

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

NABÍJEČKA VÝKONOVÝCH AKUMULÁTORŮ LI-ION V ELEKTROMOBILU S PALIVOVÝMI ČLÁNKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

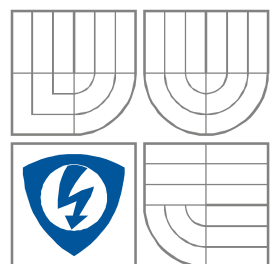
Martin Šuňal

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY
A ELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

NABÍJEČKA VÝKONOVÝCH AKUMULÁTORŮ

LI-ION V ELEKTROMOBILU S PALIVOVÝMI ČLÁNKY

**HIGH-POWER LI-ION BATTERY CHARGER FOR ELECTROMOBIL POWERED BY HYDROGEN
FUELL-CELLS**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MARTIN ŠUŇAL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JÁN HEJKRLÍK

BRNO, 2008



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika

Student: Šušal Martin

Ročník: 3

ID: 77736

Akademický rok: 2007/08

NÁZEV TÉMATU:

Počítačová grafika v silnoproudé elektrotechnice

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Na základě semestrálního projektu navrhnete řídicí obvody nabíječky akumulátorů Li-Ion..
2. Realizujte navržené výkonové a řídicí obvody.
3. Ověřte měřeními vlastnosti realizovaných obvodů v součinnosti s akumulátorovou sestavou výkonových článků Li-Ion.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Termín zadání: 10.10.2007

Termín odevzdání: 06.06.2008

Vedoucí projektu: Ing. Ján Hejkrlik

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální 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: Martin Šušal
Bytem: Dubnica nad Váhom 1090/62
Narozen/a (datum a místo): 30.01.1986, Ilava

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc., předseda oborové rady Silnoproudá
elektrotechnika a elektroenergetika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 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:

Vedoucí/ školitel VŠKP:

Ústav:

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

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

* hodící se zaškrtněte

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 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

Hlavným cieľom tejto práce je návrhnúť nabíjačku vysoko výkonových lítium-iontových článkov. Následne ju zrealizovať a oživiť.

Nabíjačka je riešená ako spínaný zdroj konkrétne jednočinný priepustný menič DC/DC s transformátorom s doplnenými regulátormi a elektronickými ochranami. Menič je riadený pomocou integrovaného obvodu UC3845.

Táto inteligentná nabíjačka je schopná pri zachovaní malých rozmerov, dodať do Li-Ion článkov pomerne vysoký prúd (30A).

Použitie DC/DC meniča ako základu nabíjačky má značné výhody, jedná sa najmä o jednoduchú reguláciu výstupného prúdu, malé rozmery, nízku hmotnosť a nízke náklady na výrobu.

Abstract

Main target of this thesis is design High-Power Li-Ion Battery Charger. The next step is realize and energize it.

Charger is designed as switching power supply concretely with regulators and electronic protects. Converter is directed with integrated circuit UC3845.

This intelligent charger enables to get a very high output current (30A) and it has small dimensions.

Usage of DC/DC converter as a base of a charger has many advantages like easy output current control, small dimensions, low weight and low production costs.

Klíčové slová

Li-Ion články; nabíjačka; spínaný zdroj

Keywords

Li-Ion cells;; charger; switching power supply

Bibliografická citácia

ŠUŇAL, M. Nabíječka výkonových akumulátorů Li-Ion v elektromobilu s palivovými články. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 63 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Hejkrlík.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Nabíječka výkonových akumulátorů Li-Ion v elektromobilu s palivovými články jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské 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

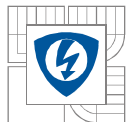
Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Filip Štěpančík, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

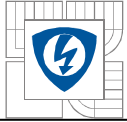
V Brně dne

Podpis autora



OBSAH

1 ÚVOD	17
2 ZAPOJENIE SILOVEJ ČASTI MENIČA	19
2.1 PRIMÁRNA ČASŤ MENIČA	19
2.2 SEKUNDÁRNA ČASŤ MENIČA.....	20
3 VSTUPNÝ FILTER	22
3.1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA	22
3.2 ODRUŠOVACIA TLMIVKA	22
3.3 ODRUŠOVACIE KONDENZÁTORY.....	23
4 DIMENZOVANIE USMERŇOVAČA A KONDENZÁTOROV C5,C6	24
5 IMPULZNÝ TRANSFORMÁTOR	25
5.1 POŽIADAVKY NA IMPULZNÝ TRANSFORMÁTOR.....	25
5.2 NÁVRH IMPULZNÉHO TRANSFORMÁTORA	26
5.3 KONŠTRUKCIA IMPULZNÉHO TRANSFORMÁTORA.....	29
6 PARALELNA TLMIVKA	30
6.1 VÝZNAM PARALELNEJ TLMIVKY	30
6.2 NÁVRH PARALELNEJ TLMIVKY	30
6.3 KONŠTRUKCIA PARALELNEJ TLMIVKY	31
7 DIMENZOVANIE TRANZISTOROV A DIÓD	32
7.1 SPÍNACIE TRANZISTORY	32
7.2 DEMAGNETIZAČNÉ DIÓDY	33
8 DIÓDY VÝSTUPNÉHO USMERŇOVAČA	34
8.1 DIÓDA D7.....	34
8.2 DIÓDA D8.....	35
9 VOEBA VYHLADZOVACEJ TLMIVKY A KONDENZÁTOROV	36
10 NAPÁJANIE VENTILÁTOROV	37
11 RIADIACE OBVODY	39
11.1 UC3845	39
11.1.1 POPIS OBVODU	39
11.1.2 NASTAVENIE FREKVENCIE VNÚTORNÉHO OSCILÁTORU	40
11.2 PREPÄŤOVÁ A NADPRÚDOVÁ OCHRANA	42
11.3 SNÍMANIE PRÚDU A NAPÄTIA.....	42
11.3.1 NÁVRH PRÚDOVÉHO TRANSFORMÁTORA	43
11.4 REGULÁCIA NABÍJACEHO PRÚDU.....	45
12 BUDENIE SPÍNACÍCH TRANZISTOROV	48

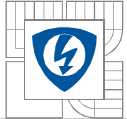


13 ONESKOROVACÍ OBVOD.....	50
14 MONITOROVANIE ČLÁNKOV.....	52
15 KOMŠTRUKCIA.....	55
15.1 PLOŠNÝ SPOJ	55
15.2 CHLADENIE.....	55
16 ZÁVER.....	56
LITERATURA	57
ZOZNAM PRÍLOH	58
PRÍLOHA A ZOZNAM POUŽITÝCH SÚČIASTOK	59
PRÍLOHA B SCHÉMA ZAPOJENIA.....	61
PRÍLOHA C DOSKA PLOŠNÉHO SPOJA A OSADENIE STRANA TOP.....	62
PRÍLOHA D DOSKA PLOŠNÉHO SPOJA A OSADENIE BOTTOM	63



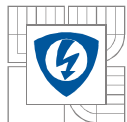
ZOZNAM OBRÁZKOV

<i>Obr. 1.1</i>	<i>Sériovo paralelne zapojenie článkov</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 2.1</i>	<i>Zapojenie primárnej časti</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 2.2</i>	<i>Sekundárna časť meniča slúžiaca k nabíjaniu článkov</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 2.3</i>	<i>Zapojenie napájania riadenia</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 3.1</i>	<i>Zapojenie vstupného filtra nabíjačky</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 3.2</i>	<i>Odrušovacia tlmivka a súfaze rušivé prúdy</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 3.3</i>	<i>Odrušovacie kondenzátory a súfaze a protifáze rušivé prúdy</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 5.1</i>	<i>Hysterézná slučka magneticky mäkkého materialu</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 5.2</i>	<i>Parametre jadra Lj T3115 CF139 z katalógu</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 5.3</i>	<i>Rozmery feritového jadra Lj T3115</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 5.4</i>	<i>Prevedenie transformátora</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 6.1</i>	<i>Zapojenie paralelnej tlmivky a transformátora</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 7.1</i>	<i>Priebeh napätia na hradle tranzistora a magnetizačného prúdu</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 8.1</i>	<i>Zapojenie a púzdro diódy STTH6003CW</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 9.1</i>	<i>Prevedenie vyhladovacej tlmivky navinutej na impulznom transformátore</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 10.1</i>	<i>Schéma zapojenia napájania ventilátorov</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 11.1</i>	<i>Blokové zapojenie obvodu UC3845</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 11.2</i>	<i>Závislosť R_T, C_T a frekvencie oscilátora</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 11.3</i>	<i>Pripojenie časovacieho kondenzátoru a odporu</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 11.4</i>	<i>Zapojenie snímania prúdu a napätia</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 11.5</i>	<i>Regulácia prúdu pri konštantnom napätí na invertujúcom vstupe</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 11.6</i>	<i>Zapojenie regulácie</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 11.7</i>	<i>Regulácia prúdu pri meniacom sa napätí na invertujúcom vstupe</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 12.1</i>	<i>Zapojenie budiaceho obvodu</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 12.2</i>	<i>Priebeh budicích impulzov</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 12.3</i>	<i>Priebeh napätia na prechode S-D spínacieho tranzistora</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 13.1</i>	<i>Zapojenie oneskorovacieho obvodu</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 14.1</i>	<i>Zapojenie monitorovacieho modulu</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 14.2</i>	<i>Zapojenie modulov ku článkom</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 14.3</i>	<i>Zapojenie spoločného modulu a pripojenie monitorovacích modulov</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 15.1</i>	<i>Profil chladiča</i>	<i>55</i>



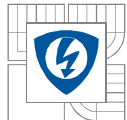
ZOZNAM TABULIEK

<i>Tab. 4.1 Parametre mostíka</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 4.2 Parametre kondenzátora B43505A9477 (470/400)</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 7.1 Parametre tranzistora SPW47N60C3</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 7.2 Volíme diódu 15ETH06.....</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 8.1 Parametre dvojdiódy STTH6003WC.....</i>	<i>35</i>
<i>Tab. 10.1 Parametre ventilátorov</i>	<i>38</i>
<i>Tab. 11.1 Popis vývodov.....</i>	<i>40</i>
<i>Tab. 13.1 Parametre relé</i>	<i>50</i>

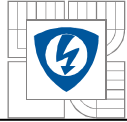


ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

Symbol	Veličina	Jednotka
A_L	Súčiniteľ indukčnosti	nH.zav ⁻²
B_{max}	Maximálna magnetická indukcia	T
B_r	Remanentná magnetická indukcia	T
C	Kapacita	F
C_T	Kapacita časovacieho kondenzátora	F
d_1, d_2	Vonkajší, vnútorný prierez feritového jadra	m
$d_{vodič}$	Priemer vodiča	m
f	Pracovná frekvencia meniča	Hz
f_{osc}	Pracovná frekvencia oscilátora obvodu UC3845	Hz
h	Hrúbka feritového jadra	m
H	Intenzita magnetického poľa	A.m ⁻¹
H_C	Koercitívna intenzita magnetického poľa	A.m ⁻¹
$i(t)$	Časovo premenný prúd	A
I_{1TR1}	Prúd primárnym vinutím TR1	A
I_d	Prúd vstupným usmerňovačom	A
I_{demag}	Demagnetizačný prúd	A
I_{FAV}	Stredná hodnota prúdu diódou	A
I_p	Protifázový rušivý prúd	A
I_r	Prúd relé	A
I_{r1}, I_{r2}	Rušivé prúdy	A
I_{s1}, I_{s2}	Súfázové rušivé prúdy	A
I_{Tef}	Efektívna hodnota prúdu tranzistorom	A
I_{Tmax}	Maximálna hodnota prúdu tranzistorom	A
I_{Tstr}	Stredná hodnota prúdu tranzistorom	A
I_{1TR1}, I_{2TR1}	Primárny, sekundárny prúd impulzným transformátorom	A
I_{1TR2}, I_{2TR2}	Primárny, sekundárny prúd prúdovým transformátorom	A
$I_{\mu celkový}$	Celkový magnetizačný prúd	A
$I_{\mu celkovýef}$	Efektívna hodnota celkového magnetizačného prúdu	A
$I_{\mu m}$	Maximálny magnetizačný prúd	A
$I_{\mu tl}$	Magnetizačný prúd paralelnej tlmivky	A
$I_{\mu TR1}$	Magnetizačný prúd impulzného transformátora	A



$i_{\mu(t)}$	Časovo premenný magnetizačný prúd	A
k_i	Presnosť prúdového transformátora	%
k_{pl}	Činiteľ plnenia	–
l	Dĺžka cievky	m
lv	Veľkosť vzduchovej medzery	m
L	Indukčnosť	H
L_{1TR1}	Indukčnosť primárneho vinutia impulzného transformátora	H
L_{tl}	Indukčnosť tlmivky	H
N_1	Počet závitov primárneho vinutia	závit
N_2	Počet závitov sekundárneho vinutia	závit
N_{tl}	Počet závitov paralelnej tlmivky	závit
$P_{\check{c}}$	Činný výkon meniča	W
$P_{Dcelkove}$	Celkové straty na dióde	W
P_P	Straty v zopnutom stave na polovodiči	W
$P_{Tcelkove}$	Celkové straty na tranzistore	W
P_{zR}	Stratový výkon na rezistore	W
R	Odpor	Ω
$R_{DS(ON)}$	Odpor tranzistora v priepustnom smere	Ω
R_T	Odpor časovacieho rezistora	Ω
S	Prierez jadra cievky	m^2
S_{CU}	Prierez vodiča tlmivky	m^2
S_{CU1}, S_{CU2}	Prierez primárneho a sekundárneho vinutia transformátora	m^2
S_{okna}	Plocha okna	m^2
S_{fe}	Prierez magnetického obvodu jadra	m^2
S_{fe1}	Prierez magnetického obvodu jedného toroidného jadra	m^2
s	Strieda	–
T	Perioda spínania meniča	s
t_1	Doba, po ktorú sú tranzistory zopnuté	s
t_2	Doba, po ktorú sú tranzistory vypnuté	s
t_{demag}	Doba demagnetizácie jadra	s
t_{doff}	Vypínací čas tranzistora	s
t_{ones}	Doba oneskorenia	s
t_{rr}	Celková doba záverného zotavenia diódy	s



U_{2TR2}	Napätie na sekundárnej strane prúdového transformátora	V
U_F	Napätie na dióde v priepustnom smere	V
u_{DS}	Napätie na prechode drain - source unipolárneho tranzistoru	V
U_m	Maximálne napätie	V
U_{R5}	Napätie na rezistore R5	V
U_{RRM}	maximálna dovolená hodnota napätia v závernom smere	V
U_{vstup}	Vstupné napätie	V
U_{vystup}	Výstupné napätie	V
W_{off}	Stratová energia pri zapnutí tranzistora	J
Z_C	Inpedancia kondenzátora	Ω
ΔB	Zmena magnetickej indukcie	T
ΔH	Zmena intenzity magnetického poľa	$A.m^{-1}$
ΔI	Zvlnenie prúdu	A
Δt	Časová zmena	s
ΔU	Kolísanie napätia	V
δ	Hĺbka vniku	m
μ	Permeabilita	H/m
μ_0	Permeabilita vzduchu	H/m
μ_r	Relatívna permeabilita	–
σ	Prúdová hustota	$A.m^{-2}$
Φ	Magnetický tok	Wb
$\Phi_{\mu(t)}$	Časovo premenný magnetický tok	Wb

Skratka

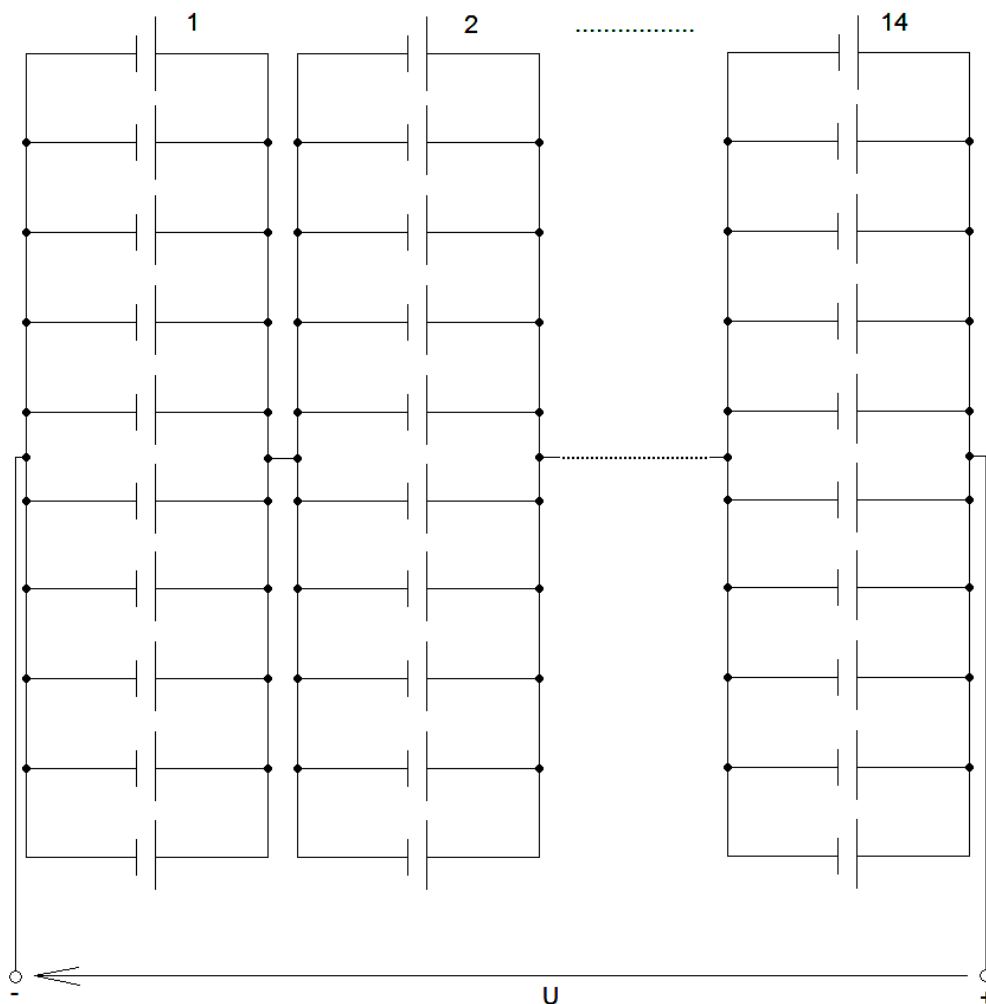
Význam

GND	Zem
MOSFET	Druh tranzistoru riadeného poľom (FET), ktorého hradlo realizované vrstvou kovu je oddelené od polovodiča dielektrickou vrstvou oxidu daného polovodiča.
NAND	Je jedným zo základných kombinačných logickým obvodov, ktorého výstup je negáciou logického súčinu všetkých vstupov.
RC	Rezistorovo-kondenzátorový člen
SMD	Označenie pre montáž bezvývodových súčiastok pre povrchovú montáž

1 ÚVOD

Litium-iontové články v elektromobile, ktorý je vyvíjaný na ústave Výkonovej elektrotechniky a elektroniky by mali slúžiť na vykrývanie náhlych odberov pri rozbehu a pri chode do kopca, ktoré by 3kW vodíkový článok nebol schopný vykryť. V prípade, že sú batérie vybité a vozidlo stojí je zbytočné a neekonomické ich nabíjať z vodíkového článku (spotreba vodíku). Taktiež sa uvažuje nad variantou nepoužiť vodíkový článok ale, len litium-iontových článkov na napájanie pohonu elektromobilu. Z tohto dôvodu navrhujeme nabíjačku, ktorá nám umožní nabiť články zo striedavej rozvodnej siete 230V.

Články Li-ion sa nabíjajú zo zdroja jednosmerného napätia s obmedzeným prúdom. Podobne sa nabíjajú aj články olovené bezúdržbové a alkalické. Pri nabíjaní Li-ion článkov je však nutné veľmi presne dodržať konečné nabíjacie napätie 3,6 V. Nabíjačka bude nabíjať zostavu článkov, v našom prípade je zapojených 14 blokov do série a v každom bloku je 10 článkov zapojených paralelne, čo je vidieť na obrázku 1.1. Potrebné nabíjacie napätie pre 14 článkov v sérii je 50,4 V. Hodnota nabíjacieho prúdu nesmie prekročiť maximálny dovolený nabijací prúd. My sme zvolili nabíjací prúd na 30A.



Obr. 1.1 Sériovo paralelne zapojenie článkov



Po zvážení pre a proti sme pre našu konštrukciu zvolili topológiu jednočinného mostíkového priepustného meniča, ktorý ma pomerne jednoduché silové, ale aj riadiace obvody, zároveň umožňuje prenášať veľké výkony. Má galvanicky oddelenú sekundarnu časť od primárnej časti, na ktorej sa nachádza životu nebezpečné napätie.

Riadenie meniča musí vhodným riadením meniča zabezpečiť požadovanú hodnotu napätia a prúdu na výstupe meniča. Zároveň nesmie dovoliť prekročiť napätie na výstupe maximálne dovolené nabíjacie napätie a prúd. Riadiace obvody musia spolupracovať s monitorovacími obvodmi, ktoré monitorujú stav článkov a na základe signálov z nich vhodne reagovať (znižit' nabíjací prúd pri prepätí na článkoch).

V druhej kapitole až deviatej sa zaoberám popisom primárnej a sekundárnej časti meniča. V jednotlivých kapitolách sú rozoberané a dimenzované jednotlivé časti meniča ako vstupný filter, impulzný transformátor, kondenzátory, polovodičové prvky meniča.

Od desiatej až po dvanástu kapitolu sa práca zaoberá riadením meniča, prepät'ovou, nadprúdovou ochranou a reguláciou prúdu meniča.

Trinásta kapitola sa zaoberá vysvetlením významu a princípu činnosti monitorovacích modulov a ich zapojením ku jednotlivým článkom.

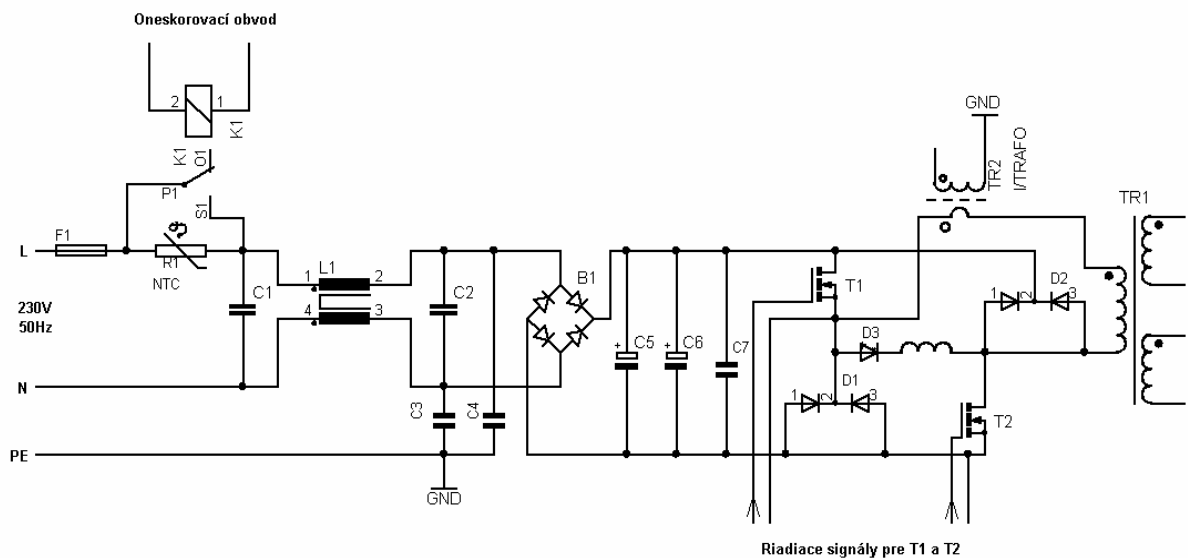
Prevedením plošného spoja a chladením sa zaoberá štrnástá kapitola.

2 ZAPOJENIE SILOVEJ ČASTI MENIČA

2.1 Primárna časť meniča

O napájanie primárnej časti jednočinného mostíkového priepustného meniča sa stará diódový mostík (Greatzov mostík), ktorý dvojcestne usmerňuje vstupné striedavé sieťové napätie $U_{ef}=230\text{ V}$. Na výstupe usmerňovača je približne napätie 300 V (pri zaťažení). Toto napätie by však bolo pomerne zvlnené, a preto sa vyhladzuje pomocou kondenzátorov C_5 a C_6 . Kondenzátor má pomerne veľkú kapacitu pri zapnutí sa začne nabíjať a spôsobil by veľký prúdový náraz. Preto prúd, ktorým sa nabíja kondenzátor obmedzíme pomocou termistoru, ku ktorému je paralelne pripojené relé. Toto relé slúži na to, aby po nabití kondenzátora premostilo termistor, a tak na termistore nevznikali zbytočne straty. O ovládanie relé sa stará oneskorovací obvod, ktorý popíšem neskôr. Za obmedzujúcim termistorom je zapojený odrušovací filter tvorený kondenzátormi $C1, C2, C3, C4$ a odrušovacíou tlmivkou.

Ďalšiu časť tvoria unipolárne MOSFET tranzistory T_1, T_2 a demagnetizačné diódy D_5, D_6 . Tranzistor T_1 a dióda D_5 tvoria horný spínač a tranzistor T_2 s diódou D_6 dolný spínač. Tranzistory spínajú a rozpínajú prúd primárnym vinutím impulzného transformátora. Diódy sa starajú o demagnetizáciu jadra. Do série s primárnym vinutím je zaradené primarne vinutie prúdového transformátora, ktorý nám umožňuje sledovať prúd pre potreby riadenia. Paralelne ku primárnemu vinutiu je cez diódu zapojená tlmivka, ktorá zväčšuje magnetizačný prúd. Dôvod, prečo chceme zväčšiť magnetizačný prúd bude vysvetlený v kapitole 6.1.



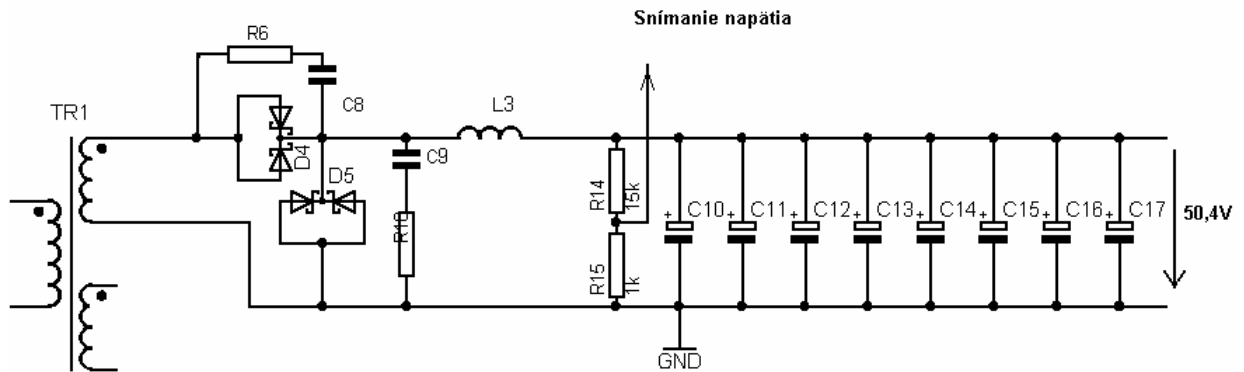
Obr. 2.1 Zapojenie primárnej časti

2.2 Sekundárna časť meniča

Sekundárna strana meniča sa skladá z dvoch častí. Jedna slúži k nabíjaniu článkov a druhá ku napájaniu riadiacich obvodov.

V obvode slúžiacom k nabíjaniu článkov sa nachádzajú diódy D_4 , D_5 , tlmivka L_3 a výstupné vyhladzovacie kondenzátory C_{10} až C_{17} . Ak sú tranzistory v primárnom obvode zapnuté, dióda D_4 je polarizovaná v priepustnom smere a preteká ňou prúd, ktorý ďalej tečie cez výstupnú tlmivku L_3 do článkov. V tlmivke L_3 sa zhromažďuje časť energie ($E_L = 0,5 \cdot L \cdot i^2$) vo forme magnetického poľa. V okamžiku, keď sa tranzistory vypnú je dióda D_4 polarizovaná v závernom smere a teda prestane viesť. Nulová dióda D_5 je teraz polarizovaná v priepustnom smere a začne viesť, čím je energia nahromadená v tlmivke odovzdávaná do článkov a vyhladzovacích kondenzátorov.

V obvode sa nachádzajú dva RC členy tvorené R_6, C_8 a R_{10}, C_9 . Tieto RC členy tvoria odľahčovacie obvody sú pripojené paralelne ku diódam D_4 a D_5 . Slúžia na utlmenie prekmitov napätia, ktoré vznikajú pri skokovom zániku prúdu diódou na parazitných indukčnostiach obvodu. Hodnoty súčiastok RC členov sme nastavili experimentálne tak, že sme skúšali rôzne hodnoty odporov a kapacít.



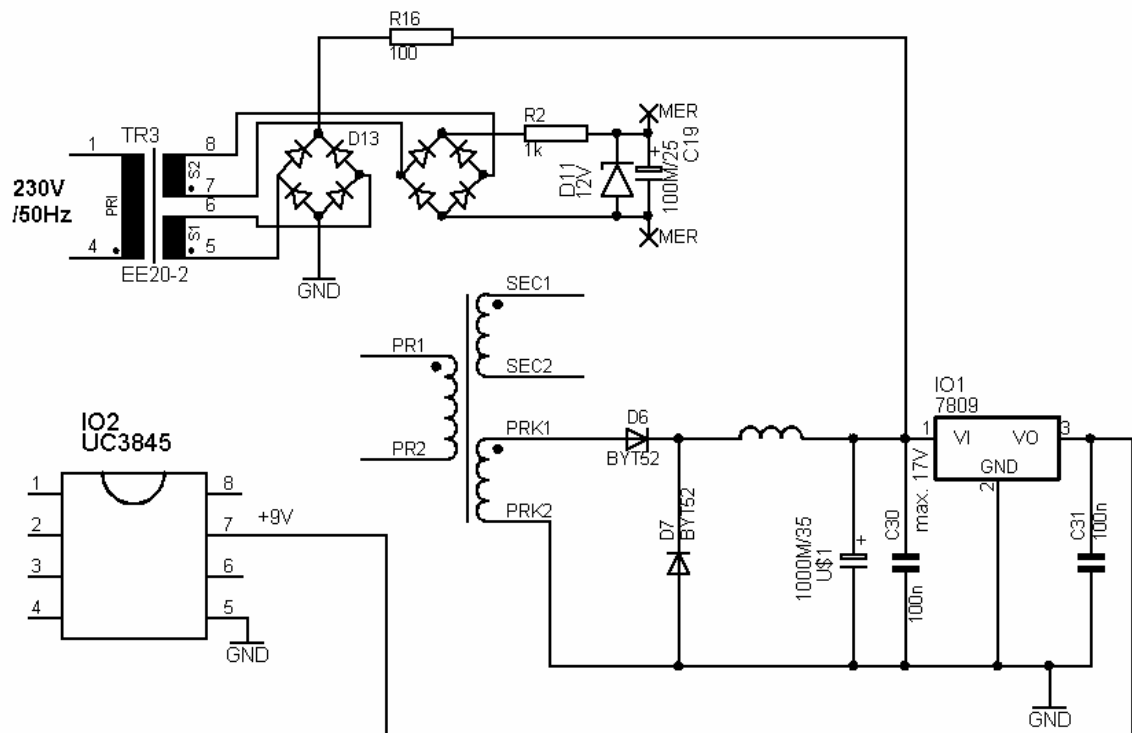
Obr. 2.2 Sekundárna časť meniča slúžiaca k nabíjaniu článkov

Sekundárna časť slúžiaca k napájaniu riadenia je zapojená takmer rovnako, ako časť slúžiaca k nabíjaniu článkov. Ovšem na rozdiel od časti slúžiacej k nabíjaniu riadenie neprispôbuje striedu napätia a prúdu na tejto vetve. Výstupné napätie je nastavené pomocou lineárneho napäťového stabilizátora 7809 na 9 V, čo postačuje, pretože obvod podľa katalógu pracuje od napätia 8,4 V.

Spínacie tranzistory na primárnej strane meniča sú ovládané obvodom UC3845, ktorý je zároveň zo sekundárnej strany meniča napájaný. Táto skutočnosť spôsobí to, že obvod po pripojení na sieť nebude pracovať, pretože na obvode UC3845 bude nulové napätie. Tento problém je vyriešený pomocou sieťového transformátora 2x12V 0,5W, ktorý po zapnutí privádza

napätie potrebné pre rozbeh meniča. Po tom, čo riadiaci obvod začne ovládať tranzistory začne sa riadenie napájať z meniča a sieťový transformátor prestáva byť potrebný.

Druhé sekundárne vinutie tohto sieťového transformátora slúži spolu s odporom R2 zenerovou diódou D11 a kondenzátorom C19 ako zdroj 12V pre merací modul, ktorý je možno k zariadeniu pridať.

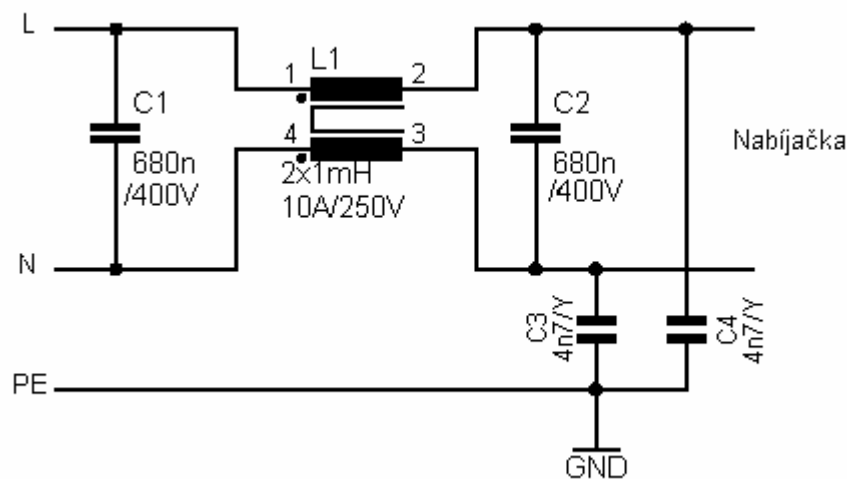


Obr. 2.3 Zapojenie napájania riadenia

3 VSTUPNÝ FILTER

3.1 Elektromagnetická kompatibilita

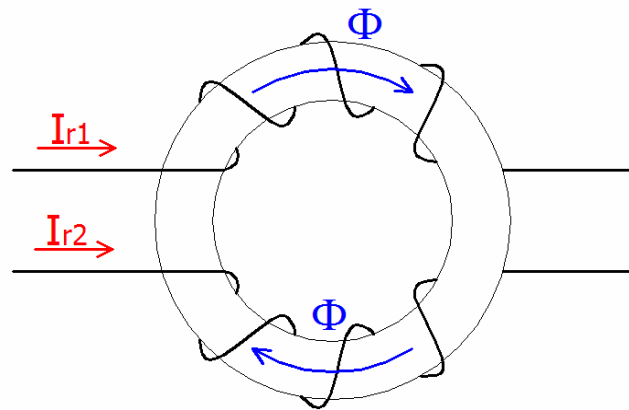
Ako už z názvu vyplýva, v spínaných zdrojoch dochádza ku spínaniu veľkých prúdov výkonovými súčiastkami s pomerne vysokou frekvenciou, čím sa stávajú pomerne silným zdrojom rušenia. Toto rušenie sa môže šíriť vyžarovaním zariadenia a zároveň cez napájaciu sieť. Taktiež môže rušenie prenikať z iných okolitých zariadení do nášho zariadenia. Rušeniu elektromagnetickým vyžarovaním sa da zabrániť použitím tienenia. Preto je konštrukcia navrhnutá do uzemnenej hliníkovej krabičky. Na zamedzenie rušenia napájacím prívodom je do prívodu zaradený odrušovací filter, tvorený odrušovacou tlmivkou L1 kondenzátormi C1, C2, C3 a C4.



Obr. 3.1 Zapojenie vstupného filtra nabíjačky

3.2 Odrušovacia tlmivka

Odrušovacia tlmivka býva tiež nazývaná tlmivka s prúdovou kompenzáciou. Táto tlmivka je konštruovaná tak, aby fázový a spätný vodič boli v rovnakom zmysle navinuté na spoločnom jadre. Pre pracovný prúd majú magnetické toky jednotlivých vinutí opačný smer a navzájom sa rušia. Pre tento prúd tlmivka predstavuje takmer nulovú indukčnosť. Pre rušivé prúdy pretekajúce fázovým a spätným vodičom v rovnakom smere, majú magnetické toky súhlasný smer a tlmivka predstavuje pre tieto prúdy značnú indukčnosť. V tlmivke nedochádza k presýteniu ani k úbytkom napätia pracovného prúdu. Tlmivka ovplyvňuje len súfaze rušivé prúdy. Odrušovaciu tlmivku sme nevyrábali, ale použili sme už hotovú tlmivku s indukčnosťou 2x2 mH.

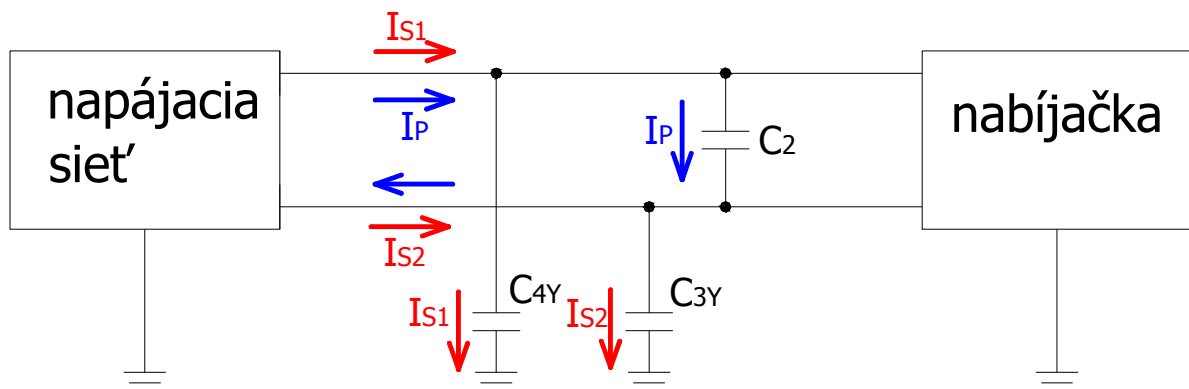


Obr. 3.2 Odrušovacia tlmivka a súfaze rušivé prúdy

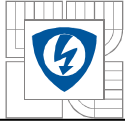
3.3 Odrušovacie kondenzátory

Kondenzátory C1 a C2 sú kondenzátory triedy X, teda kondenzátory, ktoré sa používajú tam, kde ich prerazenie nemôže ohroziť ľudský život. Použili sme kondenzátory C1 a C2 s kapacitou 680nF. Kondenzátory C3 a C4 sú triedy Y a ide o bezpečnostné kondenzátory, pričom ich kapacita môže byť najviac 10nF pre zvodový prúd 0,75mA a 50nF pre zvodový prúd 3,5mA. My sme zvolili kondenzátory C_{4Y} a C_{3Y} s hodnotou 4,7nF.

V našom zapojení kondenzátory triedy X odstraňujú protifázové rušivé prúdy I_P a kondenzátory triedy Y odstraňujú súfazové rušivé prúdy I_S z oboch vodičov odrušovaného vedenia.



Obr. 3.3 Odrušovacie kondenzátory a súfaze a protifáze rušivé prúdy



4 DIMENZOVANIE USMERŇOVAČA A KONDENZÁTOROV C5,C6

O usmernenie sieťového napätia sa stará diódový mostík. Ten možno realizovať buď štyrmi diódami v samostatných puzdrách zapojením do mostíka alebo použitím už hotového mostíka. Zvolili sme už hotový mostík KBU8M s parametrami .

$I_{(AV)}$	U_R	$T_{pracovná}$
8 A	1000 V	-65 do +150°C

Tab. 4.1 Parametre mostíka

Z výkonu $P=1500W$ a vstupného napätia môžeme určiť veľkosť prúdu usmerňovača I_d .

$$I_d = \frac{P_{\varepsilon}}{U_{vstup}} = \frac{1500}{300} = 5A \quad (4.1)$$

Pri napätí 230 V sa diódy dimenzujú na napätie 400 V, lepšie 600 V s ohľadom na toleranciu sieťového napätia a náhodné prepätia v sieti.

Hodnotu kondenzátora C_1 určíme podľa vzťahu

$$C = \frac{T}{2} \cdot \frac{I_d}{\Delta U} \cdot \left[1 - \frac{1}{\pi} \cdot \arccos\left(1 - \frac{U_m}{\Delta U}\right) \right] \quad (F; s, A, V, V, V) \quad (4.2)$$

Kolísanie napätia volíme $\Delta U=50V$.

$$C = \frac{0,02}{2} \cdot \frac{5}{50} \cdot \left[1 - \frac{1}{\pi} \cdot \arccos\left(1 - \frac{325,3}{50}\right) \right] = 820,43 \mu F \quad (4.3)$$

Zvolili sme dva kondenzátory B43505A9477 (470/400)

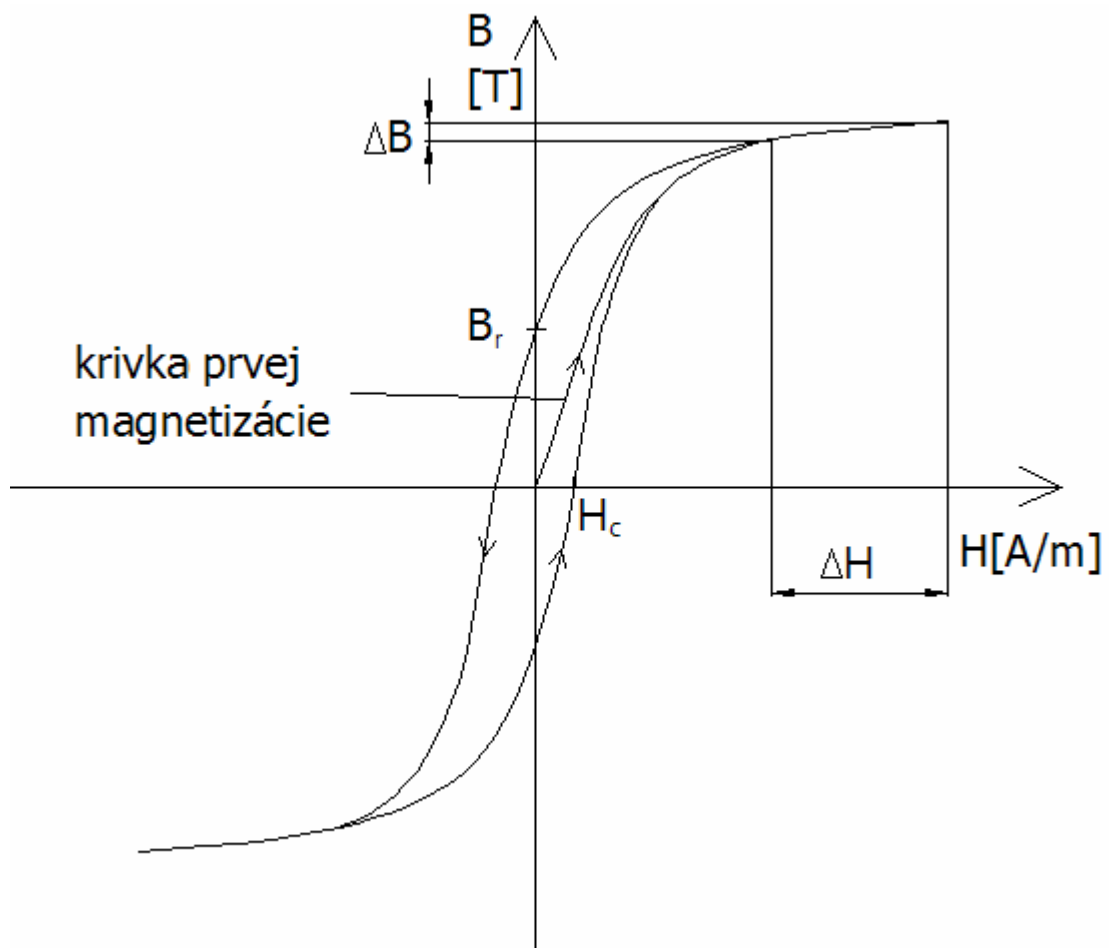
C	U	T_{prac}	ESR _{typ}	I_{ACmax}	$I_{AC,R}$
			T=20°C, f=100Hz	T=60°C, f=100Hz	T=105°C, f=100Hz
470 μF	400 V	-40do +105°C	0,19 Ω	5,9A	2,2A

Tab. 4.2 Parametre kondenzátora B43505A9477 (470/400)

5 IMPULZNÝ TRANSFORMÁTOR

5.1 Požiadavky na impulzný transformátor

Transformátor bude pracovať s frekvenciou 120 kHz, preto by jadro transformátora malo byť z magneticky mäkkého materiálu a s čo najužšou a najvyššou hysteréznou slučkou. Zároveň by malo mať čo najväčší merný odpor, čo zabráni vzniku veľkých strát vírivými prúdmi. Použitie vysokej pracovnej frekvencie umožňuje malé rozmery transformátora pri veľkom prenášanom výkone. Tieto vlastnosti spĺňajú feritové jadrá. Ovšem feritové jadrá majú malú maximálnu hodnotu sýtenia, ktorá u feritu býva 0,2 - 0,4 T. Ak dôjde ku prekročeniu maximálneho sýtenia obvodu B_{\max} dochádza pri malej zmene magnetickej indukcie ΔB ku veľkej zmene intenzity magnetického poľa ΔH , čo vidieť z obrázku 5.1.1.



Obr. 5.1 Hysterézná slučka magneticky mäkkého materialu



Táto veľká zmena intenzity magnetického poľa spôsobí zmenšenie permeability materialu, čo vyplýva z nasledujúceho vzťahu:

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (\text{H} \cdot \text{m}^{-1}; \text{T}, \text{H}) \quad (5.1.1)$$

Pokles permeability spôsobí pokles relatívnej permeability

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (-; \text{H} \cdot \text{m}^{-1}, \text{H} \cdot \text{m}^{-1}) \quad (5.1.2)$$

Zmenšenie relatívnej permeability spôsobí pokles indukčnosti primárneho vinutia transformátora.

$$L_{\text{TR1}} = N_1^2 \cdot \mu_r \cdot \mu_0 \cdot \frac{S}{l} \quad (\text{H}; -, \text{H} \cdot \text{m}^{-1}, \text{H} \cdot \text{m}^{-1}, \text{m}^2, \text{m}) \quad (5.1.3)$$

Pretože platí

$$N_1 \cdot \phi_\mu(t) = L_{\text{TR1}} \cdot i_\mu(t) \quad (5.1.4)$$

Zo vzťahu vyplýva, že v prípade ak dôjde ku náhlemu zmenšeniu indukčnosti primárneho vinutia, dôjde taktiež k nárastu magnetizačného prúdu i_μ . To by bol pre nás nežiadúci jav. Tento nárast magnetizačného prúdu by mohol poškodiť polovodičové súčiastky.

5.2 Návrh impulzného transformátora

Transformátor je navrhovaný na prenos výkonu 1,5 kW. Vstupné napätie $U_{\text{vstup}} = 300 \text{ V}$, výstupné napätie $U_{\text{vystup}} = 50,4 \text{ V}$, výstupný prúd $I_{\text{vystup}} = 30 \text{ A}$. Volíme striedu $s = 0,35$ prúdovú hustotu $5 \cdot 10^6 \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$.

Určíme elektromagnetickú veľkosť jadra $S_{\text{okna}} \cdot S_{\text{Fe}}$

$$S_{\text{okna}} \cdot S_{\text{Fe}} = \frac{P_\xi}{k_{pl} \cdot \sigma \cdot f \cdot (B_{\text{max}} - B_r) \cdot \sqrt{s}} \quad (\text{m}^4; \text{W}, -, \text{A} \cdot \text{m}^{-2}, \text{Hz}, \text{T}, \text{T}, -) \quad (5.2.1)$$

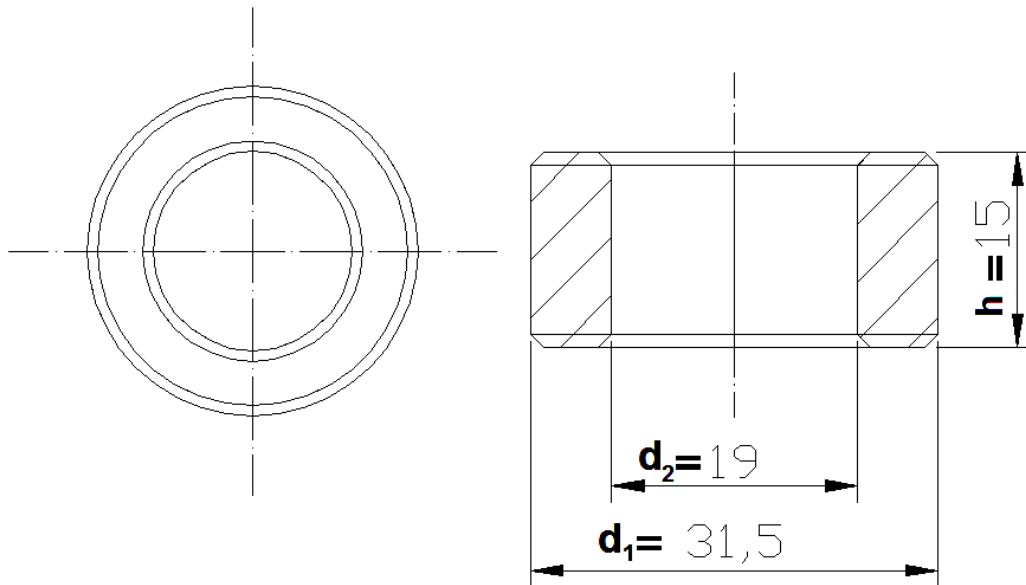
$$S_{\text{okna}} \cdot S_{\text{Fe}} = \frac{1500 \text{ W}}{0,2 \cdot 5 \cdot 10^6 \text{ A} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 120 \cdot 10^3 \text{ Hz} \cdot (0,25 \text{ T} - 0,05 \text{ T}) \cdot \sqrt{0,35}} = 1,056 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4 \quad (5.2.2)$$

Z vyrábaných a dostupných jadier vyberieme najvhodnejšie, ktoré má súčin $S_{\text{okna}} \cdot S_{\text{Fe}}$ rovnaký alebo väčší ako vypočítaný.

Z katalógu sme zvolili 4 za sebou zaradené toroidné jadra typu Lj T3115 CF139.

d_1 [mm]	d_2 [mm]	h [mm]	S_{Fe1} [m ²]	A_L [nH. z ⁻²]
31,5	19	15	93,8	3250

Obr. 5.2 Parametre jadra Lj T3115 CF139 z katalogu



Obr. 5.3 Rozmery feritového jadra Lj T3115

Prierez okna jedného jadra S_{okna}

$$S_{okna} = \pi \cdot \left(\frac{d_2}{2}\right)^2 = \pi \cdot \left(\frac{19mm}{2}\right)^2 = 283,5mm^2 \quad (5.2.3)$$

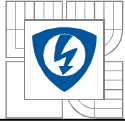
Uuríme elektromagnetickú veľkosť štyroch jadier za sebou $S_{okna} \cdot S_{Fe}$

$$S_{okna} \cdot S_{Fe} = S_{okna} \cdot 4 \cdot S_{Fe1} = 283,5 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 93,8 \cdot 10^{-6} = 1,063 \cdot 10^{-7} m^4 \quad (5.2.4)$$

Počet závitov primárneho vinutia transformátora

$$N_1 = \frac{U_{vstup}}{2 \cdot f \cdot (B_{max} - B_r) \cdot S_{Fe}} \quad (-; V, Hz, T, T, m^2) \quad (5.2.5)$$

$$N_1 = \frac{300V}{2 \cdot 120 \cdot 10^3 \cdot (0,25T - 0,05T) \cdot 4 \cdot 93,8 \cdot 10^{-6} m^2} = 17 \text{ závitov} \quad (5.2.6)$$



Na jadro sa nám ovšem 17 závitov nezmestilo, tak sme navinuli len 14 závitov. Pričom sme výpočtom skontrolovali, či nedôjde k presýteniu jadra.

$$B_{\max} = \frac{U_{\text{vstup}} \cdot T \cdot s}{N_1 \cdot S_{Fe}} = \frac{300V \cdot 8,33 \cdot 10^{-6} s \cdot 0,35}{12 \cdot 4,93,8 \cdot 10^{-6} m^2} = 0,2 \text{ T} \quad (5.2.7)$$

Táto hodnota vyhovuje, pretože neprekračuje maximálnu dovolenú hodnotu sýtenia materiálu.

Môžeme určiť prevod transformátora.

$$p = \frac{N_2}{N_1} = \frac{U_{\text{vystup}}}{U_{\text{vstup}} \cdot s} = \frac{50,4V}{300V \cdot 0,35} = 0,48 \quad (5.2.8)$$

Počet závitov sekundárneho vinutia

$$N_2 = p \cdot N_1 = 0,48 \cdot 14 = 7 \text{ závitov} \quad (5.2.9)$$

Napätie na sekundárnej strane transformátora U_{vystup}

$$U_{\text{vystup}} = U_{\text{vstup}} \cdot \frac{N_2}{N_1} = 300 \cdot 0,48 = 144V \quad (5.2.10)$$

Prúd odoberaný z výstupu je $I_2=30 \text{ A}$. Cez prevod môžeme určiť prúd primárnou stranou I_1

$$I_1 = I_2 \cdot \frac{N_2}{N_1} = 30 \cdot 0,48 = 14,4A \quad (5.2.11)$$

Indukčnosť primárneho vinutia určíme následovne

$$L_{1TR1} = N_1^2 \cdot A_L \quad (nH; \text{závitov}, nH \cdot \text{záv}^2) \quad (5.2.12)$$

$$L_{1TR1} = 14^2 \cdot 3250nH / \text{záv}^2 = 2548\mu H \quad (5.2.13)$$

Maximálna hodnota magnetizačného prúdu je:

$$I_{\mu m} = \frac{U_{\text{vstup}} \cdot t_{zm}}{L_{1TR1}} \quad (A; V, s, H) \quad (5.2.14)$$

$$I_{\mu m} = \frac{300V \cdot 4,17 \cdot 10^{-6} s}{2548 \cdot 10^{-6} H} = 0,49 \text{ A} \quad (5.2.15)$$

5.3 Konštrukcia impulzného transformátora

Pomocou silikónu sme spojili štyri feritové jadrá. Po uschnutí sme začali navíjať jednotlivé vinutia. Transformátor bol navinutý ručne, najprv sme vypočítali potrebnú dĺžku jednotlivých vodičov. Pretože transformátor pracuje s frekvenciou 120kHz musíme pri volbe brať v úvahu skieffekt. Pre hĺbku vniku pri skinefekte platí:

$$\delta = \frac{65}{\sqrt{f}} = \frac{65}{\sqrt{120 \cdot 10^3}} = 0,188mm \quad (5.3.1)$$

Vodič na vinutie transformátora by mal mať priemer menší ako $2 \cdot \delta$. Preto sme vodiče zhotovili zmotaním viacej vodičov s priemerom 0,35 mm. Prvé sme navinuli primárne vinutie. Následne sekundárne vinutie, ktoré sme pred navíjaním zaizolovali. Ako posledné sme navinuli dva závit sekundárneho vinutia slúžiaceho k napájaniu riadiacej elektroniky.



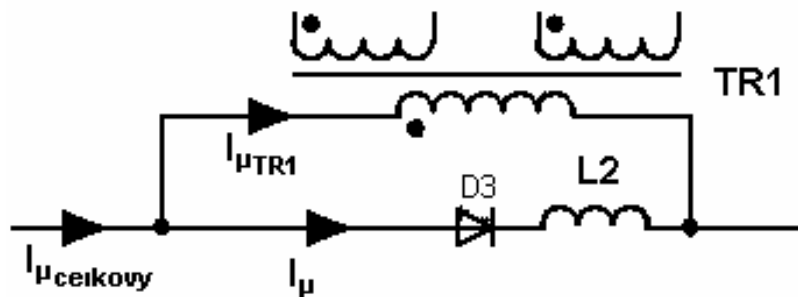
Obr. 5.4 Prevedenie transformátora

6 PARALELNA TLMIVKA

6.1 Význam paralelnej tlmivky

Hlavnou príčinou použitia tlmivky je veľká kapacita prechodu G-S spínacích tranzistorov typu MOSFET. Táto kapacita sa pri spínaní a rozpínaní musí nabiť a vybiť. Rýchle nabitie zabezpečíme zväčšením celkového magnetizačného prúdu. Zvýšenie celkového magnetizačného prúdu možno dosiahnuť zapojením tlmivky paralelne k primárnemu vinutiu transformátora. Podľa prvého Kirchofovoho zákona platí pre celkový magnetizačný prúd

$$I_{\mu\text{celkovy}} = I_{\mu\text{TR1}} + I_{\mu\text{l}} \quad (6.1.1)$$



Obr. 6.1 Zapojenie paralelnej tlmivky a transformátora

6.2 Návrh paralelnej tlmivky

Prúd $I_{\mu\text{celkovy}}$ sa volí asi na trojnásobok magnetizačného prúdu impulzného transformátora.

$$I_{\mu\text{celkovy}} = 3 \cdot I_{\mu\text{TR1}} \quad (6.2.1)$$

Veľkosť indukčnosti určíme ako tretinu indukčnosti výkonového transformátora.

Návrh tlmivky:

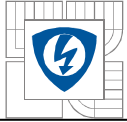
$$N_{tl} = \frac{U_{\text{vstup}} \cdot t_{z\text{max}}}{\Delta B_{\text{max}} \cdot S_{Fe}} = \frac{300\text{V} \cdot 4,17\mu\text{s}}{0,2\text{T} \cdot 49\text{mm}^2} = 128\text{závitov} \quad (6.2.2)$$

Indukčnosť cievky musí mať hodnotu:

$$L_{tl} = \frac{L_{Tr}}{3} = \frac{2548\mu\text{H}}{3} = 849\mu\text{H} \quad (6.2.3)$$

Pre maximum magnetizačného prúdu platí:

$$I_{\mu\text{celkovy max}} = \frac{U_{\text{vstup}} \cdot t_{z\text{max}}}{L} = \frac{300\text{V} \cdot 4,17 \cdot 10^{-6}\text{s}}{849 \cdot 10^{-6}\text{H}} = 1,472\text{A} \quad (6.2.4)$$



pre efektívnu hodnotu platí:

$$I_{\mu\text{celkovyef}} = \frac{I_{\mu\text{max}}}{2} \cdot 1,15 = \frac{1,472A}{2} \cdot 1,15 = 0,846A \quad (6.2.5)$$

zo zvolenej prúdovej hustoty a určeného efektívneho prúdu určíme prierez vodiča:

$$S_{CU} = \frac{I_{\mu\text{celkovyef}}}{\sigma} = \frac{0,846A}{5,5 \cdot 10^6 \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}} = 1,54 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 = 0,154 \text{ mm}^2 \quad (6.2.6)$$

priemer vodiča:

$$d_{\text{vodič}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{0,154}{\pi}} = 0,44 \text{ mm} \quad (6.2.7)$$

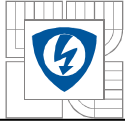
Z dostupných a vyrábaných priemerov sme si zvolili $d_{\text{zvolený}}=0,45\text{mm}$.

Cievka bude mať vzduchovú medzeru pomocou, ktorej nastavíme indukčnosť a teda aj magnetizačný prúd. Medzeru určíme nasledovne:

$$l_v = \frac{\mu_o \cdot N_{tl}^2 \cdot S_{Fe}}{L_{tl}} = \frac{4\pi \cdot 10^{-8} \cdot 128^2 \cdot 49 \text{ mm}^2}{849 \mu\text{H}} = 1,18 \text{ mm} \quad (6.2.8)$$

6.3 Konštrukcia paralelnej tlmivky

Tlmivku sme navinuli izolovaným drôtom o priereze 0,45 mm. Cievka je navinutá na plastovej kostričke. Vinutie je v štyroch vrstvách, pričom každú vrstvu sme preložili izoláciou. Konce vinutia sme prispájkovali ku nožičkam kostričky. Vzduchovou medzerou sme nastavili požadovanú indukčnosť. Medzeru sme zafixovali vložением pásov papiera do medzery a pomocou lepidla.



7 DIMENZOVANIE TRANZISTOROV A DIÓD

7.1 Spínacie tranzistory

Na tranzistore je vo vypnutom stave napätie U_d . Okrem napätia U_d vznikajú navyše prídavné prepät'ové impulzy pri vypínaní tranzistorov. Tie sú spôsobené parazitnou indukčnosťou silových obvodov. S prihliadnutím na tieto dynamické prepätia, toleranciu napájacej siete +10% dlhodobo a s náhodnými krátkotrvajúcimi veľkými prepätiami sa volí záverné napätie aspoň $2 \cdot U_d$. Nami zvolený tranzistor vydrží napätie 650 V, čo vyhovuje našim požiadavkam.

Prúdy tranzistorov

$$I_{T \max} = I_1 = 14,4 \text{ A} \quad (7.1.1)$$

$$I_{Tef} = I_1 \cdot \sqrt{s} = 14,4 \cdot \sqrt{0,5} = 10,18 \text{ A} \quad (7.1.2)$$

$$I_{Tstr} = I_1 \cdot s = 14,4 \cdot 0,5 = 7,2 \text{ A} \quad (7.1.3)$$

Straty na tranzistore v zapnutom stave sú spôsobené vnútorným odporom tranzistoru R_{DS} , cez ktorý prechádza prúd. Môžeme ich určiť nasledovne:

$$P_p = R_{DS(ON)} \cdot (I_{T1ef})^2 = 0,07 \cdot (10,18)^2 = 7,25 \text{ W} \quad (7.1.4)$$

Pri voľbe tranzistoru je vhodné zvoliť tranzistor, s čo najmenším odporom R_{DS} , aby boli straty na tranzistore čo najmenšie. Tranzistor pracuje s vysokou spínacou frekvenciou, čo spôsobuje pomerne veľké spínacie straty. Veľkosť prepínacích strát určíme:

$$P_{pr} = f \cdot W_{off} = \frac{1}{4} \cdot f \cdot t_{doff} \cdot U_{vstup} \cdot I_{T \max} \quad (7.1.5)$$

$$P_{pr} = \frac{1}{4} \cdot 120 \cdot 10^3 \text{ Hz} \cdot 165 \cdot 10^{-9} \text{ s} \cdot 300 \text{ V} \cdot 14,4 \text{ A} = 21,38 \text{ W} \quad (7.1.6)$$

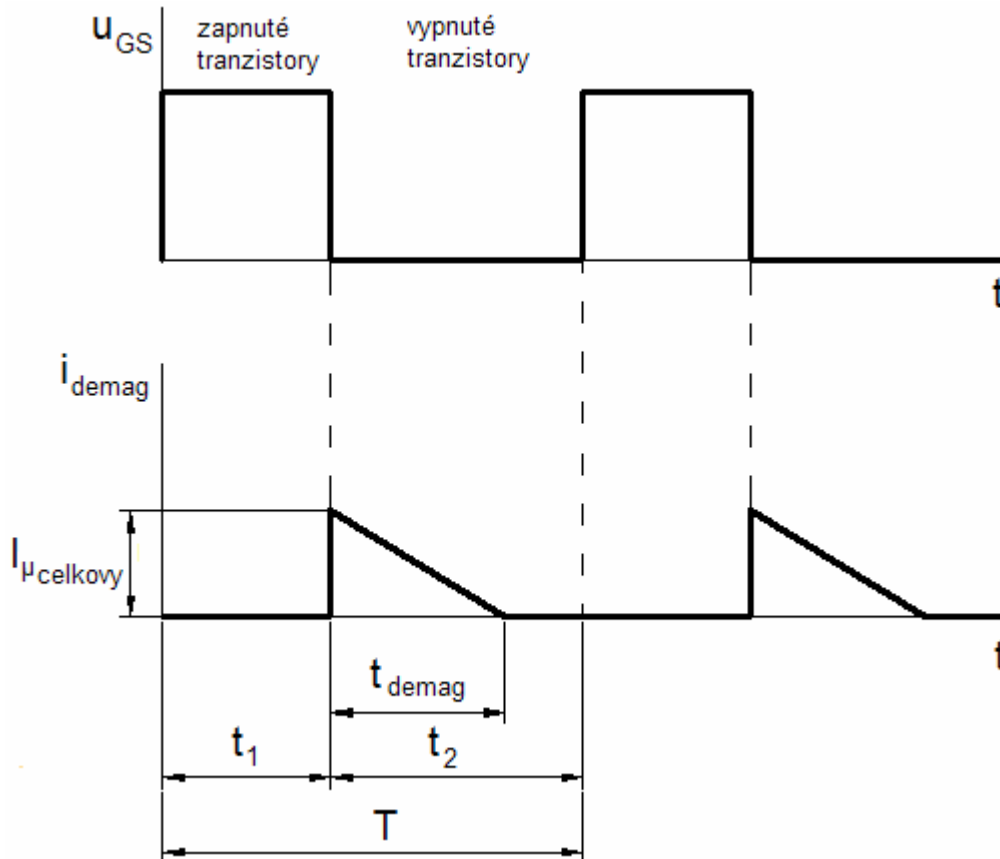
$$P_{Tcelkove} = P_p + P_{pr} = 7,25 \text{ W} + 21,38 \text{ W} = 28,63 \text{ W} \quad (7.1.7)$$

U_{DS}	$R_{DS(on),max}$	I_D		P_{tot}	t_{doff}
		$T_C=25^\circ\text{C}$	$T_C=100^\circ\text{C}$	$T_C=25^\circ\text{C}$	
650 V	0,07 Ω	47 A	30 A	415 W	165 ns

Tab. 7.1 Parametre tranzistora SPW47N60C3

7.2 Demagnetizačné diódy

Pre záverné napätie demagnetizačných diód platí to isté ako pre tranzistory teda $2U_d$. Diódy dimenzujeme na strednú hodnotu prúdu, ktorý ňou preteká.



Obr. 7.1 Priebeh napätia na hradle tranzistora a magnetizačného prúdu

Strednú hodnotu určíme nasledovne:

$$I_{FAV} = I_{\mu\text{celkovy}} \cdot \frac{t_{\text{demag}}}{T} \cdot \frac{1}{2} = 1,472 \text{ A} \cdot \frac{2,92 \cdot 10^{-6} \text{ s}}{8,33 \cdot 10^{-6} \text{ s}} \cdot \frac{1}{2} = 0,26 \text{ A} \quad (7.2.1)$$

U_R	I_D	U_f
		$I=15\text{A}, T_C=25^\circ\text{C}$
600 V	15 A	1,8V

Tab. 7.2 Volíme diódu 15ETH06

$$U_F = 1,8\text{V}$$

$$P_D = U_F \cdot I_{FAV} = 1,8\text{V} \cdot 0,26\text{A} = 0,468\text{W} \quad (7.2.2)$$



8 DIÓDY VÝSTUPNÉHO USMERŇOVAČA

8.1 Dióda D7

Diódy dimenzujeme na strednú hodnotu prúdu, ktorý ňou preteká. Pri výpočte berieme v úvahu maximálnu možnú striedu. V katalógu se táto hodnota označuje ako I_{FAV} a vypočítame ju takto:

$$I_{FAV} = I_{výst} \cdot s = 30 \text{ A} \cdot 0,35 = 10,5 \text{ A} \quad (8.1.1)$$

Dôležitá je tiež maximálna dovolená hodnota napätia v závernom smere, v katalógu označovaná ako U_{RRM} . Táto hodnota napätia nesmie byť prekročená, mohlo by dôjsť k prerazu diódy.

$$U_{RRM} = U_{2\max} = U_1 \cdot \frac{N_2}{N_1} = 300 \cdot 0,48 = 144 \text{ V} \quad (8.1.2)$$

Špeciálny prípad by nastal, keby netiekol prúd do záťaže a na výstupných svorkách by bol kondenzátor. Potom by sa maximálne záverné napätie diódy rovnalo dvojnásobku maximálnej hodnoty napätia U_2 :

$$U_{RRM} = 2 \cdot U_{2\max} = 288 \text{ V} \quad (8.1.3)$$

Ďalším požiadavkom na všetky použité diódy je veľmi vysoká rýchlosť. Jedná sa o celkovú dobu záverného zotavenia diódy. Teda dobu, za ktorú je dióda schopná obnoviť svoju blokovaciu schopnosť. V katalógu je táto hodnota označovaná t_{rr} . Frekvencia spínania je v našom prípade 120kHz, potrebujeme teda diódu s dobou $t_{rr} \div 8,34\mu\text{s}$.

Stráty na dióde v priepustnom smere:

$$P_p = I_{FAV} \cdot U_F = 10,5 \text{ A} \cdot 0,85 \text{ V} = 8,9 \text{ W} \quad (8.1.4)$$

Straty pri prepínaní možno určiť:

$$P_{pr} = \frac{1}{4} \cdot U_{2\max} \cdot I_{FAV} \cdot t_{rr} \cdot f \quad (8.1.5)$$

$$P_{pr} = \frac{1}{4} \cdot 144 \text{ V} \cdot 10,5 \text{ A} \cdot 55 \cdot 10^{-9} \cdot 120 \cdot 10^3 \text{ Hz} = 2,5 \text{ W} \quad (8.1.6)$$

Celkové straty na dióde:

$$P_{Dcelkove} = P_p + P_{pr} = 8,9 \text{ W} + 2,5 \text{ W} = 11,4 \text{ W} \quad (8.1.7)$$

8.2 Dióda D8

Diódu dimenzujeme podobne ako D₇ na prúd I_{FAV} a napätie U_{RRM} , s tým rozdielom, že teraz pri výpočte uvažujeme minimálnu striedu ($s \rightarrow 0$):

$$I_{FAV} = I_{výst} \cdot (1 - s) = 30 \text{ A} \quad (8.2.1)$$

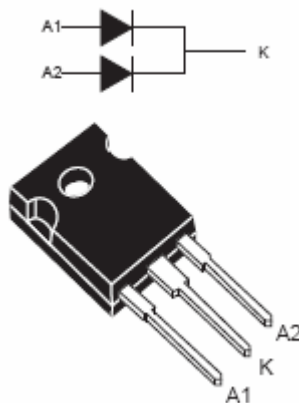
Napätie v závernom smere nesmie prekročiť hodnotu:

$$U_{RRM} = U_{2max} = 144 \text{ V} \quad (8.2.2)$$

Stráty na dióde:

$$P = I_{FAV} \cdot U_F = 30 \text{ A} \cdot 0,85 \text{ V} = 25,5 \text{ W} \quad (8.2.3)$$

Pre D₇ a D₈ volíme diódu STTH6003CW. Ide o dve diódy v jednom púzdra so spoločnou katódou.



Obr. 8.1 Zapojenie a púzdro diódy STTH6003CW

Tato dvoj-dióda by sa dala použiť tak, že jedna z diód by tvorila D₇ a druhá D₈. Ale, aby sa diódy lepšie chladili, použijeme dve takéto dvoj-diódy (dve púzdra). Využijeme obe diódy v púzdra a preto bude každou z diód tiecť približne polovičný prúd ako by tiekol pri použití jednej diódy.

U_R	I_D	t_{rrmax}	U_{fmax}
300 V	2x30 A	55ns	1V

Tab. 8.1 Parametre dvojdiódy STTH6003WC



9 VOĽBA VYHLADZOVACEJ TLMIVKY A KONDENZÁTOROV

Najväčší vplyv na kvalitu a dynamickú stabilitu napätia U_2 z hľadiska súčiastok majú vyhladzovacia tlmivka a kondenzátory. Zvolili sme $\Delta I = 5$ A a L_3 určíme podľa vzťahu:

$$L_3 = \frac{U_{\text{vystup}}}{2 \cdot f \cdot \Delta I} \cdot (1-s) \cdot s = \frac{144}{2 \cdot 120 \cdot 10^3 \cdot 5} \cdot (1-0,35) \cdot 0,35 = 27,32 \mu\text{H} \quad (9.1)$$

Na dosiahnutie tejto indukčnosti pri malom počte závitov využijeme pri konštrukcii tejto tlmivky magnetický obvod impulzného transformátora. Toto riešenie môžeme použiť, pretože je magnetický tok transformátora kolmo k magnetickému toku tlmivky navzájom sa neovplyvňujú. Výhodou tohto riešenia je zmenšenie priestoru potrebného pre impulzný transformátor a vyhladzovaciu tlmivku. Ovšem zároveň spôsobí horšie chladenie transformátora. Pre prierez vodiča pre vinutie tlmivky platí vzťah:

$$S_{\text{vodič}} = \frac{I_z + \Delta I}{\sigma} = \frac{30 \text{ A} + 5 \text{ A}}{5,5 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}} = 6,36 \text{ mm}^2 \quad (9.2)$$

$$d_{\text{vodič}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{6,36}{\pi}} = 2,85 \text{ mm} \quad (9.3)$$

Zvolili sme vodič s priemerom 2,9 mm.

Pre minimalizáciu zvlnenia napätia U_2 je treba kondenzátor s čo najväčšou kapacitou. Ale platí, že od určitej hodnoty kapacity C_{min} nie je ani tak dôležitá kapacita, ako skôr typ elektrolytického kondenzátora. Je to spôsobené výrazným uplatnením parazitných prvkov kondenzátora, a to predovšetkým sériovým odporom R_0 a vzhľadom na pracovný kmitočet meniča aj sériovou indukčnosťou L_0 .

Minimálna kapacita kondenzátora C_{mi} , pričom volíme $\Delta U = 0,1$ V

$$C_{\text{min}} = \frac{(1-s) \cdot s}{16 f^2 \cdot L} \cdot \frac{U_d}{\Delta U} = \frac{(1-0,35) \cdot 0,35}{16 \cdot (120 \cdot 10^3)^2 \cdot 27,32 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{144,13}{0,1} = 52,1 \mu\text{F} \quad (9.4)$$

Volíme kondenzátory 220 $\mu\text{F}/100$ V. Použili sme 8 paralelne zapojených kondenzátorov, čím docielime, že budú mať malú výslednú parazitnú impedanciu, väčší dovolený prúd. Budú sa lepšie chladiť, ako by boli v jednom puzdre a teda sa zväčší aj ich životnosť.

Vzhľadom na to, že v obvode je spolu s kondenzátorom tlmivka musíme kondenzátory zvoliť tak, aby nedošlo k rezonancii, a preto musí byť splnená podmienka podľa Thomsonovho vzťahu:

$$C \gg \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot L} \quad (9.5)$$

$$C \gg \frac{1}{4,3 \cdot 14^2 \cdot (120 \cdot 10^3)^2 \cdot 27,32 \cdot 10^{-6}} = 64,38 \text{ nF} \quad (9.6)$$

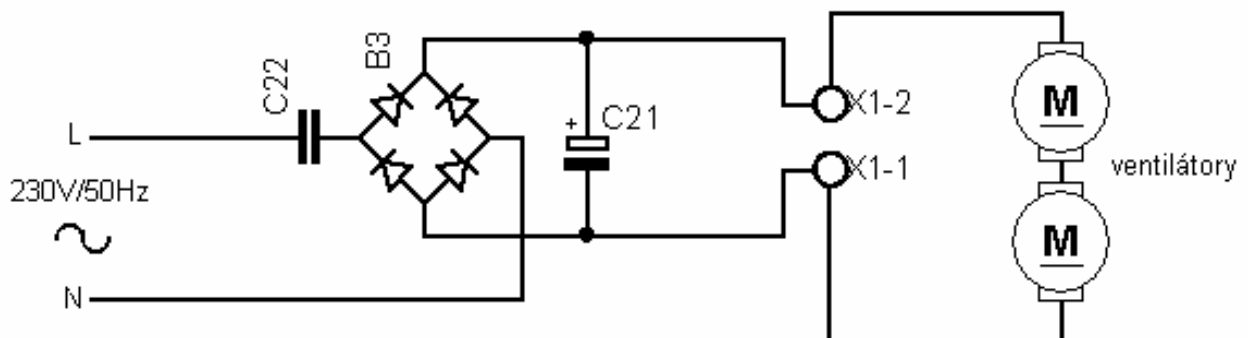
Náš kondenzátor má kapacitu omnoho väčšiu, a preto by nemalo dôjsť ku rezonancii.



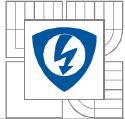
Obr. 9.1 Prevedenie vyhladovacej tlmivky navinutej na impulznom transformátore

10 NAPÁJANIE VENTILÁTOROV

Je riešené priamo zo siete bez použitia transformátora. Napätie siete je znížené pomocou kondenzátora C22, ktorý pri frekvencii siete 50Hz predstavuje impedanciu Z_c . Napätie je následne usmernené pomocou usmerňovacieho mostíka B3 a vyhladené pomocou kondenzátora C21. Ventilátory sú zapojené do série. Pri oživovaní je dôležité, aby toto zapojenie nepracovalo naprázdno, pretože by napätie kondenzátora stúpalo nad dovolenú hodnotu a došlo by ku zničeniu obvodu.



Obr. 10.1 Schéma zapojenia napájania ventilátorov



Menovité napätie $U_{vn}[V]$	Menovitý prúd $I_{vn}[mA]$	Menovitý výkon $P_{vn}[W]$	Menovité otačky $n_{vn} [ot.min^{-1}]$
24	79	1,9	4500

Tab. 10.1 Parametre ventilátorov

Ventilátory sú použité dva. Sú zapojené do série.

Stanovenie parametrov súčiastok pre napájanie ventilátorov.

Veľkosť kapacity kondenzátora C21:

$$\frac{du(t)}{dt} = \frac{i(t)}{C} \Rightarrow \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{I_d}{C} \quad (10.1)$$

$$C = \frac{I_d \cdot \frac{T}{2}}{\Delta U} = \frac{79 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0,02s}{2}}{10V} = 79 \mu F \quad (10.2)$$

Volíme kondenzátor 100 μ na 63V.

Usmerňovací mostík sme zvolili v SMD prevedení S250, ktorý vydrží napätie 420 V a prúd 0,8 A, čo pre napájanie ventilátorov bohato stačí.

Na striedavej strane usmerňovacieho mostíka chceme mať napätie približne 48 V. Prúd dodávaný zo siete musí byť aspoň 79 mA. Preto kondenzátor C22 musí predstavovať impedanciu Z_c .

$$Z_c = \frac{230 - 48V}{79 \cdot 10^{-3} A} = 2304 \Omega \quad (10.3)$$

Pre kapacitu platí

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot Z_c} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50Hz \cdot 2304 \Omega} = 1,38 \mu F \quad (10.4)$$

Volíme kondenzátor 1,5 μ F na napätie 400V.

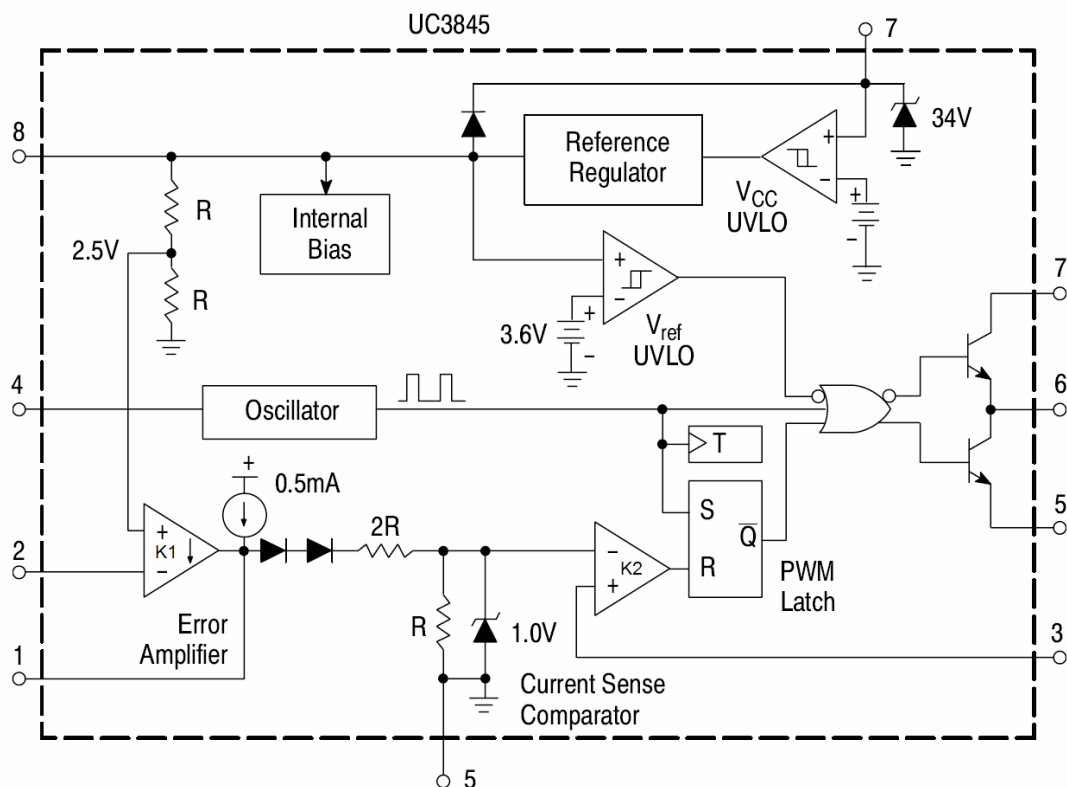
Toto riešenie napájania ventilátorov je výhodné pre malé rozmery a cenu. Nieje potrebný drahý a rozmerný transformátor. Nevýhodou je, že nesmieme nechať napájanie pracovať bez pripojených ventilátorov.

11 RIADIACE OBVODY

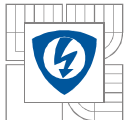
11.1 UC3845

11.1.1 Popis obvodu

Základom celého riadenia jednočinného priepustného meniča s transformátorom je integrovaný obvod UC3845. Ide o obvod, ktorý je určený na riadenie jednočinných meničov. Patri do skupiny obvodov so zložitou štruktúrou, ale s malým počtom vývodov, a teda aj s malým počtom potrebných vonkajších súčiastok. Umožňuje plynulé nastavenie hodnoty výstupného napätia. Obvod je určený pre spínané zdroje s pevnou pracovnou frekvenciou, nastaviteľnou vonkajšími prvkami R_T a C_T . Blokové zapojenie obvodu je na obrázku obr. 10.1.1.1.



Obr. 11.1 Blokové zapojenie obvodu UC3845



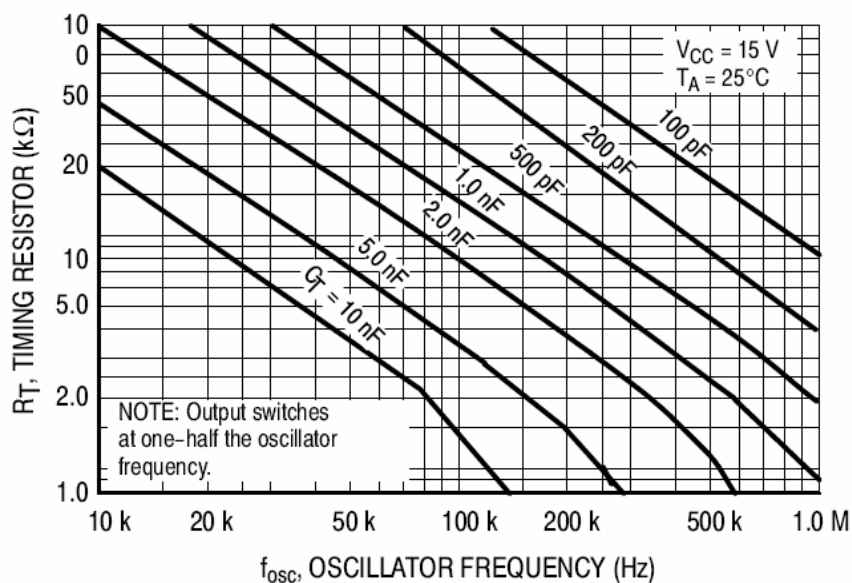
Číslo vývodu	Popis vývodu
1	Výstup kompenzácie
2	Vstup spätnoväzbového napätia
3	Vstup pre nádržovú ochranu
4	Pripojenie RC člena oscilátora
5	Zem
6	Výstup budiaceho impulzu
7	Napájacie napätie
8	Výstup referenčného napätia +5[V]

Tab. 11.1 Popis vývodov

11.1.2 Nastavenie frekvencie vnútorného oscilátora

Z blokového zapojenia na obr. 10.1. je vidieť, že obvod obsahuje oscilátor. Ten môže pracovať až s frekvenciou 500 kHz. Frekvencia je určená časovacím kondenzátorom C_T a rezistorom R_T , ktoré sú pripojené medzi vývody 8 a 4 integrovaného obvodu. Nastavená hodnota frekvencie oscilátora je podľa údajov výrobcu veľmi stabilná, pri zmenách napájacieho napätia U_{CC} od 12 V do 25 V sa zmení frekvencia oscilátora iba o 0,2 %.

Výrobca udáva grafickú závislosť frekvencie oscilátora na voľbe hodnôt súčiastok R_T a C_T . Závislosť je na obr.10.2.



Obr. 11.2 Závislosť R_T, C_T a frekvencie oscilátora

Pre hodnotu odporu R_T väčšiu ako $5\text{ k}\Omega$ výrobcu udávajú vzťah pre frekvenciu:

$$f_{osc} = \frac{1,72}{R_T \cdot C_T} \quad (11.1.2.1)$$

Frekvencia oscilátora je dvojnásobok spínacej frekvencie na výstupe 6. Preto pre nami požadovanú frekvenciu spínania tranzistorov 120 kHz musíme oscilátor nastaviť na frekvenciu dvojnásobnú a teda na 240 kHz .

V schéme zapojenia predstavuje časový kondenzátor C_T kondenzátor C26 a časovací rezistor R_T rezistor R26. Kondenzátor C25 je odporúčané pripojiť výrobcom obvodu.

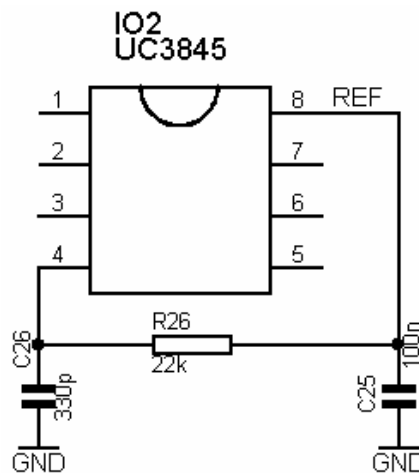
Rezistor sme zvolili $22\text{ k}\Omega$.

Kapacitu dopočítame podľa vzťahu:

$$C_T = \frac{1,72}{R_T \cdot f_{osc}} = \frac{1,72}{22000\Omega \cdot 240 \cdot 10^3} = 326\text{ pF} \quad (11.1.2.2)$$

Volíme kondenzátor o hodnote 330 pF

Na nastavenie pracovnej frekvencie meniča 120 kHz sme použili súčiastky s hodnotami $R26 = 22\text{ k}\Omega$ a $C26 = 330\text{ pF}$.



Obr. 11.3 Pripojenie časovacieho kondenzátora a odporu

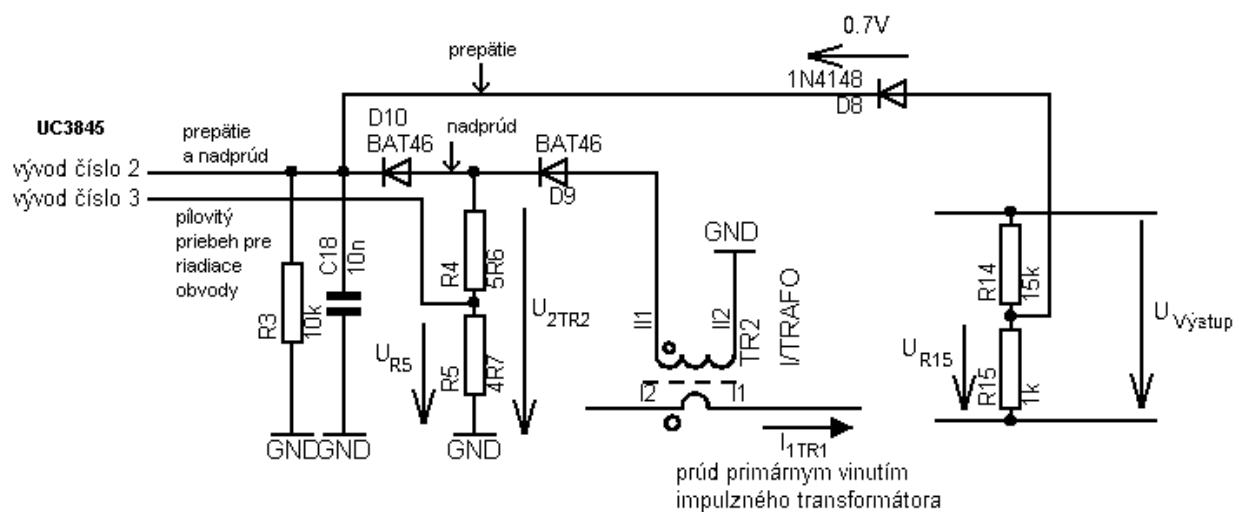
11.2 Prepäťová a nadprúdová ochrana

V blokovom zapojení obvodu UC3845 je vidieť komparátor K1. Tento komparátor porovnáva napätie privedené na vývod 2 obvodu s napätím 2,5V. V prípade, ak je napätie na vývode 2 väčšie ako 2,5 V dôjde ku zablokovaniu obvodu. Obvod prestane posilať zapínacie impulzy na spínacie tranzistory.

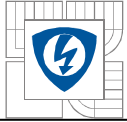
Pre realizáciu prepäťovej ochrany musíme zabezpečiť, aby pri napätí väčšom ako je dovolené bolo na vývode 2 obvodu UC3845 napätie 2,5 V a došlo ku zablokovaniu obvodu. To isté treba zabezpečiť pre nadprúdovú ochranu. Teda pri prúde väčšom ako maximálny dovolený musí byť na vývode 2 väčšie napätie ako 2,5 V a taktiež musí dôjsť ku zablokovaniu obvodu.

11.3 Snímanie prúdu a napätia

Napätie je snímané napäťovým deličom vytvoreným z odporov R14 a R15. Napätie z deliča je následne privedené na vstup 2 integrovaného obvodu UC3845. Prúd je snímaný na primárnej strane impulzného transformátora pomocou prúdového transformátora. Prúdový transformátor je navrhnutý, tak aby pri prúde 15A bolo napätie $U_{2TR2} = 2,5$ V.



Obr. 11.4 Zapojenie snímania prúdu a napätia



11.3.1 Návrh proudového transformátora

Pri návrhu vychádzame z toho, že pri prúde primárnym vinutím impulzného transformátora $I_{1TR2} = 15$ A bude na odpore pripojenom na sekundárnej strane transformátora napätie $U_{2TR2} = 2,5$ V.

Poznáme teda prúd I_{1TR1} a U_{2TR2} a zvolíme si stratový výkon na rezistore R $P_r = 0,625$ W.

Pre transformátor platí:

$$\frac{I_{1TR2}}{I_{2TR2}} = \frac{N_{2TR2}}{N_{1TR2}} \quad (11.3.1.1)$$

Rezistor pre daný stratový výkon a napätie:

$$P_{zR} = U_{2TR2} \cdot I_{2TR2} \quad (11.3.1.2)$$

$$R = \frac{U_{2TR2}}{I_{2TR2}} \Rightarrow I_{2TR2} = \frac{U_{2TR2}}{R} \quad (11.3.1.3)$$

$$P_{zR} = \frac{U_2^2}{R} \Rightarrow R = \frac{U_{2TR2}^2}{P_{zR}} \quad (11.3.1.4)$$

$$R = \frac{U_{2TR2}^2}{P_{zR}} = \frac{(2,5V)^2}{0,5W} = 12,5\Omega \quad (11.3.1.5)$$

My sme zvolili odpor 10Ω .

Pre stratový výkon na rezistore 10Ω platí:

$$P_{zR} = \frac{U_2^2}{R} = \frac{2,5^2}{10} = 0,625W \quad (11.3.1.6)$$

Dosadím vzťah 10.2.1.2 do 10.2.1.1:

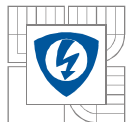
$$\frac{I_{1TR2} \cdot U_{2TR2}}{P_{zR}} = \frac{N_{2TR2}}{N_{1TR2}} \quad (11.3.1.7)$$

pre N_2 platí ak N_1 volíme 1závit:

$$N_2 = \frac{N_1 \cdot I_1 \cdot U_{2TR2}}{P_{zR}} = \frac{1 \cdot 15 \cdot 2,5}{0,625} = 60 \text{ závitov} \quad (11.3.1.8)$$

maximálny magnetizačný prúd:

$$I_{\mu m} = \frac{U_{2TR2} \cdot t_z}{N_{1TR2} \cdot N_{2TR2} \cdot \lambda} = \frac{2,5V \cdot 2,92 \cdot 10^{-6} s}{1 \cdot 60 \cdot 9600 \cdot 10^{-9} H \cdot z^2} = 12,7mA \quad (11.3.1.9)$$



Transformátor je navinutý na toroidnom jadre, primárne vinutie má 1 závit a sekundár 60 závitov. Magnetizačný prúd je voči meranému prúdu zanedbateľný. Triedu presnosti môžeme určiť:

$$k_i = \frac{I_{\mu m}}{I_1} \cdot 100 = \frac{0,0127 A}{15 A} \cdot 100 = 0,085\% \quad (11.3.1.10)$$

Pre našu aplikáciu bohato postačuje.

Riadiaci obvod potrebuje ku správnej funkcii signál pilovitého priebehu, ktorý odpovedá skutočnej hodnote prúdu. Tento signál je získavaný z prúdového transformátora, ale veľkosť napätia nemá byť 2,5 V ale len 1 V. Zníženie na túto hodnotu je dosiahnuté zapojením miesto jedného 10 Ω rezistoru dvoch rezistorov R5 a R4 do série, ktoré tvoria napäťový delič.

Poznáme celkový odpor $R=10\Omega$, vstupné napätie deliča U_{2TR2} a výstupné napätie deliča U_{R5} .

Pre celkový odpor platí:

$$R = R_5 + R_4 \quad (11.3.1.11)$$

Pre napäťový delič platí:

$$\frac{U_{R5}}{U_{2TR2}} = \frac{R_5}{R_5 + R_4} \quad (11.3.1.12)$$

po dosadení zo vzťahu 10.2.1.11 do 10.2.1.12:

$$\frac{U_{R5}}{U_{2TR2}} = \frac{R_5}{R} \quad (11.3.1.13)$$

Pre R5 platí:

$$R_5 = R \cdot \frac{U_{R5}}{U_{2TR2}} \quad (11.3.1.14)$$

$$R_5 = R \cdot \frac{U_{R5}}{U_{2TR2}} = 10\Omega \cdot \frac{1V}{2,5V} = 4\Omega \quad (11.3.1.15)$$

Z vyrábanej rady volíme odpor 3,9 Ω.

Pre R4 zo vzťahu 10.2.1.11 platí:

$$R_4 = R - R_5 = 10 - 3,9 = 6,1\Omega \quad (11.3.1.16)$$

Z vyrábanej rady volíme odpor 5,9 Ω.

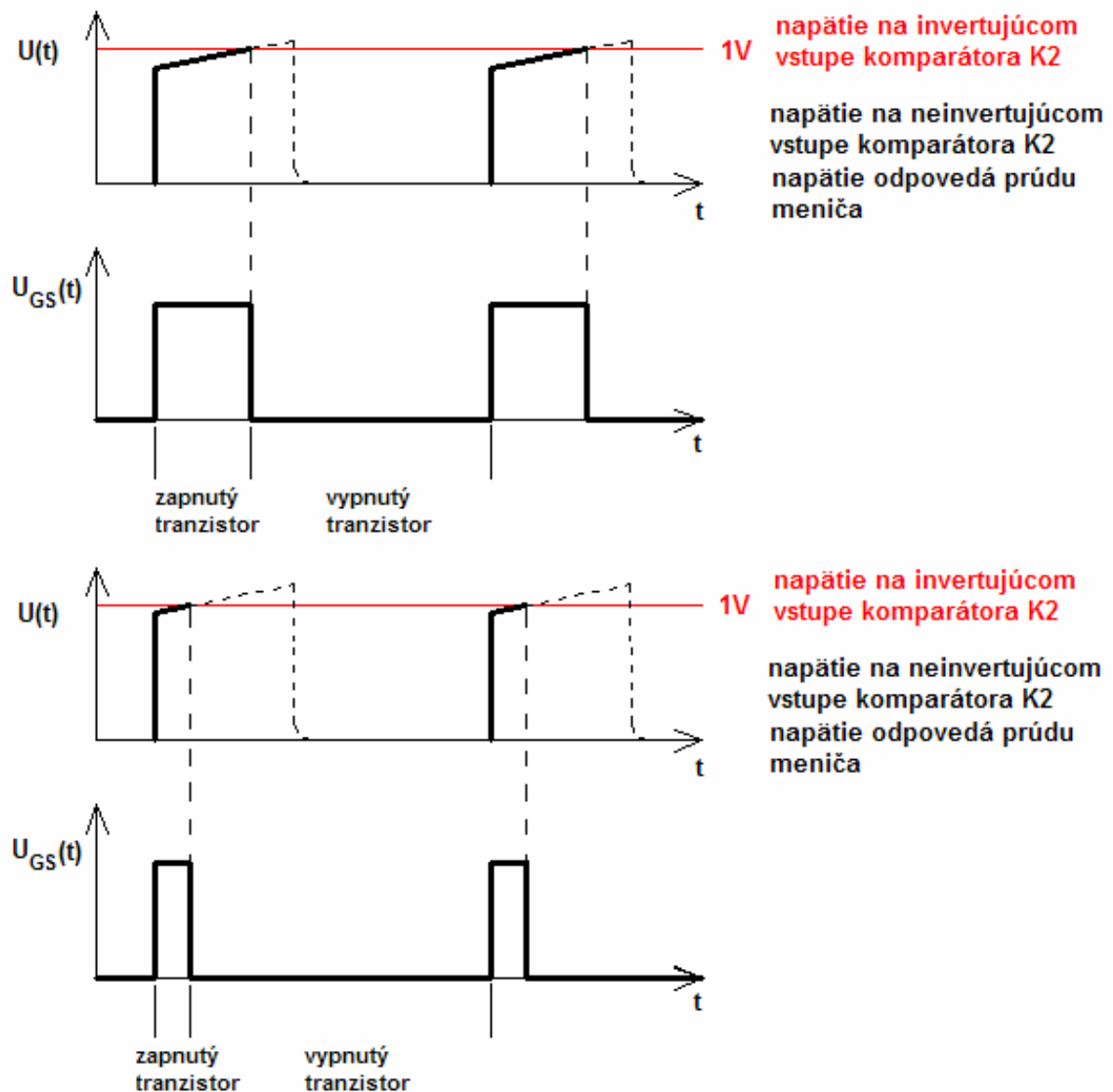
Transformátor je navinutý bez plastovej kostry priamo na toroidne jadro o priemere $d=21,2$ mm. Vinutie je navinuté drátom o priemere $d_{\text{vodič}}=0,22$ mm.

Sekundárne vinutie sme navíjali od stredu, čím sme si zjednodušili navíjanie, pretože sme nemuseli prevliekať celý 2 metrový kus vodiča, ale len polovičný.

Primárne vinutie je vytvorené z jedného závitú lankového vodiča s izoláciou. Jednotlivé vývody transformátora sú prispájkované do plošného spoja.

11.4 Regulácia nabíjaceho prúdu

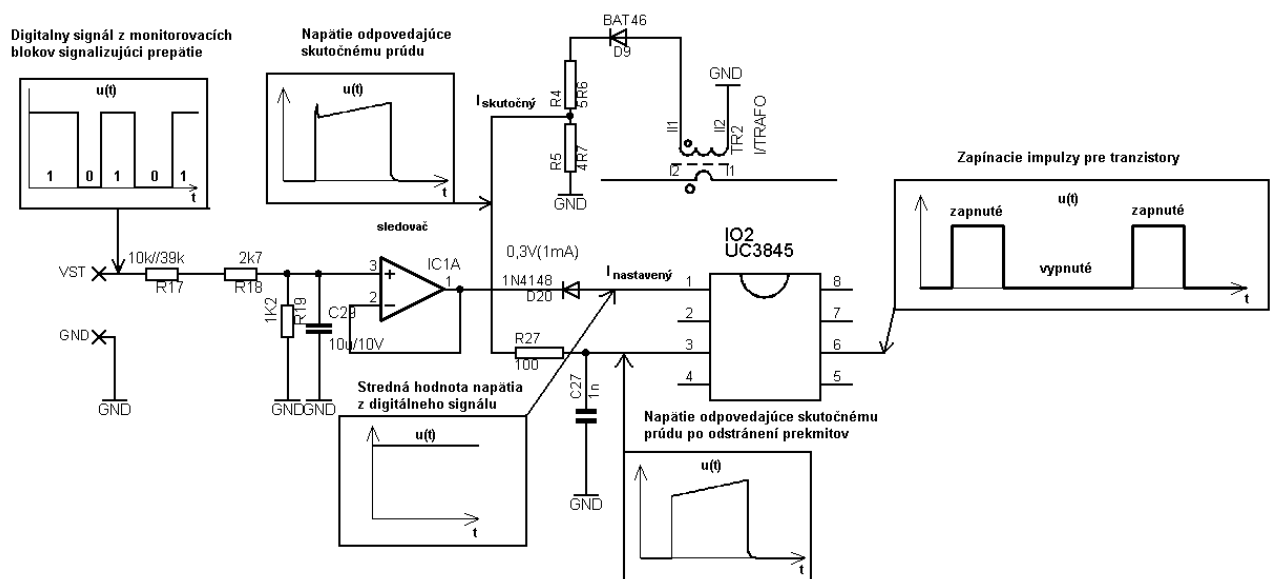
Prúd je riadený šírkovou impulznou moduláciou. O riadenie striedy sa stará komparátor K2, ktorý má na invertujúcom vstupe privedené napätie $1V$ a porovnáva ho s napätím odpovedajúcemu prúdu tečúcemu meničom. Spínací tranzistor je zapnutý pokiaľ je napätie na invertujúcom vstupe komparátora K2 menšie ako napätie privedené na neinvertujúci vstup. V okamihu, keď napätie na neinvertujúcom vstupe dosiahne napätie $1V$ dôjde k preklopeniu komparátora a k vypnutiu spínacích tranzistorov. Táto regulácia je znázornená na obrázku 10.5.



Obr. 11.5 Regulácia prúdu pri konštantnom napätí na invertujúcom vstupe

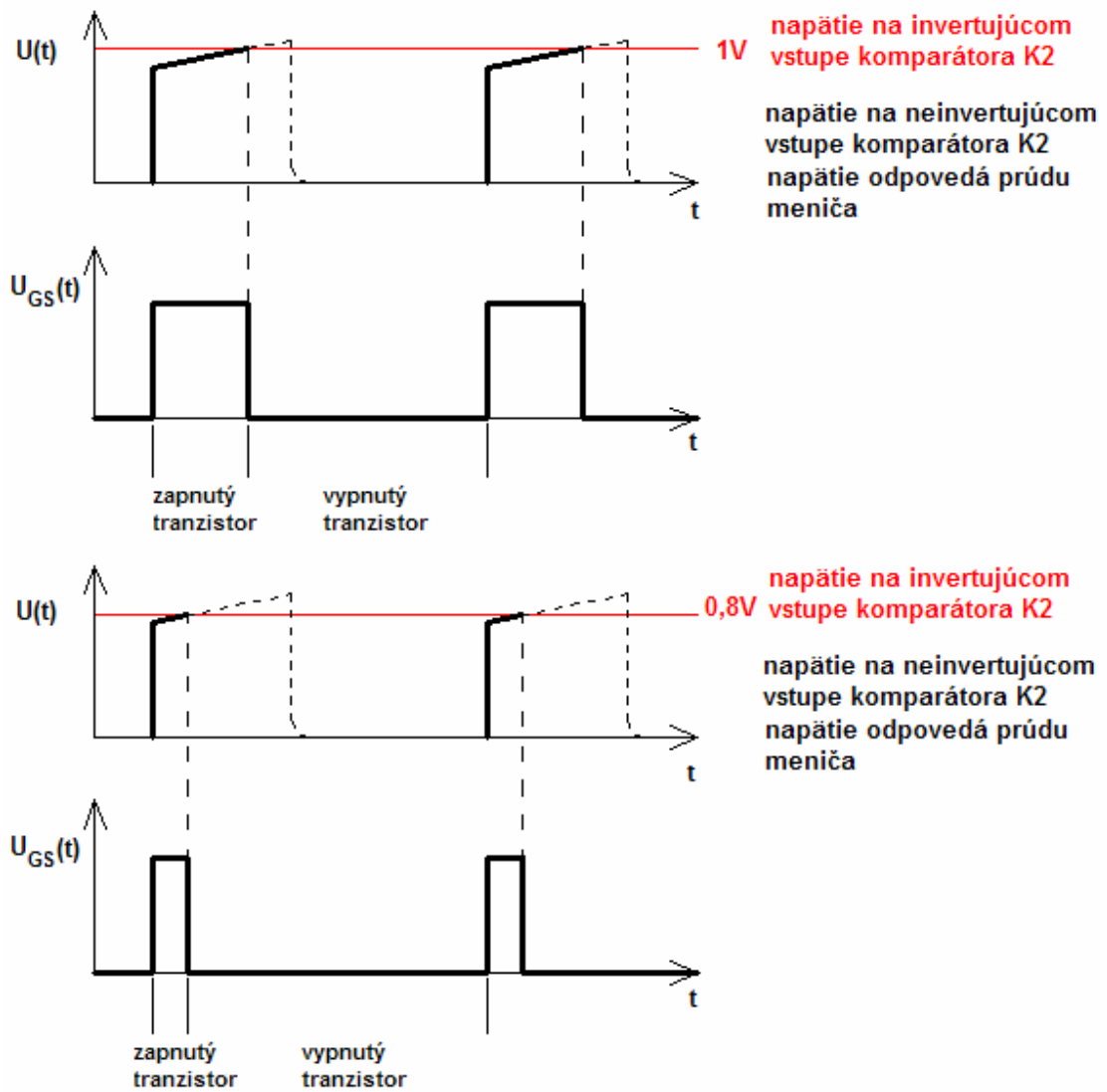
Pri väčšom prúde sa impulzy zužujú a teda aj strieda klesá, pretože napätie na neinvertujúcom vstupe dosiahne skôr hodnotu $1V$. Pri menšom prúde sú zas impulzy širšie a teda aj strieda sa zväčšuje.

Pretože nabíjačka nabíja sadu článkov, v ktorej sa môžu niektoré z článkov nabíjať rýchlejšie a niektoré pomalšie je nutné tieto články monitorovať a v prípade, že na niektorom z článkov dôjde ku prekročeniu maximálneho dovoleného nabíjacieho napätia znížiť nabíjací prúd, aby nedošlo k prebitiu článku a zároveň sa mohli nabíjať ostatné ešte plne nenabité články. Táto regulácia nabíjacieho prúdu je zabezpečená zmenou napätia na invertujúcom vstupe komparátora K2 pomocou emitorového sledovača. Na vstup emitorového sledovača je cez napäťový delič privádzaný digitalny signál z monitorovacích obvodov signalizujúci prepätie. Z digitálneho signálu je pomocou RC členu získaná stredná hodnota napätia. Táto hodnota napätia odpovedá potrebnému nabíjaciemu prúdu.



Obr. 11.6 Zapojenie regulácie

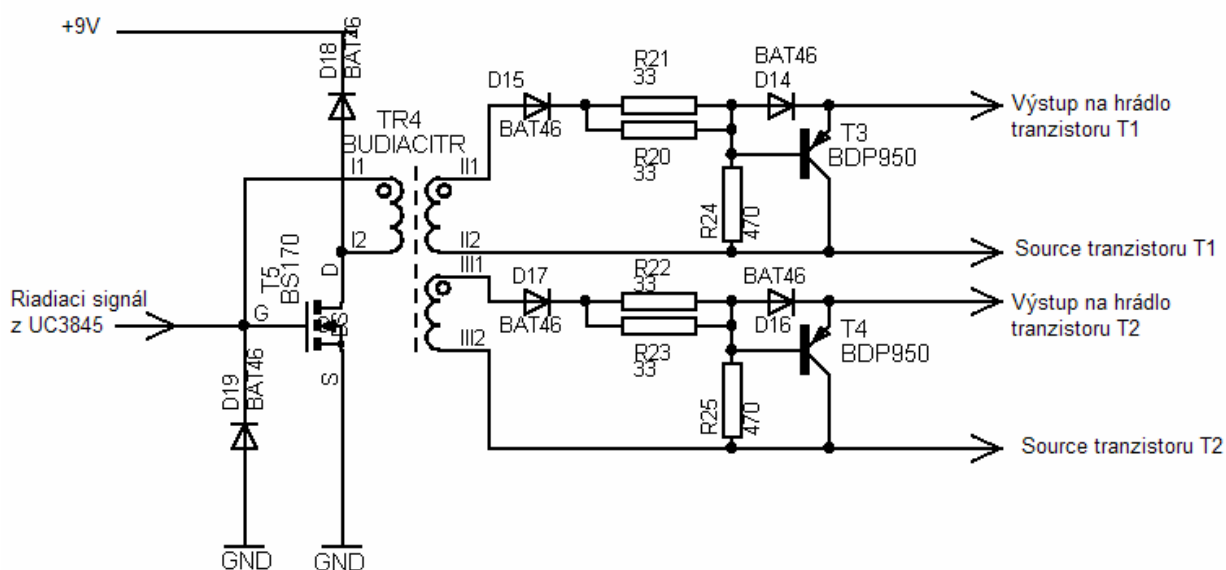
V prípade, že žiadny z monitorovacích obvodov nehlási prepätie je na svorke VST privedené trvale napätie 15V a na invertujúcom vstupe komparátora K2 je nezmenené napätie 1V. Ak niektorý z modulov začne hlásiť prebíjanie začne sa na svorke VST objavovať aj nulové napätie. A na invertujúcom vstupe komparátora K2 sa zníži napätie na hodnotu rovnú strednej hodnote digitálneho signálu privedeného na svorku VST.



Obr. 11.7 Regulácia prúdu pri meniacom sa napätí na invertujúcom vstupe

12 BUDENIE SPÍNACÍCH TRANZISTOROV

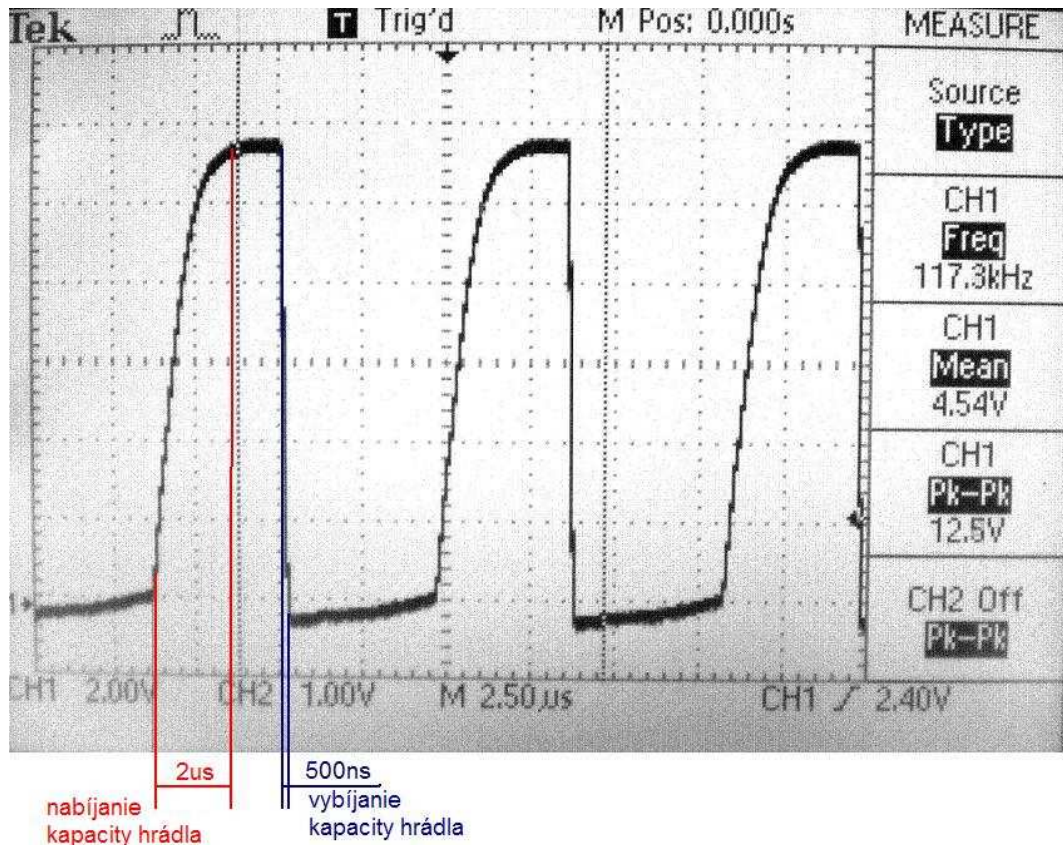
Úlohou budiacich obvodov je zabezpečiť vhodný tvar a energiu budiacich impulzov a galvanické oddelenie riadenia od výkonovej časti. Vhodným návrhom budiacich obvodov zabezpečujeme, čo najrýchlejšie spínanie a vypínanie tranzistorov, čím zároveň znižujeme spínacie straty. V našom zapojení sú použité unipolárne tranzistory, ktoré majú pomerne veľkú kapacitu, ktorá komplikuje rýchle spínanie a vypínanie tranzistorov. Ďalším problémom je, že tranzistor T2 nemá vývod source na potenciály zeme, preto musíme riadiaci impulz potenciálovo prispôbiť. Na prispôsobenie sme použili budiaci transformátor, ktorý zároveň galvanicky oddeľuje riadiacu časť od silovej.



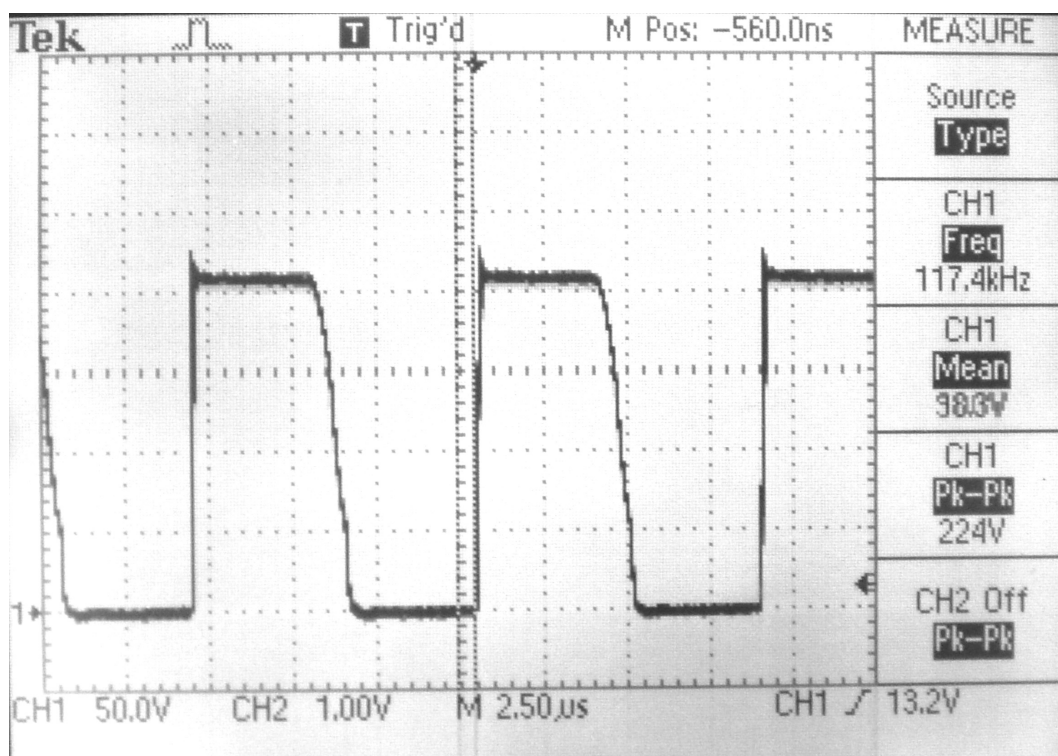
Obr. 12.1 Zapojenie budiaceho obvodu

Popis činnosti obvodu

Vzhľadom na to, že zapojenie obvodu a teda aj činnosť je pre tranzistor T1 rovnaké ako pre tranzistor T2, budem popisovať činnosť obvodu iba pre tranzistor T1. Obvod UC3845 vysiela kladný signál, ktorý zapne tranzistor T5. Zapnutím tranzistora T5 začne pretekať primárnym vinutím prúd, zároveň sa objaví napätie na sekundárnych vinutiach budiaceho transformátora. Cez diódu D15, odpory R20, R21 a diódu D14 preteká prúd do hradla tranzistora T1. Na dióde D14 vzniká vplyvom prechodu prúdu napätie. Toto napätie predstavuje pre prechod emitor - báza tranzistora T3 záverný smer a teda tranzistor je zavretý, správa sa ako by tam nebol. Tento tranzistor sa uplatní až pri vypínaní tranzistora T1. Pri vypínaní tranzistora je nutné odviezť naboju z hradla gate čo najrýchlejšie. To zabezpečí tranzistor T1. Diódou D14 prestal tiecť prúd a teda na prechode emitor kolektor už nieje záverné napätie. Z hradla tranzistora T1 tečie prúd cez emitor a bazu a odpor R24 do zeme. Tento prúd otvorí tranzistor a prúd z hradla tranzistora T1 začne tiecť aj cez kolektor priamo do zeme, a tým zabezpečí rýchle odvedenie náboja do zeme. Diódy D18 a D19 sú demagnetizačné diódy.



Obr. 12.2 Pribeh budicich impulzov

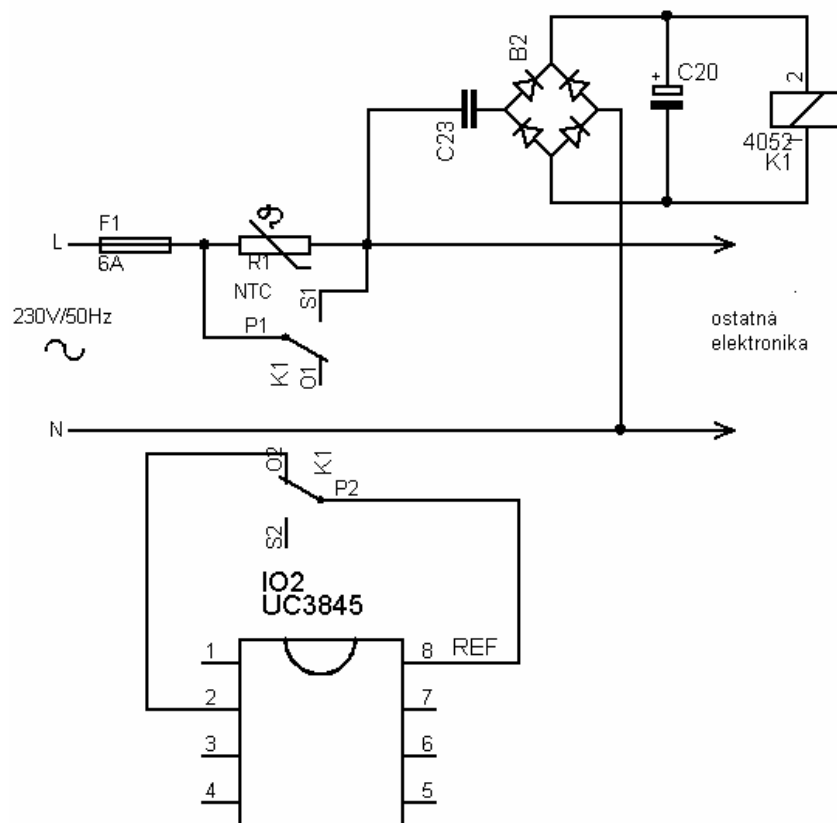


Obr. 12.3 Pribeh napätia na prechode S-D spínacieho tranzistora

13 ONESKOROVACÍ OBVOD

Po pripojení ku sieti nechceme, aby nabíjačka pracovala hneď, ale až po ubehnutí určitého času, počas ktorého sa nabijú kondenzátory. Oneskorovací obvod je riešený podobne ako napájací obvod pre ventilátory. V obvode je navyše relé, ktoré cez svoje kontakty premoštuje termistor a druhým pripája a odpája vývod 8 (referenčné napätie +5V) na vývod 2 integrovaného obvodu UC3845. Čím blokuje a spúšťa činnosť obvodu.

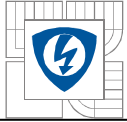
Obvod pracuje tak, že po pripojení napájania ku sieti nieje na relé dostatočné napätie, aby preplo kontakty. Cez kondenzátor C23 a usmerňovací mostík sa postupne nabíja kondenzátor C20, až kým nedosiahne potrebnej hodnoty napätia a relé preklopí. Čím premoštuje termistor, ktorý obmedzoval nabíjací prúd kondenzátorov a druhý kontakt odpojí referenčné napätie +5V z vývodu 2 riadiaceho obvodu.



Obr. 13.1 Zapojenie oneskorovacieho obvodu

Parametre cievky relé		Menovité zaťaženie kontaktov relé	
Menovité napätie	Odpor cievky	I_r [A]	U[V]
U_m [V]	R_r [Ω]	8	250

Tab. 13.1 Parametre relé



$$t_{ones} = R_r \cdot C \Rightarrow C_{20} = \frac{t}{R_r} = \frac{1s}{740\Omega} = 1,35mF \quad (13.1)$$

Volíme 1mF na napätie 35V.

Prúd relé I_r

$$I_r = \frac{U_m}{R_r} = \frac{24V}{740\Omega} = 32,4mA \quad (13.2)$$

Opäť použijeme usmerňovací mostík S250 v SMD prevedení, ktorý vydrží napätie 420V a prúd 0,8A, čo pre napájanie relé bohato stačí.

Na striedavej strane usmerňovacieho mostíka chceme mať napätie približne 24V. Prúd dodávaný zo siete musí byť aspoň 32,4 mA. Preto kondenzátor C23 musí predstavovať impedanciu Z_c .

$$Z_c = \frac{230 - 24V}{32,4 \cdot 10^{-3} A} = 6358\Omega \quad (13.3)$$

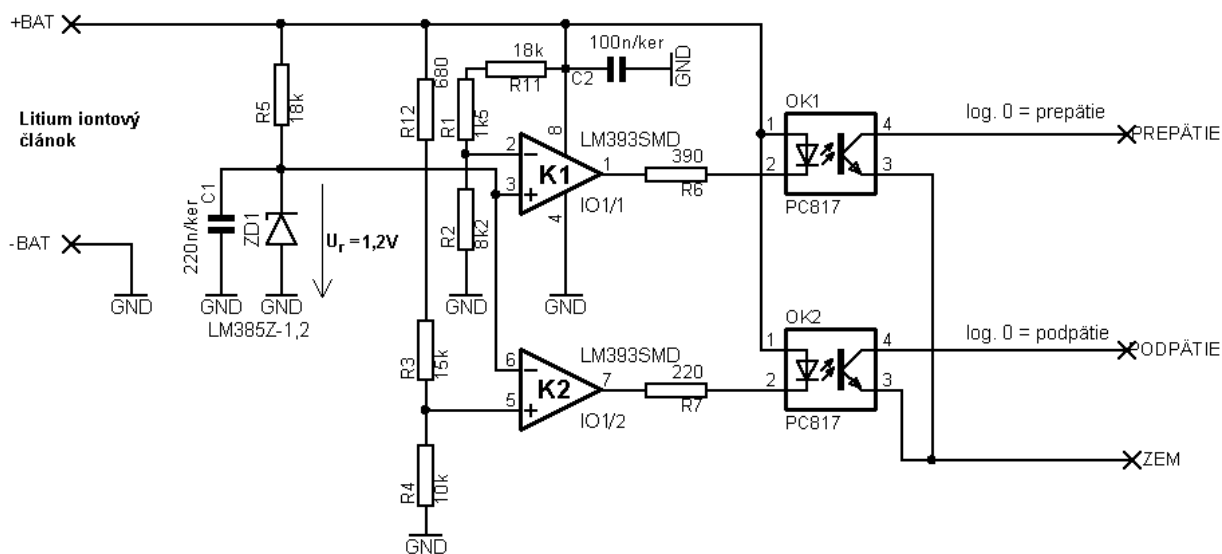
Pre kapacitu platí

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot Z_c} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50Hz \cdot 6358\Omega} = 500nF \quad (13.4)$$

My sme zvolili kondenzátor 470nF na napätie 275V.

14 MONITOROVANIE ČLÁNKOV

Pri nabíjaní Li-ion článkov je nutné veľmi presne dodržať konečné nabíjacie napätie, pre náš článok je nabíjacie napätie 3, 6 V. V literatúre sa uvádza, že už malé prekročenie nabíjacieho napätia podstatne zníži dobu života článku. O to, aby nebolo prekročené nabíjacie napätie a zároveň nebolo napätie na článkoch príliš malé sa starajú monitorovacie obvody, ktoré sledujú každý z článkov. Tieto obvody podľa toho, či je na článku podpätie alebo prepätie vysielajú príslušné signály riadeniu, ktoré na tento stav vhodne zareaguje.



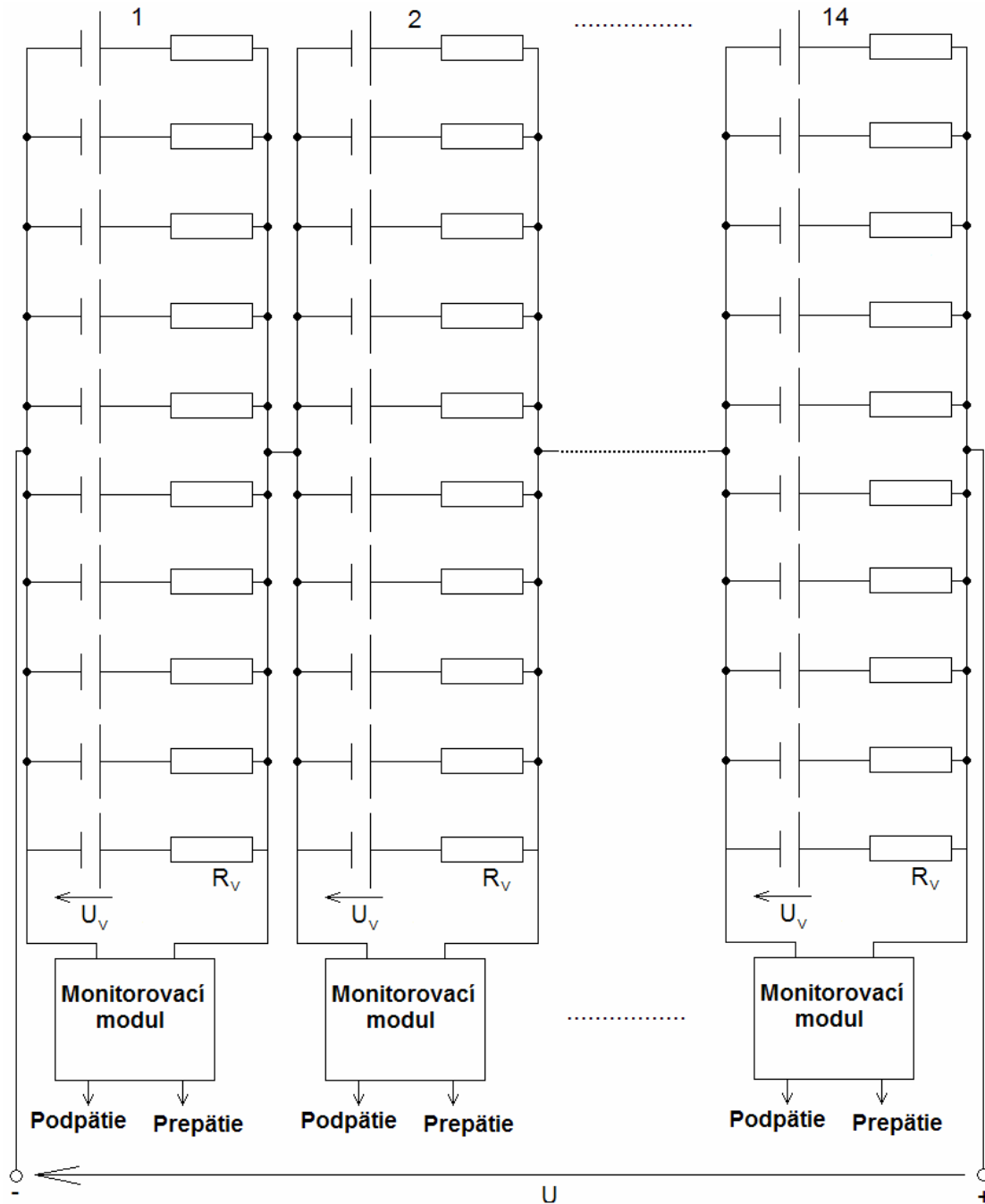
Obr. 14.1 Zapojenie monitorovacieho modulu

Popis činnosti

Obvod sa skladá zo zdroja referenčného napätia 1,235 V tvoreného napäťovou referenciou LM385Z. Toto napätie slúži ako referenčné porovnávacie napätie komparátorov pri vyhodnocovaní, či je na článku prepätie alebo podpätie. Na prepätie reaguje komparátor K1, ktorý ma na neinvertujúci vstup privedené napätie referencie 1,235V a na invertujúci vstup je cez napäťový delič tvorený odpormi R11, R1a R2 privedené skutočné napätie článku. Ak je napätie na invertujúcom vstupe menšie ako na neinvertujúcom, je na výstupe komparátora približne napájacie napätie a teda dióda v optočlene nesvieti a nespôsobí zopnutie tranzistora v optočlene. V prípade, že napätie na článku stúpne nad maximálne dovolené napätie na invertujúcom vstupe je napätie väčšie ako je referenčné a dôjde k preklopeniu komparátora. Na výstupe komparátora je v tomto prípade zem, dióda v optočlene zasvieti a spôsobí zopnutie tranzistora. Na podpätie reaguje komparátor K2. Pracuje skoro rovnako ako komparátor K1 iba s tým rozdielom, že referenčné napätie je privedené na invertujúci vstup a skutočné napätie článku je cez delič privedené na neinvertujúci vstup. Ak je napätia na článku väčšie ako minimálne dovolené, je na neinvertujúcom vstupe napätie väčšie ako referenčné. Na výstupe komparátora sa objaví približne napájacie napätie a teda dióda v optočlene nesvieti a nespôsobí zopnutie tranzistora. Ak napätie na článku klesne pod minimálne dovolené napätie, je na neinvertujúcom vstupe napätie menšie ako referenčné, dôjde k preklopeniu komparátora. Výstup komparátora je v tomto prípade uzemnený a dióda v optočlene zasvieti a spôsobí zopnutie tranzistora.

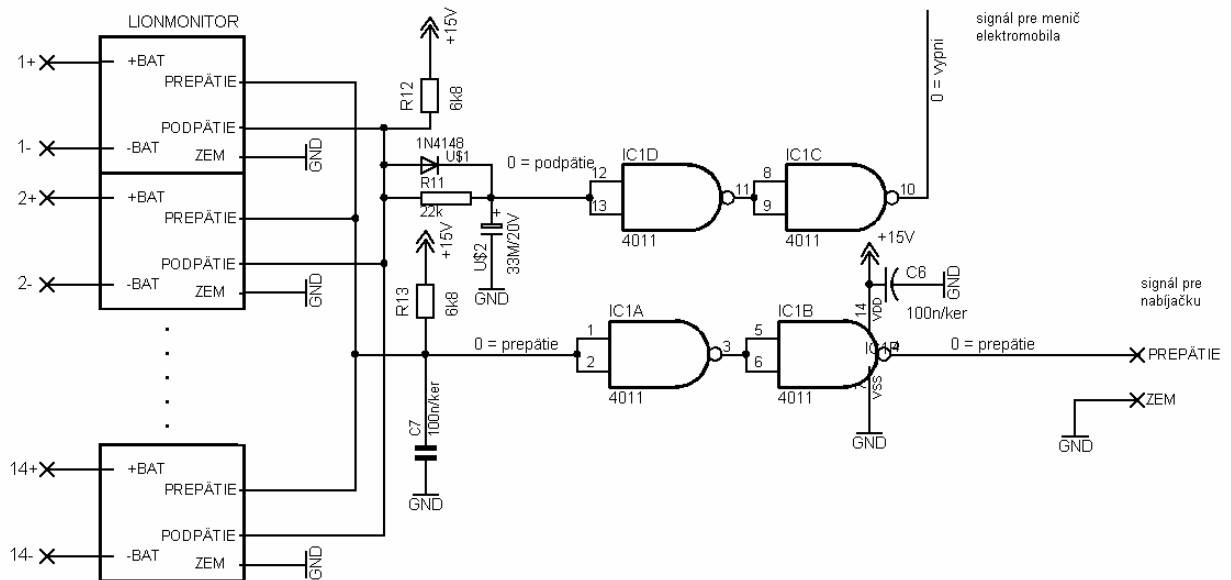
Monitorovacie obvody sú napájané priamo z článkov. Preto sú ako komparátory použité LM393, čo sú komparátory s malým príkonom. Jednotlivé články sú zapojené do série. Toto zapojenie spôsobí, že mínus póly článkov okrem prvého nesú na nulovom potenciály. Mínus pol druhého článku je voči zemi na napätí 3,6V, tretieho článku na 7,2V, a tak to pokračuje po 3,6V až po mínus pol posledného článku, kde je napätie voči zemi 46,8V.

Tento problém nám rieši použitie optočlenov. Pretože článkov je v sérii 14 musíme mať 14 monitorovacích modulov.



Obr. 14.2 Zapojenie modulov ku článkom

Výstup z týchto modulov sa spracúva v spoločnom bloku.



Obr. 14.3 Zapojenie spoločného modulu a pripojenie monitorovacích modulov

V tomto bloku sú spojené spolu všetky výstupy prepätia a zároveň sú pomocou dvoch dvojjstupových NAND hradieľ prispôbené na CMOS logiku (15V). Odpor R13 slúži ako zdvíhací rezistor. To isté je spravené s výstupmi podpätia. Výstup podpätia slúži len pre menič elektromobilu, pre nabíjačku nemá význam. Nabíjačka spracúva len signál prepätia. V prípade prepätia je na výstupe logická 0, v opačnom prípade logická 1, čo je približne 15V. Takto upravený výstupný signál je privádzaný cez napäťový delič do sledovača, ktorého výstup je zapojený na vstup 1 obvodu UC3845.

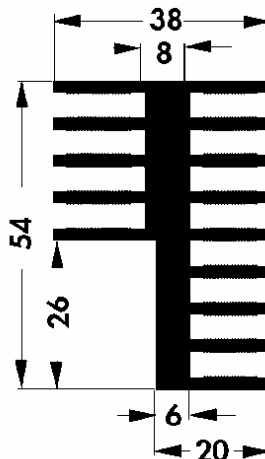
15 KOMŠTRUKCIA

15.1 Plošný spoj

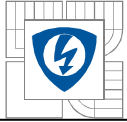
Na návrh plošného spoja sme použili program eagle. Niektoré súčiastky ako impulzný transformátor s výstupnou tlmivkou a trojvývodové elektrolytické kondenzátory neboli v knižniciach programu a museli sme ich vytvoriť. Pri návrhu sme sa snažili súčiastky rozložiť tak, aby najviac zahrievané súčiastky boli dobre chladené, a aby sa jednotlivé časti nerušili. Plošný spoj je dvojvrstvový s prekovovanými otvormi. Návrh bol riešený tak, že sme na spodnú stranu umiestňovali SMD súčiastky a to rezistory, kondenzátory v prevedení 1206. Na vrchnú stranu plošného spoja sú umiestnené súčiastky v klasickom prevedení. Šírka ciest bola volená podľa pretekajúceho prúdu jednotlivými časťami 3A na 1mm šírky cesty. Plošný spoj má rozmery 212x157 mm. Obsahuje štyri otvory, každý v jednom rohu na upevnenie v konštrukcii a tri otvory na upevnenie chladiča.

15.2 Chladenie

Chladenie potrebujú tranzistory T1, T2, diódy D4 a D5 , vstupný usmerňovací mostík a impulzný transformátor. Chladenie je zabezpečené pomocou profilového hliníkového chladiča vid' obr.11.2.1 dĺžky 130 mm a dvoch ventilátorov. Jeden z ventilátorov je určený na ofukovanie impulzného transformátora, druhý na ofukovanie chladiča. Na chladiči sú upevnené tranzistory, diódy a na vrchu chladiča je umiestnený usmerňovací mostík. Tranzistory a diódy niesú v bezpotenciálovom prevedení a musíme medzi chladič a súčiastky použiť izolačné podložky. Pri montáži súčiastok na chladič, sme strany dotýkajúce sa plôch chladiča natierali tenkou vrstvou silikonovej pasty, ktorá zlepšuje odvod tepla. V chladiči je vyvrtaných 5 dier so závitom M3 a tri diery so závitom M4. Jednotlivé súčiastky sú priskrutkované ku chladiču pomocou skrutiek M3. Chladič je upevnený k plošnému spoju pomocou troch skrutiek M4.



Obr. 15.1 Profil chladiča



16 ZÁVER

Vďaka tejto práci som aspoň čiastočne prenikol do problematiky pulzných meničov s a bez transformátora, ktoré sú dnes využívané vo všetkých spotrebičoch okolo nás. Najväčším problémom bolo to, že týmito meničmi sme sa v zatiaľ absolvovaných predmetoch nezaoberali, nanajvýš sme si spomenuli, že existujú. Ale vďaka ochote Ing. Filipa Štěpančíka, Ph.D., Doc. Ing. Pavola Vorla, Ph.D a výborne napísaným skriptám sa mi podarilo chýbajúce znalosti o problematike meničov získať.

Pre zariadenie sme navrhli plošný spoj v programe eagle. Plošný spoj sme dali vyrobiť a následne sme ho osadili, pričom sme museli vyrobiť impulzný transformátor, prúdový transformátor, paralelnu a vyhladzovaciu tlmivku. Pri oživovaní sme sa stretli s viacerými problémami. Jedným z nich bol zle osadený kondenzátor a prúdový transformátor. Tieto chyby sme ale opravili. Najväčší problém nám spôsobili prepätia na dióde D5, ktoré presahovali maximálne dovolené napätie na dióde. Tieto prepätia sme odstraňovali pomocou RC členov zapojených paralelne ku diódam. Tu taktiež nastal problém s použitými kondenzátormi, ktoré nemali vhodné vlastnosti a preto sme ich museli vymeniť.

Zariadenie sme oživil, pričom sme skontrolovali, či majú budiace impulzy tranzistorov vhodný tvar a hodnotu napätia. Vyskúšali sme funkčnosť prepäťovej a nadprúdovej ochrany.

Vyskúšať spoluprácu so zostavou článkov sa nepodarilo, pretože zostava článkov ešte nebola zrealizovaná. Taktiež monitorovacie obvody neboli zrealizované.

Práca prehĺbila môj záujem o problematiku meničov. Rád by som sa jej v nadväzujúcom štúdiu ďalej venoval.



LITERATURA

- [1] NOVOTNÝ, V., VOREL, P., PATOČKA, M. *Napájení elektronických zařízení*. Brno : FEI VUT v BRNĚ, 2003. ISBN 80-214-2300-5.
- [2] NOVOTNÝ, Zdeněk. *Vybrané statě z výkonové elektroniky. Svazek II, Měníče bez impulsního transformátoru*, Brno 2004. Vyd. 3. 61 s. ISBN 80-214-2743-4.
- [3] SVAČINA, Jiří. *Základy elektromagnetické kompatibility : přednášky*. Brno : Vysoké učení technické, 2005. 2. vyd. 155 s. ISBN 80-214-2864-3.
- [4] BELZA, Jaroslav. *Akumulátory Li-ion a jejich nabíjení*. Praktická elektronika, 2001, roč. VI, č. 4, s. 12-14. CD-ROM Amaterske rádio 2001.
- [5] Katalógový list obvodu UC3845 od firmy ON Semiconductor. Dostupné na WWW: <www.datasheetcatalog.com> [cit 2. februara 2008].
- [6] Katalógový list článku ANR26650m1 od firmy A123 SYSTEMS Inc. Dostupné na WWW: <<http://www.a123systems.com/#/products/p1>> [cit 2. februara 2008].
- [7] ZAJÍC, Miloš. *Jednoduchý nabíječ LiIon, LiPol a Pb článků* . Dostupné na WWW: <<http://www.zajic.cz/nablion/nablion.htm>> [cit 2. februara 2008].
- [8] ZAJÍC, Miloš. *Často kladené otázky o LiIon člancích*. Dostupné na WWW: <<http://www.zajic.cz/nablion/lionfaq.htm>> [cit 2. februara 2008].



ZOZNAM PRÍLOH

Príloha A Zoznam použitých súčiastok

Príloha B Schéma zapojenia celého zariadenia

Príloha C Plošný spoj a osadzovací plán plošného spoja zo strany Top

Príloha D Plošný spoj a osadzovací plán plošného spoja zo strany Bottom

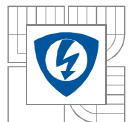
Príloha E CD-ROM

CD-ROM obsahuje

Prácu v elektronickej forme

Schému zapojenia a návrh plošného spoja v programe eagle

Katalogové listy ku UC3845, LM393, 15ETH06, BYT52, BS170, STTH6003CW,
ventilátorom, rele RM95, toroidným jadrám a článkom ANR26650m1 .

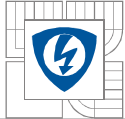


Príloha A Zoznam použitých súčiastok

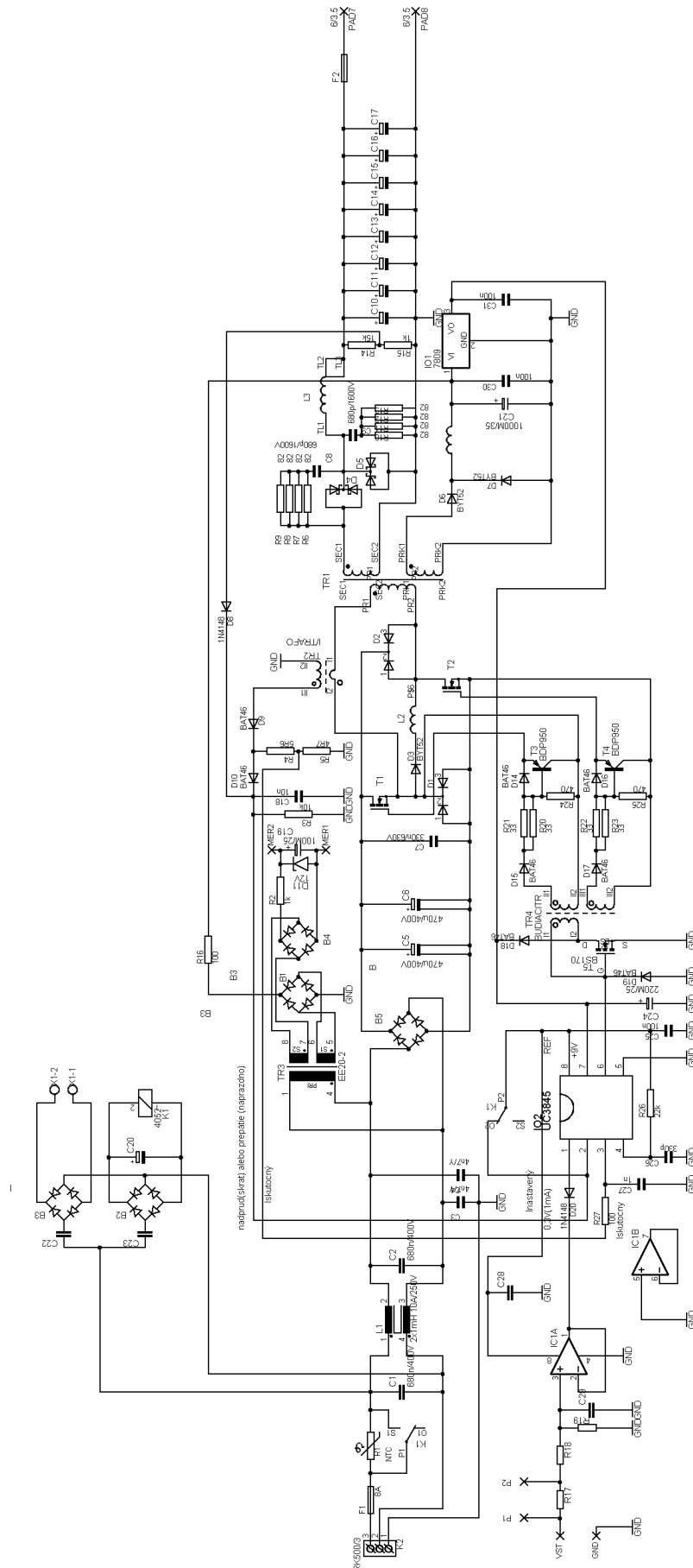
Názov	Parametre	Prevedenie
B1-B4	S250 SMD	MiniDIL
B5	KBU8M	
D1,D2	15ETH06	TO220
D3,D6,D7	BYT56M	SOD5T
D4,D5	STTH6003CW	SOT93V
D8,D20,D9,D10	1N4148	SOT80
D14-D19	BAT46	SOT80
D11	BZV55C12SMD	SOT80
T1,T2	SPW47N60C3	TO247
T3,T4	BDP950	SOT223
T5	BS170	TO92
IC1	LM393 SMD	SO08
IO1	7809	TO220
IO2	UC3845	DIL8
C1,C2	680n/400V	fóliový kondenzátor
C3,C4	4n7/Y	keramický kondenzátor
C5,C6	470u/400V	elektrolytický kondenzátor
C7	330n/630V	fóliový kondenzátor
C8,C9	680p/1600V	fóliový kondenzátor
C10-C17	220u/100V/85°C	elektrolytický kondenzátor
C18	10n	C1206
C19	100u/25V	elektrolytický kondenzátor
C20	1000u/35V	elektrolytický kondenzátor
C21	100u/63V	elektrolytický kondenzátor
C22	1,5u/400V	fóliový kondenzátor
C23	470n/275V	fóliový kondenzátor
C24	220u/25V	elektrolytický kondenzátor
C25,C28,C30,C31	100n	C1206
C26	330p	keramický kondenzátor
C27	1n	C1206
C29	10u/10V	C1206

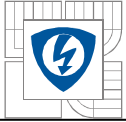


R1	NTC	10R, max. 7,5A, 5,1W
R2,R15	1k	R1206
R3	10k	R1206
R4	5R6	R1206
R5	4R7	R1206
R6-R13	82	R1206
R14	15k	R1206
R16,R27	100	R1206
R17	10k 39k	R1206
R18	2k7	R1206
R19	1k2	R1206
R20-23	33	R1206
R24,R25	470	R1206
R26	22k	R1206
L1	2x1mH 10A/250V	82725A
L2	jadro EA-77-250 navinúť 128 závitov vodičom o priemere 0,45mm	
L4	1,5mH	09P
TR1	Impulzný transformátor s vyhladzovacou tlmivkou $N_1=14, N_2=7, N_3=2, N_{II}=22$ závitov. 4 jadrá Lj T3115 CF139	
TR2	Prúdový transformátor $N_1=1, N_2=60$ závitov, jadro RIK 20	
TR3	EE20/10 0,5VA 230V/2x12V 2x21mA	
TR4	Budiaci transformátor	
K1	RM94-2CO-24V	4052
X1	ARK500/2	
X2	ARK500/3	
F1	8A trubičková poistka 5x20mm poistkový držiak PTF15 ochranný kryt na poistkový držiak BS140	
V1,V2	Ventilátor KDE2406PTV1 24VDC/1,9W, 4500ot	

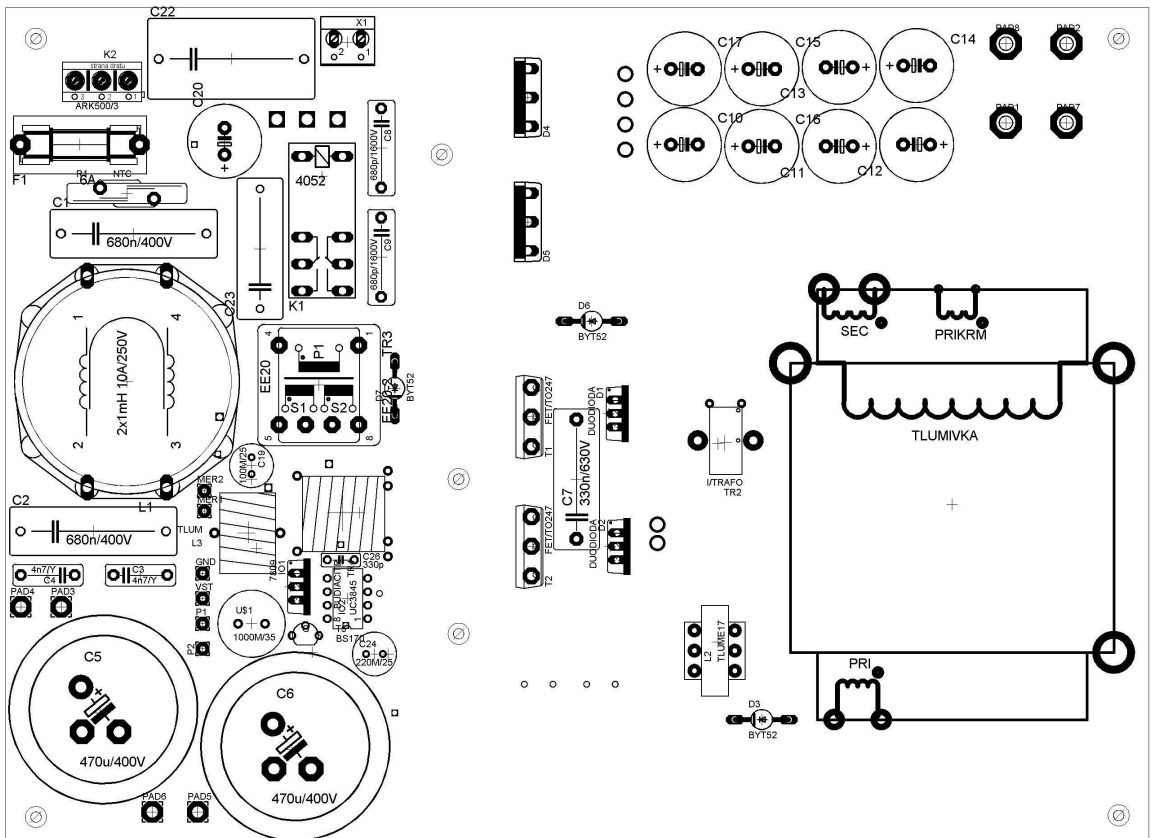
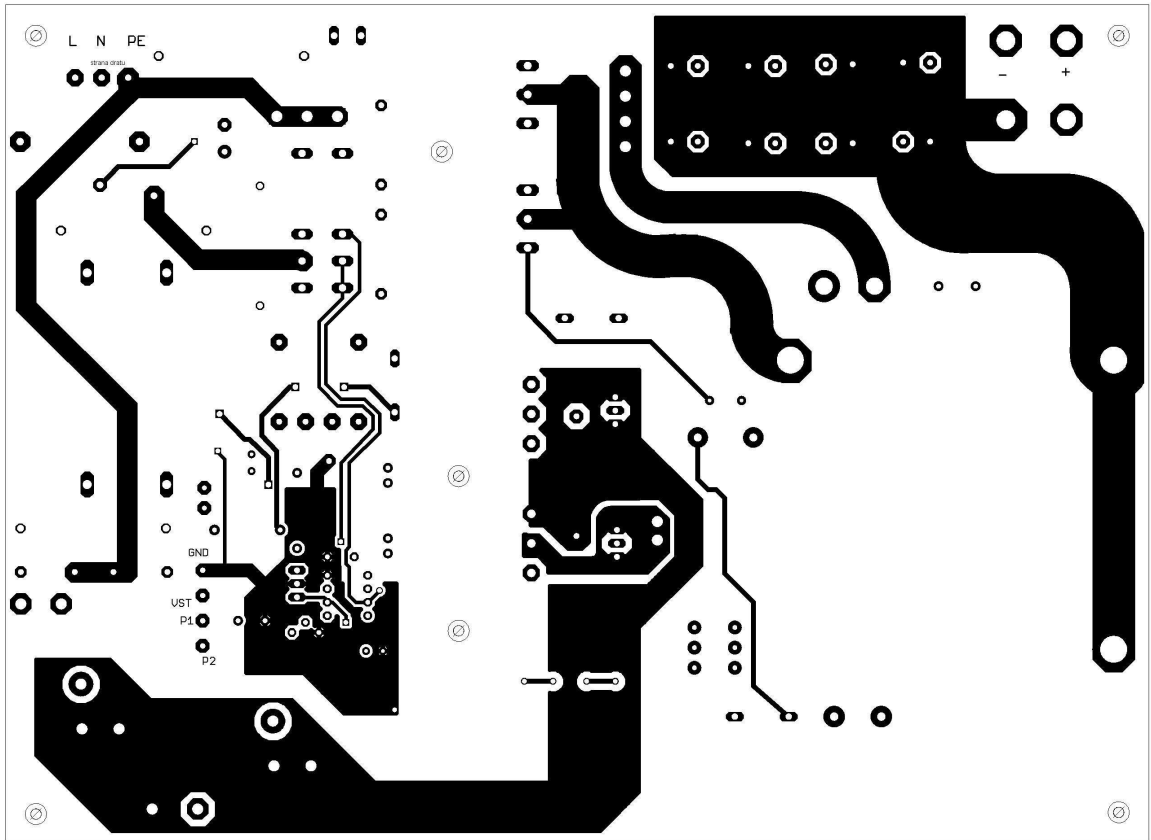


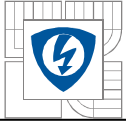
Príloha B Schéma zapojenia





Príloha C Doska plošného spoja a osadenie strana TOP





Priloha D Doska plošného spoja a osadenie Bottom

