACDET (3.1), kde  $U_{ACDET}$  je požadovaná úroveň detekce (schéma zapojení je uvedeno v příloze 1. Blok UPS):

$$U_{ACDET} = 1,246 \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) = 1,246 \cdot \left(1 + \frac{100 \cdot 10^3}{16 \cdot 10^3}\right) = 9,0335 \text{ V} \quad (3.1)$$

Při práci na vývojovém prostředí pro BQ24703, byla zjištěna požadovaná hodnota  $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ , tak aby bylo dosaženo  $U_{ACDET} = 9 \text{ V}$ .

### 3.1.2. Detekce vybití baterie LI-ION (BATDEP)

Tato funkce indikuje vybití baterie LI-ION. Je vyslán signál ALARM do obvodu PCA9538, a ten je dále zpracován externím mikrokontrolérem. Zároveň je automaticky přepnut jako vstupní zdroj pro okruh se zátěží napájecí adaptér. Signál ALARM setrvává v logickém stavu 1 po celou dobu vybití baterie. Baterie se považuje za hluboce vybitou při poklesu napětí pod 80% předpokládané úrovně vybití.

Vztah pro nastavení detekce pro vývod 4 BQ24703 BATDEP (3.2), kde  $U_{\text{BATDEP}}$  je požadovaná úroveň detekce (schéma zapojení je uvedeno v příloze 1 Blok UPS):

$$U_{\text{BATDEP}} = 1,246 \cdot \left( 1 + \frac{R_{20}}{R_{23}} \right) = 1,246 \left( 1 + \frac{820 \cdot 10^3}{130 \cdot 10^3} \right) = 9,105 \text{ V} \quad (3.2)$$

Při práci na vývojovém prostředí pro BQ24703, byla zjištěna požadovaná hodnota  $R_{23} = 110 \text{ k}\Omega$ , tak aby bylo dosaženo  $U_{\text{BATDET}} = 9 \text{ V}$ .

### 3.1.3. Obvod nabíjení baterie LI-ION

Nabíjení je prováděno pomocí klesajícího měniče DC/DC napětí, jenž je složen z P-MOSFET tranzistoru  $Q_2$ , diody  $D_3$ , tlumivky  $L_1$  a samotné baterie LI-ION.

Integrovaný obvod BQ24703 obsahuje PWM řídicí obvod s pevně danou frekvencí vnitřního oscilátoru  $f = 300 \text{ kHz}$ . Samotný PWM řídicí obvod spíná tranzistor P-MOSFET  $Q_2$ , a tím řídí nabíjecí proud do baterie. PWM řídicí obvod řídí spínání podle okamžité hodnoty napětí na baterii, dle aktuální hodnoty procházející nabíjecího proudu a podle okamžité hodnoty proudu přicházející z napájecího adaptéru.

### 3.1.4. Nastavení prahové hodnoty napětí baterie LI-ION (BATP)

Obvod BQ24703 je univerzální obvod, a proto je nutné nastavit úroveň elektrického napětí, kdy dojde přerušení nabíjení. K tomuto slouží pin 13 BATP, jenž slouží k připojení zpětné vazby řídicího obvodu PWM.

Vztah pro nastavení detekce pro vývod 13 BQ24703 BATP (3.3), kde  $U_{\text{BATP}}$  je požadovaná úroveň nabití baterie (schéma zapojení je uvedeno v příloze 1. Blok UPS):

$$U_{\text{BATP}} = 1,196 \cdot \left(1 + \frac{R_{21}}{R_{24}}\right) = 1,196 \cdot \left(1 + \frac{680 \cdot 10^3}{75 \cdot 10^3}\right) = 12,03 \text{ V} \quad (3.3)$$

Při práci na vývojovém prostředí pro BQ24703, byla zjištěna požadovaná hodnota  $R_{24} = 120 \text{ k}\Omega$ , tak aby bylo dosaženo  $U_{\text{BATP}} = 12 \text{ V}$ .

### 3.1.5. Nastavení hodnoty nabíjecího proudu do baterie LI-ION (SRSET)

Doporučená hodnota nabíjecího proudu do baterie LI-ION není přesně specifikována a u každého výrobce se liší. Obecně je rozšířen vztah pro nabíjecí proud do baterie  $I_{\text{CHG}}$ .

$$I_{\text{CHG}} = \frac{0,7 \cdot C_{\text{LI-ION}}}{t} = \frac{0,7 \cdot 6600 \cdot 10^{-3}}{1} = 4620 \text{ mA} \quad (3.4)$$

Při praktické realizaci bylo nutno tuto hodnotu předdimenzovat na dosažitelnou  $I_{\text{CHG}} = 4000 \text{ mA}$ .

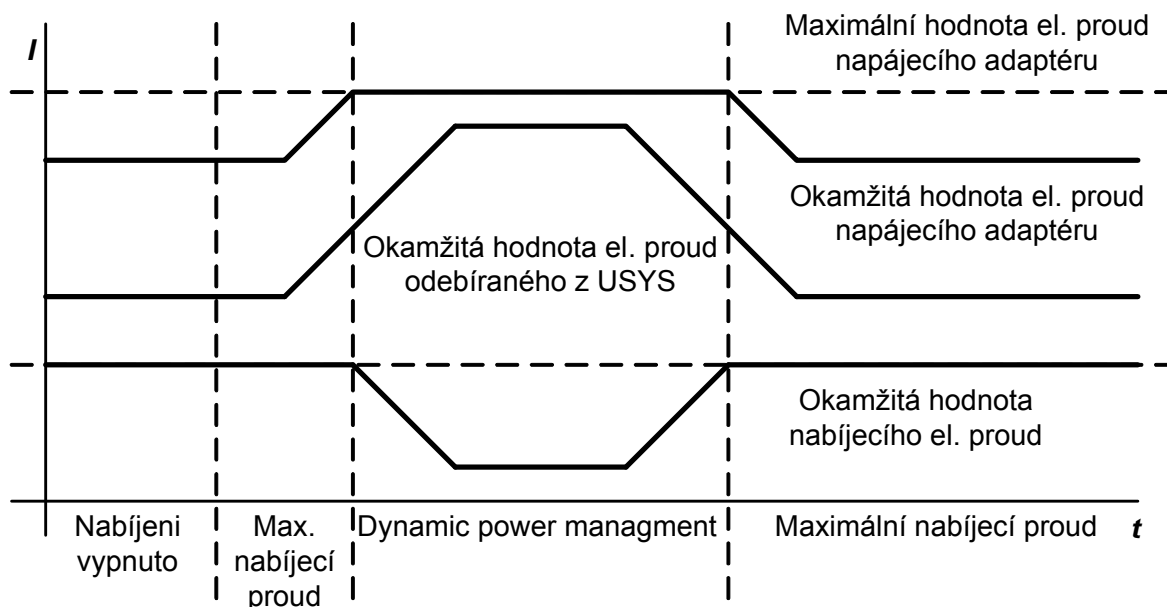
Velikost nabíjecího proudu do baterie LI-ION nastavuje velikost elektrického napětí na pinu 5 SRSET u BQ24703 (3.5). Vztah pro nastavení požadovaného nabíjecího proudu je definován (zapojení je uvedeno v příloze 1. Blok UPS):

$$I_{\text{CHG}} = \frac{U_{\text{VREF}} \cdot R_{12}}{25 \cdot R_{17} \cdot (R_{10} + R_{12})} = \frac{5 \cdot 240 \cdot 10^3}{25 \cdot 0,025 \cdot (240 \cdot 10^3 + 240 \cdot 10^3)} = 4 \text{ A} \quad (3.5)$$

Při práci na vývojovém prostředí pro BQ24703, byla zjištěna požadovaná hodnota  $R_{12} = 130 \text{ k}\Omega$ , tak aby bylo dosaženo  $I_{\text{CHG}} = 4 \text{ A}$ .

### 3.1.6. DPM - Nastavení prahové hodnoty aktivačního elektrického proudu (ACSET)

Rezistor  $R_5$  představuje pro obvod BQ24703 principiálně převodník elektrický proud na napětí [5]. Snímaný elektrický proud prochází z napájecího adaptéru do zátěže a baterie. Napětí na rezistoru  $R_5$  je porovnáváno s napětím na pinu ACSET, jenž vytváří odporový dělič  $R_{11}$  a  $R_{13}$ . Pokud nastane situace, při níž je hodnota napětí na rezistoru  $R_5$  větší jako nastavená hodnota děličem, začne se uplatňovat funkce „dynamic power management“. Tato funkce sníží proporcionálně možný nabíjecí proud do baterie, dle aktuálního požadovaného elektrický proudu do systému.



**Obr. 3.1: Princip Dynamic power managmentu**

Elektrický proud, při němž se začne uplatňovat „dynamic power managment“, nastavuje velikost elektrického napětí na pinu 6 ACSET u BQ24703 (3.6). Vztah pro nastavení zní:

$$I_{ADPT} = \frac{U_{VREF} \cdot R_{13}}{25 \cdot R_5 \cdot (R_{11} + R_{13})} = \frac{5 \cdot 150 \cdot 10^3}{25 \cdot 0,025 \cdot (100 \cdot 10^3 + 150 \cdot 10^3)} = 4,8 A \quad (3.6)$$

Při práci na vývojovém prostředí pro BQ24703, byla zjištěna požadovaná hodnota  $R_{13} = 51 \text{ k}\Omega$ , tak aby bylo dosaženo  $I_{ADP} = 4,8 A$ .

## 4 Blok napěťových měničů DC/DC

Napěťové stejnosměrné DC/DC měniče jsou elektronické zařízení, jenž vstupující stejnosměrné elektrické napětí přeměňují na požadované výstupní elektrické napětí. Výstupní elektrické napětí oproti vstupnímu může být větší, menší, invertované či kombinované při použití spínavě řízených napěťových měničů. Při použití lineárně řízených napěťových měničů je možné dosáhnout výstupní napětí pouze menší, či teoreticky rovnající se vstupnímu elektrickému napětí.

Lineárně řízené stejnosměrné napěťové měniče DC/DC fungují na principu regulace hodnoty vnitřního okamžitého odporu  $R_{ce}$  tranzistoru, jenž je připojen mezi vstupním a výstupním elektrickým napětím. Lineární řídicí signál pro tento tranzistor je nejčastěji získáván porovnáváním referenční hodnoty napětí s okamžitou hodnotou na výstupu v OZ. Další možností získání lineárního řídicího signálu je zapojení se Zenerovou diodou. Tento způsob přeměny je velmi málo účinný a to pouze (40 – 80) % i při použití LDO měničů. Důvodem je samotný princip tohoto měniče, kdy se nepotřebná energie přemění na teplo ztrátového výkonu na odporu  $R_{ce}$  tranzistoru. Výhodou těchto měničů je velmi malý přenos zvlnění v závislosti na kmitočtu střídavé složky vstupního napětí, nízká cena, jednodušší konstrukce a návrh. Nevýhoda je nízká celková účinnost, nedostatečné galvanické oddělení vstupu od výstupu. Dále pak neumožňují na výstupu generovat větší proudy než vstupní. Vyráběné integrované obvody mají výstupní proudovou zatížitelnost do 1500 mA. Typickými zástupci jsou obvody řady 78XX, LM337 a TPS752xx.

Spínavě řízené napěťové měniče DC/DC bez transformátoru fungují na principu dočasného předávání energie do akumulárního prvku ze vstupního zdroje stejnosměrného elektrického napětí, a její následné předání z tohoto prvku na výstup. Tento přístup umožňuje vytvářet různé hodnoty výstupního stejnosměrného elektrického napětí. Jako primární akumulární prvky se používají tlumivky nebo kondenzátory. Na tyto prvky jsou kladeny extrémní požadavky na nízké hodnoty jejich parazitních vlastností.

Pokud je jako primární akumulární prvek použit kondenzátor, nazývají se tyto měniče nábojovými pumpami. Umožňují dosáhnout hodnoty výstupního elektrického napětí, jež je invertované, zdvojené, ztrojené, či poměrově násobené

oproti hodnotě vstupního elektrického napětí. Napěťové zdvojovače jsou principiálně tvořeny kondenzátorem, do něhož je nakumulována energie, potažmo elektrické napětí, které se přičte ke vstupnímu napětí, po přepnutí příslušných přepínačů. Toto celkové napětí je dále distribuováno do zátěže. Celková účinnost těchto měničů je (85 - 99) %. Nábojové pumpy umožňují teoreticky vygenerovat velmi vysoké hodnoty elektrického napětí na výstupu (stovky tisíc voltu), ale jejich proudová zatížitelnost je velmi malá. U vyráběných integrovaných obvodu bývá výstupní elektrické napětí řádu desítek voltů. Výstupní proudová zatížitelnost vyráběných integrovaných obvodů bývá obvykle řádu stovek mA.

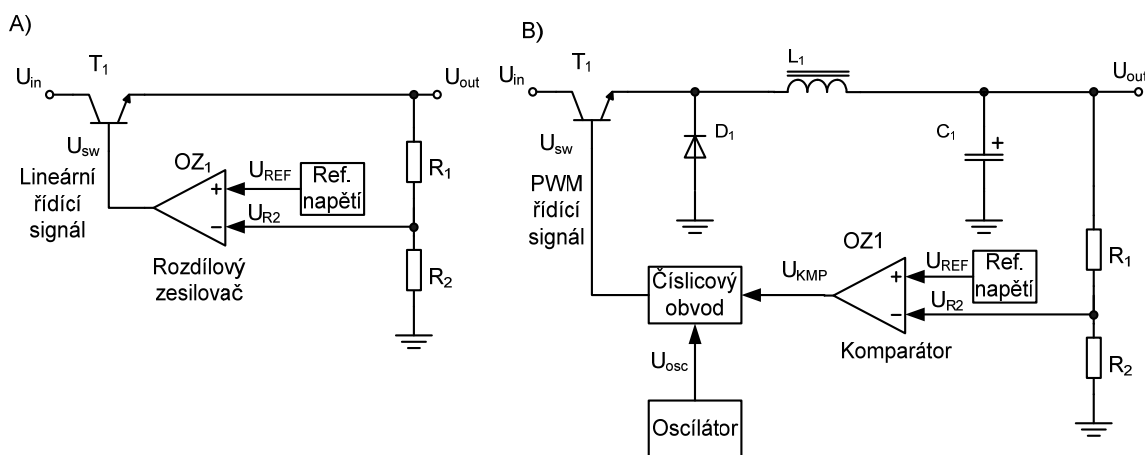
Nejpoužívanějším primárním akumulacním prvkem bývá tlumivka. Měniče s tímto primárním akumulacním prvkem umožňují dosáhnout stejných vlastností výstupního el. napětí jako nábojové pumpy, ale s mnohem větším proudovým zatížením. Dle použitého zapojení se jedná o jednotky až desítky ampér. Existují různá zapojení dle požadavků elektrického napětí na výstupu, jež budou dále v této diplomové práci rozebrány. Principiálně se vždy jedná o kombinaci tlumivky, sběracího kondenzátorů, rekuperační diody a spínacího prvku. Vypínání a zapínání spínacího prvku je řízeno pulzně šířkovou modulací, jež vytváří vnitřní elektrické obvody v řídicím obvodu. Celková účinnost těchto měničů je (85 - 96) %.

Spínavě řízené napěťové měniče DC/DC bez transformátoru mají oproti lineárně řízeným stejnosměrným napěťovým měničům DC/DC větší přenos zvlnění v závislosti na kmitočtu střídavé složky vstupního napětí. Proto se za ně musí zapojovat speciálně navržené LC filtry. Jejich pořizovací náklady jsou větší, mají složitější konstrukci i návrh. Jejich další nevýhoda je nedostatečné galvanické oddělení vstupu od výstupu. Tyto nevýhody jsou ovšem vykompenzovány velkou účinností, díky ní se celkové dlouhodobé náklady těchto měničů snižují. Tyto měniče se uplatňují díky velké účinnosti ve všech moderních bateriově napájených elektrických zařízeních, v nichž je potřeba měnit vstupní elektrické napětí baterie na různé výstupní. Velmi často to bývají hodnoty +5 V/DC, +12 V/DC a -12V/DC.

Nedostatečné galvanické oddělení vstupu od výstupu řeší spínavě řízené napěťové měniče DC/DC s transformátorem. Návrh požadovaných transformátorů do takovýchto měničů je velmi složitý. Použití transformátoru mírně snižuje celkovou účinnost, důsledkem jeho vnitřních ztrát.

## 4.1. Princip činnosti lineárně a spínavě řízeného napěťového měniče DC/DC bez transformátoru

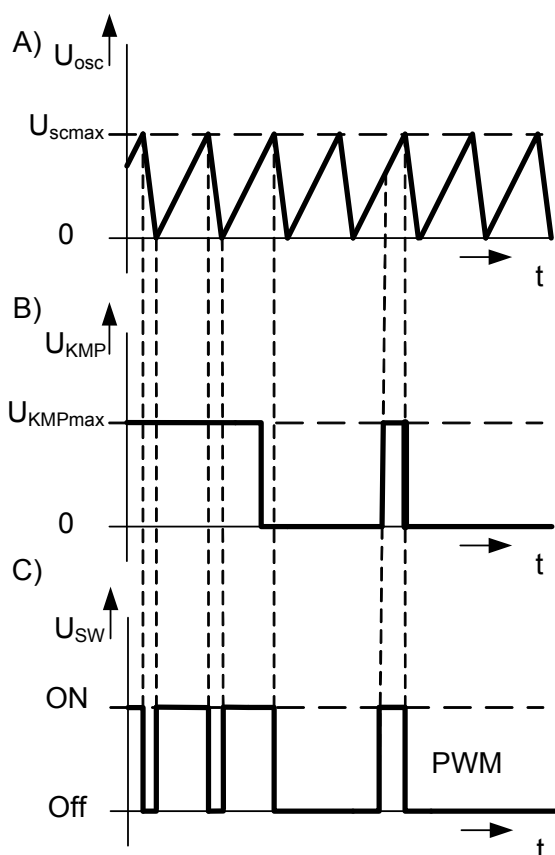
Na obr. 4.1 je vyobrazeno blokové schéma lineárně řízeného snižujícího napěťového měniče DC/DC. Tento měnič je složen ze zdroje referenčního napětí, rozdílového zesilovače  $OZ_1$ , tranzistorem  $T_1$  a rezistory  $R_1$  a  $R_2$ . Rezistory  $R_1$  a  $R_2$  jsou zapojeny jako rezistorový dělič napětí, na jehož výstupu je srovnávací elektrické napětí  $U_{R2}$ .



**Obr. 4.1: Blokové schéma a) lineárně řízeného snižujícího DC/DC měniče, b) spínavě řízeného snižujícího DC/DC měniče bez transformátoru**

Velikost úrovně napětí  $U_{R2}$  závisí na velikosti výstupního napětí  $U_{out}$ . Rozdílový zesilovač  $OZ_1$  porovnává referenční napětí  $U_{REF}$  se zpětnovazební hodnotou výstupního napětí sniženou na hodnotu napětí  $U_{R2}$ . Na základě velikosti odchylky generuje lineární napěťový signál  $U_{sw}$  na bázevývod  $T_1$ , jímž reguluje hodnotu vnitřního okamžitého odporu  $R_{ce}$  tranzistoru  $T_1$ . Zjednodušeně řečeno se tranzistor otevírá / přivírá dle okamžité hodnoty výstupního napětí  $U_{out}$  a snaží se tam udržet požadovanou hodnotu.

Tento DC/DC měnič vždy vyžaduje, aby byla hodnota vstupního napětí  $U_{in}$  vyšší jako výstupní napětí  $U_{out}$ . Nejmenší rozdíl těchto napětí dosahují tzv. low drop out regulátory. Tranzistorem  $T_1$  neustále protéká a elektrický proud. Průchod tohoto el. proud vytváří na vnitřním okamžitém odporu  $R_{ce}$  tepelné ztráty. To snižuje celkovou účinnost těchto měničů na (40 – 80) %. Tento problém řeší spínavě řízené DC/DC měniče.



**Obr. 4.2 : Průběhy signálů spínavě řízeného snižujícího DC/DC měniče  
 a) výstupní napětí oscilátorů  $U_{osc}$ , b) výstupní napětí komparátoru  $U_{KMP}$ ,  
 c) řídicí signál tranzistoru  $U_{SW}$**

Na tomto blokovém schématu (obr. 4.1 b) je zobrazen spínavě řízený snižující DC/DC měnič bez transformátoru s primárním akumulacním prvem tlumivkou. Tento měnič je složen ze zdroje referenčního napětí, oscilátoru, číslicového obvodu, komparátoru  $OZ_1$ , tranzistoru  $T_1$ , tlumivky  $L_1$ , kondenzátoru  $C_1$ , diody  $D_1$  a rezistoru  $R_1$  a  $R_2$ . Rezistory  $R_1$  a  $R_2$  jsou zapojeny jako rezistorový dělič napětí, na jehož výstupu je srovnávací elektrické napětí  $U_{R2}$ . Velikost úrovně napětí  $U_{R2}$  závisí na velikosti výstupního napětí  $U_{out}$ .

Komparátor je většinou tvořen zapojením s operačním zesilovačem  $OZ_1$ . Komparátor porovnává referenční hodnotu napětí  $U_{REF}$  se srovnávacím elektrickým napětím  $U_{R2}$ . Pokud hodnota elektrického signálu  $U_{R2}$  poklesne pod  $U_{REF}$  na výstupu komparátoru se vygeneruje kladná maximální hodnota  $U_{KMPmax}$ . Při hodnotě elektrického signálu  $U_{R2}$  nad  $U_{REF}$  je výstup komparátoru nulový. Průběh napětí z výstupu komparátoru  $U_{KMP}$  je zobrazen na obr. 4.2 b).

Další blok je oscilátor, který generuje periodický signál dle typu řízení. Obvykle generuje pilovitý průběh s různou střídou (u MC33063A 6:1), či impulsní průběh. Na Obr. 4.2 a) je zobrazen výstupní průběh z oscilátoru  $U_{osc}$ . Výrobci integrovaných obvodu prodávají řídicí obvody s pevně nastavenou, či nastavitelnou hodnotou frekvence oscilací oscilátoru. Obvody s pevně nastavenou frekvencí oscilací oscilátorů vykazují lepší výsledky, ale jsou méně universální a minimálně 2x dražší než jejich protějšky. Obvod MC33063A (nastavitelná hodnota frekvence oscilací) stojí 0,47 USD oproti tomu TPS63000 (pevně nastavená hodnota frekvence oscilací) stojí 3,3 USD.

Číslicový blok je principiálně tvořen jakýmkoliv elektronickými obvody, jenž kombinací vstupních signálů  $U_{osc}$  a  $U_{KMP}$  vytvoří na výstupu řídicí pulsně šířkově modulovaný signál  $U_{SW}$ . Jeho průběh je zobrazen na obr. 4.2 c). Jednotlivé provedení zaleží na konkrétním výrobcu IO. U MC33063A je to kombinace hradla logického součinu s klopným obvodem RS. U obvodu MC33063A má prioritu signál z oscilátoru. Pokud je  $U_{SW}$  ve stavu On, dojde k jeho dobíhání dokud nedosáhne  $U_{osc}$  hodnoty  $U_{SCmax}$ , i když je už  $U_{KMP}$  nulové.

Principiálně se tedy tranzistor  $T_1$  uvádí do saturace na dobu potřebnou k naakumulování energie do primárního akumulárního prvku  $L_1$ . V tomto zapojení je uplatněn i  $C_1$ . Doba saturace je proměnná a závisí na zátěži měniče, jenž je připojen na  $U_{out}$ . Při velkých proudových odběrech je doba saturace  $T_1$  delší než při menších proudových odběrech. Tranzistor není oproti lineárnímu řízení neustále sepnut a neprochází jím elektrický proud. To vede k tomu, že na něm vznikají tepelné ztráty jen v době saturace. Proto je celková účinnost těchto měničů (85 - 96) %.

Obecně lze říct, že vždy existuje několik druhů řízení, ale vždy je na výstupu řídicí bloku PWM signál, jenž provádí spínání spínacího prvku.

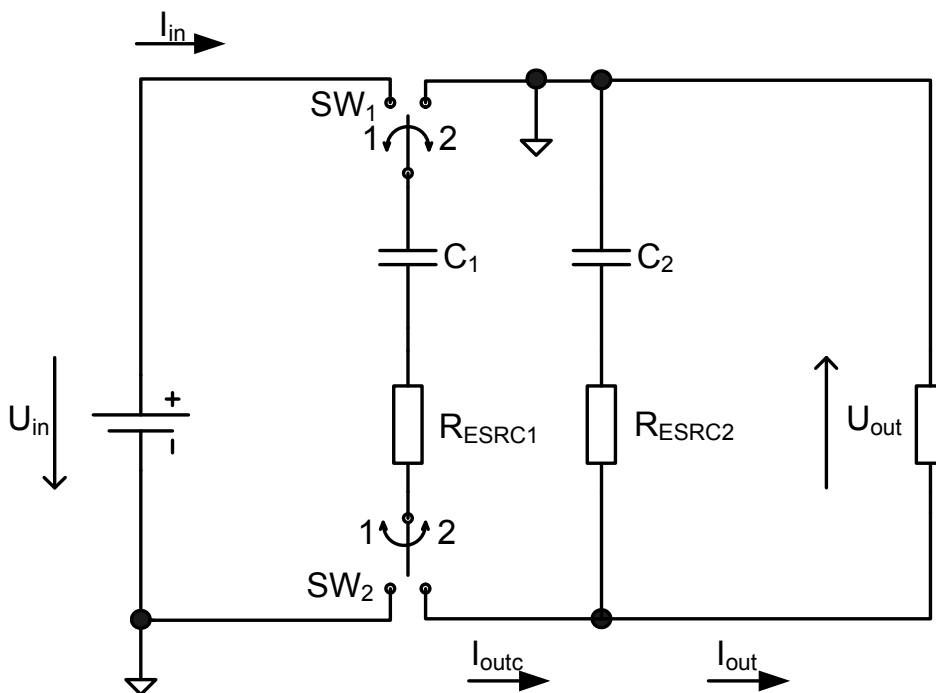
## **4.2. Spínavě řízené napěťové měniče DC/DC s primárním akumulárním prvkem kondenzátorem**

Spínavě řízené napěťové měniče DC/DC bez transformátoru s primárním akumulárním prvkem kondenzátorem, tzv. nábojové pumpy se využívají u zařízení, u nichž je požadovaná vysoká celková účinnost při přeměně vstupního na výstupní napětí. Jejich jediné omezení představuje samotný primární akumulární

prvek kondenzátor. Při požadavku velkých výstupních proudů měniče se jeho rozměry zvětšují a velmi negativně se uplatňují parazitní vlastnosti. To má za následek, že tento druh měničů se hodí pro zařízení, v nichž je požadován výstupní proud maximálně ve stovkách miliampér. Jádrem nábojových pump je obvykle tvořeno invertorem nebo zdvojovačem napětí.

#### 4.2.1. Spínavě řízené napěťové měniče DC/DC s primárním akumulacním prvkem kondenzátorem – Invertor napětí

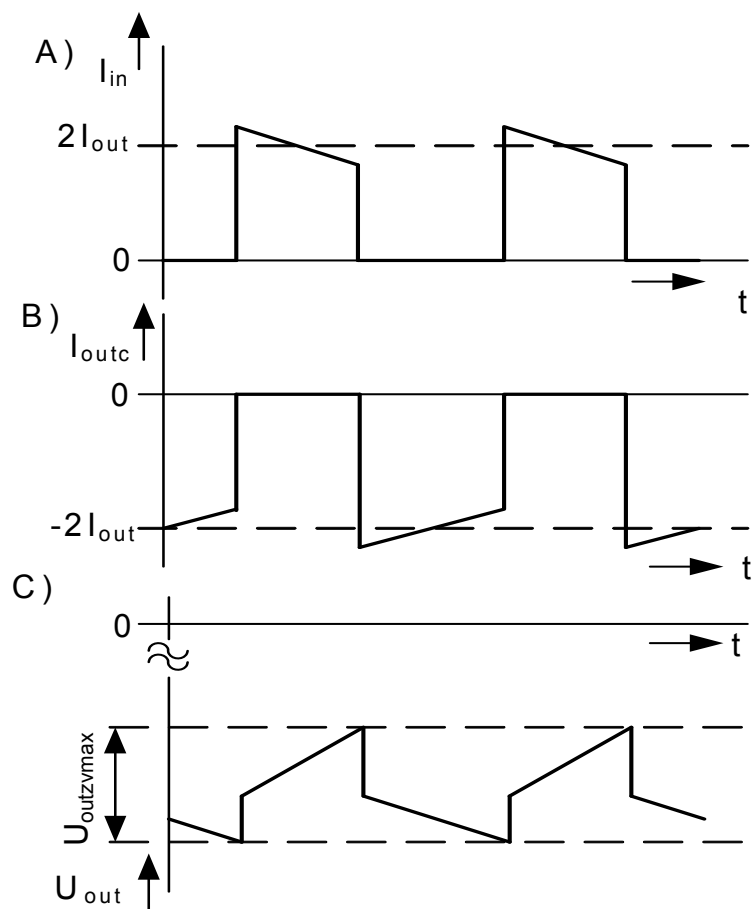
Na obr. 4.3 je zobrazeno principiální schéma spínavě řízeného napěťového měniče DC/DC bez transformátoru s primárním akumulacním prvkem kondenzátorem v zapojení jako invertor vstupního elektrického napětí s konstantním výstupním elektrickým proudem  $I_{out}$ .



Obr. 4.3: Napěťový invertor DC/DC napětí

Princip tohoto měniče spočívá vtom, že v čase  $t_1$  jsou přepínače  $SW_1$ ,  $SW_2$  v poloze jedna. Elektrický proud  $I_{in}$  prochází přes kondenzátor  $C_1$ , rezistor  $R_{ESRC1}$ , vnitřní odpory spínačů  $R_{sw}$  a je jím postupně nabíjen kondenzátor  $C_1$ .

Aby bylo možné zachovat konstantní hodnotu elektrického proudu  $I_{out}$  na výstupu DC/DC měniče po celou dobu činnosti, je nutné v čase  $t_1$  nabíjet kondenzátor  $C_1$  elektrickým proudem minimálně s hodnotou  $2I_{out}$ . Maximální velikost nabí-



**Obr. 4.4: Průběhy elektrických veličin u napěťového DC/DC měniče- inver- toru: a) průběh elektrického proudu  $I_{in}$  b) průběh elektrického proudu  $I_{outc}$  c) průběh elektrického napětí  $U_{out}$**

jecího proudu je limitována spínací frekvencí  $f$ , odporem spínačů  $R_{SW}$  a  $R_{ESRC1}$  na hodnotu  $2,5I_{out}$ . Charakteristické rysy elektrického průběhu  $I_{in}$  jsou závislé na poměru časové konstanty prvků ( $R_{SW}, C_1, R_{ESRC1}$ ) ke spínací časové konstantě ( $1/f$ ). Pokud je časová konstanta prvků větší než spínací, má to za následek delší dobu náběhu a větší hodnoty kondenzátorů. Pokud je menší vede to ke dvěma skutečnostem. První je zvětšení strmosti průběhu u nabíjení a vybíjení. Druhá skutečnost je pak zvyšování požadované hodnoty špičkového nabíjecího proudu. Na obr. 4.4 a) je zobrazen průběh elektrického proudu  $I_{in}$  v závislosti na čase.

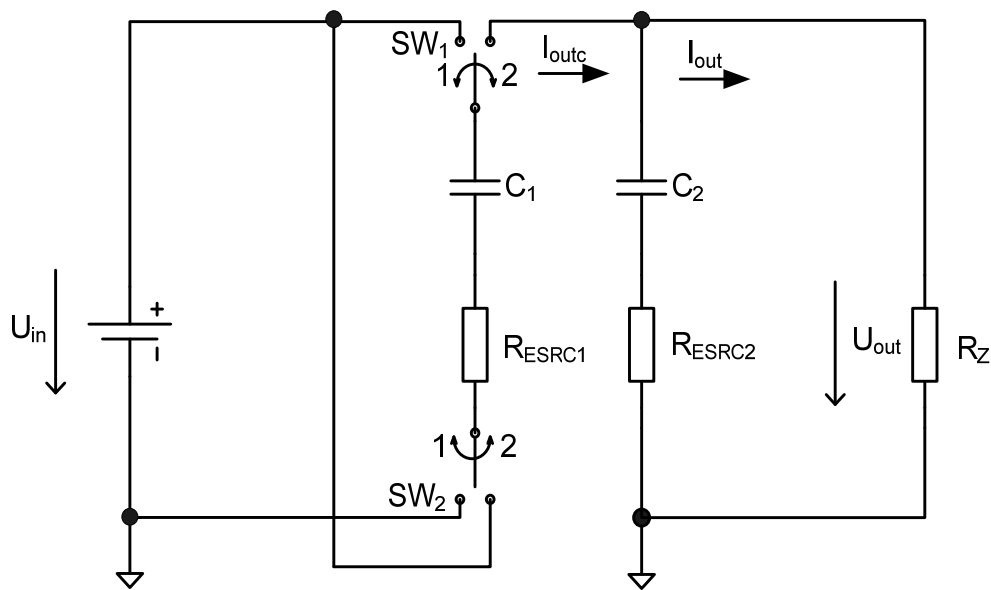
V okamžiku  $t_2$  jsou přepínače  $SW_1, SW_2$  v poloze dva. Elektrický náboj  $Q$  nashromážděný po dobu  $t_1$  v kondenzátoru  $C_1$ , se skokově předává do kondenzátoru  $C_2$ , elektrickým proudem  $I_{outc}$  o velikosti  $2I_{out}$ . Díky tomu skoku vznikne výstupní napětí  $2I_{out} \cdot R_{ESRC2}$ . Po tomto skoku se  $C_2$  začne lineárně nabíjet. Průběh elektrický

proudu  $I_{outc}$  v závislosti na čase je na Obr. 4.4 b). Průběh výstupního elektrického napětí  $U_{out}$  v závislosti na čase je poté vyobrazen na Obr. 4.4 c).

Vztah pro výpočet maximálního zvlnění výstupního napětí  $U_{outzvmax}$  je dán

$$U_{outzvmax} \approx 2I_{out} \cdot R_{ESRC2} + \frac{I_{out}}{2f \cdot C_2} \quad (4.1)$$

#### 4.2.2. Spínavě řízené napěťové měniče DC/DC s primárním akumulacním prvkem kondenzátorem – Zdvojovač napětí

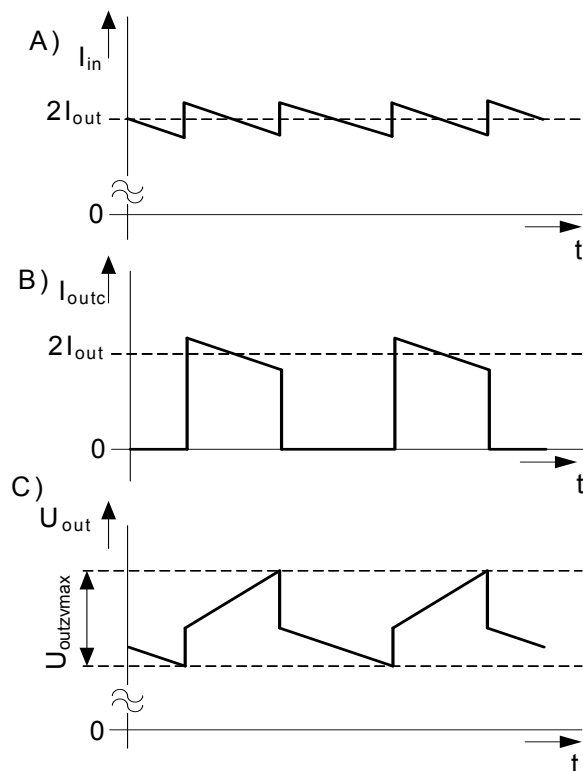


Obr. 4.5: Napěťový zdvojovač DC/DC napětí

Na Obr. 4.5 je vyobrazeno principiální schéma spínavě řízeného napěťové měniče DC/DC bez transformátoru s primárním akumulacním prvkem kondenzátorem v zapojení jako zdvojovač vstupního elektrického napětí s konstantním výstupním elektrickým proudem  $I_{out}$ .

Princip tohoto měniče je velmi prostý. V čase  $t_1$  jsou přepínače  $SW_1, SW_2$  uvedeny do polohy jedna. Elektrický proud  $I_{in}$  prochází přes kondenzátor  $C_1$ , rezistor  $R_{ESRC1}$ , vnitřní odpory spínačů  $R_{sw}$  a je jím nabíjen kondenzátor  $C_1$ .

Stejně jako u předchozího měniče pro zachování hodnoty konstantního elektrického proudu  $I_{out}$  na výstupu po celou dobu činnosti je nutné v čase  $t_1$  nabíjet kondenzátor  $C_1$  elektrickým proudem minimálně s hodnotou  $2I_{out}$ .



**Obr. 4.6 Průběhy elektrickým veličin u zdvojovače napětí: a) průběh elektrického proudu  $I_{in}$  b) průběh elektrického proudu  $I_{outc}$  c) průběh elektrického napětí  $U_{out}$**

V okamžiku  $t_2$  jsou přepínače  $SW_1, SW_2$  v poloze dva. Elektrický náboj  $Q$  nashromážděný po dobu  $t_1$  v kondenzátoru  $C_1$  společně s elektrickým nábojem dodávaným vstupním zdrojem, se skokově předává do kondenzátoru  $C_2$ , elektrický proudem  $I_{outc}$  o velikosti  $2I_{out}$ .

Díky tomu skoku vznikne výstupní napětí o velikosti  $2I_{out} \cdot R_{ESRC2}$ . Po tomto skoku se  $C_2$  začne lineárně nabíjet. Průběh elektrický proudu  $I_{outc}$  v závislosti na čase je na obr. 4.6 b). Průběh výstupního elektrického napětí  $U_{out}$  v závislosti na čase je poté na obr. 4.6 c). Matematický vztah pro výpočet maximálního výstupního zvlnění  $U_{outzvmx}$  je totožný se vztahem (4.1) pro invertující měnič DC/DC.

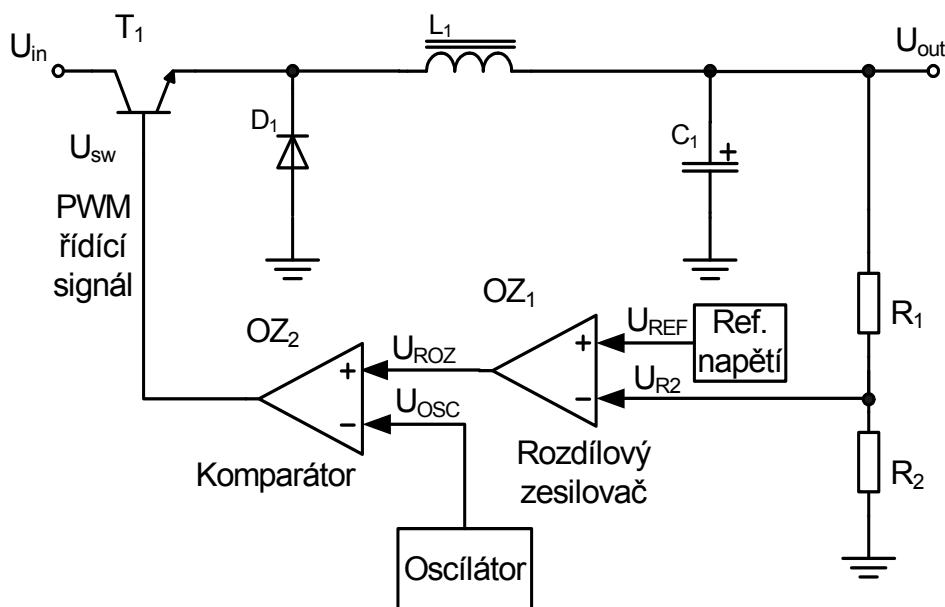
### 4.3. Spínavě řízené napěťové měniče DC/DC s primárním akumulacním prvkem tlumivkou

Spínavě řízené napěťové měniče DC/DC bez transformátoru s primárním akumulacním prvkem tlumivkou jsou nejpoužívanějším typem DC/DC napěťových měničů. Oproti nábojovým pumpám jsou na výstupu schopny dodávat větší výstupní výkon. Výstupní proudová zatížitelnost je v rozmezí jednotek až desítek ampér. Nevýhodou těchto měničů je větší přenos zvlnění v závislosti na kmitočtu

střídavé složky vstupního napětí oproti LDO regulátorům. Principiálně je tento druh měničů tvořen kombinací tlumivky, sběracího kondenzátorů, rekuperační diody, spínacího prvku a řídicího obvodu spínání. Otevírání a zavírání spínacího prvku je řízeno pulsně šířkově modulovaným řídicím signálem, generovaným vnitřními elektrickými obvody řídicího bloku. V praxi jsou využívány dva typy řízení. A to řízení využívající napěťové, nebo proudové zpětné vazby.

Spínavě řízené napěťové měniče DC/DC bez transformátoru s primárním akumulačním prvkem tlumivkou jsou nejčastěji zapojovány jako snižující, zvyšující, invertující, či čukovy měniče.

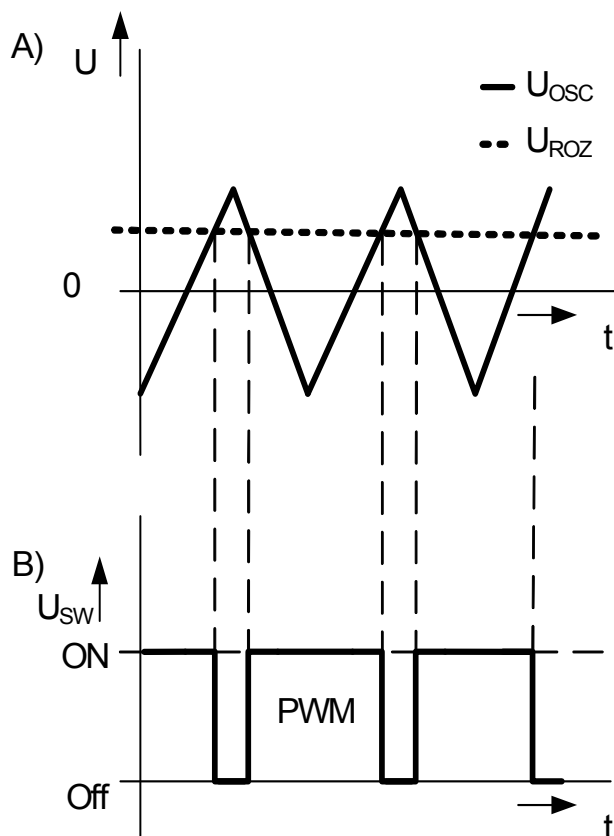
#### 4.3.1. Spínavě řízené napěťové měniče DC/DC – Řízení realizováno napěťovou zpětnou vazbou



**Obr. 4.7: Blokové schéma spínavě řízeného snižujícího DC/DC měniče bez transformátoru s řízením realizovaného napěťovou zpětnou vazbou.**

Na obr. 4.7 je vyobrazeno blokové schéma spínavě řízeného snižujícího napěťového DC/DC měniče bez transformátoru s řízením realizovaného pomocí napěťové zpětné vazby.

Princip tohoto řízení spočívá v tom, že je v komparátoru  $OZ_2$  porovnáváno rozdílové napětí  $U_{ROZ}$  s pilovitým průběhem napětí generovaném v oscilátoru



**Obr. 4.8: Elektrické průběhy napětí a) oscilátoru a rozdílového signálu, b) řídicího signálu**

$U_{OSC}$ . Podle výsledku porovnávání je generován na výstupu pulsně šířkově modulovaný řídicí signál  $U_{SW}$  pro tranzistor  $T_1$ .

Operační zesilovač  $OZ_1$  je zapojen jako rozdílový zesilovač. Tento operační zesilovač vytváří diferenční signál  $U_{ROZ}$ , jenž je výsledkem součtu referenčního signálu  $U_{REF}$  se zpětnovazebním realizovaným napětím  $U_{R2}$ . Pokud výstupní napětí  $U_{OUT}$  poklesne pod požadovanou nominální hodnotu, sníží se i velikost napětí  $U_{R2}$ . Toto napětí se porovná v  $OZ_1$  s referenční hodnotou napětí. Výsledkem je kladný rozdílový signál  $U_{ROZ}$ . Při překročení nominální hodnoty výstupního napětí je v  $OZ_1$  generován záporný rozdílový signál  $U_{ROZ}$ .

Pro komparační zesilovač  $OZ_2$  je napěťová úroveň signál  $U_{ROZ}$  uvažována jako prahová, při jejichž dosáhnutí signálem  $U_{OSC}$  dojde k uvedení řídicího signálu  $U_{SW}$  do stavu vypnuto. Pokud napětí z generátoru  $U_{OSC}$  poklesne pod rozhodovací úroveň je opět řídicí signál  $U_{SW}$  přiveden do stavu sepnuto. Výsledkem je na výstupu  $OZ_2$  pulsně šířkově modulovaný řídicí signál. Výše zmiňované signály jsou zobrazeny na obr. 4.8 a) a b).

Nevýhodou řízení pomocí napěťové zpětné vazby je při špatném návrhu možnost vytvoření oscilujícího obvodu vzniklého kombinací tlumivky, výstupního kondenzátoru, popř. přidávaného výstupního filtru. Dále pak méně efektivní využití schopnosti uchování energie v tlumivce. Tuto odstraňuje řízení realizované pomocí proudové zpětné vazby.

Při praktické realizaci tohoto druhu řízení je velmi důležitá minimální odchylka kmitočtu oscilátorů od vyžadované hodnoty. Při velké odchylce, či při špatném návrhu tohoto generátoru může dojít k chybnému vytváření PWM signálu.

Chybně generovaný PWM signál nemusí vytvářet dostatečný čas saturace tranzistoru  $T_1$  ( $t_{ON}$ ) pro naindukování energie do indukčnosti  $L_1$ . Dále může naopak zapříčinit, že tranzistor  $T_1$  je v neustále saturaci. V zapojení např. pro zvyšující měnič (obr. 4.11) takto špatně generovaný PWM signál, může způsobit protavení tranzistoru  $Q_1$  nebo zničit tlumivku  $L_1$ . Jediná možnost jak se vyhnout výše zmiňovaným skutečnostem při chybně generovaném PWM signálu je extrémní a zbytečné předdimenzování parametrů tranzistoru  $Q_1$  a tlumivky  $L_1$ . Toto předdimenzování je silně ekonomicky nevýhodné. Chybně generovaný PWM signál tedy obecně snižuje celkovou účinnost a může poškodit samotný měnič.

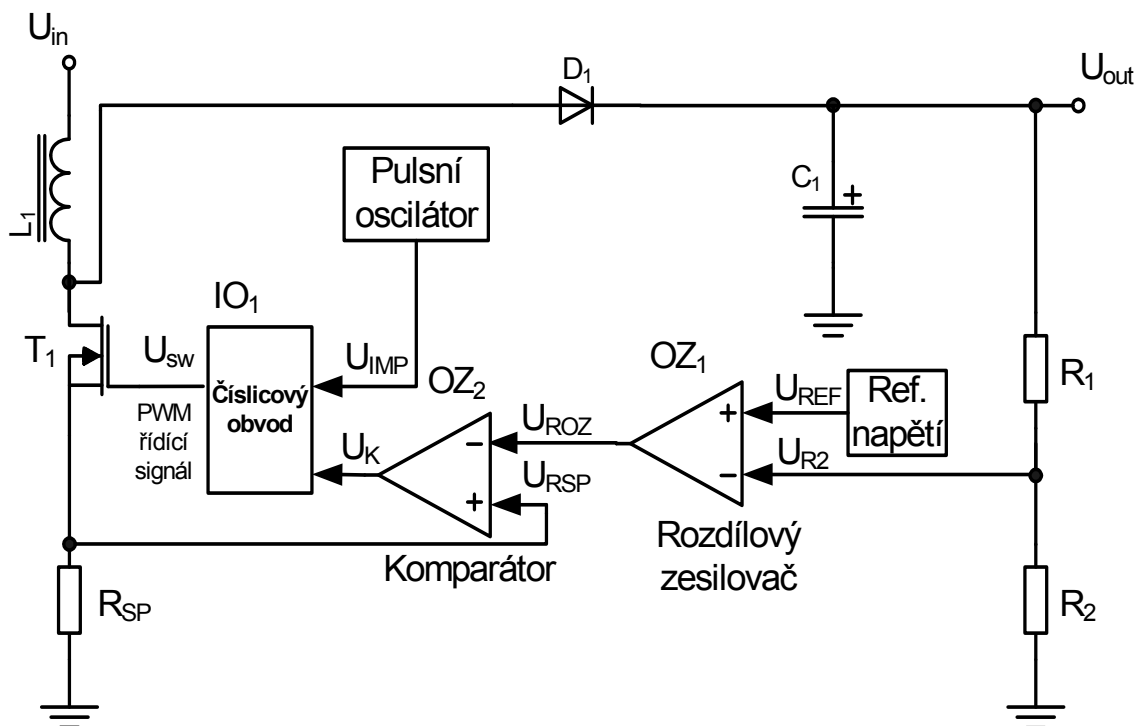
#### **4.4. Spínavě řízené napěťové měniče DC/DC – Řízení realizováno proudovou zpětnou vazbou**

Na Obr. 4.9 je vyobrazeno blokové schéma spínavě řízeného zvyšujícího napěťového DC/DC měniče bez transformátoru s řízením realizovaného pomocí proudové zpětné vazby.

Zjednodušeně lze říci, že princip tohoto řízení spočívá v tom, že je proudově-napěťovým převodníkem snímán elektrický proud procházející tlumivkou  $L_1$  při sepnutém tranzistoru  $T_1$ . Okamžitá hodnota tohoto takto získaného elektrického napětí  $U_{RSP}$  je porovnávána s napěťovou zpětnou vazbou z výstupu a podle jejich úrovně je měněna doba sepnutí tranzistoru  $T_1$ .

Přesný popis je následující. Operační zesilovač  $OZ_1$  je zapojen jako rozdílový zesilovač. Tento operační zesilovač vytváří diferenční signál  $U_{ROZ}$ , jenž je výsledkem součtu referenčního signálu  $U_{REF}$  se zpětnovazebním realizovaným napětím  $U_{R2}$ . Pokud výstupní napětí  $U_{OUT}$  poklesne pod požadovanou nominální hodnotu, sníží se i velikost napětí  $U_{R2}$ . Toto napětí se porovná v  $OZ_1$  s referenční hodno-

tou napětí. Výsledkem je kladný rozdílový signál  $U_{ROZ}$ . Při překročení nominální hodnoty výstupního napětí je v  $OZ_1$  generován záporný rozdílový signál  $U_{ROZ}$ .

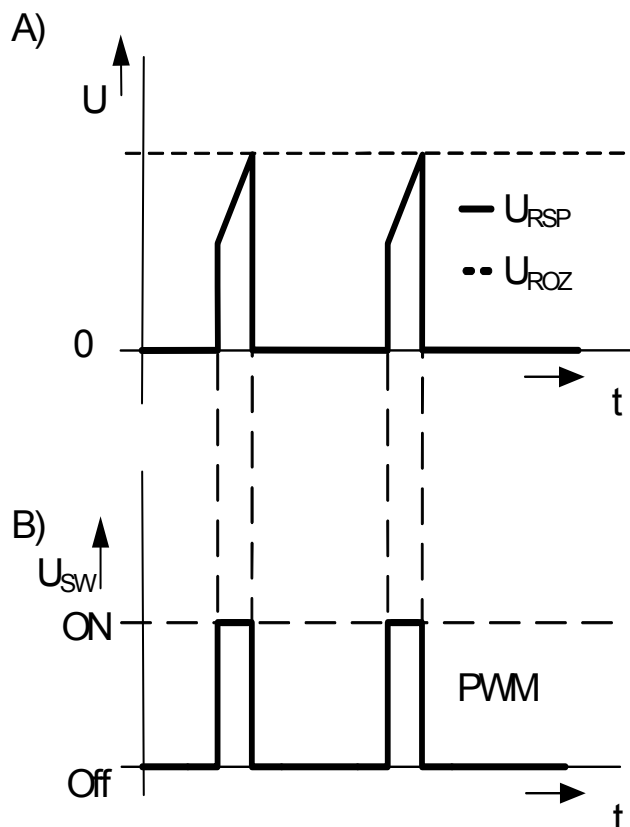


**Obr. 4.9: Blokové schéma spínavě řízeného zvyšujícího DC/DC měniče bez transformátoru s řízením realizovaného proudovou zpětnou vazbou**

Pro komparační zesilovač  $OZ_2$  je napěťová úroveň signál  $U_{ROZ}$  uvažována jako prahová, při jejíž dosáhnutí signálem  $U_{RSP}$  dojde k uvedení signálu  $U_K$  do logického stavu 1. Pokud napětí z generátoru  $U_{RSP}$  poklesne pod rozhodovací úroveň je opět signál  $U_K$  přiveden do logického stavu 0. Výsledkem je na výstupu  $OZ_2$  jeden z řídicího signálu pro číslicový obvod  $IO_1$ . Blok pulzní oscilátor vytváří impulsní signál  $U_{IMP}$ , jenž je přiváděn do číslicového obvodu  $IO_1$ .

Číslicový blok je obecně složen z jakýchkoliv číslicových hradel, jenž ze signálů  $U_K$  a  $U_{IMP}$  vytvoří pulsně šířkově modulovaný řídicí signál  $U_{SW}$  tranzistoru  $T_1$ . Často je tento blok realizován pomocí kombinace číslicových hradel a klopného obvodu typu RS.

Na obr. 4.10 a) je zobrazen průběh elektrického napětí  $U_{RSP}$  vytvářený převodníkem elektrického proudu na elektrické napětí realizovaným pomocí rezistoru  $R_{sp}$ . Z průběhu je patrné, že velikosti nabíjecího proudu tlumivky  $L_1$  ovlivňuje dobu sepnutí tranzistoru  $T_1$ . Při menší hodnotě nabíjecího proudu se zmenší



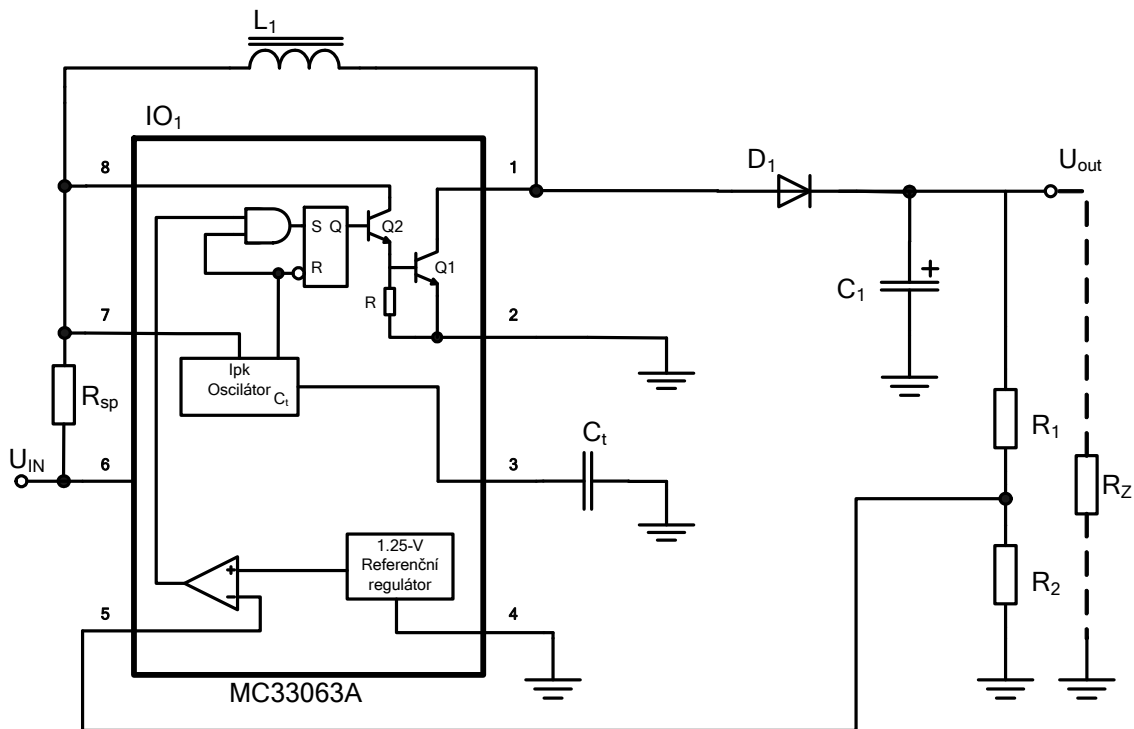
**Obr. 4.10: Elektrické průběhy napětí zvyšujícího DC/DC měniče řízeného proudovou zpětnou vazbou a) převodníku proudu na napětí a rozdílového, b) řídicího signálu**

strmost u průběhu napětí  $U_{RSP}$ , a tím se zároveň prodlouží doba sepnutí tranzistoru  $T_1$ . Tato skutečnost je patrná na obr. 4.10 b).

Výhoda řízením realizovaného pomocí proudové zpětné vazby spočívá v tom, že pokud dojde k vytvoření rezonančního obvodu kombinací prvku měniče je to okamžitě pozorovatelné na elektrickém proudu proudové vazby. Díky tomu, že je snímán nabíjecí elektrický proud procházející tlumivkou, dojde k efektivnějšímu využití schopnosti uchování energie v tlumivce. Nevýhoda spočívá ve složitosti celého tohoto druhu řízení a ve snímacím rezistoru  $R_{SP}$ . Při praktické realizaci je problematické daný rezistor vyrobit. Je vyžadováno, aby měl snímací prvek, v tomto případě rezistor  $R_{SP}$  minimální výkonovou ztrátu, a tedy jsou požadované jeho velmi malé hodnoty odporu. V praxi je poněkud obtížné sehnat i výrobce rezistoru s takto malými hodnotami odporů, proto doporučuji firmu Vishay Dale, kde se dají získat.

#### 4.4.1. Spínavě řízené napěťové měniče DC/DC bez transformátoru s primárním akumulacním prvkem tlumivkou – Zvyšující měnič

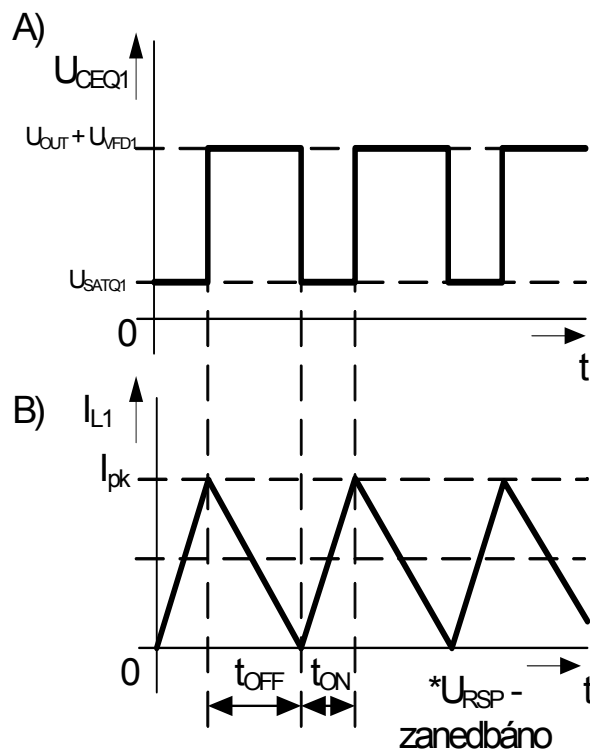
Na obr. 4.11 je vyobrazeno blokové schéma zvyšujícího DC/DC napěťového měniče realizovaného pomocí obvodu MC33063A (obr. 4.15). Tento měnič je tvořen tlumivkou  $L_1$ , diodou  $D_1$ , integrovaným obvodem  $IO_1$ , kondenzátorem  $C_1$  a rezistory  $R_{SP}$ ,  $R_1$  a  $R_2$ . Rezistor  $R_Z$  představuje pomyslnou zátěž.



**Obr. 4.11: Zvyšující měnič DC/DC napětí realizovaný pomocí obvodu MC33063A**

Napěťový DC/DC měnič v tomto zapojení má dva funkční stavy. V době  $t_{on}$  je tranzistor  $Q_2$  a  $Q_1$  přiveden do saturace. Tranzistorem  $Q_1$  a prochází elektrický proud  $I_{Q1}$ . Tento elektrický proud protéká tlumivkou  $L_1$ , tranzistorem  $Q_1$  a proudovým senzorem  $R_{SP}$ . V tlumivce  $L_1$  se v době  $t_{on}$  uchovává energie  $E_{L1}$ . V době  $t_{off}$  je tranzistor  $Q_1$  rozepnut. V tuto dobu se přenáší energii ze zdroje  $E_{UIN}$  a  $E_{L1}$  do kondenzátoru  $C_1$  a zátěže. Tato skutečnost umožňuje zvyšování výstupního napětí dle

$$\text{matematického vztahu: } U_{out} = U_{IN} \left( \frac{t_{on}}{t_{off}} + 1 \right). \quad (4.2)$$



**Obr. 4.12: Průběh a) elektrického napětí spínací tranzistoru  $Q_1$ , b) elektrického proudu tlumivkou  $L_1$  u zvyšujícího napěťového DC/DC měniče**

Pokud výstupní napětí poklesne pod požadovanou nominální hodnotu, poklesne i napětí  $U_{R2}$ . Tento pokles vyhodnotí  $IO_1$  a přivede  $Q_1$  a  $Q_2$  do stavu saturace.

Obvod MC33063A obsahuje ochranu před špičkovým proudem, jenž by mohl poškodit spínací tranzistor  $Q_1$ . Tato ochrana je realizována tak, že pokud napětí  $U_{RS}$  na rezistoru  $R_{SP}$  překročí hodnotu 300 mV, dojde k automatickému uvedení tranzistoru  $Q_1$  do stavu jeho zavření. Jako proudově-napěťový převodník slouží v tomto případě tedy rezistor  $R_{SP}$ .

Obvod MC33063A je universální a umožňuje nastavit frekvence oscilací zabudovaného vnitřního oscilátoru. Hodnotu frekvence oscilací nastavuje kapacita kondenzátoru  $C_t$ .

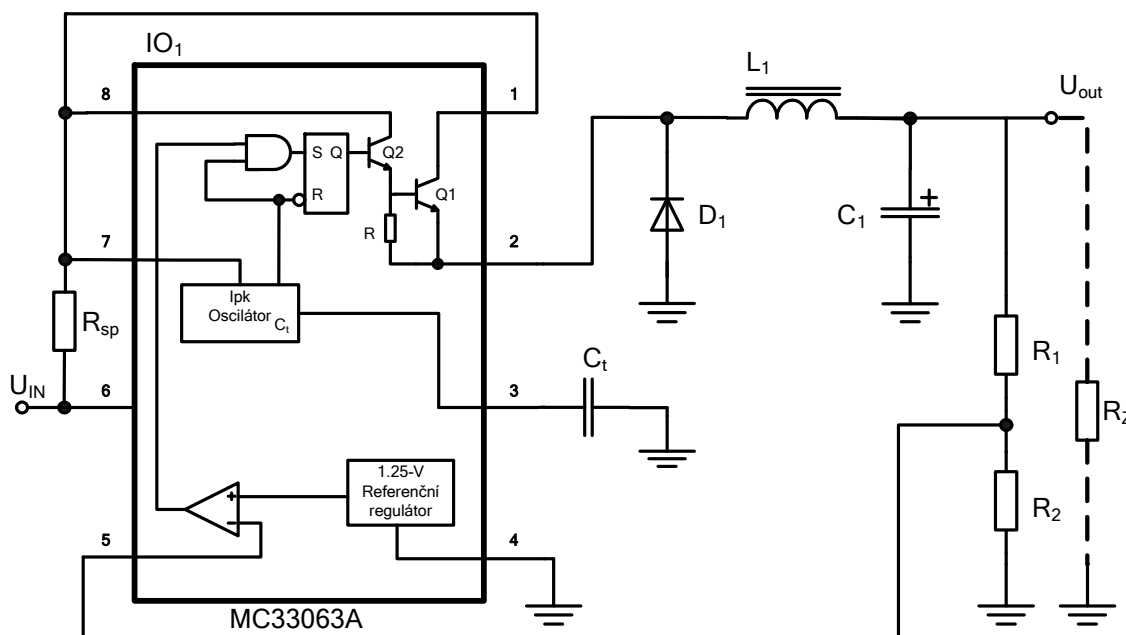
Mezi výstup napěťového DC/DC měniče a jeho případnou zátěž je doporučováno zapojit výstupní filtr. Jeho mezní kmitočet musí být nastaven, tak aby úspěšně došlo k odfiltrování střídavé složky. Tato střídavá složka vzniká spínáním tranzistoru  $Q_1$ , dle signálu PWM. Je možné použít jak aktivní, tak pasivní filtry. Aktivní filtry vykazují lepší vlastnosti, ale pro svoji správnou funkci potřebují vlastní

zdroj napájení. Kvůli této skutečnosti se používají častěji pasivní filtry, u nichž není potřeba řešit problém přídavného zdroje napájení.

U tohoto integrovaného obvodu doporučují výrobci zapojit LC filtr. V tomto principiálním zapojení není použit, avšak při praktické realizaci je velmi žádoucí ho zapojit.

#### 4.4.2. Spínavě řízené napěťové měniče DC/DC bez transformátoru s primárním akumulacním prvkem tlumivkou – Snižující měnič

Na Obr. 4.13 je vyobrazeno blokové schéma zvyšujícího DC/DC napěťového měniče realizovaného pomocí obvodu MC33063A. Tento měnič je tvořen tlumivkou  $L_1$ , diodou  $D_1$ , integrovaným obvodem  $IO_1$ , kondenzátorem  $C_1$  a rezistory  $R_{SP}$ ,  $R_1$  a  $R_2$ . Rezistor  $R_Z$  představuje pomyslnou zátěž.



**Obr. 4.13: Snižující měnič DC/DC napětí realizovaný pomocí obvodu MC33063A**

Princip snižujícího měniče napětí je v pravidelném odpojování LC filtru od vstupního napájecího zdroje. Tranzistor  $Q_1$  odpojuje v proměnné střídě vstupní napájecí napětí  $U_{IN}$  od LC filtru tvořeného tlumivkou  $L_1$  a kondenzátorem  $C_1$ . Tento LC filtr vytváří na svém výstupu napětí, které je rovno střední hodnotě vstupního obdélníkového průběhu napětí. Úroveň výstupního napětí je nastaveno procentu-

ální dobou sepnutí tranzistoru  $Q_1$ , jenž propojuje  $U_{IN}$  s LC filtrem. Výstupní napětí  $U_{out}$  je dáno matematickými vztahy:

$$U_{out} = U_{IN} \cdot (\% t_{on}) \text{ nebo } U_{out} = U_{IN} \left( \frac{t_{on}}{t_{off} + t_{on}} \right) \quad (4.3)$$

Podrobný princip klesajícího měniče je následující. Předpokládáme, že tranzistor  $Q_1$  je rozepnut, tlumivkou  $L_1$  neprotéká elektrický proud a výstupní napětí  $U_{out}$  je roven požadované nominální hodnotě. V tuto dobu může poklesnout výstupní napětí pod požadovanou hodnotu. Důvodem je, že předpokládaná zátěž  $R_Z$  je napájena pouze kondenzátorem  $C_1$ . Výstupní napětí je monitorováno zpětnou vazbou realizovanou napětím  $U_{R2}$ . Pokud dojde k poklesu pod požadovanou hodnotu je tranzistor  $Q_1$  přiveden do plné saturace. Ze vstupního zdroje  $U_{IN}$  protéká elektrický proud tlumivkou  $L_1$ , tranzistorem  $Q_1$  a paralelní kombinaci kondenzátoru  $C_1$  a zátěže  $R_Z$ . Procházejícím proudem je v tlumivce  $L_1$  indukována energie, která se předává do zátěže a kondenzátoru  $C_1$ , po rozepnutí spínací tranzistoru  $Q_1$ .

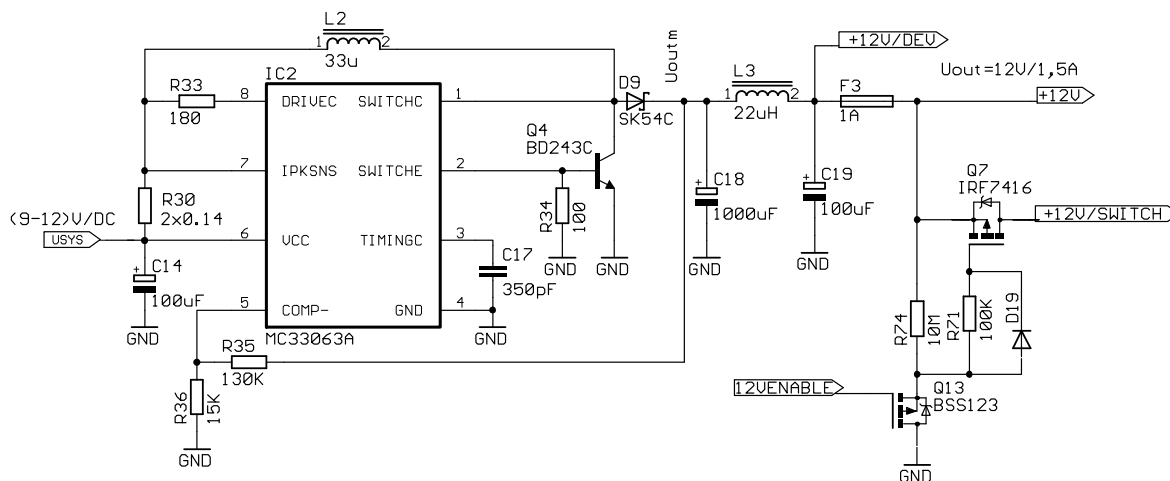
Obvod MC33063A obsahuje ochranu před špičkovým proudem, jenž by mohl poškodit spínací tranzistor  $Q_1$ . Tato ochrana je realizována tak, že pokud napětí  $U_{RS}$  na rezistoru  $R_{SP}$  překročí hodnotu 300 mV, dojde k automatickému uvedení tranzistoru  $Q_1$  do stavu rozepnuto.

Obvod MC33063A umožňuje nastavit frekvence oscilací zabudovaného vnitřního oscilátoru. Hodnotu frekvence oscilací nastavuje kapacita kondenzátoru  $C_t$ .

Mezi výstup napěťového DC/DC měniče je doporučováno zapojit LC filtr, jenž by zamezil pronikání střídavé složky spínání na výstup. V tomto případě není použit.

## 4.5. Zvyšující napěťový měnič +12 V/DC

### 4.5.1. Princip zvyšujícího napěťového měniče



Obr. 4.14: Zvyšující napěťový měnič +12 V/DC

Na obr. 4.14 je vyobrazeno elektrické schéma zvyšujícího napěťového měniče +12V/DC. Je tvořeno principiálně 3 částmi. První částí je samotný zvyšující napěťový měnič. Jeho hlavními součástmi jsou tlumivka  $L_2$ , tranzistor  $Q_4$ , dioda  $D_9$ , integrovaný obvod  $IC_2$  a kondenzátor  $C_{18}$ . Druhou částí je vyhlazovací filtr výstupního napětí. Je tvořen tlumivkou  $L_3$  a kondenzátorem  $C_{19}$ . Poslední část je tvořena P-MOSFET tranzistorem  $Q_7$  a N-MOSFET tranzistorem  $Q_{13}$ . Tato část tvoří funkci spínače výstupního napětí +12V/SWITCH.

Měnič v tomto zapojení má dva funkční stavy. V době  $t_{on}$  je tranzistor  $Q_4$  sepnut, prochází elektrický proud  $I_{Q4}$ . Tento elektrický proud protéká tlumivkou  $L_2$ , tranzistorem  $Q_4$  a proudovým senzorem  $R_{30}$ . V tlumivce  $L_2$  se uchovává energie dle vztahu:

$$E_{L_2} = \frac{1}{2} L_2 I^2. \quad (4.4)$$

V době  $t_{off}$  je tranzistor  $Q_4$  rozepnut.

Dochází k přenosu energií  $E_{USYS}$  a  $E_{L_2}$  do kondenzátoru  $C_{18}$ . Tato skutečnost umožňuje zvyšování vstupního napětí:

$$U_{outm} = U_{sys} \left( \frac{t_{on}}{t_{off}} + 1 \right) \quad (4.5)$$

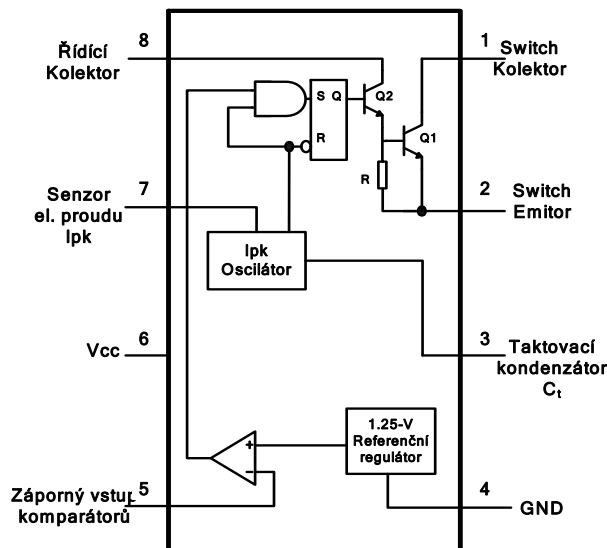
V době při spuštění je tranzistor  $Q_4$  vypnut. Elektrický proud tlumivkou  $L_2$  neprotéká (nulová energie) a na výstupu  $U_{outm}$  je hodnota +12V. V tento čas je

zdrojem možné zátěže pouze kondenzátor  $C_{18}$ . Proto může nastat, že výstupní hodnota  $U_{outm}$  poklesne pod požadovaných  $+12V$ . V okamžiku poklesu reaguje řídicí obvod spínání ( $IC_2$ ) uvedením tranzistoru  $Q_4$  do saturace. Elektrický proud teče ze zdroje  $U_{sys}$  přes tlumivku  $L_2$ , tranzistorem  $Q_4$  a proudovým senzorem  $R_{30}$ . Takto je zvýšen poměr  $\Delta I/\Delta T=U/L$ . Potřebný poměr  $t_{on} / t_{off}$  pro návrh lze vyjádřit ze vztahu:

$$\left( \frac{U_{SYS} - U_{satQ4}}{L_2} \right) t_{on} = \left( \frac{U_{outm} + U_{FD9} - U_{sys}}{L_2} \right) t_{off} \quad (4.6)$$

$$\frac{t_{on}}{t_{off}} = \left( \frac{U_{outm} + U_{FD9} - U_{sys}}{U_{sys} - U_{satQ4}} \right) = \left( \frac{12 + 0,55 - 9}{9 - 1,5} \right) = 0,477 \quad (4.7)$$

Pro řízení spínání je použit integrovaný obvod  $IC_2$  MC33063A. Tento obvod obsahuje generátor pilového průběhu, ochranný obvod výstupního tranzistoru, vnitřní spínací tranzistory, komparátor se zpětnou vazbou a vnitřní spínací tranzistor. Elektrické parametry tohoto tranzistorů nevykazovali hodnoty potřebné pro špičkový proud  $4,431A$ . Proto je použit externí NPN tranzistor  $Q_4$  typ BD243C.



Obr. 4.15: Vnitřní bloková struktura integrovaného obvodu MC33063A

Ochranný obvod je řízen napětím na rezistoru  $R_{30}$ , jenž slouží jako proudový senzor procházejícího elektrického proudu. Funkční hodnota ochranného vypínacího napětí je interně nastavena na  $300\text{ mV}$ . Kapacita kondenzátoru  $C_{17}$  nast-

vuje periodu průběhu pilovitého generátoru. Dle technické dokumentace obvodu MC33063A byla zvolena hodnota  $f=33$  kHz.

$$(t_{\text{on}} + t_{\text{off}}) = \frac{1}{f} = \frac{1}{33000} \cong 30,30 \mu\text{s} \quad (4.8)$$

Dobu vypnutí tranzistoru  $Q_4$  lze spočítat:

$$t_{\text{off}} = \frac{t_{\text{on}} + t_{\text{off}}}{\frac{t_{\text{on}}}{t_{\text{off}}} + 1} = \frac{30,30 \cdot 10^{-6}}{0,477 + 1} \cong 20,51 \mu\text{s} \quad (4.9)$$

Dobu sepnutí tranzistoru  $Q_4$  lze získat z předchozích dvou matematických vztahů:

$$t_{\text{on}} = (t_{\text{on}} + t_{\text{off}}) - t_{\text{off}} = 30,30 \cdot 10^{-6} - 20,51 \cdot 10^{-6} \cong 9,79 \mu\text{s} \quad (4.10)$$

Kapacitu kondenzátoru  $C_{17}$  určuje následující matematický vztah:

$$C_{17} = 0,4 \cdot 10^{-6} \cdot t_{\text{on}} = 0,4 \cdot 10^{-6} \cdot 9,79 \cdot 10^{-6} = 391,6 \text{ pF} \quad (4.11)$$

Pro správnou funkci byla při praktickém oživování upřesněna hodnota kondenzátoru  $C_{17}$  na 350 pF.

Výpočet špičkového proudů spínacího tranzistoru  $Q_4$  pro jeho následné dimenzování je definováno:

$$I_{\text{pk}(Q4)} = 2 \cdot I_{\text{out(max)}} \cdot \left( \frac{t_{\text{on}}}{t_{\text{off}}} + 1 \right) = 2 \cdot 1,5 \cdot (0,477 + 1) \cong 4,431 \text{ A} \quad (4.12)$$

Minimální hodnotu tlumivky  $L_2$  lze vyčíslit ze získaného elektrický proudů spínacího tranzistoru  $Q_4$  a to vztahem:

$$L_{2(\text{min})} = \left( \frac{U_{\text{sys(min)}} - U_{\text{sat}Q4}}{I_{\text{pk}(Q4)}} \right) \cdot t_{\text{on}} = \left( \frac{9 - 1,5}{4,431} \right) \cdot 9,79 \cdot 10^{-6} \cong 16,57 \mu\text{H} \quad (4.13)$$

Hodnota snímacího ochranného proudového senzoru pro proud  $I_{\text{pk}(Q4)}$ :

$$R_{30} = \frac{0,3}{I_{\text{pk}(Q4)}} = \frac{0,3}{4,431} \cong 0,0677 \Omega \quad (4.14)$$

Při praktické realizaci hodnota  $R_{30}$  nevykazovala správnou funkčnost a byla nahrazena 0,07  $\Omega$ .

Hodnota sběracího kondenzátoru  $C_{18}$  je získána z následujícího vztahu. Parametr zvlnění výstupního napětí  $U_{\text{ripple(pp)}} = 135 \text{ mV}$ .

$$C_{18} = 9 \cdot \frac{I_{\text{out}} \cdot t_{\text{on}}}{U_{\text{ripple(pp)}}} = 9 \cdot \frac{1,5 \cdot 9,79 \cdot 10^{-6}}{0,135} = 979 \mu\text{F} \quad (4.15)$$

Rezistory  $R_{35}$  a  $R_{36}$  tvoří napěťový dělič napětí  $U_{outm}$ . Takto získaná hodnota je ve vnitřním komparátoru  $IC_2$  porovnávána s referenční hodnotou. Při poklesu pod referenční hodnotu se zvětšuje frekvence spínání tranzistoru  $Q_4$ , až na hodnotu  $f$ . Matematický vztah pro výpočet rezistorů:

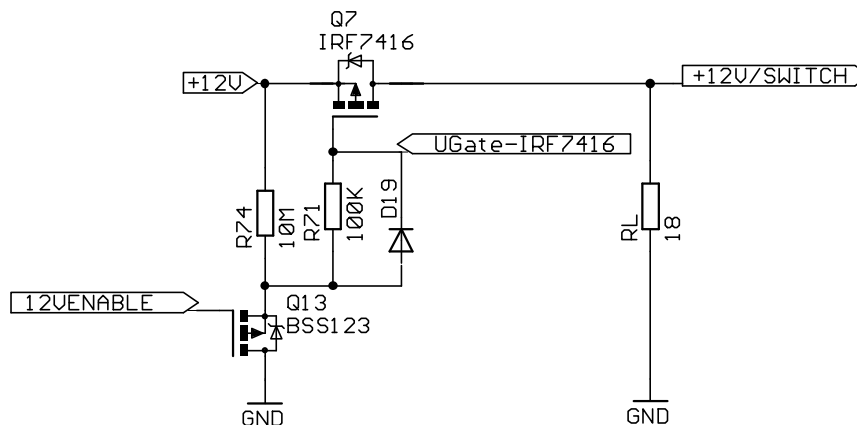
$$U_{outm} = 1,25 \left( \frac{R_{35}}{R_{36}} + 1 \right) = 1,25 \left( \frac{130 \cdot 10^{-3}}{15^{-3}} + 1 \right) \cong 12,08 \text{ V} \quad (4.16)$$

Pro praktickou realizaci byly zvoleny rezistory  $R_{35}=130 \text{ k}\Omega$  a  $R_{36}=15 \text{ k}\Omega$ . Tlumivka  $L_3$  a kondenzátor  $C_{19}$  vytváří výstupní filtr, jenž snižuje zvlnění výstupního napětí a filtruje pronikání případných vyšších harmonických do zátěže.

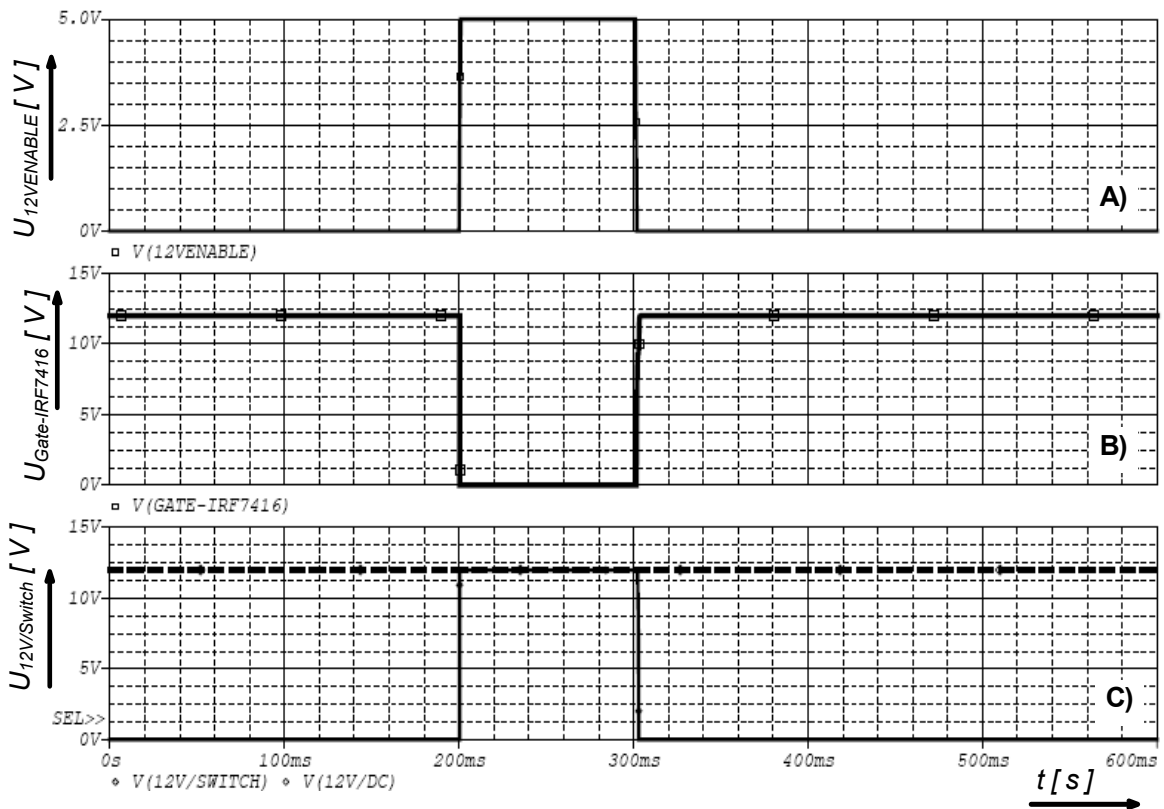
Tranzistor N-MOSFET  $Q_{13}$  je řízen TTL logickou úrovní signálu 12VENABLE a vytváří řídicí signál do hradla gate P-MOSFET tranzistoru  $Q_7$ . Funkčně tvoří spínač mezi +12V/DC a +12V/Switch řízený TTL signálem 12VENABLE.

#### 4.5.2. Simulace spínače +12 V/Switch

Na obr. 4.16 je zobrazeno elektrické schéma testovaného obvodu. Na vstupní signál je přivedeno elektrický napětí +12V. Výstupní signál má označení +12V/Switch. Řídicím signálem, jenž spíná celou strukturu je 12VENABLE. Na tento signál je přivedeno obdélíkové periodické napětí 5V. Signál  $U_{GATE-IRF7416}$  slouží jako výstup pro měření napětí na hradla G P-MOSFET tranzistoru.



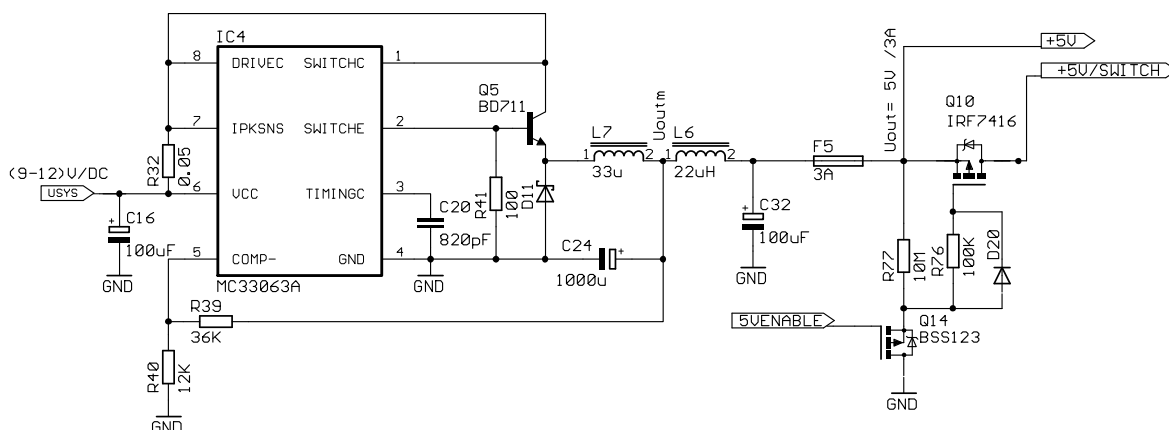
Obr. 4.16: Zapojení testovacího obvodu



**Obr. 4.17: Graf průběhu napětí a) na hradlu gate N-MOSFET b) na hradlu gate P-MOSFET c) drain P-MOSFET**

Na obr. 4.17 je zobrazen výsledek simulace. Průběh A zobrazuje přiváděný řídicí obdélníkový signál TTL na Gate hradlo tranzistoru N-MOSFET. Průběhu B zachycuje napětí na hradlu Gate P-MOSFET tranzistoru. Nejdůležitější je průběh napětí C, v němž je čárkovaně zanesena hodnota signálu +12V. Plně je pak zobrazen průběh výstupního napětí 12V/Switch. Doba zpoždění mezi řídicím signálem 12VENABLE a rozepnutím signálu 12V/Switch je 3,35 ms.

## 4.6. Snižující napěťový měnič +5 V/DC



Obr. 4.18: Snižující napěťový měnič +5 V

Na obr. 4.18 je vyobrazeno elektrické schéma snižujícího napěťového měniče +5V/DC. Je tvořeno principiálně 3 částmi. První částí je samotný snižující napěťový měnič. Jeho hlavními součástmi jsou tlumivka  $L_7$ , tranzistor PNP  $Q_5$ , dioda  $D_{11}$ , integrovaný obvod  $IC_2$  a kondenzátor  $C_{24}$ . Druhou částí je vyhlazovací filtr výstupního napětí. Je tvořen tlumivkou  $L_6$  a kondenzátorem  $C_{32}$ . Poslední část je tvořena P-MOSFET tranzistorem  $Q_{10}$  a N-MOSFET tranzistorem  $Q_{14}$ . Tato část tvoří funkci spínače výstupního napětí +5V/SWITCH.

Princip snižujícího měniče napětí je v pravidelném odpojování LC filtru od vstupního napájecího zdroje. Tranzistoru  $Q_5$  odpojuje v proměnné střídě vstupní napájecí napětí  $U_{sys}$  od LC filtru tvořeného tlumivkou  $L_7$  a kondenzátorem  $C_{24}$ . Tento LC filtr vytváří na svém výstupu konstantní střední hodnotu vstupního obdélníkového průběhu. Úroveň výstupního napětí je nastaveno procentuální dobou sepnutí tranzistoru  $Q_5$ , jež propojuje  $U_{sys}$  s LC filtrem. Výstupní napětí  $U_{outm}$  je dáno vztahem:

$$U_{outm} = U_{sys} \cdot (\%t_{on}) \text{ nebo } U_{outm} = U_{sys} \left( \frac{t_{on}}{t_{off} + t_{on}} \right) \quad (4.17)$$

Podrobný princip klesajícího měniče je následující: Předpokládáme, že tranzistor  $Q_5$  je vypnut, tlumivkou  $L_7$  neprotéká proud a výstupní napětí  $U_{outm}$  je roven +5 V. V tuto dobu může poklesnout výstupní napětí pod požadovanou hodnotu. Důvodem je, že předpokládaná zátěž je napájena pouze kondenzátorem  $C_{24}$ . Výstupní napětí je monitorováno zpětnou vazbou. Pokud dojde k poklesu pod požadovanou hodnotu je tranzistor  $Q_5$  přiveden do plné saturace. Ze vstupního

zdroje  $U_{\text{sys}}$  teče elektrický proud tlumivkou  $L_7$ , tranzistorem  $Q_5$  a paralelní kombinací kondenzátoru  $C_{24}$  a zátěže  $R_L$ . Je tak zvyšován poměr  $\Delta I/\Delta T=U/L$ . Elektrické napětí na tlumivce  $L_7$  je rovno  $U_{\text{sys}}-U_{\text{sat}Q5}-U_{\text{outm}}$ .

Po dosažení požadovaného napětí na výstupu měniče je NPN tranzistor  $Q_5$  rozepnut. V tuto dobu se chová tlumivka  $L_7$  jako zdroj. Přes diodu  $D_{11}$  protéká proud do zátěže  $R_L$  a nabíjí kondenzátor  $C_{24}$ . Je tak snižován poměr  $\Delta I/\Delta T=U/L$ . Elektrické napětí na tlumivce  $L_7$  je rovno  $U_{\text{FD}11}-U_{\text{outm}}$ . Potřebný poměr  $t_{\text{on}} / t_{\text{off}}$  pro návrh lze vyjádřit z matematického vztahu:

$$\left( \frac{U_{\text{sys}} - U_{\text{sat}Q5} - U_{\text{outm}}}{L_7} \right) t_{\text{on}} = \left( \frac{U_{\text{outm}} + U_{\text{FD}11}}{L_7} \right) t_{\text{off}} \quad (4.18)$$

$$\frac{t_{\text{on}}}{t_{\text{off}}} = \left( \frac{U_{\text{outm}} + U_{\text{FD}11}}{U_{\text{sys}(\text{min})} - U_{\text{sat}Q5} - U_{\text{outm}}} \right) = \left( \frac{5 + 0,895}{9 - 1 - 5} \right) = 1,965 \quad (4.19)$$

Pro řízení spínání je použit integrovaný obvod  $IC_2$  MC33063A. Tento obvod obsahuje generátor pilového průběhu, ochranný obvod výstupního tranzistoru, vnitřní spínací tranzistory, komparátor se zpětnou vazbou a vnitřní spínací tranzistor. Elektrické parametry tohoto tranzistorů nevykazovali hodnoty potřebné pro špičkový proud 6 A. Proto je použit externí NPN tranzistor  $Q_5$  typ BD711.

Ochranný obvod je řízen napětím na rezistoru  $R_{32}$ , jenž slouží jako proudový senzor procházejícího elektrického proudu. Funkční hodnota ochranného vypínacího napětí je interně nastavena na 300 mV. Kapacita kondenzátoru  $C_{20}$  nastavuje periodu průběhu pilovitého generátoru. Dle technické dokumentace obvodu MC33063A byla zvolena hodnota  $f=33$  kHz.

$$(t_{\text{on}} + t_{\text{off}}) = \frac{1}{f} = \frac{1}{33000} \cong 30,30 \mu\text{s} \quad (4.20)$$

Čas rozepnutí tranzistoru  $Q_5$  lze spočítat:

$$t_{\text{off}} = \frac{t_{\text{on}} + t_{\text{off}}}{\frac{t_{\text{on}}}{t_{\text{off}}} + 1} = \frac{30,30 \cdot 10^{-6}}{1,967 + 1} \cong 10,21 \mu\text{s} \quad (4.21)$$

Dobu sepnutí tranzistoru  $Q_5$  lze získat z předchozích dvou matematických vztahů:

$$t_{\text{on}} = (t_{\text{on}} + t_{\text{off}}) - t_{\text{off}} = 30,30 \cdot 10^{-6} - 10,21 \cdot 10^{-6} \cong 20,08 \mu\text{s} \quad (4.22)$$

Kapacitu kondenzátoru  $C_{20}$  určuje následující matematický vztah:

$$C_{20} = 0,4 \cdot 10^{-6} \cdot t_{on} = 0,4 \cdot 10^{-6} \cdot 20,08 \cdot 10^{-6} = 803,2 \text{ pF} \quad (4.23)$$

Dle vyráběných tantalových kondenzátorů byla zvolena hodnota  $C_{20}$  na 820 pF.

Výpočet špičkového proudu spínacího tranzistoru  $Q_5$  pro jeho následné dimenzování je definováno:

$$I_{pk(Q5)} = 2 \cdot I_{out(max)} = 2 \cdot 3 \cong 6 \text{ A} \quad (4.24)$$

Minimální hodnotu tlumivky  $L_7$  lze vyčíslit ze získaného proudu spínacího tranzistoru  $Q_5$  a to vztahem:

$$L_{7(min)} = \left( \frac{U_{sys(min)} - U_{satQ5} - U_{outm}}{I_{pk(Q5)}} \right) \cdot t_{on} = \left( \frac{9 - 1 - 5}{6} \right) \cdot 20,08 \cdot 10^{-6} \cong 10,04 \mu\text{H} \quad (4.25)$$

Vypočtená tlumivka byla nahrazena vyráběnou tlumivkou  $L_7 = 80 \mu\text{H}$ .

Hodnota snímacího ochranného proudového senzoru pro proud  $I_{pk(Q5)}$ :

$$R_{30} = \frac{0,3}{I_{pk(Q5)}} = \frac{0,3}{6} \cong 0,05 \Omega \quad (4.26)$$

Hodnota kondenzátoru  $C_{24}$  tvořícího LC filtr je vypočtena z vztahu (4.24). Parametr zvlnění výstupního napětí zvoleno  $U_{ripple(pp)} = 23 \text{ mV}$ .

$$C_{24} = \frac{I_{pk(Q5)} \cdot (t_{on} + t_{off})}{8 \cdot U_{ripple(pp)}} = 9 \cdot \frac{6 \cdot 30,3 \cdot 10^{-6}}{8 \cdot 0,023} = 988,04 \mu\text{F} \quad (4.27)$$

Rezistory  $R_{35}$  a  $R_{36}$  tvoří napěťový dělič napětí  $U_{outm}$ . Takto získaná hodnota je ve vnitřním komparátoru  $IC_2$  porovnávána s referenční hodnotou. Při poklesu pod referenční hodnotu se zvětšuje frekvence spínání tranzistoru  $Q_5$ , až na hodnotu  $f$ . Matematický vztah pro výpočet rezistorů:

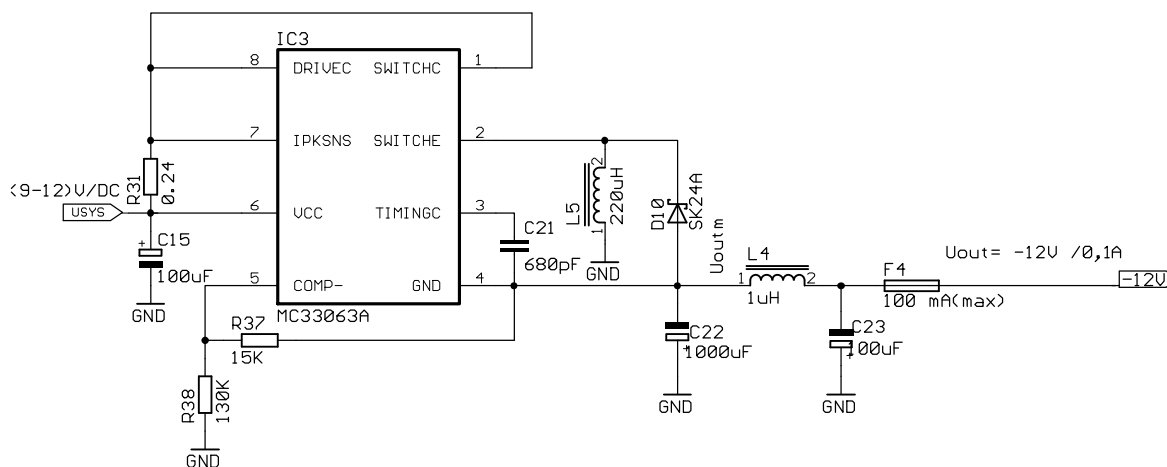
$$U_{outm} = 1,25 \left( \frac{R_{39}}{R_{40}} + 1 \right) = 1,25 \left( \frac{36 \cdot 10^{-6}}{12 \cdot 10^{-6}} + 1 \right) \cong 5 \text{ V} \quad (4.28)$$

Pro praktickou realizaci byly zvoleny rezistory  $R_{39} = 36 \text{ k}\Omega$  a  $R_{40} = 12 \text{ k}\Omega$ .

Tlumivka  $L_6$  a kondenzátor  $C_{32}$  vytváří výstupní filtr, jenž snižuje zvlnění výstupního napětí a filtruje pronikání případné frekvence spínacího signálu do zátěže.

Tranzistor N-MOSFET  $Q_{14}$  je řízen TTL logickou úrovní signálu 5VENABLE a vytváří řídicí signál do hradla gate P-MOSFET tranzistoru  $Q_{10}$ . Funkčně tvoří spínač mezi +5V/DC a +5V/Switch řízený TTL signálem 5VENABLE.

## 4.7. Invertující měnič -12 V/DC



Obr. 4.19: Invertující napěťový měnič -12 V

Na obrázku obr. 4.19 je vyobrazeno elektrické schéma snižujícího napěťového měniče +5V/DC. Je tvořeno dvěma částmi. První částí je samotný invertující napěťový měnič. Jeho hlavními součástmi jsou tlumivka  $L_5$ , vnitřní spínací tranzistor NPN  $IC_2 Q_1$  (obr. 4.19), dioda  $D_{10}$ , integrovaný obvod  $IC_2$  a kondenzátor  $C_{22}$ . Druhou částí je vyhlazovací filtr výstupního napětí. Je tvořen tlumivkou  $L_4$  a kondenzátorem  $C_{23}$ .

Principem toho měniče je předávání energie ze zdroje  $U_{sys}$  do tlumivky  $L_5$  po dobu saturace vnitřního NPN tranzistoru  $Q_1$  v  $IC_3$ . V době  $t_{off}$  je tranzistor  $Q_1$  rozepnut a energie s tlumivky  $L_5$  se předává do kondenzátoru  $C_{22}$  a zátěže  $R_L$ . Výstupní napětí  $U_{outm}$  v tomto zapojení závisí pouze na hodnotě tlumivky  $L_5$ . Obecně může být menší, větší, nebo stejné jako  $U_{sys}$ . Hodnota výstupního napětí  $U_{outm}$  je definována vztahem:

$$U_{outm} = U_{sys} \left( \frac{t_{on}}{t_{off}} \right) \quad (4.29)$$

Napěťový invertující měnič funguje téměř stejně jako zvyšující napěťový měnič. Napětí na tlumivce  $L_5$  je v době  $t_{on}$  rovno  $U_{in} - U_{satQ1}$  a v době  $t_{off}$  záporné hodnotě součtu napětí  $U_{outm} + U_{FD10}$ . Pokud hodnota  $t_{on}$  dosahuje maximálně hodnoty  $t_{off}$  je možno odvodit vztah pro  $t_{on}/t_{off}$ .

$$t_{on} (U_{sys} - U_{satQ1}) = (|U_{outm}| + U_{FD10}) t_{off}$$

$$\frac{t_{\text{on}}}{t_{\text{off}}} = \left( \frac{|U_{\text{outm}}| + U_{\text{FD10}}}{U_{\text{sys}} - U_{\text{satQ1}}} \right) = \left( \frac{|-12| + 0,5}{9 - 1} \right) = 1,5625 \quad (4.30)$$

Pro řízení spínání je použit integrovaný obvod IC<sub>2</sub> MC33063A. Tento obvod obsahuje generátor pilového průběhu, ochranný obvod výstupního tranzistoru, vnitřní spínací tranzistory a komparátor se zpětnou vazbou.

Ochranný obvod je řízen napětím na rezistoru R<sub>31</sub>, jenž slouží jako proudový senzor procházejícího elektrického proudu. Funkční hodnota ochranného vypínacího napětí je interně nastavena na 300 mV. Kapacita kondenzátoru C<sub>21</sub> nastává periodu průběhu pilovitého generátoru. Dle technické dokumentace obvodu MC33063A byla zvolena hodnota  $f = 33 \text{ kHz}$ .

$$(t_{\text{on}} + t_{\text{off}}) = \frac{1}{f} = \frac{1}{33000} \cong 30,30 \mu\text{s} \quad (4.31)$$

Dobu vypnutí tranzistoru Q<sub>1</sub> lze spočítat:

$$t_{\text{off}} = \frac{t_{\text{on}} + t_{\text{off}}}{\frac{t_{\text{on}}}{t_{\text{off}} + 1}} = \frac{30,30 \cdot 10^{-6}}{1,5625 + 1} \cong 11,824 \mu\text{s} \quad (4.32)$$

Dobu sepnutí tranzistoru Q<sub>1</sub> lze získat z předchozích dvou matematických vztahů:

$$t_{\text{on}} = (t_{\text{on}} + t_{\text{off}}) - t_{\text{off}} = 30,30 \cdot 10^{-6} - 11,824 \cdot 10^{-6} \cong 18,476 \mu\text{s} \quad (4.33)$$

Kapacitu kondenzátoru C<sub>17</sub> určuje následující matematický vztah:

$$C_{17} = 0,4 \cdot 10^{-6} \cdot t_{\text{on}} = 0,4 \cdot 10^{-6} \cdot 18,476 \cdot 10^{-6} = 739,04 \text{ pF} \quad (4.34)$$

Pro správnou funkci byla při praktickém ožívování upřesněna hodnota kondenzátoru C<sub>17</sub> na 680 pF.

Výpočet špičkového proudu spínacího tranzistoru Q<sub>4</sub> pro jeho následné dimenzování je definováno:

$$I_{\text{pk}(Q1)} = 2 \cdot I_{\text{out(max)}} \cdot \left( \frac{t_{\text{on}}}{t_{\text{off}}} + 1 \right) = 2 \cdot 0,4 \cdot (1,5625 + 1) \cong 1,25 \text{ A} \quad (4.35)$$

Minimální hodnotu tlumivky L<sub>2</sub> lze vyčíslit ze získaného proudu spínacího tranzistoru Q<sub>1</sub> a to vztahem:

$$L_{5(\text{min})} = \left( \frac{U_{\text{sys}(\text{min})} - U_{\text{satQ1}}}{I_{\text{pk}(Q1)}} \right) \cdot t_{\text{on}} = \left( \frac{9 - 1}{1,25} \right) \cdot 30,30 \cdot 10^{-6} \cong 193,92 \mu\text{H} \quad (4.36)$$

Vypočtená tlumivka byla nahrazena vyráběnou tlumivkou L<sub>5</sub> = 220 μH.

Hodnota snímacího ochranného proudového senzoru pro proud  $I_{pk(Q1)}$ :

$$R_{31} = \frac{0,3}{I_{pk(Q1)}} = \frac{0,3}{1,25} \cong 0,24 \Omega \quad (4.37)$$

Hodnota kondenzátoru  $C_{18}$  je získána z následujícího vztahu. Parametr zvlnění výstupního napětí  $U_{ripple(pp)} = 70\text{mV}$ .

$$C_{22} = 9 \cdot \frac{I_{out(max)} \cdot t_{on}}{U_{ripple(pp)}} = 9 \cdot \frac{0,4 \cdot 18,476 \cdot 10^{-6}}{0,070} = 950,19 \mu\text{F} \quad (4.38)$$

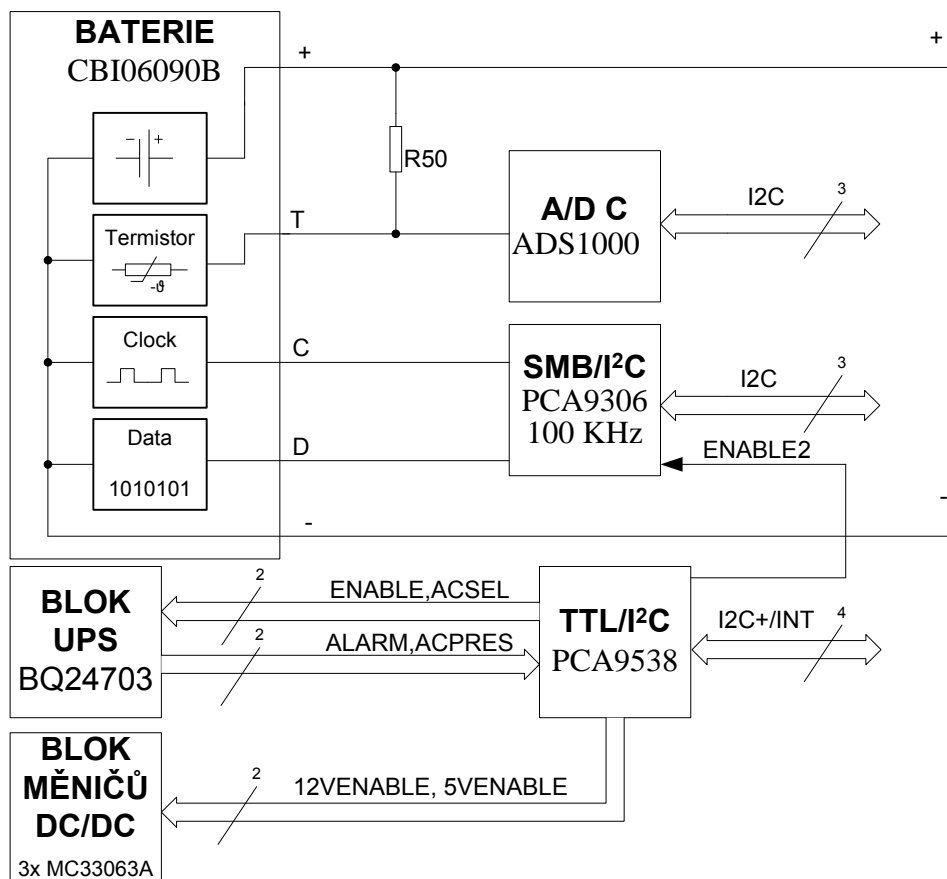
Rezistory  $R_{35}$  a  $R_{36}$  tvoří napěťový dělič napětí  $U_{outm}$ . Takto získaná hodnota je ve vnitřním komparátoru  $IC_3$  porovnávána s referenční hodnotou. Při poklesu pod referenční hodnotu se zvětšuje frekvence spínání tranzistoru  $Q_1$ , až na hodnotu  $f$ . Matematický vztah pro výpočet rezistorů:

$$U_{outm} = -1,25 \left( \frac{R_{38}}{R_{37}} + 1 \right) = -1,25 \left( \frac{130 \cdot 10^3}{15 \cdot 10^3} + 1 \right) \cong -12,08 \text{V} \quad (4.39)$$

Pro praktickou realizaci byly zvoleny rezistory  $R_{38}=130 \text{k}\Omega$  a  $R_{37}=15 \text{k}\Omega$ .

Tlumivka  $L_3$  a kondenzátor  $C_{19}$  vytváří výstupní filtr, jenž snižuje zvlnění výstupního napětí a filtruje pronikání spínací frekvenci spínacího signálu do zátěže.

## 5 Blok řízení



**Obr. 5.1: Blokové schéma řídicího bloku**

Blok řízení je tvořen analogově-číslicovým převodníkem ADS1000, osmi-bitovým expandérem I/O bran externího mikrokontroléru PCA9538 a obousměrným napěťovým převodníkem I2C-SMBus PCA9306.

Analogově-číslicovým převodník ADS1000, [8], převádí napěťovou úroveň signálu T na číslicovou informaci. Tuto informaci posílá přes I2C sběrnici externímu mikrokontroléru pro další vyhodnocení. Úroveň elektrického napětí signálu T je úměrná teplotě uvnitř baterie. Signál T slouží primárně jako indikátor přehřátí, jenž by mohlo zapříčinit následnou explozi baterie LI-ION.

Obousměrným napěťovým převodník I2C-SMB PCA9306, slouží jako přizpůsobovací člen mezi sběrnicemi I2C a SMB. Přizpůsobení probíhá konverzí mezi napětím I2C +5V na +2.5V SMB. Přes tento obvod jsou vyčítány informace

z vnitřních elektrických obvodu „smart“ LI-ION baterie. Tyto informace jsou dále předávány externímu mikrokontroléru přes I2C sběrnici. Vnitřní obvody „smart“ baterie umožňují jak čtení, tak zápis. Signál SMBDA slouží jako datový signál sběrnice SMB [9] a SMBCL jako taktovací hodinový signál stejné sběrnice.

Osmibitový expandér I/O bran PCA9538 externího mikrokontroléru, složí ke sloučení všech ostatních číslicových signálů použitých ve zdroji a předání je vnějšímu mikrokontroléru přes I2C sběrnici. Tento obvod byl použit ke snížení počtu nezbytně nutných vodičů vedoucích k externímu mikrokontroléru. Tento obvod má pět řídicích výstupních signálů a dva indikační kanály. Řídicí signály jsou ENABLE, ACSEL, 5VENABLE, 12VENABLE a vnitřní ENABLE2. Indikační signály pak ALARM a ACPRESS. Signál ALARM indikuje vybití baterie pod hodnotu napětí 9V. ACPRESS signál udává informaci, že je na vnějším adapterů napětí 12V. Signál ENABLE povoluje zda je možno nabíjet baterii LI-ION. ACSEL signál nastavuje zda se má výstupní hodnota elektrického napětí do bloku měničů (USYS) přijímat z napájecího adapterů, či baterie LI-ION. Řídicí signál 5VENABLE připojuje elektrické napětí na výstup zdroje +5V DC/Switch. Stejnou funkci má i signál 12VENABLE, jen s tím rozdílem, že slouží pro zapínání +12V DC/Switch. Odpojení obousměrného napěťového převodníku I2C-SMB PCA9306 od I2C sběrnice umožňuje logický signál ENABLE2.

**Tab. 5.1: Popis vývodů obvodu PCA9538PW**

Označení I/O	Signál	I/O	Funkce
0	ALARM	IN	Indikuje, že baterie je vybitá. Při log.1 baterie vybita
1	ACPRES	IN	Log. 1 indikuje připojené vstupní napájecí napětí
2	ACSEL	OUT	Ruční výběr napájení do systému baterie/síťové napětí. Při log.0 je nastavena baterie.
3	ENABLE	OUT	Povoleno/ zakázáno nabíjení baterie. Při. log.1 je povoleno nabíjení baterie
4	ENABLE2	OUT	Připojení/ odpojení I2C k SMBus obvod PCA9306. Při log.0 jsou sběrnice rozpojeny
5	5VENABLE	OUT	Připojení/ odpojení vývodu 5V/Switch. Připojeno při log.1
6	12VENABLE	OUT	Připojení/ odpojení vývodu 12V/Switch. Připojeno při log.1
7	N/C	-	-

Blok baterie LI-ION je tvořen „smart“ LI-ION baterií, jejímž hlavním úkolem je po snížení napětí na napájecím adapterů pod 12V (předpoklad, že na něm není potřebné napětí) dodávat do zátěže požadovanou energii. „Smart“ LI-ION baterie je speciální typ baterie, jenž obsahuje vnitřní elektrické integrované obvody. Tyto obvody zaznamenávají různé důležité informace jako např. velikost nabíjecích a vybíjecích proudů, počet cyklu nabití, sériové číslo, teplotu aj. Přístup

k informacím u těchto obvodu se provádí přes SMB [9]**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** pomocí signálů SMBDA a SMBCL. U tohoto zapojení je použita baterie CBI06090B.

**Tab. 5.2: Adresy I2C k IO obvodům bloku řízení**

Adresa I2C	Obvod	Funkce
dle Smart Battery Data Specification	PCA9306	Obousměrný napěťový převodník I2C-SMBUS
1001000B	ADS1000/BD0	A/D převodník- Převádí napětí vytvořeného na termistoru-vývod T
1110011B	PCA9538PW	Osmibitový expandér pro I2C

## 6 Závěr

Napájecí zdroje jsou nedílnou součástí všech elektrických zařízení. Odlišnosti napájecích zdrojů u medicínských elektrických zařízení od jiných, je ten, že je kladen zvýšený důraz na elektrickou pevnost. Hodnoty této elektrické pevnosti společně s ostatními parametry vyžadovaných u medicínských napájecích zdrojích definuje norma EN 61000-3-2.

Medicínské napájecí zdroje musí v případě výpadku síťového napájení dodávat po dobu 2 hodin energii do připojených elektronických zařízení na výstupu. Proto oproti jiným elektrickým zdrojům je volena kombinace primárního a sekundárního okruhu napájení. Primární tvoří napájecí síťový adaptér, jenž dodává potřebný výkon do zátěže a dobíjí záložní baterii. Sekundární je tvořen baterii, která slouží jako záložní zdroj výkonu při výpadku primárního okruhu. U těchto zdrojů jsou kladeny požadavky na minimální hmotnost, malé rozměry, velkou celkovou účinnost a to i při nabíjení baterie. Oproti jiným zdrojům elektrický napětí jsou požadovány informace o stavu aktuální úrovně napětí baterie a teplotě baterie.

Cílem této diplomové práce bylo nastudování problematiky pulzních DC/DC měničů bez použití transformátoru a nepřerušovaných zdrojů elektrický napětí tzv. UPS. Dále pak návrh a realizace napájecího zdroje pro lékařský přístroj, zálohovaný pomocí baterie LI-ION dle zadání. V rámci první části řešení bylo vytvořeno blokové schéma s popisem jednotlivých bloků. Bylo prováděno testování zapojení obvodu BQ24703 na vývojovém prostředí. Z tohoto blokového schématu a ze získaných informací z vývojového prostředí bylo vytvořeno elektrické schéma zapojení, jenž odpovídá požadavkům zadání. Z vzniklého elektrického schématu byla navržena a posléze realizována deska plošného spoje.

Navržený napájecí zdroj pro lékařský přístroj s managementem po I2C (dále jen napájecí zdroj) je tvořen dvěma částmi, jejichž součástí jsou čtyři hlavní bloky. První je číslicová část, která je tvořena blokem řízení, jenž provádí řízení celého napájecího zdroje a komunikuje po I2C s rychlostí 100 kb/s s ostatními vnějšími bloky. Druhou analogovou část vytváří bloky UPS, měničů napětí DC/DC a baterie. Blok řízení je tvořen analogově-číslicovým převodníkem ADS1000, osmibitovým expandérem I/O bran externího mikrokontroléru PCA9538 a obousměrným

napětovým převodníkem I2C-SMBus PCA9306. Všechny tyto obvody byly zvoleny s ohledem na to, že umožňují komunikovat po I2C sběrnici.

Baterie LI-ION je tvořena „smart“ LI-ION baterií CBI06090B, jejímž hlavním úkolem je po snížení napětí na napájecím adapteru pod 12V (předpoklad, že byl odpojen) dodávat do zátěže požadovanou energii. „Smart“ LI-ION baterie je speciální typ baterie, jenž obsahuje vnitřní elektronické obvody. Tyto obvody zaznamenávají důležité informace jako např. nabíjecí a vybíjecí proudy, počet cyklu nabití, sériové číslo aj.

Obvod BQ24703 tvoří jádro UPS. Plní funkci přepínače mezi napájecím adaptérem a baterií LI-ION. Další funkcí je nabíjení baterie LI-ION pomocí PWM. Poslední a hlavní je předávat výkon ze dvou výše zmíněných vstupních zdrojů do zátěže. V tomto případě je zátěž blok měničů. Tento blok komunikuje přes výše zmíněné logické signály s osmibitovým expandérem I/O bran PCA9538 externího mikrokontroléru. Dále obsahuje dodatečné tři analogové řídicí signály. Signál /PWM slouží pro spínání P-MOSFET tranzistoru při nabíjení baterie LI-ION. Dále pak /ACDRV a /BATDRV signály připojují dle potřeby napájecí adapter, nebo baterii.

Poslední blok obsahuje tři napětové měniče DC/DC. Prvním je „step-up“ zvyšující napětový měnič, jenž převádí hodnotu napětí  $U_{SYS}$  na hodnotu +12V/DC. Druhým je „step-down“ snižující napětový měnič, jenž převádí hodnotu napětí  $U_{SYS}$  na hodnotu +5V/DC. Třetí je invertující měnič, jenž převádí hodnotu napětí  $U_{SYS}$  na hodnotu -12V/DC.

V rámci realizace této diplomové práce byl oživen a otestován blok UPS. Byla otestována jeho komunikace s řídicím blokem. Úspěšně byla prověřena funkce přepínání mezi primárním a sekundárním napájecím okruhem. Dále byla úspěšně otestovaná funkce DPM a nabíjení baterie LI-ION.

Invertující napětový měnič, jenž je součástí Bloku měničů DC/DC, vykazuje mnohem lepší zátěžové parametry, než vyžaduje zadání. Z daného DC/DC měniče pro -12 V je možno odebrat, až 300 mA výstupní proud při 12 V napájecího napětí  $U_{SYS}$ .

Snižující a zvyšující měniče nedosáhli při praktické realizaci požadovaných vlastností. Pro odstranění tohoto nedostatku byla použita řada modifikovaných zapojení a provedena řada praktických experimentů a simulací. Hlavní příčinou

nedosažení požadovaných parametrů je neschopnost dostupných externích spínacích tranzistorů se dostat do plné saturace v daném zapojení.

Spínací tranzistor integrovaného obvodu MC33063A limituje elektrický proud do báze externích tranzistorů na 1,5 A. Tato hodnota je nedostatečná pro plné otevření externích tranzistorů pro daný výstupní špičkový proud. Pokus nahradit výkonové tranzistory NPN, darlingtonovými, či unipolárními tranzistory neproběhl úspěšně. Pokus o změnu zapojení tak, aby řízení spínání řídil integrovaný obvod MC33063A, a přitom spínací elektrický proud protékal přes dodatečný externí tranzistor nevedl k požadovaným výstupním hodnotám. Jediným řešením je nalezení tranzistoru s velkým proudovým zesilovacím činitelem  $\beta$  při proudu kolektorem cca. 8 A. Tento tranzistor zároveň musí mít malé napětí  $U_{CE}$  v době saturace. Účinnost měniče výrazně ovlivňuje právě tento parametr. Momentálně je objednan tranzistor D45VH4, který by měl požadované parametry splňovat.

## 7 Seznam použité literatury

- [1] NOVOTNÝ, V., VOREL. P., PATOČKA, M. *Napájení elektronických zařízení přednášky*. Skripta FEKT VUT v Brně., MJ Servis Brno, 2003..
- [2] KREJČÍŘÍK, A. *Napájecí zdroje I*. BEN-technická literatura Praha, 1997. ISBN: 80-86056-02-3
- [3] KREJČÍŘÍK, A. *Napájecí zdroje II*. BEN-technická literatura Praha, 1997. ISBN: 80-86056-03-1
- [4] KREJČÍŘÍK, A. *Napájecí zdroje III*. BEN-technická literatura Praha, 1999. ISBN: 80-86056-56-2
- [5] GESCHIEDTOVÁ, E., REZ J., STEINBAUER M. *Měření v elektrotechnice*. Skripta FEKT VUT v Brně., VUTIUM Brno, 2002.
- [6] FAKTOR, Z. *Transformátory a tlumivky pro spínané napájecí zdroje*. BEN Praha, 2002. ISBN: 80-86056-91-0
- [7] Šandera, J.. *Návrh plošných spojů pro povrchovou montáž - SMT a SMD*. BEN Praha 2006. ISBN: 80-7300-181-0.
- [8] Katalogové listy firem ON semiconductors, Texas instrumens.
- [9] System Management Interface Forum Inc. *System Managment Bus(SMBus) specification version 2.0* [online]. c2005, aktualizováno 2005-06-14 [cit. 2008-04-15].  
Dostupné z WWW: <<http://smbus.org/specs/smbus20.pdf>>.
- [10] BUCHMANN, I. *What's the best battery* [online]. c2003-2005, aktualizováno 2005-08-09 [cit. 2008-04-16].  
Dostupné z WWW: <<http://www.batteryuniversity.com/partone-3.htm>>.

## 8 Seznam příloh

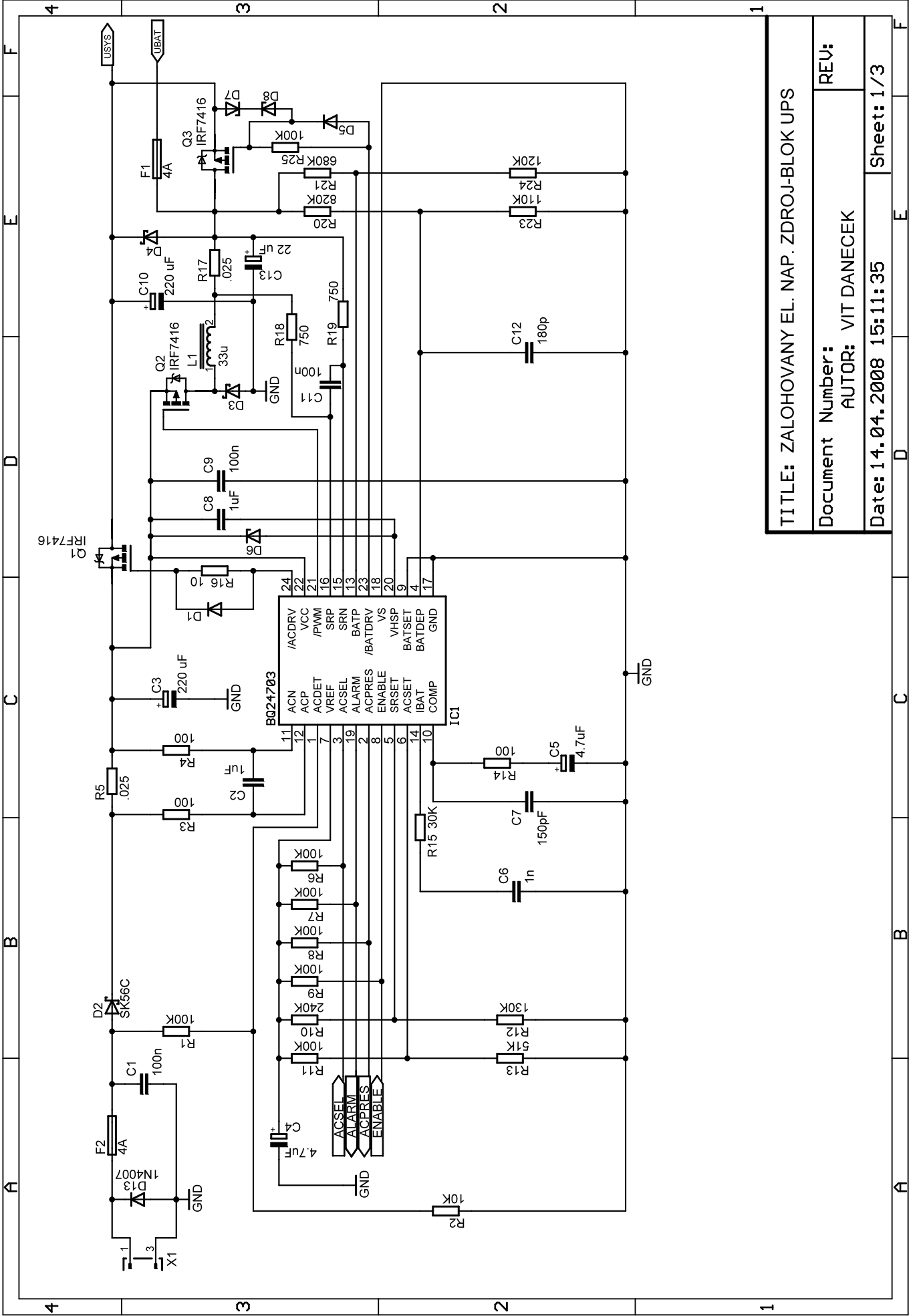
**Příloha 1.** Technická dokumentace Zálohovaného napájecího zdroje pro lékařský přístroj s managementem po I2C - hardwarová část

**Příloha 2.** Technická dokumentace Zálohovaného napájecího zdroje pro lékařský přístroj s managementem po I2C - softwarová část

**Příloha 3.** Fotodokumentace

## **Příloha č.1 Technická dokumentace Zálohovaného napájecího zdroje pro lékařský přístroj s managementem po I2C-hardwarová část**

- Elektrická schéma zapojení
- Deska plošného spoje - Osazovací výkres
- Deska plošného spoje - Horní vrstva plošných spojů
- Deska plošného spoje - Spodní vrstva plošného spojů
- Rozpiska součástek
- Zapojení konektorů



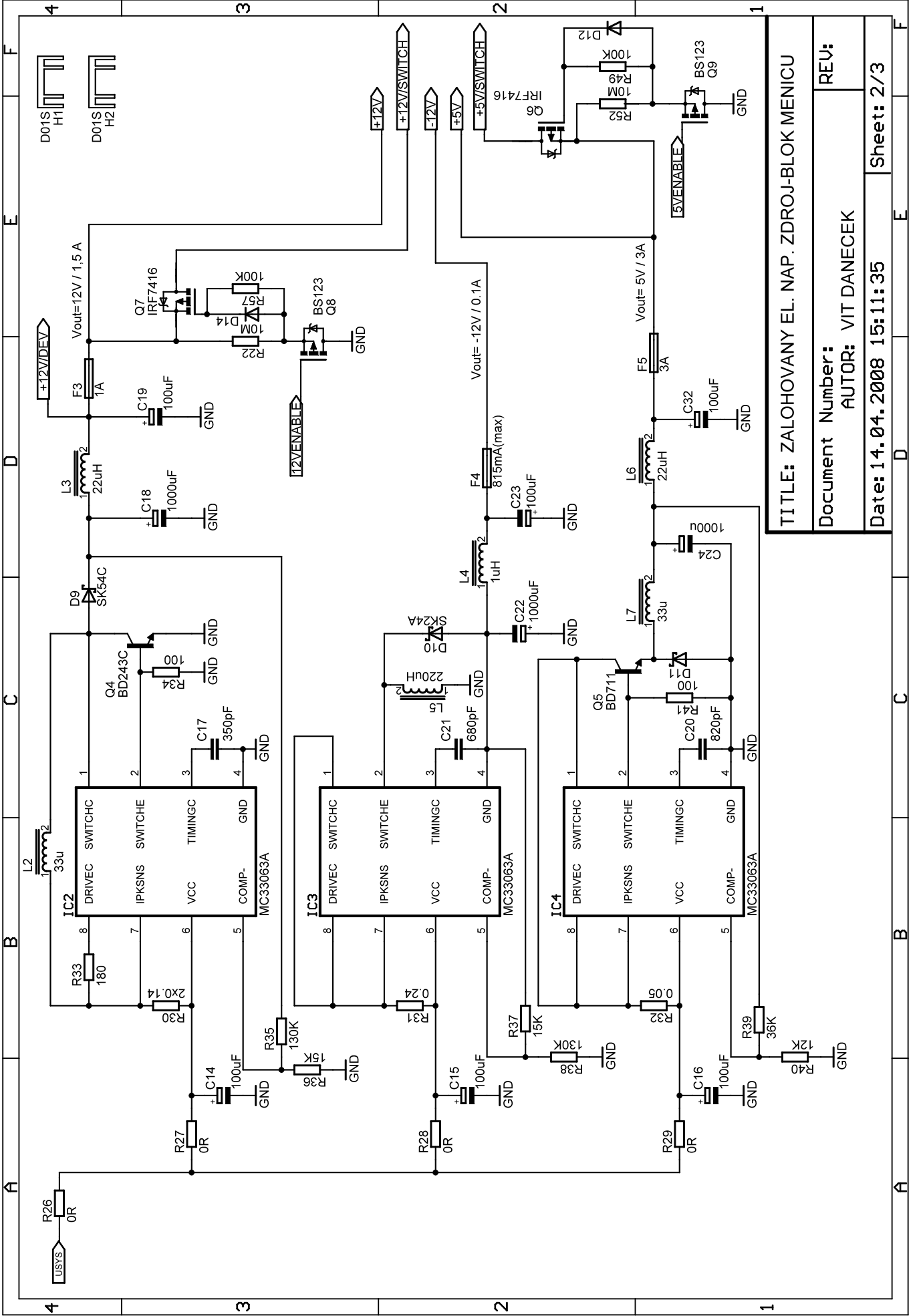
TITLE: ZALOHOVANY EL. NAP. ZDROJ-BLOK UPS

Document Number:  
 AUTOR: VIT DANECEK

Date: 14.04.2008 15:11:35

REV:

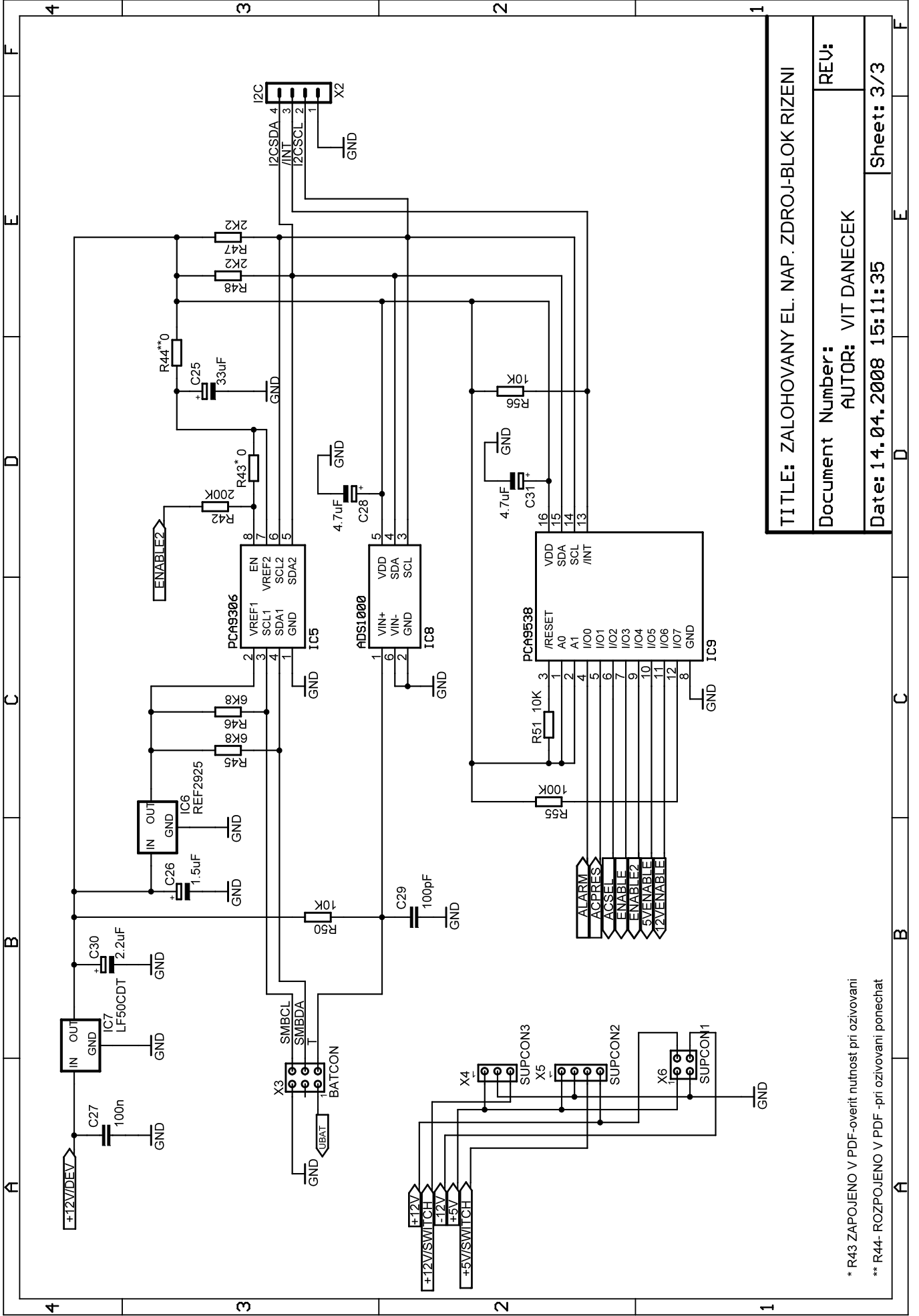
Sheet: 1/3



**TITLE:** ZALOHOVANY EL. NAP. ZDROJ-BLOK MENICU  
**Document Number:** AUTOR: VIT DANECEK  
**Date:** 14.04.2008 15:11:35

**REV:**

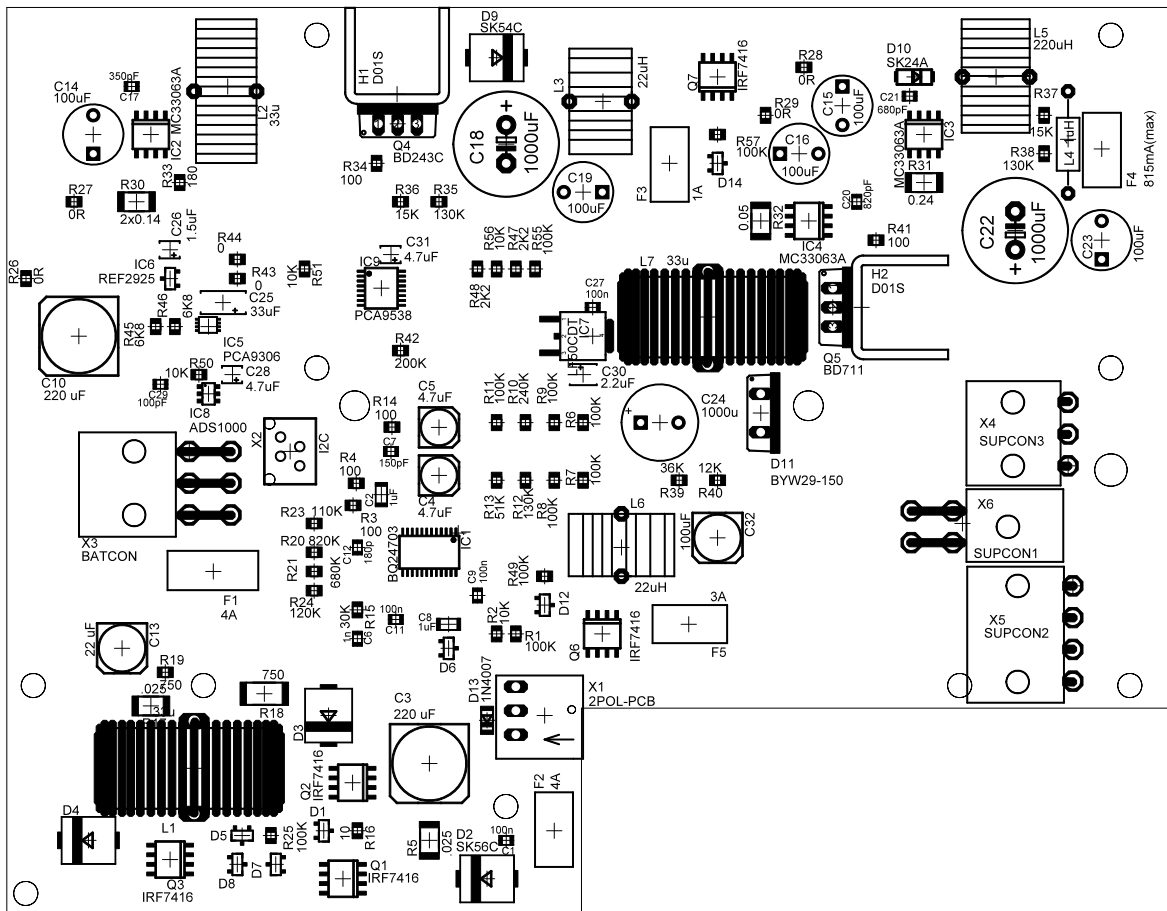
**Sheet:** 2/3



\* R43 ZAPOJENO V PDF-overit nutnost pri ozivovani  
 \*\* R44- ROZPOJENO V PDF -pri ozivovani ponechat

TITLE: ZALOHOVANY EL. NAP. ZDROJ-BLOK RIZENI	
Document Number:	AUTOR: VIT DANECEK
Date: 14.04.2008 15:11:35	REV: 3/3

# OSAZOVACI VYKRES



1 : 1

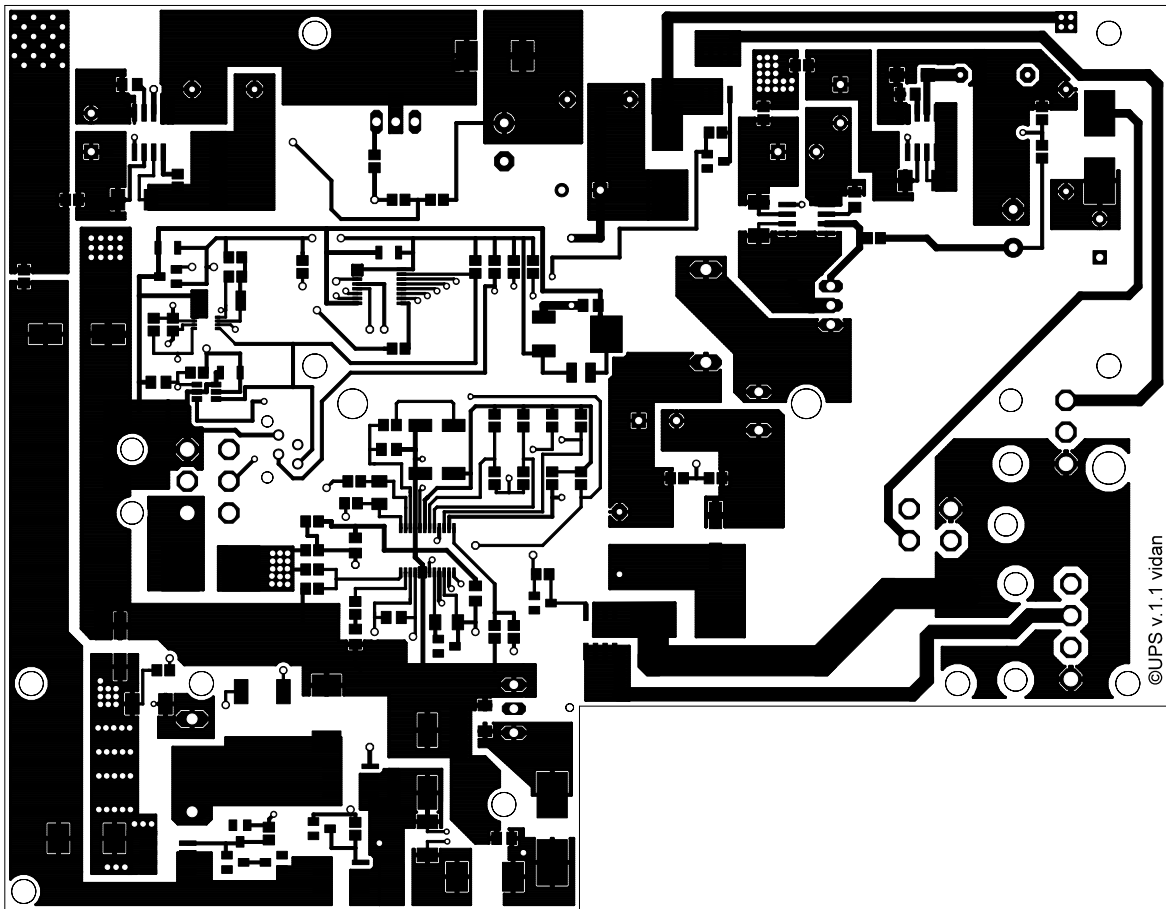
Title: ZAL. EL. NAP. ZDROJ

Autor: VIT DANECEK

06.12.2007 18:43:10

Sheet:

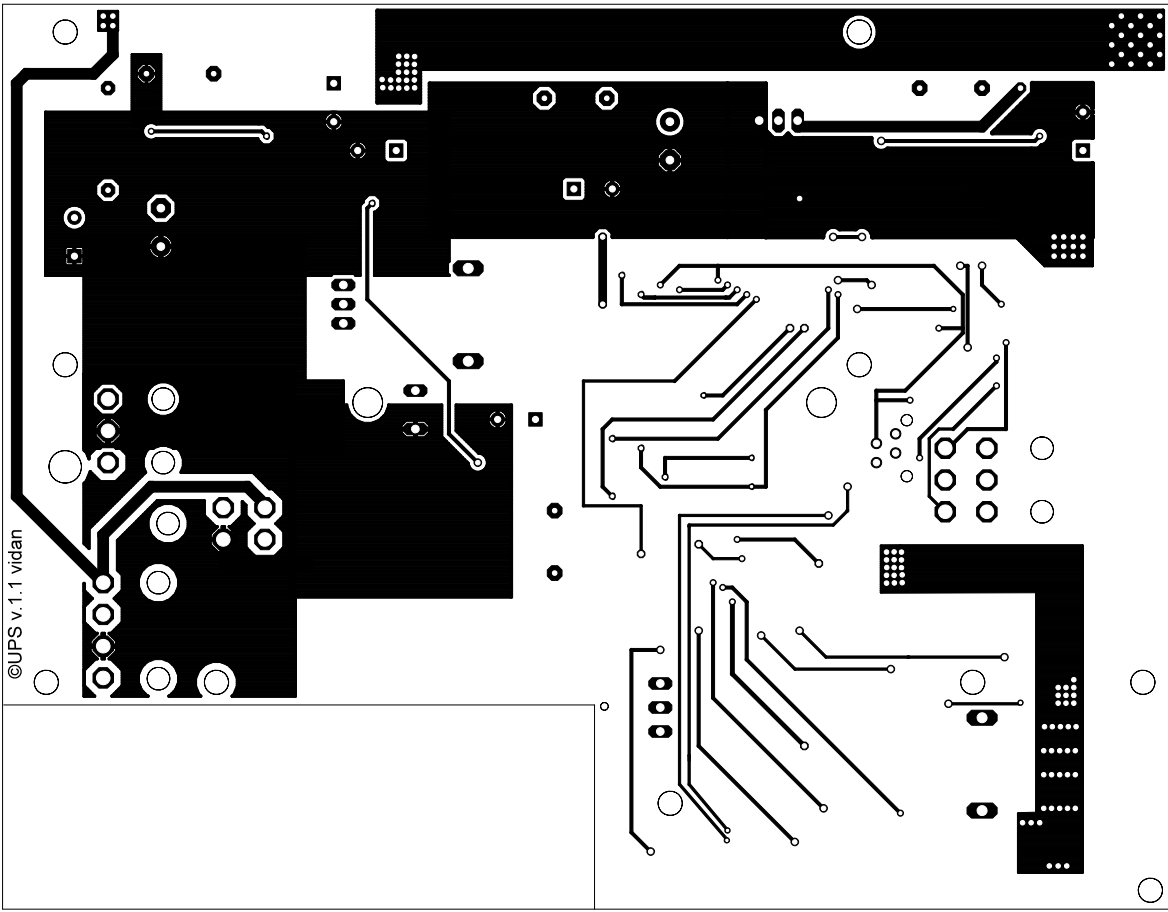
POHLED NA HORNÍ VRSTVU SPOJU-NEINVERZNI



1 : 1

Title: ZAL. EL. NAP. ZDROJ	
Autor: VIT DANECEK	
06.12.2007 18:39:34	
Sheet:	

POHLED NA SPODNI VRSTVU SPOJU-NEINVERZNI  
(ZRCADLENO)



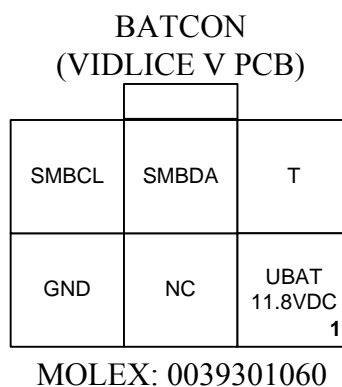
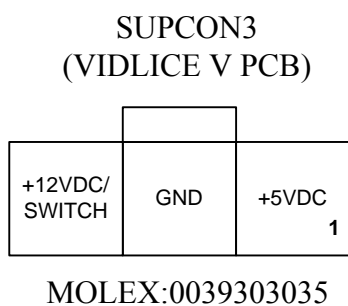
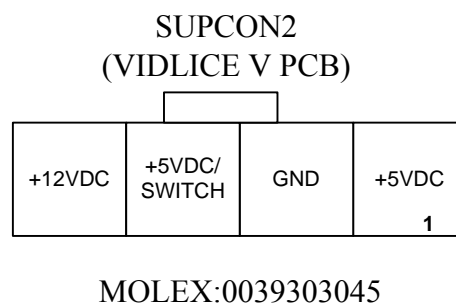
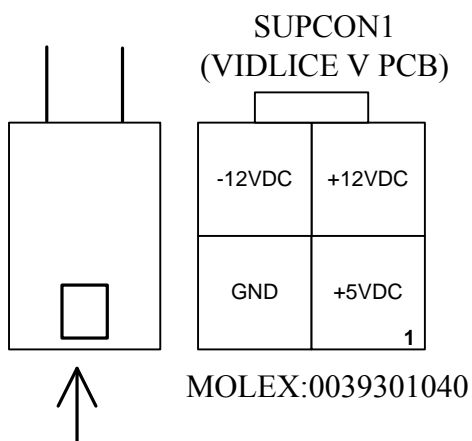
©UPS v.1.1 vřidan

1 : 1

Title:ZAL. EL. NAP. ZDROJ	
Autor: VIT DANECEK	
06.12.2007 18:52:26	
Sheet:	

Počet kusů	Součástka	Pouzdro	Popis
1	C1	0805	Kondenzátor, keramický, 0.1 µF, 50V, X7R, 10%
8	R1, R6, R7, R8, R9, R11, R55	0805	Rezistor SMD, 100 KΩ, 0.125 W, 1%
1	R2	0805	Rezistor SMD, 10 KΩ, 0.125 W, 1%
3	R3, R4, R14	0805	Rezistor SMD, 100 Ω, 0.125 W, 1%
2	C2, C8	1206	Kondenzátor, keramický, 1µF, 16V, X7R, 10%
2	R5, R17	2010	Rezistor SMD, 0.025 Ω, 0.5 W, 1%
2	C3, C10	10 x 12 mm	Kondenzátor foliový, SM, 220 µF, 35V, 150 mΩ, FC série
3	Q1,Q2,Q3	SO8	MOSFET, P-ch, 30V, 7.1 A, 20mΩ, IRF7416 SMD
1	D1	SOT23	Dioda, spínací, 10mA, 85V, 350mW, BAS16 SMD
1	R12	0805	Rezistor SMD, 130 KΩ, 0.125 W, 1%
1	R13	0805	Rezistor SMD, 51 KΩ, 0.125 W, 1%
2	C4,C5	TANTALUM-B	Kondenzátor, tantalový, 4.7 µF, 20V, 20% SMD
1	R15	0805	Rezistor SMD, 30 KΩ, 0.125 W, 1%
1	C6	0805	Kondenzátor, keramický, 0.001 µF, 50V, X7R, 10%
1	C7	0805	Kondenzátor, keramický, 150 pF, 50V, X7R, 10%
3	D2,D3,D4	SMC	Dioda, schottkyho, 5A, 60V, SK56C SMC
1	R16	0805	Rezistor SMD, 10 Ω, 0.125 W, 1%
2	L1, L7	26 x 12 mm	Tlumivka, 33µF, 5A, 36 mΩ, DPU33A5
1	R18	2512	Rezistor SMD, 750 Ω, 1 W, 5%
1	R19	0805	Rezistor SMD, 750 Ω, 0.125 W, 1%
2	R22, R25	0805	Rezistor SMD, 560 KΩ, 0.125 W, 1%
1	R23	0805	Rezistor SMD, 110 KΩ, 0.125 W, 1%
1	R20	0805	Rezistor SMD, R0805 820K 1%, 0.125 W, 1%
1	C12	0805	Kondenzátor, keramický, 180 pF, 50V, NPO, 10%
1	D6	SOT23	Dioda, zenerova, 13V, 10 Ω, 5 mA, BZX84C13V
2	D7, D8	SOT23	Dioda, zenerova, 18V, 10 Ω, 5 mA, BZX84C18V
1	C13	0.335 x 0.374	Kondenzátor foliový, 47 µF, 35V, 20%, FC série
1	J1	11 x 11.5 mm	Vídlíče 2.5 mm do PLS 90° SCD-016A
5	F1, F2, F3, F4, F5	9.86 x 5.03 mm	Držák pojistky SMD, FSF04H
1	IC1	TSSOP(PW)/24	BQ24703-Obvod nabíjení baterie PWM+ přepínač DC/Baterie
1	R10	805	Rezistor SMD, 240 KΩ, 0.125 W, 5%
1	R21	805	Rezistor SMD, 680 KΩ, 0.125 W, 5%
1	R24	805	Rezistor SMD, 120 KΩ, 0.125 W, 5%
4	R26, R27, R28, R29	0805	Rezistor SMD, 0 Ω, 0.125 W, 1%
3	IC2, IC3, IC4	SO08	MC33063A 1.5A DC/DC měnič napětí -zvyšující, snižující, invertující
1	R30	2010	Rezistor SMD, 0.067 Ω, 0.5 W, 1%, Vishay Dale serie WSLP2010
1	R31	2010	Rezistor SMD, 0.24 Ω, 0.5 W, 1%, Vishay Dale serie WSLP2010
1	R32	2010-18	Rezistor SMD, 0.05 Ω, 1 W, 1%, Vishay Dale serie WSLP2010-18
1	R33	0805	Rezistor SMD, 180 Ω, 0.125 W, 1%
1	R34, R41	0805	Rezistor SMD, 100 Ω, 0.125 W, 1%
1	R35	0805	Rezistor SMD, 130 KΩ, 0.125 W, 1%
1	R36	0805	Rezistor SMD, 15 KΩ, 0.125 W, 1%
1	R38	0805	Rezistor SMD, 130 KΩ, 0.125 W, 1%
1	R37	0805	Rezistor SMD, 15 KΩ, 0.125 W, 1%
1	R39	0805	Rezistor SMD, 36 KΩ, 0.125 W, 5%
1	R40	0805	Rezistor SMD, 12 KΩ, 0.125 W, 1%
1	Q4	T0220	Tranzistor NPN, 100V, 6A, 65W, BD234C
2	H1, H2	13 x 19 x 13 mm	Chladič DO1A, 21 K/W
1	D9	SMC	Dioda, spínací, 5 A, 40 V, SK54C
1	L3, L6	14 x 8 mm	Tlumivka, 22µH, 3A, 50 mΩ, DPU022A3

Počet kusů	Součástka	Pouzdro	Popis
5	C14, C15, C16, C19, C23	8 x 12 mm	Kondenzátor elektrolytický RM5, 100 µF, 35V, 0.35 Ω, 300 mA
1	C17	0805	Kondenzátor, keramický, 390 pF, 50V, NPO, 10%
2	C18, C22	13 x 26 mm	Kondenzátor elektrolytický RM5, 1000 µF, 25V
1	C20	0805	Kondenzátor, keramický, 890 pF, 50V, NPO, 10%
1	C21	0805	Kondenzátor, keramický, 680 pF, 50V, NPO, 10%
1	L4	3 x 12 mm	Tlumivka, 1µF, 815mA, 150 mΩ, TLEC24-1R0K
1	D10	SMA	Dioda, spínací, 2 A, 40 V, SK24A SMD
1	L5	15 x 9 mm	Tlumivka, 220uH, 1A, 196 mΩ, DPU220A1
1	D11	T0220AC	Dioda, spínací, 8 A, 150 V, 611-145
1	Q5	T0220	Tranzistor NPN, 100V, 12A, 75W, BD711
1	C24	10 x 16 mm	Kondenzátor elektrolytický RM5, 1000 µF, 10V
1	L2	19 x 8 mm	Tlumivka, 33uH, 3A, 38 mΩ, DPU022A3
1	C32	6.3 x 5.5 mm	Kondenzátor elektrolytický SMD 100 µF, 16V
1	D13	MELF	Dioda, univerzální, 1A, 1N4007SMD
1	IC5	DCUS8	PCA9306- Obousměrný napěťový převodník I2C-SMBUS
1	R42	0805	Rezistor SMD, 200 KΩ, 0.125 W, 1%
2	R43, R44	0805	Rezistor SMD, 0 Ω, 0.125 W, 1%
2	R45, R46	0805	Rezistor SMD, 6.8 KΩ, 0.125 W, 1%
2	R47, R48	0805	Rezistor SMD, 2.2 KΩ, 0.125 W, 1%
1	C25	TANTALUM-C	Kondenzátor, tantalový, 33 µF, 10V, 20% SMD
1	IC6	SOT23	REF2925- Napěťová reference 2.5V
1	C26	TANTALUM-A	Kondenzátor, tantalový, 1.5 µF, 10V, 20% SMD
1	IC7	DPAK	LF50CDT- Napěťová reference 5V
1	C30	TANTALUM-B	Kondenzátor, tantalový, 2.2 µF, 16V, 20% SMD
1	C27	0805	Kondenzátor, keramický, 100 nF, 50V, X7R SMD
1	IC8	SOT23-6L	ADS1000 -A/D převodník s I2C
3	R50, R51, R56	0805	Rezistor SMD, 10 KΩ, 0.125 W, 1%
2	C28, C31	TANTALUM-A	Kondenzátor, tantalový, 4.7 µF, 10V, 20% SMD
1	C29	0805	Kondenzátor, keramický, 100 pF, 50V, NPO, 10%
1	IC9	TSSOP16	PCA9538- osmibitový expandér pro I2C
2	Q6,Q7	SO8	MOSFET, P-ch, 30V, 7.1 A, 20mΩ, IRF7416 SMD
2	R49, R57	0805	Rezistor SMD, 100 KΩ, 0.125 W, 1%
2	D12, D14	SOT23	Dioda, spínací, 10mA, 85V, 350mW, BAS16 SMD
1	X2	8.86 x 5.98 mm	Konektor Molex 90325-3004
1	X1	11 x 10 mm	Vidlice 2,5 mm do PLS 90°, SCD-016A
1	X3	13.8 x 12.8 mm	Konektor MOLEX 0874270603
1	X6	9.6 x 12.8 mm	Konektor MOLEX 0039301042
1	X5	22.20 x 12.8	Konektor MOLEX 0039303047
1	X4	13.8 x 12.8 mm	Konektor MOLEX 0039304031



Pohled na vidlice je brán od místa připojení konektoru směrem k zapojení vývodů vidlice do PCB

## **Příloha č.2 Technická dokumentace Zálohovaného napájecí zdroje pro lékařský přístroj s managementem po I2C-softwarová část**

- Tabulka adres I<sup>2</sup>C a funkce jednotlivých vývodů u použitých el. obvodů

Tab č.1: Adresy I2C k jednotlivým obvodům:

Adresa I2C	Obvod	Funkce
dle Smart Battery Data Specification	PCA9306	Obousměrný napěťový převodník I2C-SMBUS
1001000B	ADS1000/BD0	A/D převodník- Převádí napětí vytvořeného na termistoru-vývod T
1110011B	PCA9538PW	Osmibitový expandér pro I2C

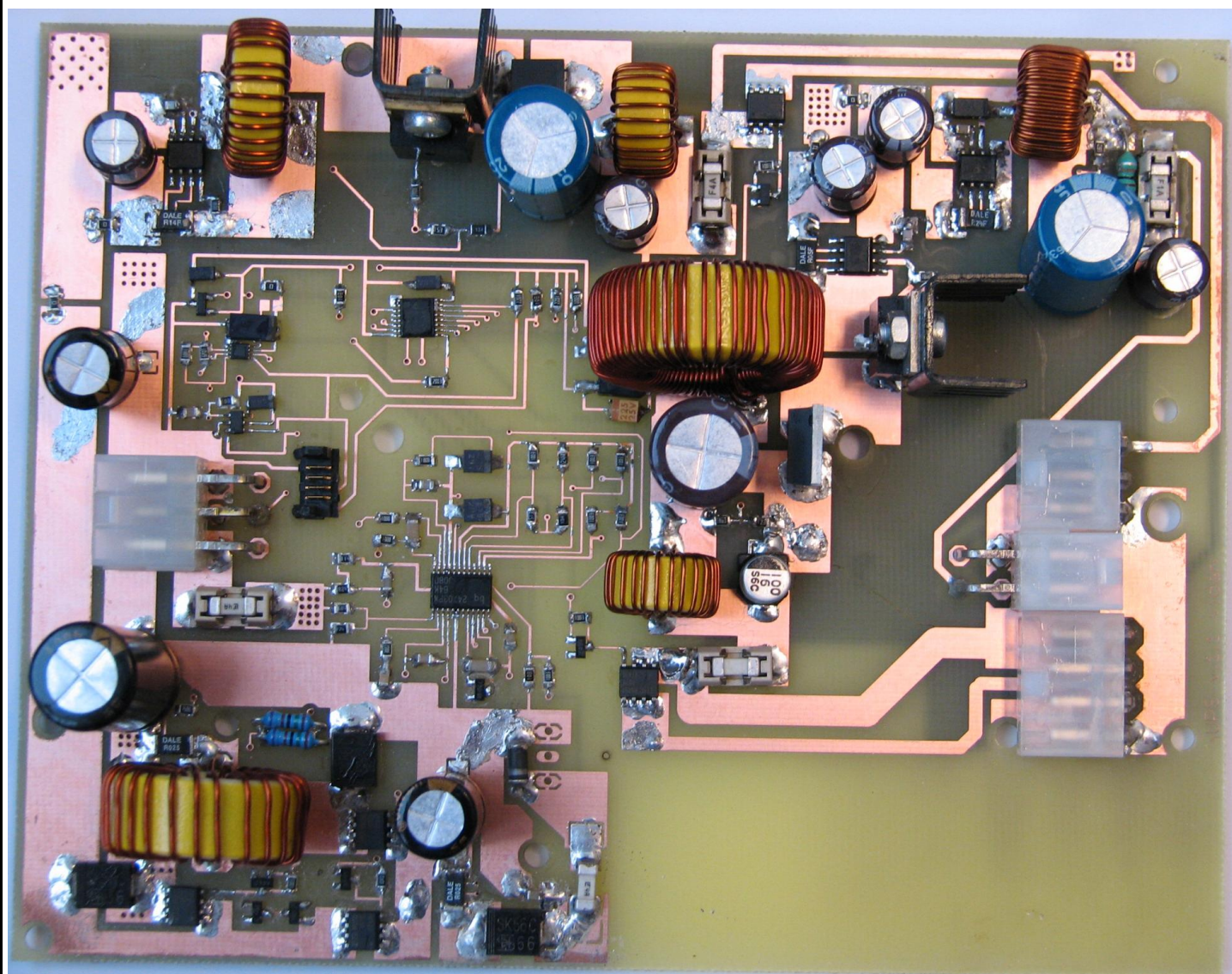
Tab č.2: Rozložení pinů a jejich funkce PCA9538PW:

Označení I/O	Signál	I/O	Funkce
0	ALARM	IN	Indikuje, že baterie je vybitá. Při log.1 baterie vybita
1	ACPRES	IN	Log. 1 indikuje připojené vstupní napájecí napětí
2	ACSEL	OUT	Ruční výběr napájení do systému baterie/síťové napětí. Při log.0 je nastavena baterie.
3	ENABLE	OUT	Povoleno/ zakázáno nabíjení baterie. Při. log.1 je povoleno nabíjení baterie
4	ENABLE2	OUT	Připojení/ odpojení I2C k SMBus obvod PCA9306. Při log.0 jsou sběrnice rozpojeny
5	5VENABLE	OUT	Připojení/ odpojení vývodu 5V/Switch. Připojeno při log.1
6	12VENABLE	OUT	Připojení/ odpojení vývodu 12V/Switch. Připojeno při log.1
7	N/C	-	-

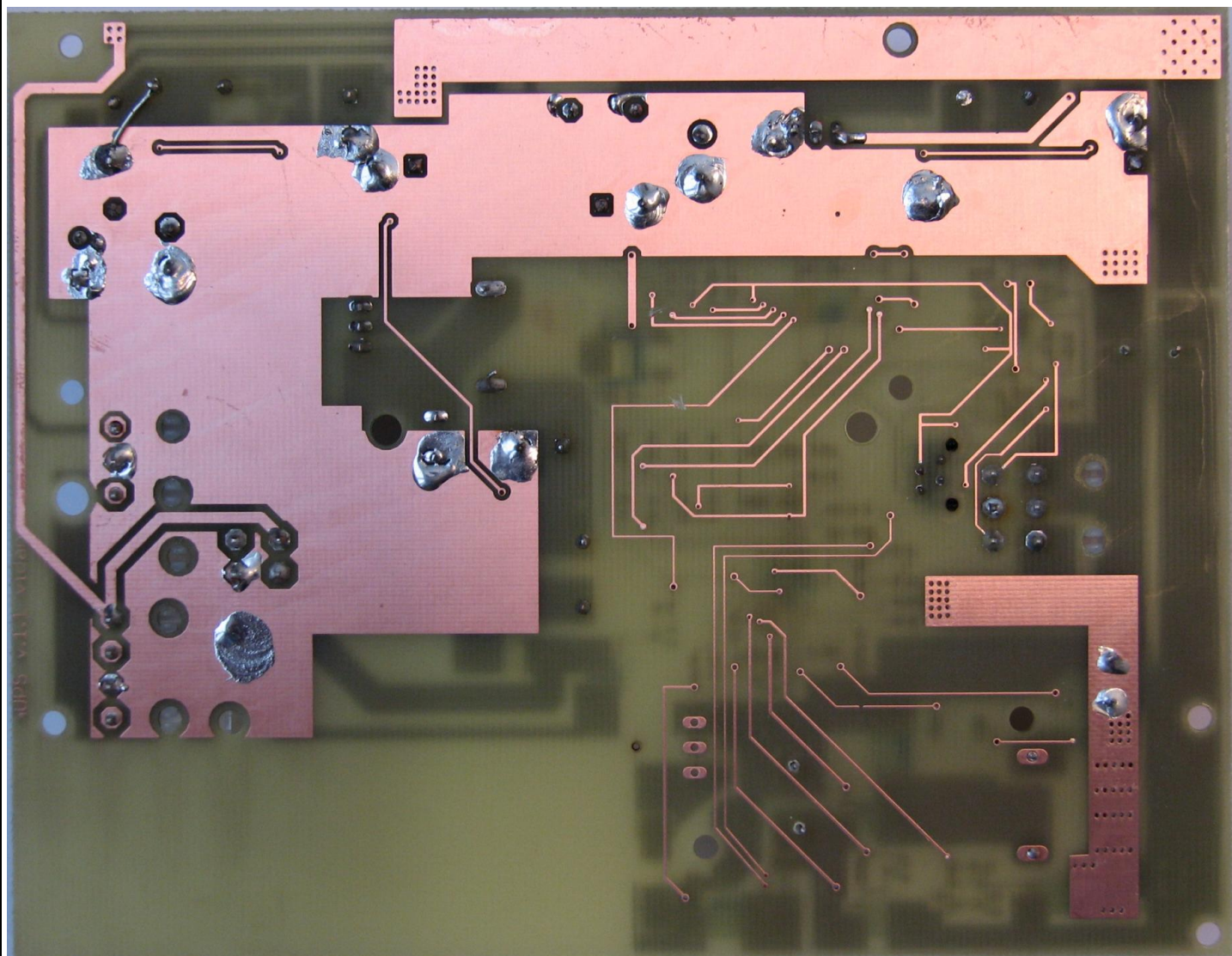
## **Příloha č. 3 Fotodokumentace**

- Fotografický pohled na horní stranu desky plošných spojů
- Fotografický pohled na spodní stranu desky plošných spojů

## Fotografický pohled na horní stranu desky plošných spojů



## Fotografický pohled na spodní stranu desky plošných spojů



**POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Autor: Bc. Vít Daněček

Název závěrečné práce: Zálohovaný napájecí zdroj pro lékařský přístroj s managementem po I2C

Název závěrečné práce ENG: Uninterruptible power supply with management system utilizing I2C bus for medical devices

Anotace závěrečné práce: Cílem této diplomové práce je návrh a realizace napájecího zdroje pro lékařský přístroj, zálohovaný pomocí baterie LI-ION. Součástí tohoto zdroje je management komunikující po I2C sběrnici.

Elektrické parametry kladené na medicínské napájecí zdroje definuje norma EN 61000-3-2. V případě napájecích zdrojů pro medicínská zařízení je výrazný důraz kladen na zvýšenou elektrickou pevnost. Tyto zdroje musí v případě výpadku síťového napájení dodávat po dobu 2 hodin energii do připojených elektronických zařízení na výstupu.

Proto oproti jiným elektrickým zdrojům je volena kombinace primárního a sekundárního okruhu napájení. Primární tvoří napájecí síťový adaptér, jenž dodává potřebný výkon do zátěže a dobíjí záložní baterii. Sekundární je tvořen baterií, která slouží jako záložní zdroj výkonu při výpadku primárního okruhu. U těchto zdrojů jsou kladeny požadavky na minimální hmotnost, rozměry, velkou celkovou účinnost a to i při nabíjení baterie.

V této diplomové práci byl navržen a vyvinut napájecí zdroj pro medicínský přístroj, zálohovaný pomocí baterie LI-ION s managementem komunikujícím po I2C sběrnici.

Výsledné hodnoty navrženého zdroje jsou 5 V/ 3 A, 12 V/ 1,5 A a -12V/ 0,1 A. Management tohoto zdroje podává informace o tom, zda zdroj je napájen z baterie nebo ze sítě, okamžitý stav nabití baterie, teplota baterie. Komunikace probíhá s vnějším řídicím prvkem po

**POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

sběrnici I2C s rychlostí 100 kb/s.

Anotace závěrečné práce ENG: Object my master's thesis is the design a Medical device uninterruptible power supply with managment system utilizing I2C bus.

Norm EN 61000-3-2 define electric parameters for medical device power supply. In case of power supply for medial equipment is expressive accent on increased electric strength. This power supply have usually primary and secondary power circuit. Primary power circuit form line accumulator, which supplies needed output to the load and recharge reserve battery. Secondary is formed battery-pack, which serve as back-up power supply at drop-out prime circle. They have a minimum weight, small proportions, large overall effectivity also charging battery-pack and monitoring battery-pack charging condition. Result whole those master's thesis is design Medical device uninterruptible power supply with managment system utilizing I2C bus and realization board layout. Resulting characteristics designed supply unit are: Output voltages are 5V/ 3 A , 12V/ 1,5 A and -12V/ 0,1 A. Managment support information about: Line adapter/ battery pack switch, battery-pack charging condition and actuall tempera-ture battery-pack.

Klíčová slova: I2C, SMB, UPS, „smart“ LI-ION baterie, zvyšující napěťový DC/DC měnič, snižující napěťový DC/DC měnič, invertující napěťový DC/DC měnič

Klíčová slova ENG: I2C, SMB, UPS, „smart“ LI-ION battery pack, buck converter, boost converter, inverting converter

Typ závěrečné práce: diplomová práce

Datový formát elektronické verze: pdf

Jazyk závěrečné práce: čeština

Přidělovaný titul: Ing.

Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

**POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Vedoucí závěrečné práce: Ing. Pavel Šilhavý, Ph.D.

Škola: Vysoké učení technické v Brně

Fakulta: Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav / ateliér: Ústav telekomunikací

Studijní program: Elektrotechnika, elektronika, komunikační a řídicí technika

Studijní obor: Telekomunikační a informační technika