

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2019

Michal Klčo



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

STŘÍDAČ PRO JEDNOFÁZOVOU OSTROVNÍ SÍŤ DC/AC 12/230 V

INVERTER FOR SINGLE-PHASE ISLAND NETWORK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Klčo

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Procházka, Ph.D.

BRNO 2019

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**
Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Student: Michal Klčo

ID: 186528

Ročník: 3

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Střídač pro jednofázovou ostrovní síť DC/AC 12/230 V

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Navrhněte konkrétní zapojení silových a řídicích obvodů střídače.
2. Navrhněte DPS silových obvodů a řídicích obvodů střídače, včetně jejich realizace.
3. Oživte realizované obvody.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Patočka M. Magnetické jevy a obvody ve výkonové elektronice, měřicí technice a silnoproudé elektrotechnice. Brno: VUTIUM, 2011. 564 s. ISBN: 978-80-214-4003-6.
- [2] Patočka M., Vybrané stati z výkonové elektroniky, Svazek II., Vydání 3., skriptum FEKT VUT Brno, 2004
- [3] Patočka M.: Vybrané statě z výkonové elektroniky, Svazek III. skriptum, FEKT, VUT Brno.

Termín zadání: 4.2.2019

Termín odevzdání: 22.5.2019

Vedoucí práce: Ing. Petr Procházka, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá výběrem a konstrukcí střídače napětí z 12 V stejnoměrného napětí na 230 V/50 Hz střídavého napětí pro napájení spotřebičů do maximálního výkonu 250 W. Jako řídicí obvod byl použit IO TL494CN. Součástí zařízení je též podpěťová ochrana střídače při poklesu napětí akumulátoru a ochrana zamezující přebíjení akumulátoru solárním panelem. Práce též rozvíjí návrh začlenění střídače do ostrovního napájecího systému.

KLÍČOVÁ SLOVA

střídač, měnič napětí, transformátor, tranzistor, solární panel

ABSTRACT

The thesis deals with a design and construction of voltage converter from 12 V DC to 230 V AC with frequency 50 Hz. Maximum output power of this device is 250 W. As a control circuit has been used IC TL494CN. The device includes undervoltage protection, which is applied if the voltage of the supply battery drops and protection against battery overcharging by solar panel. It also develops a proposal for integration the inverter into the island power system.

KEYWORDS

inverter, voltage converter, transformer, transistor, solar panel

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Citace tištěné práce:

KLČO, Michal. *Střídač pro jednofázovou ostrovní síť DC/AC 12/230 V*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117575>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky. Vedoucí práce Petr Procházka.

Citace elektronického zdroje:

KLČO, Michal. *Střídač pro jednofázovou ostrovní síť DC/AC 12/230 V* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117575>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky. Vedoucí práce Petr Procházka.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma: „Střídač pro jednofázovou ostrovní síť DC/AC 12/230 V“ 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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **16. května 2019**

.....
podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Petru Procházkovi, Ph.D. za metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při jejím zpracování.

V Brně dne: **16. května 2019**

.....

podpis autora

OBSAH

1	Úvod	10
1.1	Principy měničů a základní dělení	11
1.1.1	Lineární měniče	11
1.1.2	Impulsně spínané měniče	11
2	Teoretická část	13
2.1	Popis střídače	13
2.2	Popis funkce střídače	14
2.3	Popis řídicího prvku	16
2.4	Tranzistory a jejich druhy	18
2.4.1	Volba výkonových tranzistorů	19
2.4.2	Dimenzování výkonového tranzistoru:	20
2.5	Chlazení	22
2.5.1	Výpočet požadovaného teplotního odporu chladiče	22
2.5.2	Výpočet teplotního odporu chladiče:	23
2.6	Výběr vhodného zdroje – akumulátoru	25
2.6.1	Typy akumulátorů	25
2.6.2	Přehled druhů a vlastností akumulátoru	26
2.6.3	Rozdělení olověných akumulátorů:	27
2.6.3.1	Startovací akumulátor	27
2.6.3.2	Trakční akumulátory	27
2.7	Volba transformátoru	29
2.7.1	Návrh základních parametrů transformátoru	29
2.8	Indikátor napětí akumulátoru	32
2.9	Zařazení střídače do ostrovního solárního systému	34
2.9.1	Blokové schéma ostrovního solárního systému	35
2.9.2	Stanovení celkové průměrné spotřeby	35
2.9.3	Návrh dimenzování akumulátoru	36
2.9.4	Návrh dimenzování solárního panelu	36
2.10	Ochrana proti podpětí a přebíjení akumulátoru	38
3	Praktická část	42
3.1	Konstrukce	42

3.2	Oživovací postup střídače	43
3.2.1	Oživovací postup ochrany proti podpětí a přebíjení akumulátoru.....	44
3.3	Měření	45
3.3.1	Měření vstupního (odebíraného) proudu	45
3.3.2	Měření výstupního napětí	46
3.3.3	Výpočet účinnosti	46
3.3.4	Průběhy napětí na střídači a foto realizace zařízení.....	47
3.4	Mechanická část	49
4	ZÁVĚR.....	50
5	Literatura	52
6	Seznam symbolů, veličin a zkratk	54
7	Seznam příloh.....	55
8	Příloha A.....	56
9	Příloha B.....	59
10	Příloha C.....	60
11	Příloha D.....	61

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2-1 Jednočinný propustný DC/DC měnič s transformátorem [3].....	14
Obr. 2-2 Vnitřní schéma IO TL494 [4].....	17
Obr. 2-3 Vývody jednotlivých pinů v reálném pořadí [5]	17
Obr. 2-4 Řez tranzistorem MOSFET [8]	20
Obr. 2-5 Tranzistor IRFP064N [9]	21
Obr. 2-6 Výstupní charakteristiky tran. IRFP064 [9]	21
Obr. 2-7 Schéma použitého zapojení pro vybuzení unipolárního tranzistoru IRFP064 na požadovanou hodnotu PZTR	24
Obr. 2-8 Závislost magnetické indukce na permeabilitě [3].....	30
Obr. 2-9 Schéma indikátoru napětí baterie [15]	33
Obr. 2-10 Simulace – indikátor napětí AKU	34
Obr. 2-11 Indikátor napětí AKU	34
Obr. 2-12 Blokové schéma solárního systému	35
Obr. 2-13 Mapa intenzity slunečního svitu v ČR [17].....	37
Obr. 2-14 Vnitřní schéma zapojení IO LM 3914 [19].....	39
Obr. 2-15 Schéma zapojení ochrany proti podpětí a přebíjení	40
Obr. 2-16 Blokové schéma ostrovního napájecího systému.....	41
Obr. 3-1 Pohled shora na toroidní transformátor a střídač umístěný v plastové krabici. Vodiče byly následně vyvedena bokem, aby nebránily proudění vzduchu chladičem. .	43
Obr. 3-2 Obvod ochrany proti podpětí a přebíjení akumulátoru v průběhu ožívání ..	44
Obr. 3-3 Graf – závislost odebíraného proudu na proměnné zátěži	45
Obr. 3-4 Graf – závislost výstupního napětí na proměnné zátěži.....	46
Obr. 3-5 Graf – účinnost střídače v závislosti na hodnotě připojené zátěže.....	47
Obr. 3-6 Střídač v průběhu měření	47
Obr. 3-7 Printscreen displeje osciloskopu: Tvar výstupního napětí při zátěži 100 W....	48
Obr. 3-8 Printscreen displeje osciloskopu: Průběhy napětí budících tranzistorů	48
Obr. 3-9 Stabilizovaný zdroj 12 V DC napájející střídač (zleva), obvod ochrany proti podpětí a přebíjení, střídač v provozu napájející stolní lampu 230 V.	48

Obr. 3-10 Zadní čelo střídače spolu s DPS ochran, lze si všimnout umístěných zdířek pro připojení akumulátoru (horizontálně) a zdířek pro připojení solárního panelu (vertikálně).....	48
Obr. 3-11 Finální podoba střídače, zelená doutnavka vlevo nahoře signalizuje živý výstup zásuvky 230 V AC	49

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2-1 Průměrná spotřeba spotřebičů	35
Tabulka 3-1 Hodnoty odebíraného proudu	45
Tabulka 3-2 Hodnoty výstupního napětí	46
Tabulka 3-3 Výpočet účinnosti.....	47

1 ÚVOD

Cílem této práce je navrhnout a sestavit měnič napětí konvertující stejnosměrné napětí 12 V na střídavé napětí 230 V o frekvenci 50 Hz - zařízení je též vybaveno podpět'ovou ochranou při poklesu napětí napájecího akumulátoru a ochranou zamezující přebíjení akumulátoru solárním panelem. Dále také práce rozvíjí myšlenku zařazení střídače do „ostrovního napájecího systému“, kde je střídač napájen z akumulátoru, který je dobíjen solárním panelem. Toto ovšem není hlavním tématem práce, a proto je řešení pouze nastíněno. Práce je členěna do několika částí. V první části (kap. 1) Úvod, kde budou popsány základní druhy střídačů napětí a jejich možnosti využití. Druhá část (kap. 2) obsahuje teoretickou část projektu (popis funkce vlastního zařízení, návrh a volbu jednotlivých komponent apod. Ve třetí části (kap. 3) se setkáme s praktickou stránkou projektu, a to především vlastní konstrukcí, oživovacím postupem a měřením. V poslední části Závěr a Přílohy nalezneme shrnutí výsledků práce, grafické a datové přílohy atp.

Činnost elektronických zařízení je závislá na zdroji elektrické energie. Tato energie bývá nejčastěji dodávána ze zdroje stejnosměrného napětí. U napájecích zdrojů je snahou dosáhnout co možná největší účinnosti při zachování co možná nejmenších rozměrů. Dalšími faktory pak jsou například tvrdost daného zdroje (tedy pokles výstupního napětí se zvyšujícím se odběrem elektrického proudu), činitel zvlnění, tvar výstupního napětí atp.

Měnič napětí v elektrotechnice slouží ke změně velikosti napětí většinou se vzrůstajícím charakterem. Zdá se, že uplatnění měničů v dnešní době je obrovské. Využití ve formě střídače nachází například při výpadcích elektrické energie v důsledku poruch vedení, výpadku zdroje el. proudu, tak i například na cestách nebo v místech kam nedosahuje rozvodná síť nebo tam, kde dočasné přerušení dodávky elektrické energie např. v zimě, může znemožnit chod životně důležitých spotřebičů. Například plynový kotel, který ač spaluje zemní plyn ke své činnosti potřebuje i napájení ze sítě. Své místo zastává i jako automatický záložní zdroj (UPS), který slouží ke krátkodobému napájení spotřebičů (PC, zabezpečovací systémy...). Všechna zařízení pracují s účinností menší, než je 100 %, přeměna energie je tedy ztrátová. [1] [2]

V dnešní době se můžeme setkat se dvěma základními typy měničů. V první řadě to jsou klasické lineární zdroje pracující na nízkých frekvencích. Jsou konstrukčně jednodušší, spolehlivé a velmi málo náchylné k rušení. Se zvyšujícím se výkonem obvykle lineárně roste i cena, hmotnost a rozměry. Pro tyto vlastnosti a zejména měniče určené pro zařízení vyšších výkonů bývají v současnosti stále více nahrazovány spínanými zdroji pracujícími na vysokých frekvencích, což vede k miniaturizaci jednotlivých komponent, ale i větší náchylnosti k rušení, složitosti a nárokům na preciznost dílčích komponent.

1.1 Principy měničů a základní dělení

1.1.1 Lineární měniče

Měniče se dají rozdělit podle kmitočtu na kterém pracují do dvou základních kategorií. A to buď na lineární, nebo impulsně spínané. V prvním odstavci se budeme zabývat principem měničů lineárních. Zapojení lineárních měničů bývá zpravidla poměrně jednoduché. Nejdůležitějšími prvky obvykle jsou: řídicí obvod, pomocné prvky (oscilátor, budící transistory, výkonové prvky (v dnešní době obvykle transistory typu MOSFET) a transformátor. V závislosti na druhu buzení výkonových spínacích prvků je možné střídače dále rozdělit na kategorie podle průběhů střídavých výstupních napětí, mohou to být průběhy: obdélníkové, obdélníkové s prodlevou, lichoběžníkové, sinusové. Výhodou těchto měničů je poměrně jednoduchá konstrukce, spolehlivost a galvanické oddělení transformátorem vstupu od výstupu. Nevýhodou však jsou větší rozměry a hmotnost a tudíž i nemožnost použití pro vyšší výkony. [1]

1.1.2 Impulsně spínané měniče

V dnešní době se však čím dál více můžeme setkat s impulsně spínanými zdroji, které pracují na velmi vysokých frekvencích až v řádu stovek kHz. Díky vysokým frekvencím se velikost a hmotnost jednotlivých prvků, především pak transformátoru, který tvoří nedílnou část hmotnosti celého zařízení, daří zmenšit na minimum. Spínané (impulsně regulované zdroje) využívají střídačů obvykle s tranzistorem typu MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Transistor), které postupně nahradily dříve používané bipolární tranzistory. MOSFET je plem řízený tranzistor, kde je vodivost kanálu

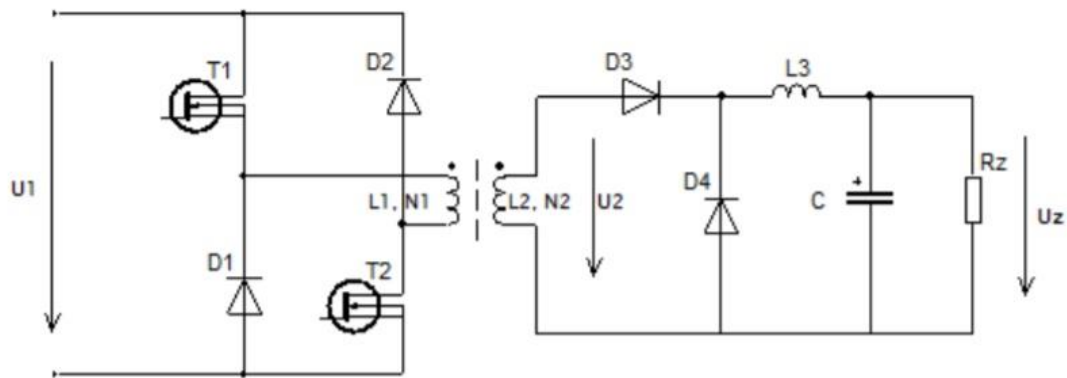
mezi elektrodami Source a Drain ovládána elektrickým polem vytvářeným ve struktuře kov(M)-oxid(O)-polovodič(S) napětím přiloženým mezi hradlo (Gate) a Source. Hradlo je odděleno od polovodiče vrstvou oxidu křemíku. Tato technologie umožňuje použití na vyšších napětích i frekvencích. Měniče jsou řízeny nespojitou zpětnou vazbou, která ovlivňuje šířku budících impulsů spínačů, tato zpětná vazba má za následek vyšší stabilitu výstupního napětí. Stejnoseměrný proud o nízkém napětí je nejdříve převeden na proud o vysokém napětí a následně pomocí umělé komutace převeden na střídavý. Změnou velikosti šířky jednotlivých impulsů, hovoříme tedy o modulaci PWM, je ovlivněn tvar průběhu výstupního napětí obvykle ve tvaru schodkovité „aproximované“ sinusovky. Výhodou tohoto průběhu je skutečnost, že na rozdíl od obdélníkových průběhů dosahuje amplituda výstupního napětí efektivní hodnoty 325 V. U obdélníkových průběhů dosahuje amplituda výstupního napětí efektivní hodnoty pouhých 230 V. Efektivní hodnota obdélníku tedy odpovídá síti, ale amplituda výstupního napětí se značně liší. Problém tedy nastává u nejrůznějších spotřebičů například s usměrňovačem, kde usměrněné napětí bude téměř o 30 % nižší, než je skutečné napájecí napětí ze sítě. Výroba střídače produkujícího čistě sinusové napětí je velmi náročná, proto se volí kompromis mezi obdélníkem a sinusoidou. Nejdůležitější ovšem je, že efektivní hodnota a velikost amplitudy modifikované sinusovky odpovídá hodnotám průběhu sinusového. [1]

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Popis střídače

Námi uvažovaný střídač je navržen na konverzi stejnosměrného napětí 12 V na napětí střídavé 230 V o frekvenci 50 Hz. Je určen pro napájení spotřební elektroniky tj. např. PC v autě nebo spotřebičů do maximálního odebíraného výkonu 250 W. Zařízení bude sestaveno z několika hlavních součástí: DPS s osazenými součástkami, transformátorem a krabičkou. Vnitřek zařízení tvoří toroidní transformátor, následuje deska plošných spojů s osazenou řídicí elektronikou. V předním panelu nalezneme hlavní vypínač, zásuvku 230 V AC a indikátor stavu napětí napájecího akumulátoru, jehož hodnota je reprezentována bargrafem tvořeným 5 LED diodami. Dále pak zelenou LED diodu indikující chod střídače a tím pádem i připojené vstupní napájení a doutnavku, která signalizuje „živý“ výstup zásuvky AC 230 V. V zadním panelu se nacházejí zdířky pro připojení akumulátoru uvažovaného jako zdroj a zdířky pro připojení solárního panelu.

Konstrukčně vycházíme z topologie jednočinného propustného měniče DC/DC s transformátorem, principem tohoto měniče je přenos energie v době, kdy jsou tranzistory na primární straně vinutí sepnuté viz obr. 2-1. V okamžiku sepnutí tranzistorů začíná protékat proud primárním vinutím transformátoru, jádro transformátoru se magnetizuje a přenáší energii do sekundárního vinutí na druhé straně měniče. Protože je měnič opatřen pouze dvojicí spínacích výkonových tranzistorů je nutné použít transformátor s vyvinutým středem vinutí nebo s dvěma oddělenými vinutí na primární straně. Poměr velikosti vinutí nám určuje výslednou hodnotu napětí mezi primární a sekundární stranou transformátoru. [3]



Obr. 2-1 Jednočinný propustný DC/DC měnič s transformátorem [3]

2.2 Popis funkce střídače

Vlastní střídač by se dal dle funkčních úloh rozdělit na několik částí. V první řadě to je řídicí elektronika. Řídicí funkci zajišťuje integrovaný obvod IO1 TL 494 jehož hlavním úkolem je spínání impulsů pro budící tranzistory označené ve schématu jako T1, T2 v zapojení „push-pull“. Pracovní kmitočet udává RC oscilátor na pinech 5 a 6. Pro drobnou nepřesnost tohoto druhu oscilátoru by bylo možné použít i oscilátor krystalový, ovšem většina elektrických přístrojů má toleranci napájecí frekvence mezi 50 a 60 Hz, proto není použití krystalu nezbytné. Integrovaný obvod ve své struktuře obsahuje dva komparátory s jedním společným výstupem, které porovnávají napájecí napětí s nastavenou referenční hodnotou a nabízí se je použít jako základ pro podpěťovou ochranu střídače. Tato ochrana je nezbytná hned z několika důvodů. Mohlo by dojít k možnému poškození napájecího akumulátoru, podpětí na řídicí elektronice, chybnému spínání tranzistorů a následně nedostatečnému napájení budičů, což by zapříčinilo nedostatečné otevření buzených tranzistorů a vedlo by to k nesprávné funkci zařízení až jeho poškození. Jako referenční napětí pro komparátory je použita hodnota napětí z výstupu stabilizátoru N1 7808 přivedená na pin 12, která je porovnávána s hodnotu napětí přivedenou na pinu 14 z odporového děliče tvořeného rezistory R8, P1 a R24. Pokud napájecí napětí klesne pod stanovenou mez oproti referenčnímu, operační zesilovač se překloupí do kladné saturace, zastaví generaci budících pulzů a měnič přestane pracovat. Toto zablokování by ovšem u střídače napájeného pouze z akumulátoru mělo být trvalé nebo s takovou hysterezí, aby po odlehčení zdroje nedošlo k samovolnému nárůstu jeho napětí a tím pádem k dočasnému znovu připojení střídače k akumulátoru.

Z tohoto důvodu je na vývodu 3 IO1 připojena přes rezistor R20 báze tyristoru Ty1, který se po přívodu impulsu udrží trvale sepnutý a znemožňuje tak samovolné rozběhnutí střídače. [2]

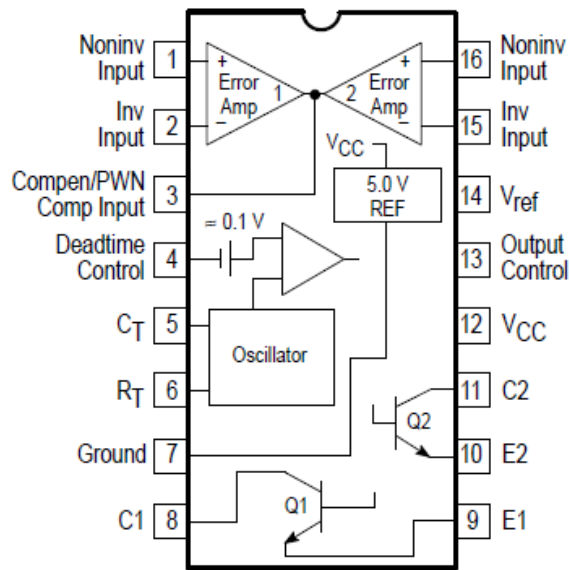
Budící signály vznikají v řídicím obvodu IO1 a jejich výstup se nachází na vývodech 8 a 11. Tyto signály je třeba přivést na báze budících bipolárních tranzistorů NPN BC546B T1 a T2, kde jsou zesíleny a odděleny od bází buzených výkonových tranzistorů IRFP064 s označením T3 a T4 typu MOSFET. Šířku těchto impulsů lze měnit změnou napětí na vývodu 4 napěťovým děličem tvořeným potenciometrem P2 nebo připojením zpětnovazební regulační smyčky. [2]

U výkonových měničů je důležitějším parametrem stabilita výstupního napětí s měnící se zátěží než přesnost kmitočtu. Pro regulaci výstupního napětí je měnič opatřen zpětnovazební regulační smyčkou. Výstupní napětí 230 V AC vycházející z transformátoru je dvoucestně usměrněno pomocí gratzova můstku D3 a na kondenzátoru C9 získáváme pilovité napětí, které je přiváděno na operační zesilovač OZ 741 (ve schématu značeném jako OZ1), kde je průběh zesílen. Tento průběh je posunut trimrem P4 na úroveň 6 V a přiveden do spojených vstupů dvou společných komparátorů. Na jejich výstupu je obdélníkový signál proměnné středy závisující na zátěži transformátoru. Z rozdílů napětí na komparátorech je řízena vodivost tranzistoru T6. Z kolektoru tranzistoru T6 je po filtraci kondenzátorem C6 přivedeno stejnosměrné ovládací napětí na vývod 4 integrovaného obvodu IO1. Šířka budících impulsů na bázích tranzistorů by měla růst spolu se zátěží. Tato šířka může mírně kolísat v závislosti na odchylce od standardních 50 Hz a především na převodu transformátoru. Střídač obsahuje několik základních ochranných prvků. V první řadě to je pojistka na výstupu 1,25A zabráňující nadměrnému odběru ze zařízení což by vedlo ke zničení transformátoru a případné destrukci cest a výkonových prvků. Posléze se jedná o RC člen tvořený svitkovým kondenzátorem C13 a výkonovým rezistorem R16, který slouží jako ochrana proti napěťovým špičkám vznikajícím při rozběhu. Kondenzátor C15 zajišťuje tzv. soft-start, než řídicí impulzy naběhnou ze zákmitů do šířky, která odpovídá velikosti výstupního napětí. Poté již zmíněná podpěťová ochrana realizovaná tyristorem Ty1, jež je trvale sepnut při překlopení komparátorů, připojeného na gate tyristoru z výstupu 3 (viz. obr. 2-3) dojde k trvalému sepnutí a odpojení zařízení při poklesu napětí na vstupu

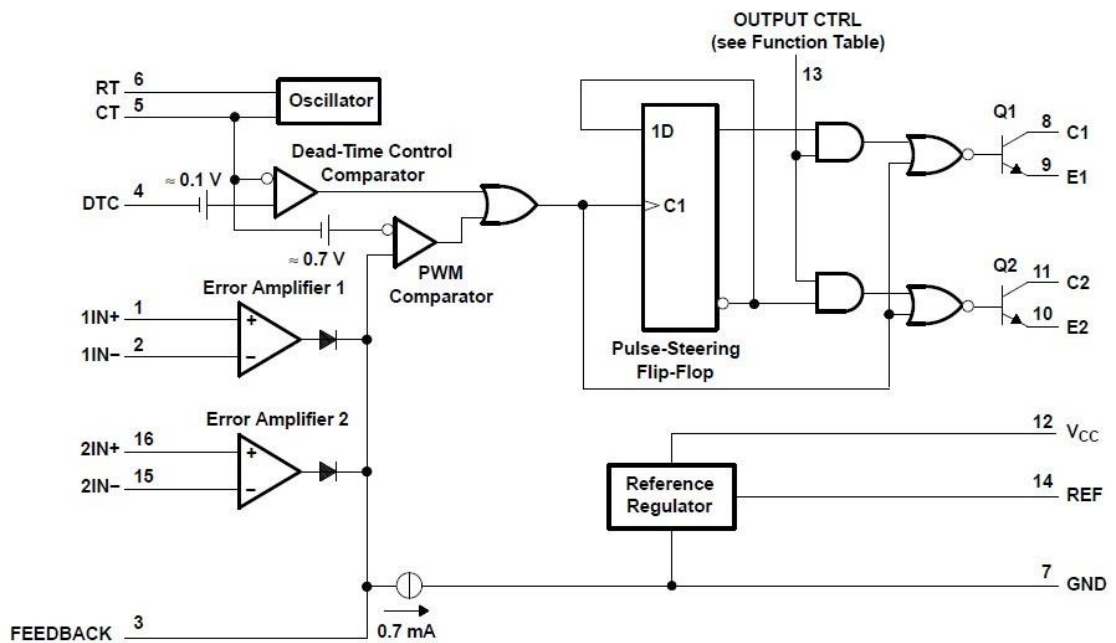
(napájení) střídače. Tato ochrana by ovšem znemožňovala automatické znovu připojení střídače do systému po dobití AKU solárním panelem a též způsobovala neočekávané vypnutí střídače při zákmitech a přechodových jevech vznikajících po připojení na napájecí zdroj a proto byla nahrazena ochranou proti podpětí a přebíjení akumulátoru popsanou níže v kapitole 2.10 „Ochrana proti podpětí a přebíjení“. [2]

2.3 Popis řídicího prvku

Integrovaný obvod TL494CN byl navržen firmou Motorola především jako regulační obvod pro řízení spínaných napájecích zdrojů. Tento obvod využívá k řízení pulzní šířkovou modulaci a externě nastavitelnou spínací frekvenci. Jeho schéma vnitřního zapojení můžeme vidět na obr. 2-2. Vývody jednotlivých pinů v reálném pořadí vidíme na obr. 2-3. Obvod obsahuje zdroj referenčního napětí +5 V. Tento zdroj slouží ke stanovení přesné úrovně pro vnitřní logiku integrovaného obvodu, oscilátor a komparátory. Výstup tohoto zdroje je dále vyveden na pinu 14. Je též vybaven protizkratovou ochranou. Jednoduchý oscilátor je tvořen externím rezistorem a kondenzátorem, frekvence je tvořena výsledným poměrem těchto dvou součástek (připojení na vývodech 5, 6). Podle hodnoty vstupního napětí na vývodu 13 spínají výstupní tranzistory buď současně, což odpovídá hodnotě 0 V nebo střídavě (hodnota 5 V). Komparací pilovitého napětí na kondenzátoru a zesilovače odchylky je řízena šířka výstupního impulsu, výstup je otevřen ve chvíli, kdy pilovité napětí na pinu 5 převyší velikost řídicího signálu. IO též obsahuje obvod pro regulaci šířky pulzu tzv. dead time control, dva zesilovače regulační odchylky (error amp.) a budič výstupních tranzistorů. Pomocí napětí na vývodu 4 (dead time control) je řízena šířka pulzu. V našem případě je na tento vývod přiveden výstup zpětnovazební regulační smyčky. Obvod má dva zesilovače odchylky, jejichž vývody jsou spojeny paralelně. Aktivní bývá obvykle jen jeden.



Obr. 2-2 Vnitřní schéma IO TL494 [4]



Obr. 2-3 Vývody jednotlivých pinů v reálném pořadí [5]

- Rozsah napájecího napětí od 7 do 42 V
- Výstupní napětí -0,3 až 40 V
- Pracovní teplota od 0 °C do +70 °C
- TL494CN zesiluje vstupní napětí v rozsahu od -0,3 do 42 V
- Rozsah frekvence oscilátoru 1Hz-300 kHz

2.4 Tranzistory a jejich druhy

V dnešní době je tranzistor jedním z nejdůležitějších součástí používaných v moderní elektrotechnice. Tranzistor může být ovládán velikostí vstupního napětí, hovoříme o tranzistorech typu FET (Field Effect Transistor) nebo elektrickým proudem (bipolární tranzistor BJT). V analogových obvodech nacházejí uplatnění například pro zesílení výkonu. V číslicových obvodech jsou tranzistory používány především pro spínací účely nebo jako „diskrétní“ součástky pro zpracování signálu a realizaci jednotlivých zařízení například čipů, procesorů atp. Další uplatnění nacházejí tranzistory například jako: logické obvody TTL, brány – základní stavební blok číslicových obvodů, paměti, LCD displeje (Liquid Crystal Display), kde je jeden pixel tvořen kombinací čtyř tranzistorů a podobně. Dnešní procesory obsahují miliony tranzistorů. Předchůdcem dnešních tranzistorů byly elektronky, které ovšem i v dnešní době nacházejí uplatnění především v audio technice. Mezi největší výhody tranzistorů oproti elektronkám patří výrazně menší rozměry, hmotnost, větší odolnost, nevyžadují dobu k zahřátí a jejich životnost je několikanásobně vyšší. „Doba zahřátí“ je čas, kterou elektronka potřebuje k tomu, aby se katoda rozžhavlila na teplotu potřebnou pro správné fungování elektronky. U složitých elektronek může tato doba dosahovat až jedné minuty. Výhodou elektronek je větší výkon, proto se používají stále například ve vysílačích a také mají oproti tranzistorům mnohem vyšší odolnost vůči elektromagnetickému rušení. [6] [7]

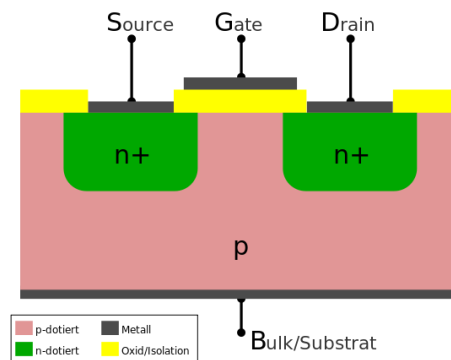
Tranzistor je polovodičová součástka, kterou tvoří dvojice přechodů PN. Základními vlastnostmi tranzistoru je zesilovat. Malé změny napětí nebo proudu na vstupu mohou vyvolat velké napěťové nebo proudové změny na výstupu. Tranzistorový jev a tranzistor byl vynalezen 16. prosince 1947. Tento objev vedl k velkému rozvoji aplikované elektrotechniky. V praxi se to projevilo především obrovskou mírou miniaturizace polovodičových součástí a tím pádem i neustálým

zvysování počtu součástek vztažených na jednotku plochy. Tranzistor dělíme na tři základní části a to na kolektor, bázi a emitor v angličtině označené jako Drain, Gate a Source. Podle uspořádání použitých polovodičů typu P nebo N se dále dělí na NPN a PNP. Dalším rozdělením vznikají tranzistory bipolární (BJT – Bipolar Junction Transistor), které jsou řízeny proudem tekoucím do báze a unipolární (FET – Field Effect Transistor), které jsou řízeny napětím (elektrostatickým polem) na řídicí elektrodě (Gate). JFET (Junction FET) – řídicí elektroda je tvořena závěrně polarizovaným přechodem PN. MESFET (Metal Semiconductor FET) – řídicí elektroda je tvořena závěrně polarizovaným přechodem kov-polokov. MOSFET (Metal Oxide Semiconductor FET) – řídicí elektroda je izolována od zbytku tranzistoru oxidem. MISFET (Metal Insulated Semiconductor FET) – obecný název pro tranzistor s izolovanou řídicí elektrodou. Izolantem obvykle bývá oxid křemičitý. [6] [7]

2.4.1 Volba výkonových tranzistorů

V tomto měniči jsou pro své vlastnosti použity jako výkonové tranzistory (spínací) tranzistory typu unipolární MOSFET viz obr. 2-4, proto se následující kapitola bude zabývat především těmito tranzistory.

Unipolární tranzistor je polovodičový prvek, který je založen na principu řízení pohybu nosičů náboje elektrickým polem, přičemž vedení proudu je realizováno v tzv. kanále pouze jedním většinovým (majoritním) nosičem náboje na rozdíl od tranzistoru bipolárního. Menšinové (minoritní) nosiče náboje jsou pro tuto funkci nežádoucí. Je složen z polovodičů typu N a P, přičemž vždy výrazně převládá jeden z nich. Pro velký vstupní odpor je tento druh tranzistorů označován jako FET – Field Effect Transistor. Velkou výhodou je též téměř lineární VA charakteristika v prvním kvadrantu, proto bývá často používán i jako zesilovač. Velkou pozornost ovšem musíme věnovat manipulaci s tranzistorem, neboť je velmi náchylný k poškození statickým nábojem. [6] [7]



Obr. 2-4 Řez tranzistorem MOSFET [8]

Ve struktuře polovodiče typu P jsou dvě oblasti typu N a ty slouží jako elektrody Source a Drain. Řídící plocha Gate je izolována od těchto oblastí tenkou vrstvičkou SiO₂. Odpor hradla je teoreticky nekonečný, ve skutečnosti je v řádu 10¹¹ až 10¹² Ω. Přivedeme-li na řídicí elektrodu kladné napětí U_{GS} a ostatní elektrody uzemníme, vytvoří se elektrické pole, které nutí elektrony vytlačovat díry. Oxid křemíku slouží jako izolátor a elektrony nemohou projít skrz kvůli napětí, které je menší než prahové napětí a vytváří elektrické pole známé jako inverzní vrstva, která spojuje elektrody Drain a Source a uzavírá elektrický obvod. Elektrický proud nyní protéká mezi hradly Source a Drain. Protože je proud v unipolárních tranzistorech přenášen majoritními nosiči, dosahují tyto prvky výrazně větší odolnosti vůči změnám teploty a dopadajícímu ionizujícímu záření než tranzistory bipolární. [6] [7]

2.4.2 Dimenzování výkonového tranzistoru:

Střední hodnota proudu:

$$I_{TRstř} = \frac{P}{2 \cdot U_{IN}} = \frac{250}{2 \cdot 12} = 10,41 \text{ A} \quad (2.1)$$

Špičková hodnota proudu:

$$I_{TRmax} = \frac{I_{TRstř}}{s} = \frac{10,41}{0,45} = 23,13 \text{ A} \quad (2.2)$$

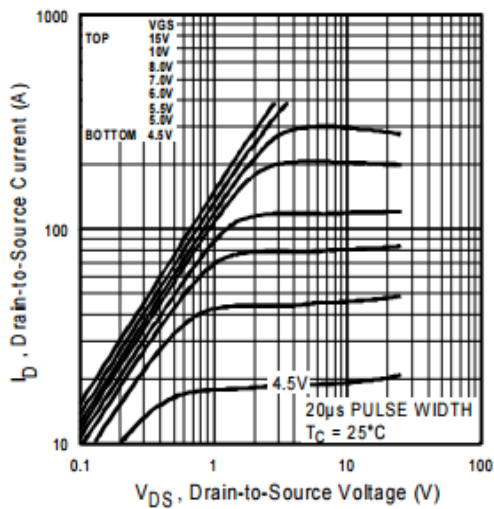
Efektivní hodnota proudu:

$$I_{TRef} = I_{TRmax} \cdot \sqrt{s} = 23,13 \cdot \sqrt{0,45} = 15,51 \text{ A} \quad (2.3)$$

Maximální napětí:

$$U_{vst, max} = 2 \cdot U_{vst} = 24 \text{ V} \quad (2.4)$$

V tomto měniči je jako spínací prvek použita dvojice výkonových unipolárních tranzistorů typu MOSFET s označením IRFP064, která se svými parametry jeví jako s rezervou dostatečná viz obr. 2-6. [6] [7]



Obr. 2-5 Tranzistor IRFP064N [9]

Obr. 2-6 Výstupní charakteristiky tran. IRFP064 [9]

Základní parametry tranzistoru:

- $I_{dss} = 110 \text{ A}$
- $U_{ds} = 55 \text{ V}$
- $U_{gs} = 20 \text{ V}$
- $P_d = 200 \text{ W}$
- $R_{ds} = 0,008 \ \Omega$
- Rozsah operačních teplot -55 až $175 \text{ }^\circ\text{C}$
- Tepelné ztráty na pouzdru $0,75 \text{ }^\circ\text{C/W}$
- $\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_{Jo}$, $057 \text{ V/}^\circ\text{C}$ při ref. teplotě $25 \text{ }^\circ\text{C}$ $I_D = 1 \text{ mA}$

2.5 Chlazení

Při každém reálném přenosu a transformaci energie dochází ke ztrátám; část energie odchází ve formě tepla, mění se tedy na energii tepelnou. Zvláštní pozornost musíme věnovat elektronickým součástkám. S rostoucím výkonem stoupá i teplota, která nepříznivě mění parametry součástky a při překročení určité meze může dojít k jejímu nenávratnému poškození a nesprávné funkci součástky. Z katalogů můžeme získat potřebné údaje o maximálních přípustných teplotách a o maximálním dovoleném ztrátovém výkonu. Správná funkce polovodičových výkonových součástek je zaručena jen tehdy, není-li překročena maximální teplota přechodu. Povolený ztrátový výkon součástek bývá udáván pro ideální chladič a konstantní teplotu okolí. Mnohdy se ovšem stává, že teplota okolí je vyšší než předpokládaná a má kolísavou tendenci. Nelze ani opomenout fakt, že reálné chlazení dosahuje horších parametrů než chlazení ideální. Z těchto faktorů je nutné určit maximální ztrátový výkon, při kterém nebude překročena teplota přechodu ani v maximálních možných hodnotách a bude zaručena správná funkce zařízení. Se snížením maximálního ztrátového výkonu dochází také k menšímu zahřívání, součástka je méně namáhána a zařízení se tak stává spolehlivějším. Výpočet vhodného chladiče vychází ze ztrátového výkonu, který vzniká ve struktuře polovodičové součástky (PN přechod). Vzniklé teplo je potřeba z přechodu odvést do pouzdra a následně přes vhodnou meziplochu, o co možná nejlepší tepelné vodivosti, převést do chladiče, který toto teplo dokáže efektivně vyzářit do okolí.

2.5.1 Výpočet požadovaného teplotního odporu chladiče

- 1) Určíme ztrátový výkon v očekávaném běžném pracovním režimu (celkové ztráty vzniklé přepínáním vycházejí díky frekvenci 50 Hz zanedbatelně malé v řádech jednotek mW a můžeme je tedy zanedbat):

(V reálném provozu předpokládáme řídicí napětí $U_{GS} = 7 \text{ V}$, spínané napětí kolektor- emitor $U_{DS} = 12 \text{ V}$ a pro tyto hodnoty dostáváme z výstupních charakteristik tranzistoru MOSFET IRFP064 maximální možnou hodnotu proudu kolektorem $I_D = 200 \text{ A}$.)

Výpočet odporu kanálu kolektor-emitor R_{DS-on} pro $U_{GS} = 7 \text{ V}$:

$$R_{DS} = \frac{U_{DS}}{I_D} = \frac{12V}{200A} = 0,06 \Omega \quad (2.5)$$

Z datasheetu použitého řídicího obvodu IO494 zjistíme maximální střihu budícího signálu pro námi uvažovaný tranzistor IRFP064 (max. duty cycle = 0,45%).

Výpočet maximální efektivní hodnoty proudu tekoucí tranzistorem:

$$I_{ef} = I_{tr,max} \sqrt{s} = 23,13 * \sqrt{0,45} = 15,51 \text{ A} \quad (2.6)$$

Výpočet ztrátového výkonu na jednom tranzistoru:

$$P_{ztr} = R_{DS-on} * I_{ef}^2 = 0,06 * 15,51^2 = 14,43 \text{ W} \quad (2.7)$$

2) Celkový teplotní odpor:

(Vycházíme z maximální teploty PN přechodu uvedeno v datasheetu pro tranzistor IRFP064 tj. max = 175 °C, teplotu okolí uvažujeme 40 °C, uvažováno pro dva tranzistory.)

$$R_{\theta} = \frac{T_{j,max} - T_o}{2 * P_{ZTR}} = \frac{175 - 40}{2 * 14,43} = 4,67 \text{ °C/W} \quad (2.8)$$

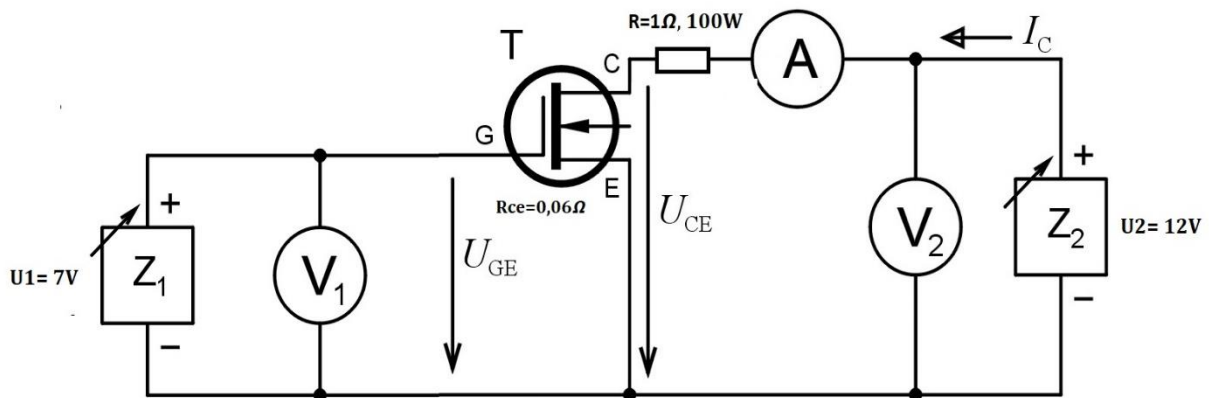
3) Minimální tepelný odpor chladiče:

(Hodnoty $R_{\theta JC} = 0,75 \text{ °C/W}$ a $R_{\theta CS} = 0,24 \text{ °C/W}$ určeny z datasheetu pro tranzistor IRFP064, tepelný odpor $R_{\theta CS}$ budeme uvažovat raději vyšší 0,5 °C/W z důvodu přítomnosti slídové izolační podložky.)

$$R_{\theta,SA} = R_{\theta} - R_{\theta,JC} - R_{\theta,CS} = 4,67 - \frac{0,75}{2} - \frac{0,5}{2} = 4,05 \text{ °C/W} \quad (2.9)$$

2.5.2 Výpočet teplotního odporu chladiče:

Protože v našem případě není znám teplotní odpor vybraného chladiče a nevíme tedy, zda dosahuje hodnoty nižší, než je minimální hodnota požadovaného tepelného odporu chladiče ($R_{\theta SA} = 5,63 \text{ °C/W}$ pro max. $2 * P_{ZTR} = 14,43 \text{ W}$), je nutné ji zjistit pomocí naměřeného maximálního ustáleného oteplení při známém ztrátovém výkonu součástky působící oteplení na chladiči.



Obr. 2-7 Schéma použitého zapojení pro vybuzení unipolárního tranzistoru IRFP064 na požadovanou hodnotu PZTR

Součástku se známou hodnotou ztrátového výkonu připevníme ke chladiči s neznámým tepelným odporem. Na bázi tranzistoru přivedeme řídicí napětí $U_1 = 7 \text{ V}$. Na zdroji Z_2 nastavíme hodnotu napětí $U_2 = 12 \text{ V}$. Jak jsme již v předchozí části výpočtu chlazení zjistili, pro tyto hodnoty napětí je odpor kanálu kolektor-emitor roven hodnotě $0,06 \Omega$. Z napěťového zdroje Z_2 učiníme zdroj proudový zařazením rezistoru R a nastavíme tak maximální hodnotu protékajícího proudu I_C na přibližně $11,3 \text{ A}$. Nesmíme zapomenout, že k hodnotě rezistoru R musíme připočítat hodnotu odporu kanálu $R_{CE} = 0,06 \Omega$. Součástkou necháme protékat proud po dostatečně dlouhou dobu, dokud nedojde k ustálení teploty chladiče (nutno měřit např. bezkontaktním laserovým teploměrem). Ze získané hodnoty celkového oteplení při známém elektrickém příkonu a známých hodnot tepelných odporů $R_{\theta JC}$, $R_{\theta CS}$ můžeme určit výsledný tepelný odpor námi uvažovaného chladiče. Měřením bylo zjištěno maximální ustálené oteplení $25,3 \text{ }^\circ\text{C}$.

- 1) Výpočet celkového proudu kolektorem I_C

$$I_C = \frac{U_2}{R + R_{ce}} = \frac{12}{0,06 + 1} = 11,32 \text{ A} \quad (2.10)$$

- 2) Výpočet ztrátového výkonu PZTR

$$P_{ztr} = R_{DS-on} * I_{ef}^2 = 0,06 * 11,32^2 = 7,68 \text{ W} \quad (2.11)$$

3) Výpočet celkového tepelného odporu

$$R_{\theta} = \frac{\Delta\theta}{P_{ZTR}} = \frac{47,36-22,1}{7,68} = 3,28 \text{ }^{\circ}\text{C/W} \quad (2.12)$$

4) Výpočet skutečného tepelného odporu chladiče

$$R_{\theta SA} = R_{\theta} - R_{\theta,JC} - R_{\theta,CS} = 3,28 - 0,75 - 0,24 = 2,3 \text{ }^{\circ}\text{C/W} \quad (2.13)$$

V tuto chvíli můžeme porovnat požadované a měřením získané hodnoty chlazení. Minimální tepelný odpor chladiče $R_{\theta SA}$ je pro maximální očekávané provozní podmínky roven 4,05 $^{\circ}\text{C/W}$ a hodnota získaná měřením pro námi vybraný chladič je 2,3 $^{\circ}\text{C/W}$. Použitý chladič výkonových tranzistorů MOSFET IRFP064 tedy lze v námi uvažovaném použití pokládat i s rezervou za dostatečný. [10]

2.6 Výběr vhodného zdroje – akumulátoru

Střídač potřebuje ke své funkci vhodný zdroj energie. Tento zdroj by měl být rovněž dostatečně tvrdým kvůli velkým proudovým požadavkům zařízení a měl by mít co možná největší kapacitu při zachování rozumných rozměrů. Protože střídač využíváme především tam, kde není dostupnost rozvodné sítě, hlavním takovým zdrojem bude akumulátor, ten slouží k opakovanému uchovávání elektrické energie. Akumulátorů je celá řada. Nejčastěji však pracují na elektrochemickém principu. Tyto zdroje využívají přeměnu elektrické energie na energii chemickou. Tu je pak možné přeměnit zpět na elektrickou energii. Životnost takovýchto zařízení se pohybuje řádově ve stovkách až tisících nabíjecích cyklů a s časem klesá jejich kapacita.

2.6.1 Typy akumulátorů

Podle typu elektrolytu: s kyselým elektrolytem, se zásaditým elektrolytem, s bezvodným elektrolytem

Podle provedení: otevřené, zavřené (hermetické)

Podle principu: olověný (Pb), nikel-kadmiový (NiCd), alkalický (RAM), nikel-metal-hybrid (NIMH), LiPol, LiIon, NiFe

2.6.2 Přehled druhů a vlastností akumulátoru

Olověný akumulátor – Vlastnosti: Kapacita 1 až 10000 Ah. Cena: např. akumulátor 12 V 1 Ah stojí 270 Kč, počet nabíjecích cyklů je 500-1000. Výhody: nízká cena a vysoký výkon. Nevýhody spočívají v tom, že když je vybit (i částečně), delší dobu v tomto stavu dochází k tzv. sulfataci, která výrazně snižuje jeho kapacitu. Tento typ akumulátoru se používá především do automobilů.

Nikl-kadmiový akumulátor – Výhody: Není problémem skladování ve vybitém stavu; nevýhody: oproti NiMH a Li-ion akumulátorům je jeho relativně nižší měrná kapacita.

Nikl-metal hydridový akumulátor – Výhody: Ve srovnání s jemu podobným Ni-Cd akumulátorem má přibližně dvojnásobnou kapacitu. Nevýhody: velká úroveň samovybíjení – asi 15-30 % za měsíc při 20 stupních Celsia, kapacita 2500-2800 mAh pro článek typu (AA).

Lithium-iontový akumulátor – Výhody: S vysokou kapacitou a malým objemem a hmotností, téměř žádné samovybíjení (asi do 5 %). Vysoké nominální napětí: 3,7 V; životnost 500–2000 nabíjecích cyklů. Nevýhody: nebezpečí výbuchu nebo vznícení, vadí mu úplné vybití. Když se hodnota napětí dostane pod 2,8 V je velmi těžké ho znovu „oživit“. Použití nachází především ve spotřební elektronice.

Protože pro naše účely budeme využívat akumulátor olověný, v následujících odstavcích se budu tímto typem akumulátoru zabývat podrobněji.

Olověný akumulátor je v dnešní době nejpoužívanějším sekundárním zdrojem. Skládá se z nádoby, dvou olověných elektrod a elektrolytu. Jako elektrolyt se používají roztoky kyseliny sírové o hustotě asi 1,26 g/cm³, což odpovídá koncentraci okolo 30 – 40 %. Tato koncentrace zajišťuje vhodný provoz akumulátoru a jeho dlouhou životnost.

Vlastní akumulátor je tvořen jednotlivými články, ty se skládají ze záporných a kladných elektrod. Elektrody jsou tvořeny olověnými deskami ve formě mřížek. Kladná mřížka je vyplněna kyslíčnickem olovičitým, záporná pak houbovitým olovem. Mřížky jsou navzájem od sebe odizolovány separátorem, který však pro elektrolyt nepředstavuje překážku a propouští ho. [11]

Nominální napětí jednoho článku je 2 V. Napětí celého akumulátoru tedy záleží na tom, kolik článků obsahuje. V našem případě budeme používat akumulátor o napětí 12 V skládajícího se z 6 článků. Pro plně nabitý akumulátor bývá jeho svorkové napětí cca 12,5 až 14,5 V, u vybitého je to zhruba 10,5 V. Kapacita akumulátoru je udávána v ampérhodinách. Obvykle bývá udávána pro zatížení jmenovitým proudem po dobu 10 hodin. [8]

Pro níže uvedené vlastnosti jednotlivých druhů akumulátorů jsem se rozhodl použít akumulátor olověný. Mezi jeho největší přednosti patří především cena v poměru k poskytovanému výkonu, dostatečná kapacita a rovněž dokáže splnit vysoké proudové požadavky střídače.

2.6.3 Rozdělení olověných akumulátorů:

2.6.3.1 Startovací akumulátor

Tento druh akumulátoru snáší velké proudové zatížení a proudové špičky, je ovšem nevhodný pro hluboké vybití a z tohoto důvodu by nebyl vhodným zdrojem pro napájení střídače. Zjednodušeně řečeno, je konstrukčně navržen tak, aby dodával velký výkon jen po zlomek času (start motoru) a poté je energie v krátké době navracena zpět pomocí alternátoru. Při opakovaném a hlubokém vybití dochází k výrazné sulfaci elektrod a následně k rychlému poklesu kapacity.

2.6.3.2 Trakční akumulátory

Jak již název napovídá, trakční akumulátory bývají často používány k pohonu různých elektrických zařízení, popřípadě nacházejí uplatnění i jako zdroj v solárních napájecích systémech. Jejich konstrukce je tedy poměrně dobře uzpůsobena pro hluboké vybití a tento typ je určen k opakovanému cyklování (nabíjení a vybíjení baterie).

Rozdělení trakčních akumulátorů:

1) Se zaplavenými elektrodami – WET

Tento druh akumulátoru má elektrody zaplavené roztokem kyseliny sírové a vody, obal však není hermeticky uzavřený z důvodu odvodu vodíku vznikajícího při dobíjení. V důsledku tohoto může dojít k drobnému úniku

elektrolytu mimo akumulátor a následné potřísnění okolí. Je tedy nezbytné ho používat jen v dobře větraných prostorech a tam kde nehrozí naklopení akumulátoru a únik elektrolytu do okolí. Tento druh typu WET dosahuje o něco menší výkonnosti, než technologie AGM nebo GEL (podrobněji dále v textu), avšak je možné ho dobíjet větším proudem a jsou odolnější z hlediska údržby. Některé typy je třeba v průběhu provozu dolévat destilovanou vodou. [12] [13]

2) **VRLA akumulátory** (valve-regulated lead–acid battery), tedy ventilem řízené baterie, kde nehrozí únik elektrolytu, jsou odolnější vůči otřesům a tento druh akumulátoru je rovněž bezúdržbový. Na první pohled je lze rozeznat absencí šroubovacích ventilů pro doplňování destilované vody. Hermetický systém je založen na principu kyslíkové rekombinace, únik plynů z baterie je tak minimální. Tuto technologii můžeme dále rozdělit na druhy AGM a GEL. VRLA akumulátory obvykle nelze nabíjet tak velkými proudy jako typ WET a jsou rovněž náchylnější na možné přebíjení, avšak dosahují lepší obvykle lepší vlastností při zachování stejných rozměrů a hmotnosti. [12] [13]

- **AGM akumulátory:** Technologie Absorbed Glass Mat je založena v použití skelné tkaniny jako média pro nasáknutí (absorpci) elektrolytu, který zároveň plní funkci separátoru kladných a záporných elektrod. Tyto baterie mají lepší nabíjecí charakteristiky a jsou odolnější vůči cyklické zátěži než AKU typu WET. [12] [13]

- **GEL akumulátory:** Tento druh využívá elektrolyt, který je vázán ve formě křemičitého gelu. Výhodou je nižší citlivost při dosažení vyšších provozních teplot, vyšší kapacita při zachování stejné hmotnosti a zároveň nižší hladina samovybíjení. [12] [13]

Základními vlastnostmi 12 V olověných akumulátorů použitelných pro ostrovní systém s možností dobíjení formou solárního panelu jsou následující:

- Minimální napětí: 10,5 V
- Maximální napětí při nabíjení: 14,5 V

- Využitelná kapacita akumulátoru: cca 80 %

Tyto hodnoty budou zohledněny při dalším návrhu.

2.7 Volba transformátoru

Transformátory můžeme dle konstrukce rozdělit na:

- Plášťové
- Jádrové
- Toroidní

Transformátor je elektrický netočivý stroj, který umožňuje přenášet elektrickou energii z jednoho obvodu do jiného na základě vzájemné elektromagnetické indukce. Obvykle se skládá ze dvou nebo více cívek navinutých na společném feromagnetickém jádře, ve kterém se může uzavřít magnetický obvod. Jednotlivé cívky označujeme jako „vinutí“. Vinutí dále dělíme na primární a sekundární. Na sekundární vinutí se indukuje napětí, jehož velikost závisí na poměru počtu závitů primárního a sekundárního vinutí. Výhodou transformátoru je, že primární a sekundární vinutí jsou od sebe galvanicky oddělená. Transformátory můžeme dále dělit na výkonové pro přenos a rozvod elektrické energie, měřicí, oddělovací a transformátory pro speciální využití, například impulsní.

Pro naše účely nejlépe poslouží toroidní transformátor, především pak pro své rozměry a hmotnost, která je ve srovnání s jinými typy podstatně menší. Protože je měnič dimenzován na celkový výkon 250 W musí tomu odpovídat i konstrukce transformátoru. Převod transformátoru musí být následující: 2 x 10 V primární vinutí se společným vyvedeným středem / 230 V sekundární vinutí. Celkového výkonu 250 VA. Hmotnost takového transformátoru je cca 2,0 kg. Vstupní napětí je sice 12 V, ale kvůli předpokládaným ztrátám na tranzistorech je voleno na velikost 10 V.

2.7.1 Návrh základních parametrů transformátoru

Budeme vycházet ze známých požadavků na transformátor: frekvence 50 Hz, zdánlivý výkon $S = 250 \text{ VA}$, napětí primárního vinutí 2x 10 V, napětí sekundárního vinutí 230 V.

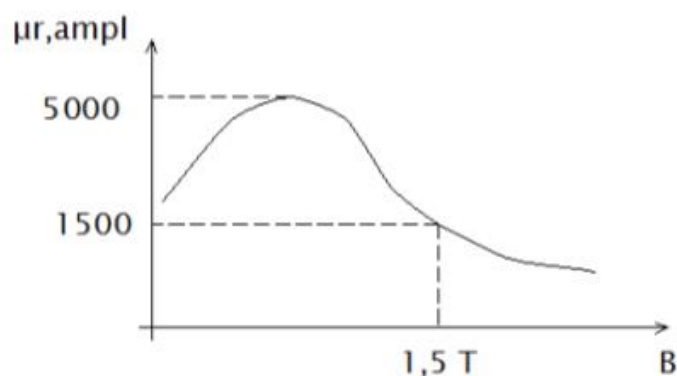
V prvním kroku vypočítáme počet závitů na primárním a sekundárním vinutí. K výpočtu je třeba znát frekvenci f , velikost magnetické indukce použitého železa B_{\max} , efektivní hodnotu primárního napětí U_{1ef} , průřez jádra S_J a činitel plnění železa K_{pfe} .

Činitel plnění železa K_{pfe} je určen součinem plnění plechů $K_{p,plechu}$ a činitele plnění jader. Protože v našem případě se jedná o malý transformátor s obdélníkovým průřezem jádra činitel plnění jader $K_{pt} = 1$. Činitel plnění plechů je pro maloplošné tlustší plechy roven přibližné hodnotě 0,96.

$$K_{pfe} = K_{p,plechu} \cdot K_{pt} = 0,96 \cdot 1 = 0,96 \quad (2.14)$$

Průřez jádra S_J byl odhadnut na hodnotu $0,002 \text{ m}^2$ z rozměrů nabízených toroidních transformátorů obdobných parametrů v nabídce firmy JK-ELTRA, kde bude transformátor vyroben.

Magnetická indukce B_{\max} - její hodnota se odvíjí především od materiálu plechů použitého pro výrobu jádra transformátoru. Pro tento účel byla zvolena anizotropní křemíková ocel válcovaná za studena, která se používá pro výrobu toroidních jader. Anizotropních vlastností je dosaženo dodatečnou tepelnou úpravou plechů. Hodnota permeability byla zvolena na $\mu_r = 1500$ a z obr. 2-8 lze odečíst maximální hodnotu magnetické indukce $B_{\max} = 1,5 \text{ T}$.



Obr. 2-8 Závislost magnetické indukce na permeabilitě [3]

Nyní se můžeme posunout k určení počtu závitů primárního a sekundárního vinutí. Velikost indukovaného napětí u_i lze určit podle Faradayova indukčního zákona:

$$u_i(t) = -\frac{d\Psi(t)}{dt} \quad (2.15)$$

Kde Ψ označuje spřažený magnetický tok. Pro sinusový průběh spřaženého magnetického toku dostáváme tvar:

$$u_i(t) = -\frac{d}{dt}[\Psi_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t)] \quad (2.16)$$

Po derivaci předchozího vztahu a vyjádření amplitudy indukovaného napětí U_{imax} :

$$u_i(t) = \Psi_{max} \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t) \quad (2.17)$$

Jestliže $\cos(\omega t) = 1$ z předchozího vztahu lze vyjádřit amplitudu indukovaného napětí U_{imax} :

$$U_{imax} = \Psi_{max} \cdot \omega \quad (2.18)$$

V tomto okamžiku již známe amplitudu magnetického toku ze zvolené velikosti transformátoru; byl již určen činitel plnění železa k_{pfe} a amplituda magnetické indukce v jádru B_{max} . Amplituda magnetického spřaženého toku je již také určena zadanou velikostí a frekvencí napětí primárního a sekundárního vinutí a pokud zanedbáme úbytky napětí lze uvažovat, že napětí napájecí se rovná napětí indukovanému. Potom lze předchozí rovnici upravit na tvar pro efektivní hodnotu primárního vinutí U_{i1} .

$$U_{i1} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot f \cdot N_1 \cdot B_{max} \cdot S_j \cdot k_{pfe} \quad (2.19)$$

Kde U_{i1} je efektivní hodnota indukovaného napětí primárního vinutí, N_1 počet závitů primárního vinutí, B_{max} amplituda magnetické indukce v jádru a S_j je průřez jádra. V tuto chvíli můžeme již vyjádřit konečný počet závitů. [14]

$$N_1 = \frac{U_{1ef}}{4,44 \cdot f \cdot B_{max} \cdot S_j \cdot K_{pfe}} = \frac{2 \cdot 10}{4,44 \cdot 50 \cdot 1,5 \cdot 0,002 \cdot 0,96} = 31,28 \text{ záv.} \quad (2.20)$$

Ze známého zdánlivého výkonu a požadovaného napětí sek. a prim. vinutí transformátoru můžeme vyjádřit proud I_2 :

$$I_2 = \frac{S}{U_2} = \frac{250}{230} = 1,08 \text{ A} \quad (2.21)$$

$$\text{analogicky } I_1 = 22,65 \text{ A} \quad (2.22)$$

$$N_2 = N_1 \cdot \frac{I_1}{I_2} = 31,28 \cdot \frac{22,65}{1,08} = 656 \text{ záv.} \quad (2.23)$$

Při stanovení proudové hustoty $\sigma = 4,6 \text{ A/mm}^2$ můžeme spočítat průřez a následně průměr vodičů vinutí:

$$S_{cu1} = \frac{I_{1ef}}{\sigma_{prům.}} = \frac{22,65}{4,6 \cdot 10^6} = 4,9 \text{ mm}^2 \quad d_{cu1} = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,9}{\pi}} = 2,49 \text{ mm} \quad (2.24)$$

$$S_{cu2} = \frac{I_{1ef}}{\sigma_{prům.}} = \frac{1,08}{4,6 \cdot 10^6} = 0,24 \text{ mm}^2 \quad d_{cu2} = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,24}{\pi}} = 0,55 \text{ mm} \quad (2.25)$$

Následně vybereme průměry vodičů vinutí z normalizované řady a to 2,5 mm a s uvažováním rezervy 0,6 mm.

Toroidní transformátor byl následně zadán k výrobě firmě JK- ELTRA, kterou byl dodán s následujícími parametry: $S = 250 \text{ VA}$; $2 \times 10 \text{ V} / 230 \text{ V}$; $N_1 = 29$; $N_2 = 656$; $d_{cu1} = 2,34 \text{ mm}$; $d_{cu2} = 0,6 \text{ mm}$. Hodnoty se mohou lišit například z důvodu nepřesného určení proudové hustoty vinutími, velikostí průřezu jádra, nerespektování oteplení atd. Přestože jsou výsledky orientační od reálných se liší jen málo a lze je proto pokládat za vypovídající.

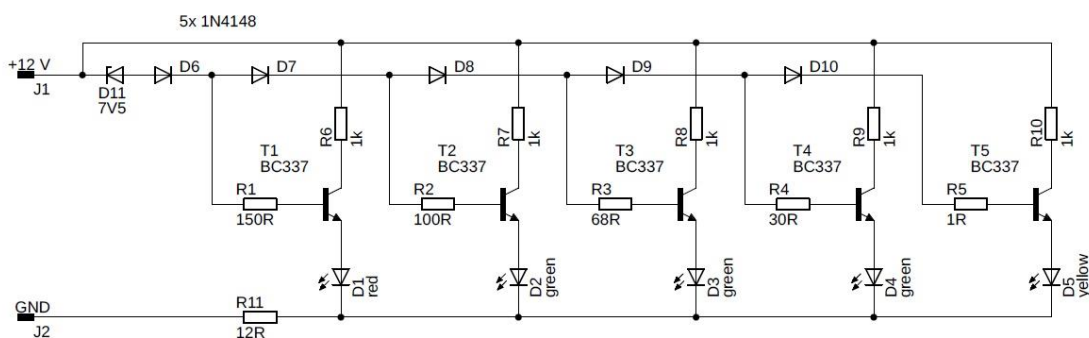
2.8 Indikátor napětí akumulátoru

Orientační měření napětí napájecího akumulátoru zajišťuje „indikátor napětí baterie“ schéma viz obr. 2-9, jehož výstupní část se skládá z pěti barevných LED diod (1x červená, 1x žlutá a 3x zelená) zapojených do sloupcového bargrafu, tedy vždy lze vidět svítit diodu indikující nejvyšší dosažené napětí a všechny ostatní LED diody odpovídající nižšímu napětí pod ní. Rozsah indikátoru je zvolen s ohledem na možnou velikost napětí dodávaného z akumulátoru do střídače, tedy od cca 10,5 V vybitý stav až po přibližně 14,5 V plně nabitého. Z důvodu nepřesného odečtu ze stupnice a zejména

kvůli toleranci jednotlivých součástek i možného vlivu teploty je indikace pouze orientační.

Obvod se skládá z pěti LED diod jejichž anody jsou připojeny k emitorům tranzistoru BC337, otevření tranzistoru je závislé na proudu tekoucím do báze, jehož hodnota je omezena velikostí předřadného rezistoru báze a velikostí napětí mezi bází a kolektorem. Odstupňování napětí přiloženého na bázi je zajištěno pomocí řetězce diod s předřazenou zenerovou diodou. K rozsvícení první (červené) LED diody dojde ve chvíli, kdy celkové vstupní napětí přesáhne hodnotu přibližně 10 V, musí tedy v součtu být vyšší než úbytky napětí na zenerově diodě 7V5 (D11), diodě 1N4148 (D6) a napětí na přechodu PN tranzistoru BC337. Při nárůstu napájecího napětí se postupně otevírá dioda D7, proud tekoucí do báze otevře tranzistor T2 a s ním se rozsvítí i LED dioda D2. Je ovšem též nezbytné počítat s rozdílným úbytkem napětí pro LED diody různých barev. Pro červenou je to přibližně 1,8 V, pro žlutou 2,4 V a pro zelenou 2,6 V.

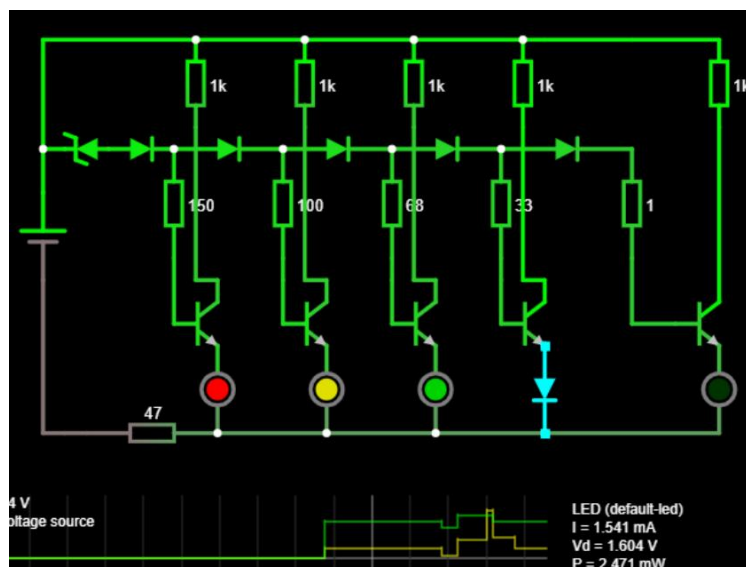
Jak již bylo zmíněno zelená LED dioda má větší úbytek napětí než žlutá a červená, z toho důvodu musí být nárůst napětí vyšší nejen o pokles napětí na D7, ale i o rozdíl napětí na D2 a D1. Při dalším nárůstu napětí dochází postupně k otevírání dalších tranzistorů a rozsvícení LED diod s krokem přibližně 0,6 V.



Obr. 2-9 Schéma indikátoru napětí baterie [15]

Pro doladění správné funkce indikátoru napětí byla sestrojena simulace v appletu Falstad circuit simulator viz obr. 2-10. Lze vidět, že při napájecím napětí 12 V svítí zelená LED dioda v pořadí třetí zleva a ostatní zleva za ní. Napětí 12 V je příliš malé na to, aby zajistilo dostatečný proud pro otevření T4 a rozsvícení D4, kterou při tomto napětí

protéká proud 1,54 mA, když toto porovnáme s obr. 2-11 zjistíme, že se skutečný obvod funguje stejně. V programu Eagle byla zhotovena předloha DPS (viz obr. A1 v příloze A) a ta následně realizována, osazena (viz obr. A2 v příloze A) a oživena viz obr. 2-11.



Obr. 2-10 Simulace – indikátor napětí AKU



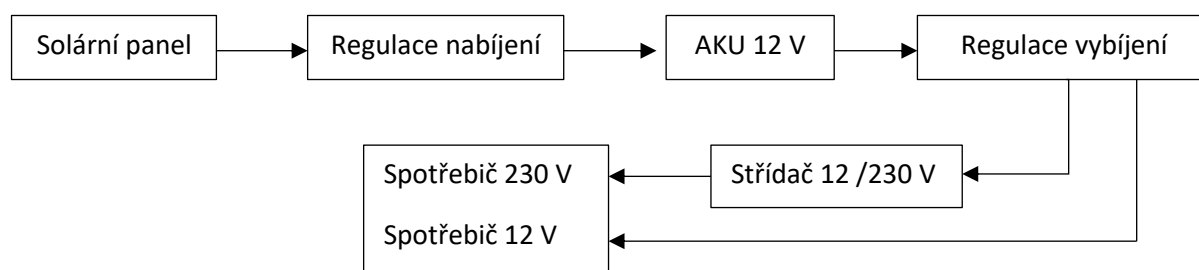
Obr. 2-11 Indikátor napětí AKU

2.9 Zařazení střídače do ostrovního solárního systému

Protože hlavním účelem tohoto zařízení je poskytovat zdroj střídavé elektrické energie spotřebičům zejména v místech bez rozvodu elektrické sítě a uvažuje se napájení pomocí akumulátoru, nabízí se možnost dobíjení akumulátoru solárním panelem a vytvoření tak jakéhosi soběstačného napájecího ostrovního systému.

Základem ostrovního solárního systému jsou fotovoltaické panely. V těchto panelech dochází k přeměně slunečního svitu na elektrickou energii, tato energie je pak přes ochranu proti přebíjení, která zamezuje poškození akumulátoru přiváděna na jeho svorky, kde je buď ihned odebírána střídačem a spotřebována spotřebiči, nebo v případě přebytku energie dobíjí akumulátor samotný. Ten slouží ke skladování elektrické energie v době, kdy solární panely nedodávají dostatek nebo žádnou energii do systému. Systém musí být též vybaven regulací vybíjení, která odstaví střídač v případě poklesu napětí akumulátoru pod minimální mez a zabrání tak zničení akumulátoru a případné rozkmitání řídicích obvodů vlivem podpětí.

2.9.1 Blokové schéma ostrovního solárního systému



Obr. 2-12 Blokové schéma solárního systému

2.9.2 Stanovení celkové průměrné spotřeby

Základním údajem pro dimenzování systému je stanovení celkové spotřeby elektrické energie. Uvažuje se napájení spotřebičů instalovaných v obytném přívěsu. Přehled spotřebičů s uvedeným příkonem lze vidět níže v následující tabulce:

Tabulka 2-1 Průměrná spotřeba spotřebičů

Spotřebič	Napájecí napětí (V)	Příkon (W)	Denní doba využití (hod)	Celková denní spotřeba (Wh)
osvětlení	12	15	3	45
notebook	230	45	3	135
rádio	230	10	6	60
nabíječky	230	30	2	60
				300

Dostáváme se tedy k celkové spotřebě cca 300 Wh/den, účinnost střídače a dobíjení je ovšem ztrátová, pokud budeme rezervou uvažovat účinnost soustavy cca 80 % dostáváme se přibližně k 380 W/h. Tato energie by měla být v ideálním případě dodávána solárním panelem, aby denní dodávka pokryla spotřebu energie a nedocházelo k trvalému vybíjení akumulátoru.

2.9.3 Návrh dimenzování akumulátoru

Z celkové spotřeby elektrické energie uvedené výše je patrné denní zatížení uvažovaného 12 V akumulátoru přibližně 32 Ah; akumulátor bude dobíjen solárním panelem, protože ne každý den mohou být příznivé sluneční podmínky, je nutno počítat s rezervou. Akumulátor tedy nemusí být dobit na svou plnou kapacitu. Pokud budeme uvažovat dvoudenní provoz bez dobíjení solárním panelem s ohledem na využitelnou kapacitu akumulátoru, což je cca 80 % jeho celkové kapacity, dostáváme se k akumulátoru o kapacitě přibližně 80 Ah při napětí 12 V.

Lze použít například trakční baterii od značky Banner Energy Bull 95601, 80 Ah, 12 V, hmotnost 20 kg, udávaná životnost výrobcem při hloubce vybití 50 % je přibližně 300-400 nabíjecích cyklů. Maximální uvažovaný dobíjecí proud poskytovaný solárním panelem nepřesáhne 6 A, a je tak splněno doporučení dobíjet akumulátor proudem rovnajícím se přibližně desetině kapacity baterie.

2.9.4 Návrh dimenzování solárního panelu

Solární články dělíme na organické a anorganické. Článek anorganický, tedy vyrobený z polovodičového materiálu, nejčastěji křemíku, dělíme na dva základní druhy: monokrystalické a polykrystalické.

1) Monokrystalické:

Tento druh panelu je složen z monokrystalických článků, jak už název napovídá, jedná se o jednolitý kus křemenného krystalu, jeho výroba je náročnější, struktura čistší a oproti článkům polykrystalickým má větší účinnost (15-18 %).

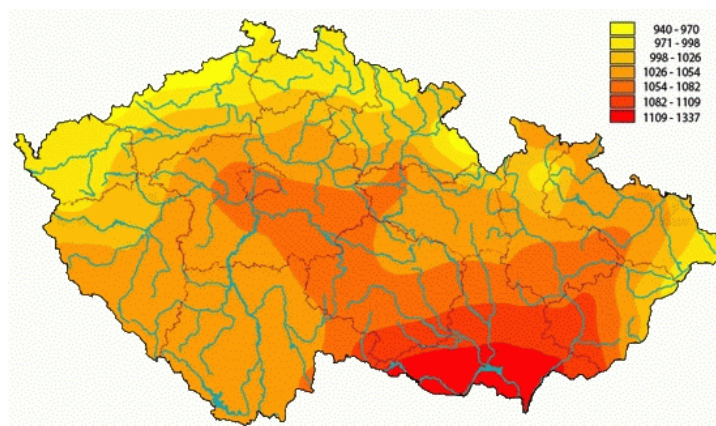
2) Polykrystalické:

Z menších krystalů je vyroben substrát, který je slisován do jednoho celku. Není ovšem dosaženo takové čistoty materiálu a vlivem přechodů mezi krystaly jsou

vyšší ztráty a nižší účinnost, která se pohybuje okolo (12-14 %). Jeho výroba je však jednodušší a levnější.

Při výběru vhodného solárního panelu je třeba vycházet především z průměrné denní spotřeby elektrické energie, která dosahuje 380 Wh/den a dále pak z průměrné denní výroby solárního panelu v letních měsících, pro které je použití systému uvažováno.

Budeme uvažovat polykrystalický solární panel o výkonu 100Wp s maximálním možným dodávaným proudem do systému 5,56 A. Je nutné ovšem počítat s nestálou dobou svitu a též rozhodujícím faktorem je roční období. Předpokládané použití ostrovního systému je v letních měsících, tedy nejpriznivějším ročním období pro velikost dopadajícího slunečního svitu. V letních měsících je množství vyrobené energie solárním panelem přibližně o 1/3 vyšší, než je průměrné množství energie vyrobené panelem v průměru celého roku. U 100 W panelu je to přibližně 0,27 kWh/den, v letních měsících to může dosahovat přibližné hodnoty 0,4 kWh/den. Tyto předpokládané údaje se přibližně shodují s údaji uvedenými na internetovém obchodu se solárními panely, online dostupné z: <https://www.jiraneck.cz/inpage/vypocet-solarniho-systemu/> (5/2019). Tato hodnota by měla být dostačující pro pokrytí denní spotřeby a případné dobíjení akumulátoru. [16]



Obr. 2-13 Mapa intenzity slunečního svitu v ČR [17]

2.10 Ochrana proti podpětí a přebíjení akumulátoru

K zamezení přebíjení akumulátoru a jeho vybití pod prahové napětí musí být ostrovní systém doplněn ochranou před těmito nežádoucími jevy. Ta je realizována pomocí ochrany proti přebíjení akumulátoru a podpět'ové ochrany. Skládá se z integrovaného obvodu LM 3914, tranzistorů PNP a relé použitých jako přepínače. Tento integrovaný obvod, který se používá nejčastěji jako indikátor vybití (*schéma indikátoru částečně převzato z [18]*), je napájen ze stabilizátoru napětí 7809, který by měl dodávat napájecí napětí int. obvodu 9 V. Napětí sledovaného akumulátoru 0-14,5 V je převedeno pomocí děliče tvořeného rezistory R4 a R5 na hodnotu 0-5 V připojeného na pin 5. Ten slouží jako vstup pro signál komparátorů napětí umístěných uvnitř integrovaného obvodu. Kondenzátory nacházející se u stabilizátoru napětí IC2 (LM7809) C1, C2 a C3 jsou zde pouze filtrační. [18]

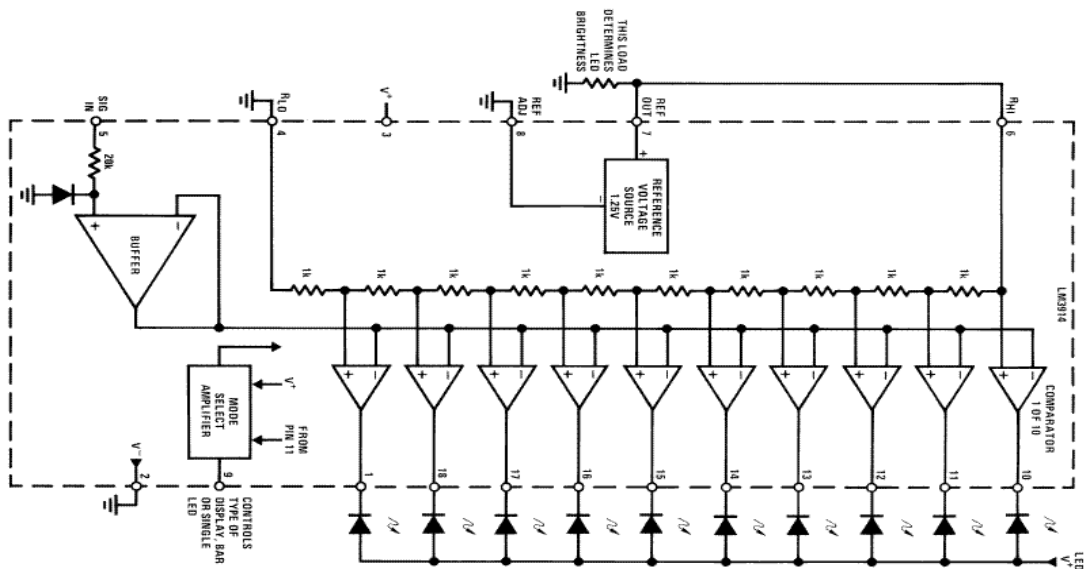
Dvojití trimrů P2, P3 a předřadného rezistoru (který byl nahrazen rovněž trimrem) lze nastavit rozsah indikovaného napětí, v našem případě to bude 10,5 V až 14,5 V, což jsou mezní hodnoty napětí, v jejichž rozsahu může akumulátor pracovat. Na vývod 1 integrovaného obvodu je připojena báze tranzistoru T2, která zajistí jeho otevření při dosažení minimálního napětí AKU 10,5 V. Při dosažení hodnoty napětí AKU na úroveň 12 V se vlivem překlopení komparátoru v LM 3914, který umožní tok proudu do báze T1 se tranzistor otevírá a proud protékající jeho emitorem, který je připojen na spínací cívku relé RE1, způsobí jeho sepnutí a připojí měnič k akumulátoru. Při poklesu napětí pod 12 V zůstává ovšem RE1 stále sepnuté díky proudu tekoucímu přes jeho přídržné kontakty do ovládací cívky. Při poklesu napájecího napětí pod 10,5 V se zavírá T2, dojde k přerušení toku proudu do vinutí relé RE1 a akumulátor je od střídače odpojen.

Ochrana proti přebíjení zabrání dodávce energie ze solárního panelu do akumulátoru v případě dosažení jeho maximálního napětí 14,5 V. V tomto případě odpojí relé RE2 panel od akumulátoru. Při dosažení velikosti napětí AKU 14 V dojde k otevření tranzistoru T4, kontakt P1 relé RE2 zůstává v klidu rozepnutý, kontakt P2 je rozpínací, je tedy v klidu sepnutý a zajišťuje propojení panelu pro dobíjení akumulátoru. Při dosažení velikosti napětí AKU 14,5 V dojde k sepnutí relé RE2, kontakt P1 je již držený v sepnuté poloze, P2 je rozepnutý až do poklesu napětí AKU do velikosti 14 V

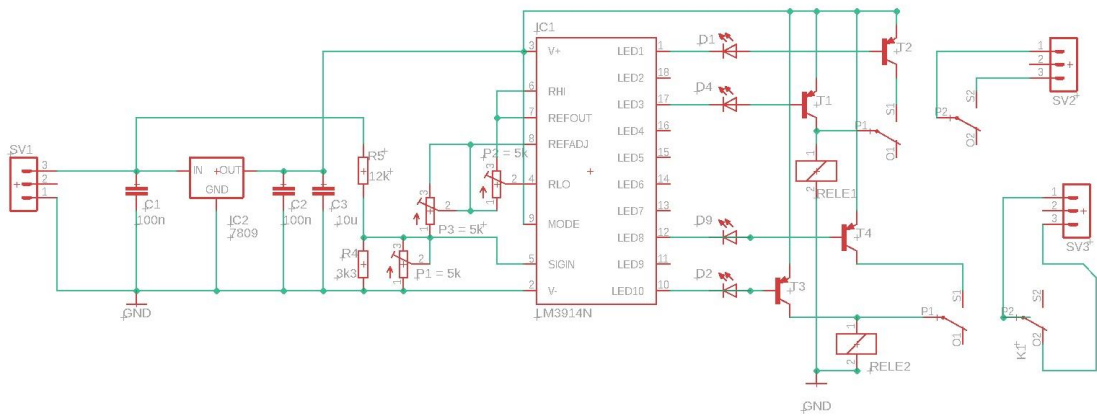
a odpojí panel od akumulátoru. Odstupňování spínacího a rozpínacího napětí dvojicí tranzistorů T1, T2 a T3, T4 zabraňuje rozkmitání obvodu.

U Bipolárních tranzistorů PNP T1-T4 je nutné splnit, aby maximální proud tekoucí ze stabilizátoru LM7809 do cívek relé nebyl větší než maximální dovolený proud kolektorem tranzistoru, též maximální dovolené napětí báze – emitor, resp. báze – kolektor musí vydržet napětí stabilizátoru 9 V, jinak by bylo nutné zařazení předřadného odporu báze.

Relé by měla mít cívku dimenzovanou na spínací napětí 6 V, pokud uvažujeme dovolené rozmezí ovládacího napětí cívky $1,5 - 0,75 U_n$, což splňuje například relé značky Finder, typ 40.52.9.006, který byl použit. Musíme totiž počítat s úbytkem napětí na tranzistorech $2 \times 0,7 \text{ V}$ a cívka též musí vydržet i napětí 9 V, které se objeví na cívce relé v případě sepnutí přídržného kontaktu.

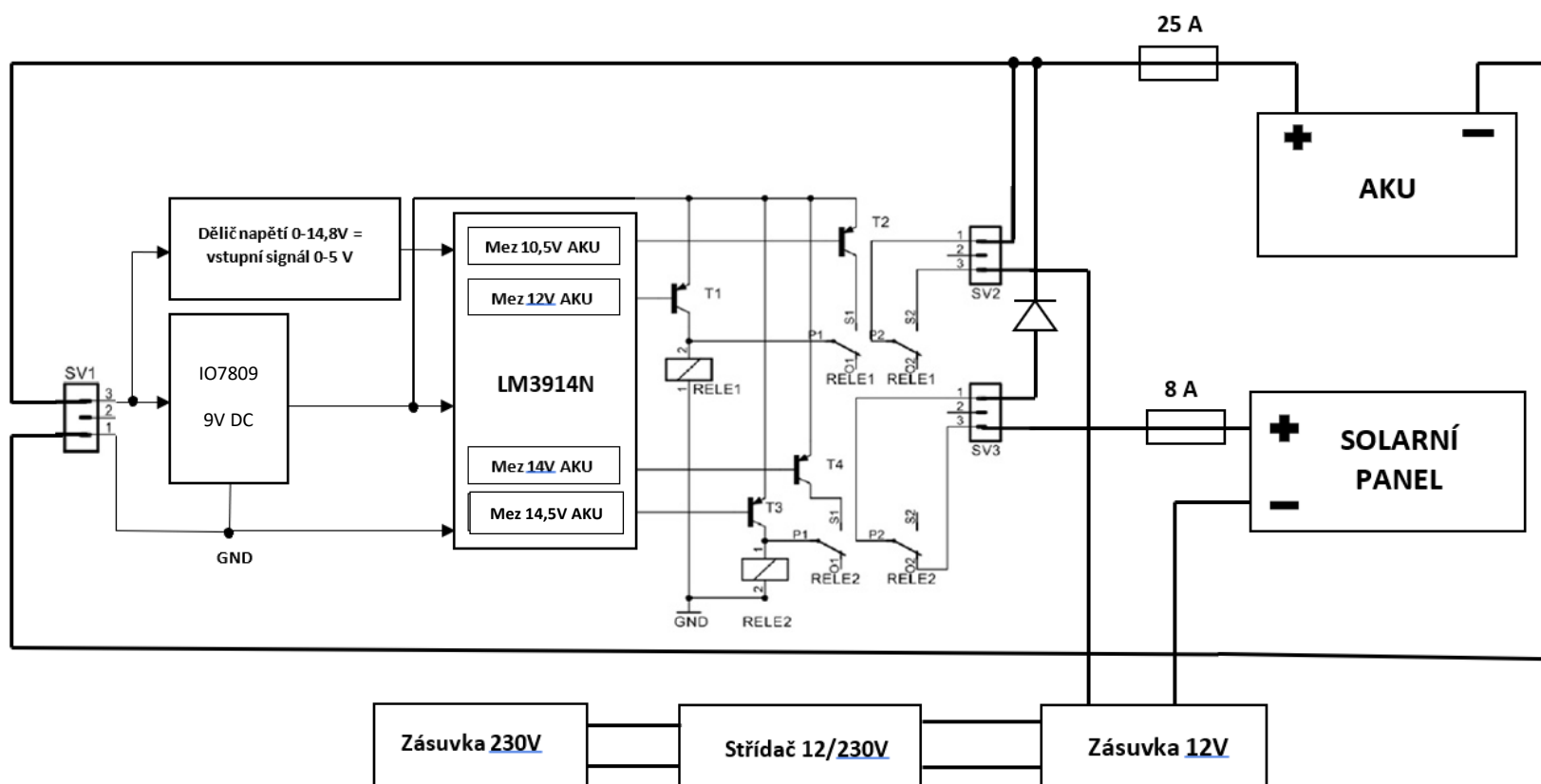


Obr. 2-14 Vnitřní schéma zapojení IO LM 3914 [19]



Obr. 2-15 Schéma zapojení ochran proti podpětí a přebíjení

BLOKOVÉ SCHÉMA OSTROVNÍHO NAPÁJECÍHO SYSTÉMU



Obr. 2-16 Blokové schéma ostrovního napájecího systému

3 PRAKTICKÁ ČÁST

Výsledné schéma střídače (viz. *Příloha B Obr. A1 Schéma střídače*), indikátoru napětí AKU, ochrany proti podpětí a přebíjení bylo překresleno v softwaru Eagle, kde byly vytvořeny předlohy pro výrobu DPS. Desky plošných spojů byly vyrobeny metodou fotorezistu. Předlohy pro DPS a celková schémata jsou uvedeny v přílohách. Pro méně obvyklé typy součástek nezahrnuté v knihovně programu byla nakreslena jejich pouzdra v reálném měřítku. Byla použita jednostranná deska, snahou bylo vytvoření co nejkratších spojů zejména pro řídicí část elektroniky, které mají nízkou hodnotu napětí a jsou náchylné na rušení od silové části. Cesty na DPS vedoucí od výkonových tranzistorů směrem k fastonum pro připojení transformátoru a cesty k přepínacím kontaktům relé byly zesíleny vrstvou cínu a mědi.

3.1 Konstrukce

Desky s plošnými spoji bylo třeba vyvrtat vrtáky různých velikostí. Proto byly nejdříve vyvrtány díry o průměru 0,8 mm a poté některé otvory pro součástky větších velikostí převrtány na příslušné průměry. Výkonové cesty byly zesíleny vrstvou cínu a mědi. Mezi chladič a výkonové tranzistory byly z důvodu použití společného chladiče a jejich vzájemné izolace vloženy slídkové podložky. Kvůli lepší tepelné vodivosti na rozhraní tranzistor-chladič byla použita teplovodná pasta. Konektory, fastony, vypínače a silové cesty byly pájeny výkonovým pájedlem 100 W, které by běžnou mikropájkou nebylo možné uskutečnit. Samotný střídač (elektronika), ochrana proti podpětí a přebíjení, indikátor stavu napětí AKU, toroidní transformátor, kabeláž a zásuvka byly umístěny do plastové krabičky, jejíž rozměry jsou specifikovány ve výkresech v příloze C. Jednotlivé části zařízení (střídač, indikátor a ochrana) byly napřed sestaveny samostatně, oživeny a ozkoušeny každá zvlášť a až poté, co byla ověřena jejich správná funkce, byly vzájemně propojeny dle schéma na *Obr. 2-16 Blokové schéma ostrovního napájecího systému*.



Obr. 3-1 Pohled shora na toroidní transformátor a střídač umístěný v plastové krabičce. Vodiče byly následně vyvedena bokem, aby nebránily proudění vzduchu chladičem.

3.2 Oživovací postup střídače

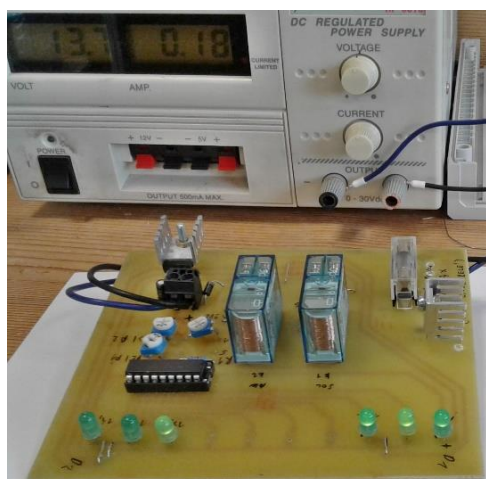
Po osazení všech součástek připojíme střídač adekvátně dimenzovanými vodiči (předpokládáme-li možnost proudového zatížení cca 8 A na mm² průřezu měděného vodiče, 2,5 mm² by již mělo být průřezem dostatečným) na stabilizovaný zdroj ($U_{\text{out}} = 12 \text{ V}$; $I_{\text{out max}} = 25 \text{ A}$), pokud takový zdroj nemáme k dispozici, použijeme vhodný akumulátor. Dále budeme potřebovat dvojice multimetrů a osciloskop. V prvním kroku nastavíme podpěťovou ochranu střídače na vypnutí při poklesu napájecího napětí pod 10,5 V. Trimr P1 se vytočí doleva; po připojení nesmí svítit dioda D1 (zelená LED). Velmi pomalým otáčením trimrem P1 doprava se snižuje napětí na komparátoru IO494 - vývod (5) - až na 5 V, kdy se komparátor překlápí, sepne tím tyristor Ty1, D1 svítí a na výstupech 8 a 11 IO1 je 12 V a na kolektorech budících tranzistorů 0 V. Spínací tranzistory jsou trvale uzavřeny a měnič přestane pracovat. Opětovné zvýšení napájecího napětí např. v důsledku odlehčení baterie nic nezmění, měnič je stále neaktivní, protože tyristor Ty1 udrží sám sebe v sepnutém stavu. Znovu rozběhnutí střídače je tedy možné až přímým odpojením a připojením napájení hlavním vypínačem. V dalším kroku zkontrolujeme činnost budičů (v ideálním případě osciloskopem) na kolektorech výkonových tranzistorů (1 nožička zleva), pootáčením trimru P2 se mění od 2 do cca 4,6 V. Trimrem P2 tedy ovlivňujeme šířku budících pulsů a výsledné napětí střídače. Pokud toto vše správně funguje, připojíme transformátor.

Na další oživování jsou třeba dva voltmetry; střídavý volmetr připojíme na svorky zásuvky 230 V. Trimr P2 vytočíme doleva, zapneme napájení 12 V, přepínač se nachází v poloze „nastavení“, trimrem P2 nastavíme na střídavém voltmetru napětí

230 V. Dále připojíme voltmetr na vývod 3 OZ2 a trimrem P4 nastavíme hodnotu napětí 6 V. Poté připojíme voltmetr na vývod 4 IO1, napětí by mělo být asi 1,1 až 1,4 V. Voltmetr připojíme na běžec trimru P3 a tímto trimrem nastavíme na vlastním běžci napětí stejné jako na vývodu 4 IO1. Dále pak přepneme přepínač Př1 z levé polohy nastavení doprava (poloha automatické regulace napětí) a připojíme tím zpětnovazební regulační smyčku. Následně trimrem P3 snížíme napětí na 225 V a trimrem P4 dorovnáme zpět na 230 V. Přepínač po oživení zůstává trvale v poloze „automatická regulace“ (doprava). Za provozu se nesmí s přepínačem Př1 jakkoliv manipulovat. [2]

3.2.1 Oživovací postup ochrany proti podpětí a přebíjení akumulátoru

Na piny 1 a 3 svorkovnice SV1, ze které je napájen obvod ochrany proti podpětí a přebíjení, bylo připojeno napětí akumulátoru (stabilizovaného zdroje). Trimrem P2 byla nastavena minimální hodnota napětí AKU na 10,5 V při níž dojde k překlopení komparátoru na pinu 1 a otevření T2, LED D1 svítí. Při dosažení hodnoty AKU 12 V se rozsvítí LED D3, tranzistor T1 sepne a akumulátor je připojen ke střídači. Trimrem P3 byla nastavena maximální hodnota napětí AKU na 14,5 V, při níž dojde k překlopení komparátoru na pinu 10, rozsvícení LED D2 a otevření T3. Na piny 1 a 3 svorkovnice SV2 byla připojena zásuvka 12 V a paralelně k ní střídač napětí 12 V/ 230 V. Piny 1 a 3 svorkovnice SV3 pak slouží k připojení solárního panelu. Na obr. 3-2 si lze všimnout, že při napětí zdroje 13,7 V svítí diody signalizující napětí D1, D3, D4 (zprava) signalizující připojení AKU ke střídači, a rovněž svítí LED D9 při této hodnotě napětí na zdroji. Nebylo ovšem dosaženo hranice pro odpojení solárního panelu 14,5 V, LED D2 tedy nesvítí, tranzistor T3 zůstává zavřený a solární panel je připojen do systému.



Obr. 3-2 Obvod ochrany proti podpětí a přebíjení akumulátoru v průběhu oživování

3.3 Měření

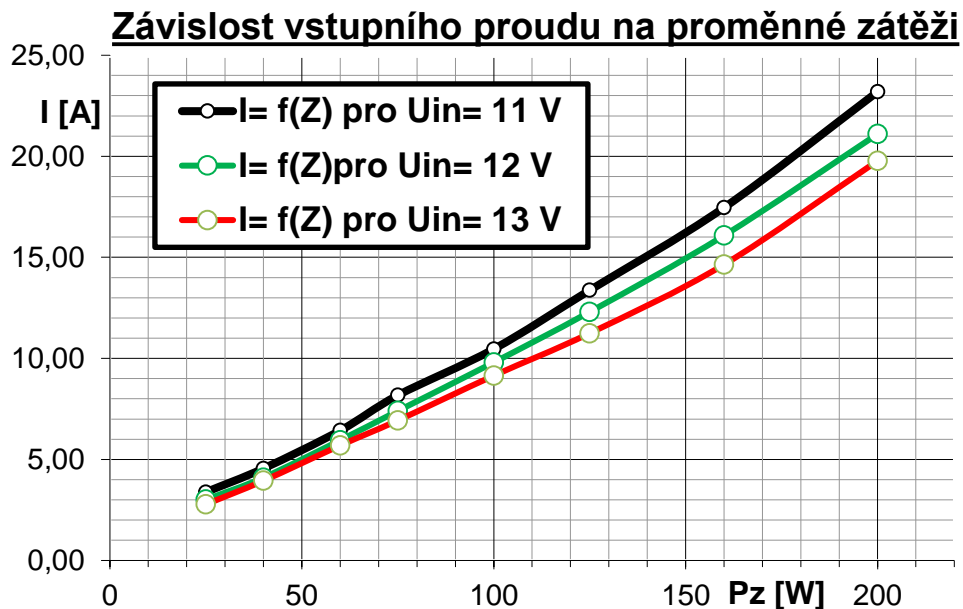
Pro ověření správné funkce střídače a zjištění jeho některých parametrů bylo provedeno několik měření. Na měniči byla provedena série měření pro zjištění odebíraného proudu ze zdroje v závislosti na různých velikostech zatěžovacích prvků, měření výstupního napětí v závislosti na použité zátěži; byla spočítána účinnost zařízení a pomocí funkce printscreen digitálního osciloskopu byly zjištěny tvary budících impulsů na výkonových tranzistorech a charakter výstupního napětí střídače.

3.3.1 Měření vstupního (odebíraného) proudu

Vstupní proud byl měřen pomocí ampérmetru. Jako zátěž byla použita paralelní kombinace vláknových žárovek 25 W, 40 W, 60 W, 75 W a 100 W v závislosti na potřebném příkonu.

Tabulka 3-1 Hodnoty odebíraného proudu

U_{IN} [V]	P_z [W]	25	40	60	75	100	125	160	200
11	I [A]	3,38	4,55	6,43	8,17	10,46	13,37	17,46	23,19
12	I [A]	3,01	4,1	5,95	7,4	9,8	12,3	16,08	21,1
13	I [A]	2,78	3,95	5,69	6,93	9,15	11,25	14,64	19,78



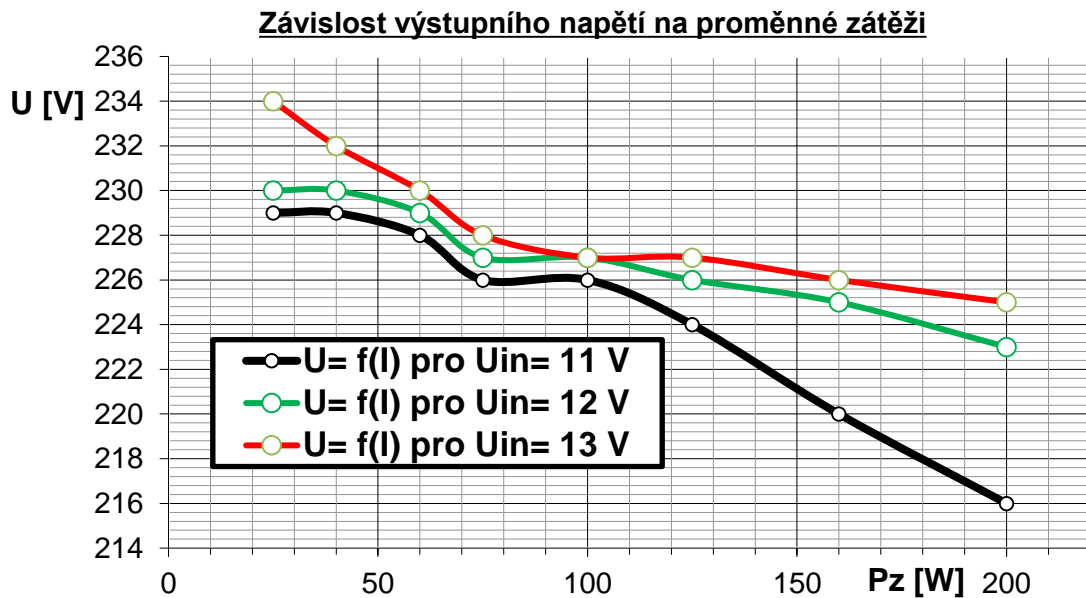
Obr. 3-3 Graf – závislost odebíraného proudu na proměnné zátěži

3.3.2 Měření výstupního napětí

Měření výstupního napětí proběhlo obdobně jako měření výstupního proudu, jako zátěž byla použita kombinace vláknových žárovek.

Tabulka 3-2 Hodnoty výstupního napětí

U_{IN} [V]	P_z [W]	25	40	60	75	100	125	160	200
11	U [V]	229	229	228	226	226	224	220	216
12	U [V]	230	230	229	227	227	226	225	223
13	U [V]	234	232	230	228	227	227	226	225



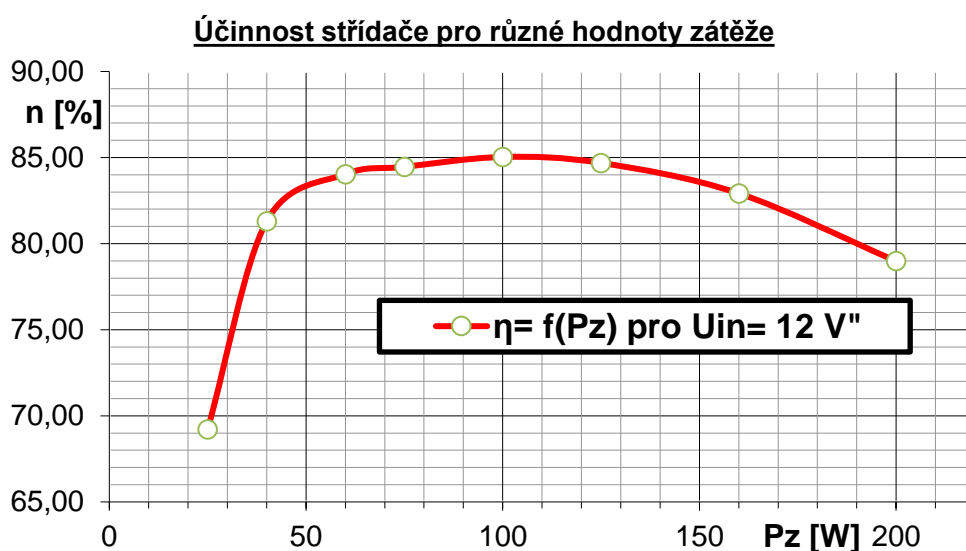
Obr. 3-4 Graf – závislost výstupního napětí na proměnné zátěži

3.3.3 Výpočet účinnosti

Účinnost byla vypočítána jako podíl výstupního výkonu odebíraného zátěží a součinu vstupního stejnosměrného napájecího napětí spolu s odebíraným proudem z napájecího akumulátoru. Z grafu lze vidět, že nejlepší účinnosti cca 85 % měnič dosahuje pro zátěž 100 W.

Tabulka 3-3 Výpočet účinnosti

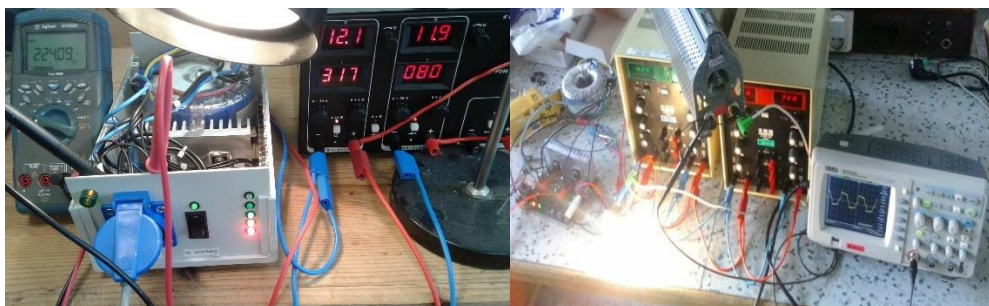
U_{IN} [V]	P_z [W]	25	40	60	75	100	125	160	200
12	$I_{IN,DC}$ [A]	3,01	4,1	5,95	7,4	9,8	12,3	16,08	21,1
	η [%]	69,21	81,30	84,03	84,46	85,03	84,69	82,92	78,99



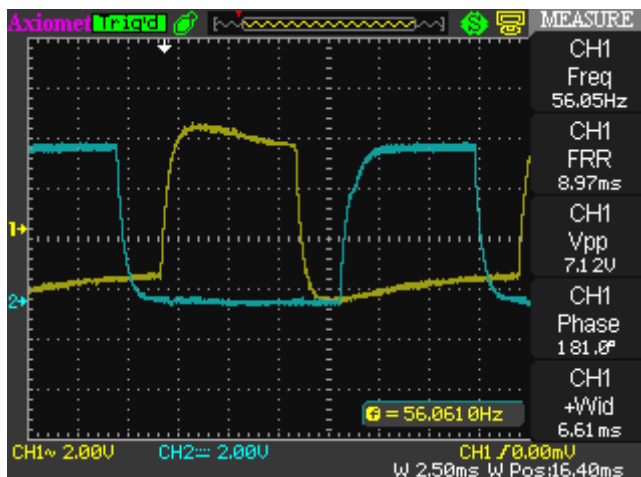
Obr. 3-5 Graf – účinnost střídače v závislosti na hodnotě připojené zátěže

3.3.4 Průběhy napětí na střídači a foto realizace zařízení

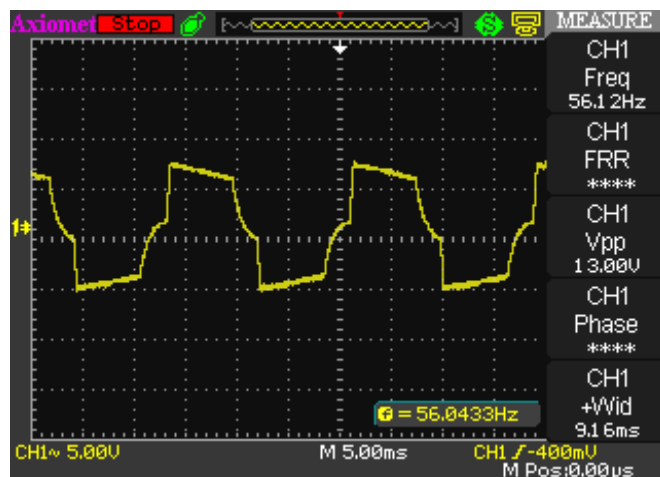
Pomocí funkce printscreen na digitálním osciloskopu bylo možné zobrazit jednotlivé průběhy napětí na různých částech střídače. Pro měření výstupního napětí 230 V AC bylo použito sondy v režimu 1:10 kvůli maximálnímu rozsahu osciloskopu. Protože ani maximální zmenšení vertikální osy na displeji osciloskopu nestačilo, bylo výstupní napětí odebráno pomocí sondy přes napěťový dělič.



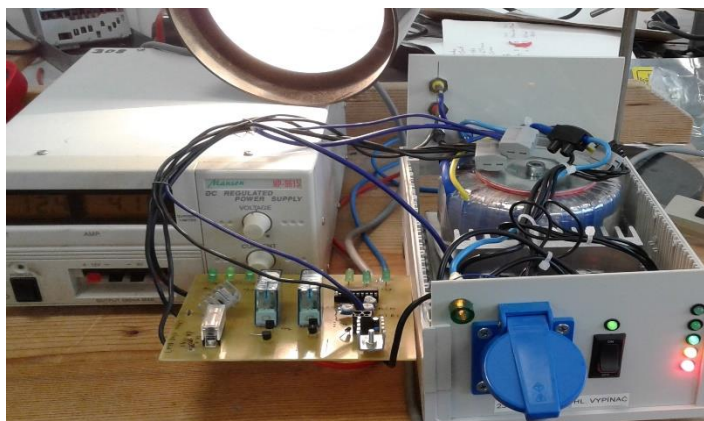
Obr. 3-6 Střídač v průběhu měření



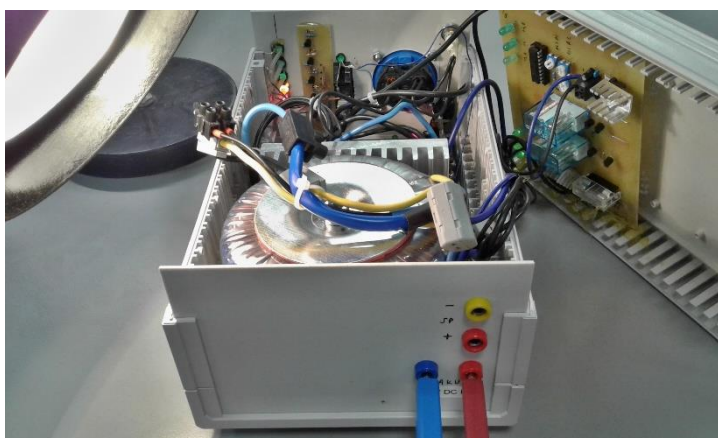
Obr. 3-8 Printscreen displeje osciloskopu: Průběhy napětí budících tranzistorů



Obr. 3-7 Printscreen displeje osciloskopu: Tvar výstupního napětí při zátěži 100 W



Obr. 3-9 Stabilizovaný zdroj 12 V DC napájející střídač (zleva), obvod ochran proti podpětí a přebíjení, střídač v provozu napájející stolní lampu 230 V. Lze si též všimnout LED indikátoru hodnoty napětí zdroje (čelo střídače).



Obr. 3-10 Zadní čelo střídače spolu s DPS ochran, lze si všimnout umístěných zdířek pro připojení akumulátoru (horizontálně) a zdířek pro připojení solárního panelu (vertikálně)



Obr. 3-11 Finální podoba střídače, zelená doutnavka vlevo nahore signalizuje živý výstup zásuvky 230 V AC

3.4 Mechanická část

Střídač (elektronika), transformátor, obvod ochran, indikátor napětí a ostatní komponenty byly umístěny do plastové krabice o parametrech specifikovaných v technických výkresech uvedených v příloze C. Výkresy byly kresleny v programu Autocad. Jedná se pouze o náčrt (velikost zobrazených obrázků není v měřítku), zakótované rozměry však odpovídají skutečnosti.

4 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo sestrojít jednofázový DC/AC střídač napětí přizpůsobený pro začlenění do ostrovního napájecího systému se zdánlivým výkonem $S = 250 \text{ VA}$, napájený napětím 12 V DC a efektivní hodnotou střídavého výstupního napětí $U_{\text{ef}} = 230 \text{ V}$. Práce se dále zabývala dimenzováním výkonových obvodů, návrhem vhodného transformátoru, návrhem a konstrukcí chlazení výkonových tranzistorů, konstrukcí indikace napájení, návrhem a dimenzováním ochran proti podpětí a přebíjení akumulátoru a možností jeho začlenění do „ostrovního napájecího solárního systému“. Navržená schémata obvodů byla nejprve překreslena v programu Eagle, kde byla vyhotovena předloha pro výrobu DPS a desky byla následně vyleptány metodou fotorezistu.

Střídač pracuje na principu jednočinného propustného měniče s transformátorem, součástí zařízení je též zpětnovazební regulační smyčka reagující na proměnou zátěž přizpůsobením velikosti střídavy pro budiče a spínání výkonových tranzistorů. Velikost střídavy pro budící tranzistory lze též nastavit napevno přepnutím P1 doleva. Pokles výstupního napětí se zpětnovazební regulací při uvažovaném napájení střídače 12 V DC a zátěži 200 W dosahuje nejvýše 7 V , což odpovídá cca 3% poklesu oproti hodnotě 230 V , střídač tak s velkou rezervou splňuje požadavek na maximální přípustné kolísání síťového napětí $\pm 10 \%$ a lze ho považovat za napěťově tvrdý zdroj. Frekvence výstupního napětí s použitým RC oscilátorem dosahuje 56 Hz , což vyhovuje většině zařízení pracujících v rozmezí $50\text{-}60 \text{ Hz}$. Odběr proudu střídače při chodu naprázdno je asi $0,7 \text{ A}$.

Dimenzování výkonových tranzistorů a silových obvodů bylo provedeno pro maximální špičkový proud $23,13 \text{ A}$. Jako výkonový tranzistor byl zvolen typ MOSFET IRFP064N s určeným $P_{\text{ZTR}} = 14,5 \text{ W}$. Byla vypočtena hodnota maximálního tepelného odporu chladiče $4,05 \text{ }^\circ\text{C/W}$. Jako chladič byl zvolen hliníkový profil s žebrováním o neznámém tepelném odporu, který byl pomocí měření ustáleného oteplení a výpočtů stanoven na $2,3 \text{ }^\circ\text{C/W}$ a splňuje tedy požadavek na vhodný chladič. Jako transformátor byl použit toroid se zdánlivým výkonem 250 VA , 29 závitů primárního vinutí a 656 závitů vinutí sekundárního. Zařízení je vybaveno indikátorem velikosti napájecího napětí, tvořeného bargrafem 5 LED, jeho ideální rozsah byl doladěn v simulačním appletu Falstad simulator.

Práce se dále zabývala zařazením a přizpůsobením střídače pro ostrovní napájecí systém, který nachází využití jako zdroj el. energie například pro letní obytný karavan. Jako primární zdroj energie střídače byl použit trakční akumulátor Banner Energy Bull 95601 / 80 Ah / 12 V, jehož dobíjení zajišťuje solární polykrystalický panel o maximálním výkonu 100 W a proudu do 6 A. Návrh počítá se zajištěním dodávky el. energie v průměru 300 W/h denně a možností napájení z akumulátoru po dobu dvou dnů bez dobíjení solárním panelem.

Vhodná mez vybití a nabití akumulátoru je zajištěna pomocí ochrany proti podpětí a přepětí akumulátoru, kterou tvoří IO 3914, čtyři bipolární tranzistory PNP a dvojice výkonových relé, která při poklesu napětí pod 10,5 V odpojí AKU od střídače, a naopak při dosažení 14,5 V odpojí solární panel od baterie a zabrání tak jejímu přebíjení. Rozmezí obou hodnot lze nastavit trimry P2 a P3. Pro dvojici výkonových relé byl použit typ 40.52.9.006 značky Finder s maximálním zatížením spínacích kontaktů 8 A (z důvodu krátkodobé nedostupnosti vyšší řady), což je dostačující hodnota pro spínání sol. panelu, avšak pro spínání akumulátoru je nutné použít relé s min. proudovou zatížitelností 20 A. Pro ověření správnosti funkce je však dostačující. Obvod tak nahradil původně navrženou podpěťovou ochranu, realizovanou pomocí IO 494 a Ty1, neboť ta znemožňovala automatické znovu připojení střídače ke zdroji a vlivem překmitů při rozběhu střídače reagovala nevhodně. Správnost reakce ochrany byla ověřena známou hladinou napětí stabilizovaného zdroje.

Dalšími měřeními byla zjištěno, že účinnost měniče je cca 85 % v rozmezí zátěže 60-125 W, dále pak kolem 80 %. Vhodnost střídače napájet kromě zátěží odporového charakteru i jiné spotřebiče byla ověřena připojením např. laptopu nebo rádia. Dalšího zvýšení účinnosti celého systému by bylo možné dosáhnout např. zařazením spínaného regulátoru dobíjení za solární panel pro vyšší efektivitu dobíjení akumulátoru.

5 LITERATURA

- [1] Měníče napětí [online]. [cit. 2018-10-10]. Dostupné z: <http://www.menice-napeti.net/>
- [2] Praktická Elektronika - 2003/03 [online]. [cit. 2018-10-10]. Dostupné z: https://kupdf.net/download/prakticka-elektronika-2003-03_5a023d5fe2b6f5126b53020e_pdf
- [3] PATOČKA, M.: *Magnetické jevy a obvody ve výkonové elektronice, měřicí technice a silnoproudé elektrotechnice*. 1. vyd. V Brně: VUTIUM, 2011, 564 s. ISBN 978-80-214-4003-6.
- [4] Datasheet TL494CN [online]. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-569876278-generator-pwm-tl494cn-5-piezas--JM?quantity=1>
- [5] Vnitřní Schéma zapojení TL494CN [online]. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://electronics.stackexchange.com/questions/51325/tl494cn-and-error-amplifier>
- [6] Tranzistor [online]. [cit. 2018-12-12]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Unipol%C3%A1rn%C3%AD_tranzistor
- [7] FROHN M., OBERTHUR W., SIEDLER J., WIERNER M. a ZASTROW P.: *Elektronika - polovodičové součástky a základní zapojení, učebnice elektroniky*. 480 stran B5 / brožovaná V2. ISBN 80-7300-123-3 9788073001230.
- [8] CENEK, M., JINDRA, J., JON, M., KAZELLE, J. a VRBA, J.: *Akumulátory od principu k praxi*. Praha: FCC Public, 2003. ISBN 80-86534-03-0.
- [9] Datasheet Tranzistor IRFP064 [online]. [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: <https://www.vishay.com/docs/91201/91201.pdf>
- [10] PATOČKA, M.: *Vybrané statě z výkonové elektroniky: Svazek I – Tepelné jevy, činný výkon*. Vyd. 3. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky, 2004. ISBN 80-214-2742-6.
- [11] MASTNÝ, P., MIŠÁK, S., MACHÁČEK, J., PTÁČEK, M., PAVELKA, T. a BARTOŠÍK, T.: *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vydání první. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [12] Technologie olovených akumulátorů [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <https://www.autobaterie-pema.cz/cs/technologie-agm-gel-efb.html#.XN11L8gzZPY>
- [13] Olovené akumulátory a jejich nabíjení [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <http://www.hwworld.cz/index.php/clanky/454-nabijeni-olovenych-akumulator>

- [14] VÍTEK, O.: *Výpočet jednofázového transformátoru*. Květen 2013, učební materiál elearning FEKT VUT.
- [15] Schéma indikátor napětí autobaterie [online]. [cit. 2019-03-04]. Dostupné z: <http://www.elektronikacz.borec.cz/Data/Indikator%20napeti%20autobaterie.htm>
- [16] Úvod do fotovoltaických systémů [online]. [cit. 2019-03-04]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>
- [17] Mapa intenzity slunečního svitu v ČR [online]. [cit. 2019-03-04]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/index.php?rs=4&rl=2010012104&rm=15:91>
- [18] Indikátor vybuzení, napětí stavu aku [online]. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://www.scriub.com/limba/ceha-slovaca/Indikator-napt-akumultor1011924165.php>
- [19] Texas instruments: Datasheet LM 3914 [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <http://www.ti.com/product/LM3914#>

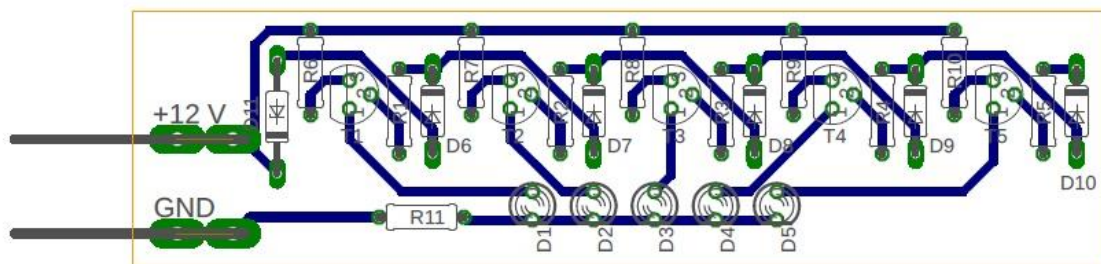
6 SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

AC	Alternating Current
B_{MAX} [T]	maximální hodnota magnetické indukce
C [μ F]	elektrická kapacita
DC	Direct Current
DPS	Deska Plošného Spoje
f [Hz]	frekvence
I_B [A]	proud odebíraný akumulátorem
I_d [A]	střední hodnota proudu za usměrňovačem
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
I_z [A]	proud zátěže
kpcu [-]	činitel plnění mědi
kpfe [-]	činitel plnění železa
L [H]	indukčnost
OZ	Operační Zesilovač
PWM	Pulse Width Modulation
R [Ω]	elektrický odpor
s [-]	střída
U_B [V]	napětí na svorkách nabíjeného akumulátoru
U_{be} [V]	napětí báze-emitor
U_{ce} [V]	napětí kolektor-emitor
U_d [V]	střední hodnota napětí po usměrnění
$U_i(t)$ [V]	okamžitá hodnota napětí
UPS	Uninterruptible Power Supply
U_z [V]	napětí na výstupu stejnosměrného střídače
Ψ [Wb]	spřažený magnetický tok
σ [A/m ²]	proudová hustota
ω [rad/s]	úhlová rychlost

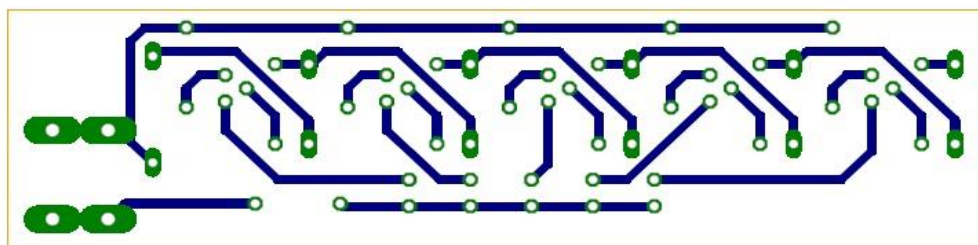
7 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A	Předlohy DPS	56
Příloha B	Schéma střídače	59
Příloha C	Výkresy krabička	60
Příloha D	Soupiska součástek.....	61

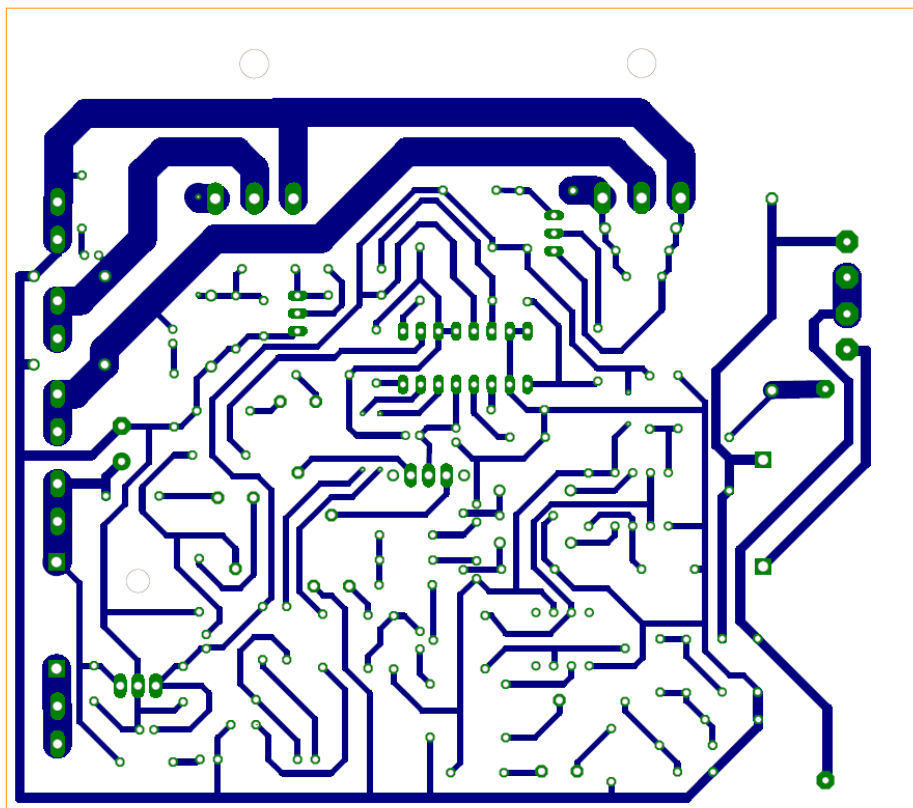
8 PŘÍLOHA A



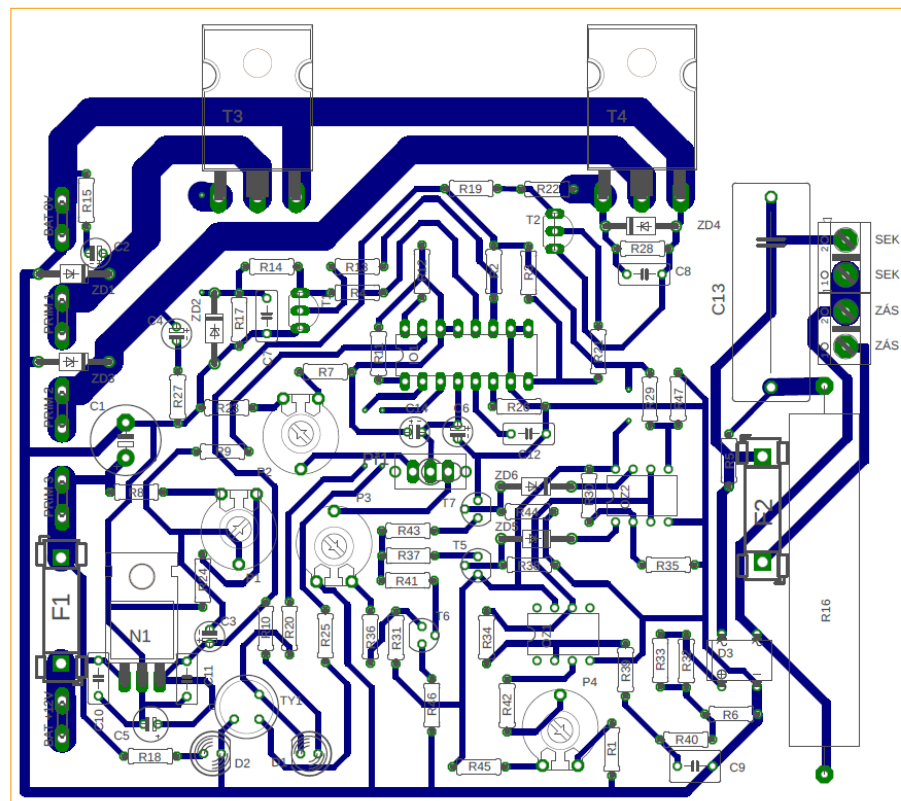
Obr. A1 Osazovací plán - indikátor napětí AKU



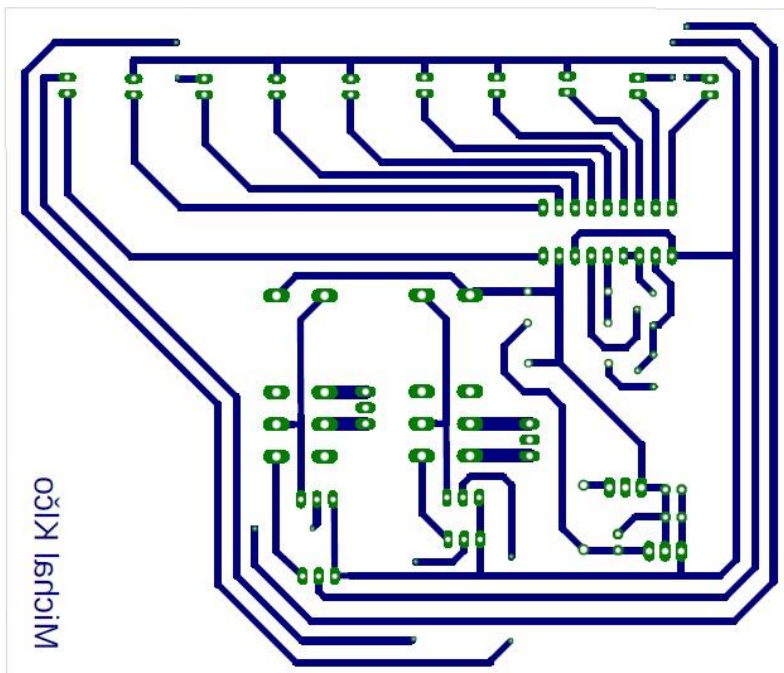
Obr. A2 Předloha DPS - indikátor napětí AKU



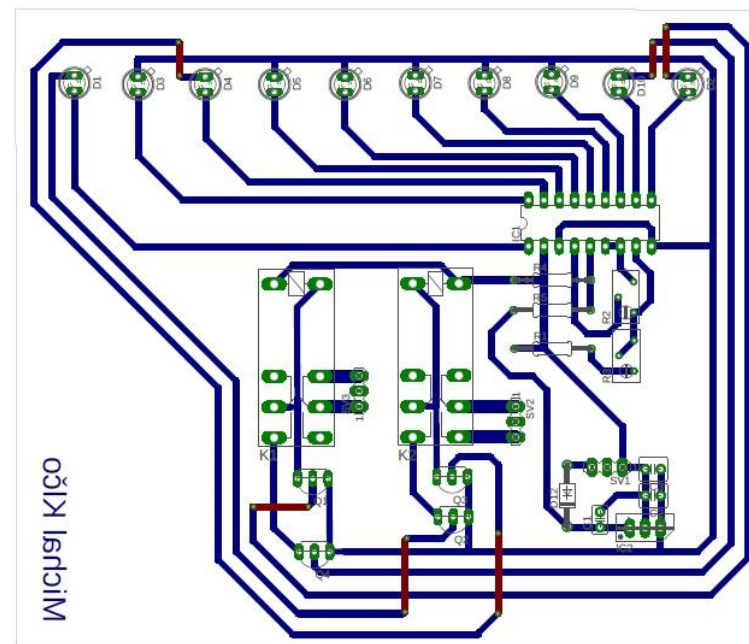
Obr. A3 Předloha DPS střídače



Obr. A4 Osazovací plán střídače

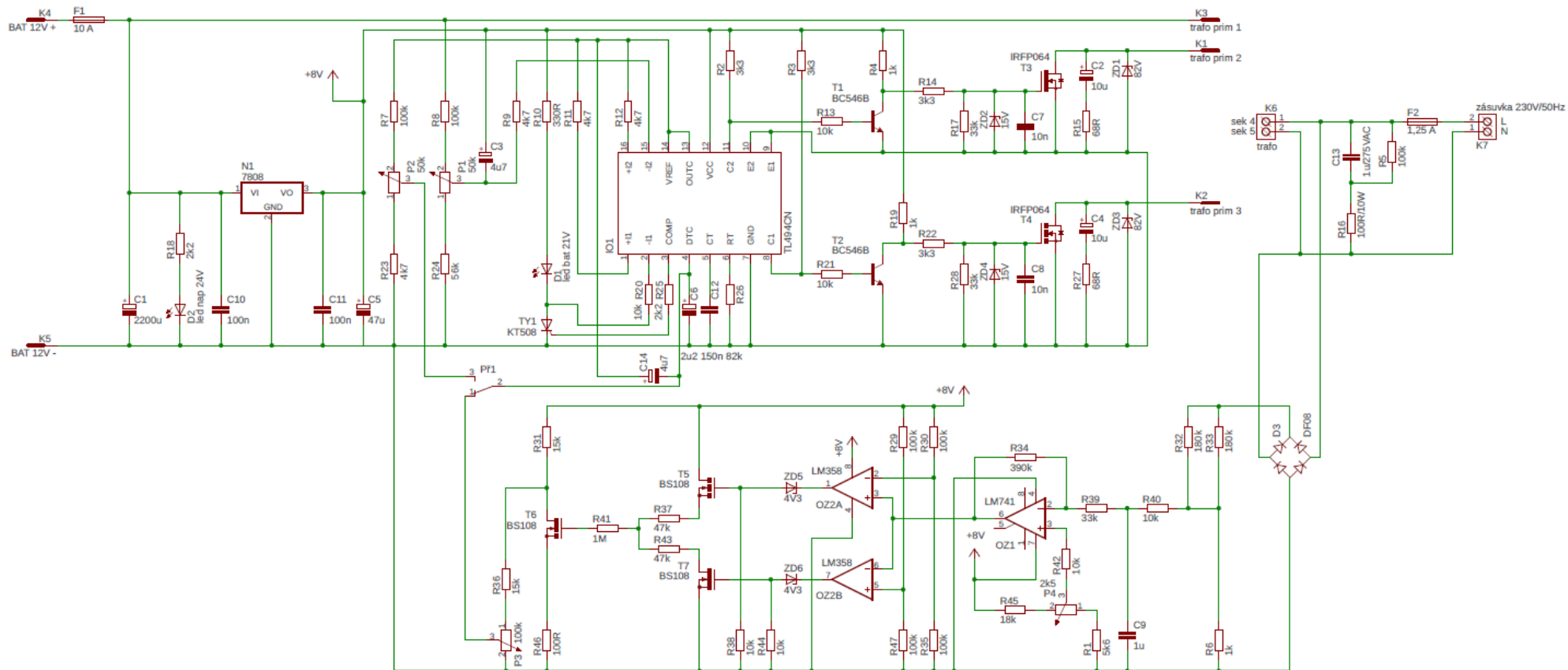


Obr. A5 Předloha DPS ochran proti podpětí a přebíjení



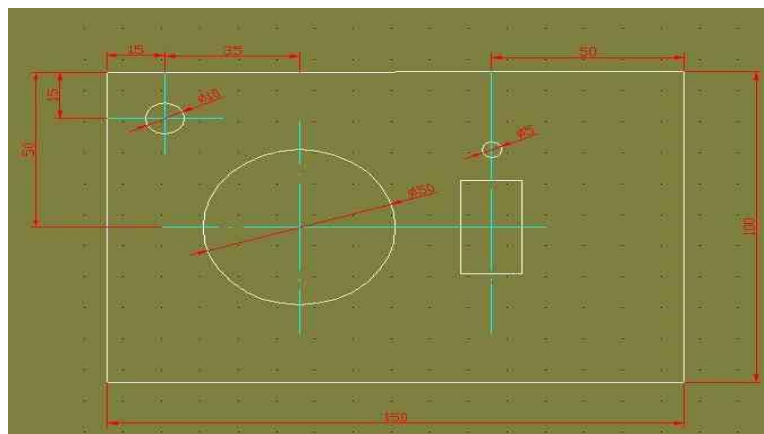
Obr. A6 Osazovací plán ochran proti podpětí a přebíjení

9 PŘÍLOHA B

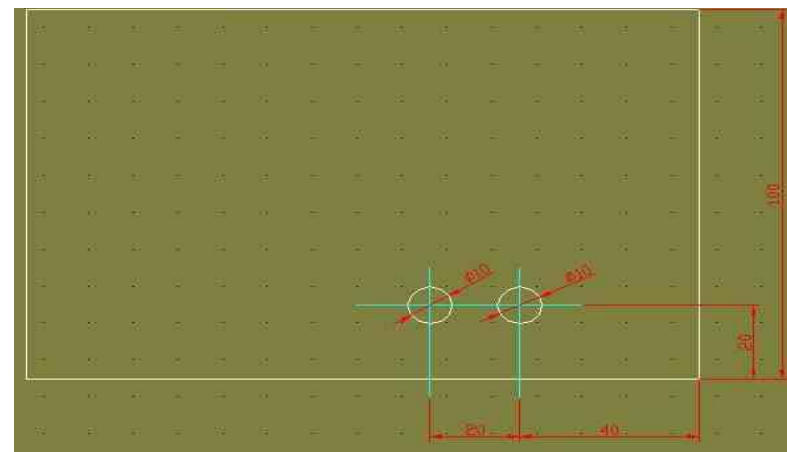


Obr. B1 Schéma střídače [2]

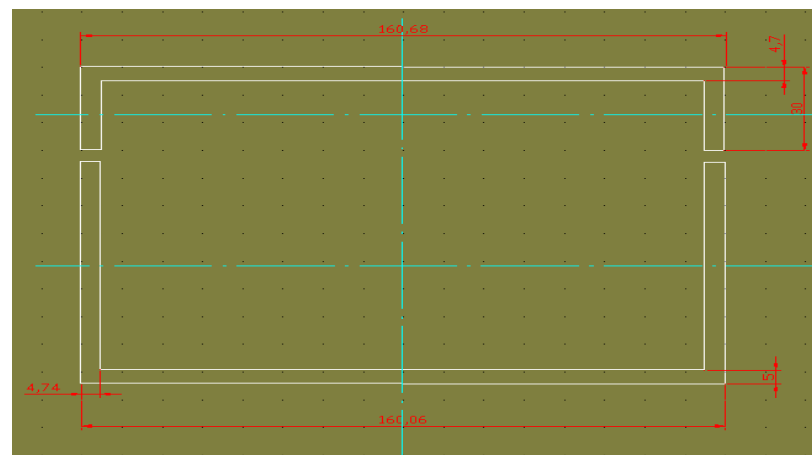
10 PŘÍLOHA C



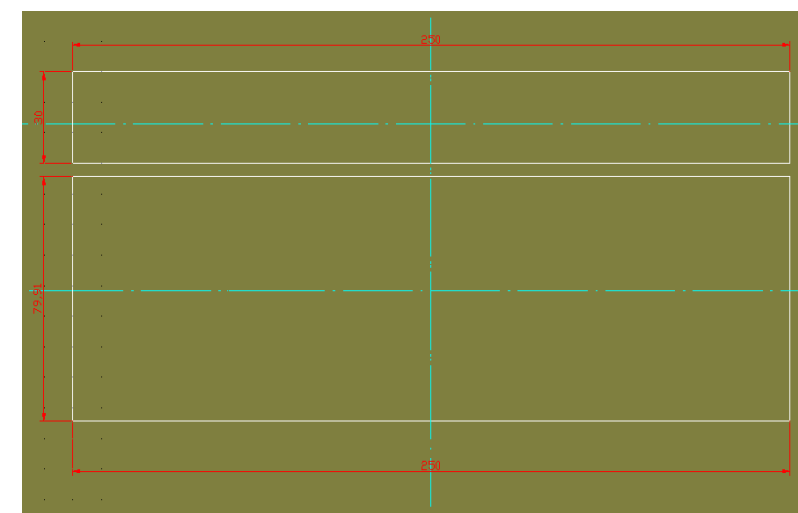
Obr. C1 předního panelu



Obr. C2 Technická dokumentace zadního panelu



Obr. C3 Technická dokumentace krabičky bokorys



Obr. C4 Nárýs víka a bočnic

11 PŘÍLOHA D

střídač - soupiska součástek							
Pozice	Hodnota	Poznámka	Ks	Pozice	Hodnota	Poznámka	Ks
R1	27k	0,5 W	1	C8,C7	10nF	keramický	2
R2,R3,R22,R14	3,3k	0,5 W	4	C9	1 μ F	fóliový	1
R5,R32,R33	180k	0,5 W	3	C10,C11	100nF	keramický	2
R7,R8,R29,R30,R35,R45,R47	100k	0,5 W	7	C12	150nF	fóliový	1
R10	470	0,5 W	1	C13	1 μ F/275	AC	1
R13,R20,R21,R38,R40,R42,R44	10k	0,5 W	7	D1	LED	5mm čer.	1
R15,R27	68	0,5 W	2	D2	LED	5mm zel.	2
R17,R24,R28	22k	0,5 W	3	ZD1,ZD3	82V/1,3 W		2
R18,R25	2,2K	0,5 W	2	ZD2,ZD4	15V/0,5 W		2
R26	82k	0,5 W	1	ZD5,ZD6	5,6V/0,5 W		2
R31,R36	15k	0,5 W	2	D3	DB107	můstek	1
R34	390k	0,5 W	1	N1	7808		1
R37,R43	47k	0,5 W	2	IO1	TL494CN		1
R39	33k	0,5 W	1	OZ1	741		1
R41	1M	0,5 W	1	OZ2	LM358		1
R46	100	0,5 W	1	T1,T2	BC546B		2
R16	100	10 W	1	T3,T4	IRFP150		2
P1,P2	50k	trimr	2	T5,T6,T7	BS108		3
P3	100k	trimr	1	Př1	PB070B	páčkový	1
P4	2,5k	trimr	1	F1	10 A	trubičková	1
C1	2200 μ F/25 V	el.	1	F2	1,25 A	trubičková	1
C2,C4	10 μ F/50 V	el.	2	6,3x0,8	faston	DPS	5
C3,C14,C15	4,7 μ F/50 V	el.	3	DIL	8	patice	2

střídač - soupiska součástek							
Pozice	Hodnota	Poznámka	Ks	Pozice	Hodnota	Poznámka	Ks
C5	47 μ F/50V	el.	1	DIL	16	patice	1
C6	2,2 μ F/50V	el.	1	Chladič	120x30x60	hliníkový	2
Cuprexit	140x120	jednovrstvý	1	Chladič	13x19x9	hliníkový	1

Ochrana proti podp., přeb. - soupiska součástek			
Pozice	Hodnota	Poznámka	Ks.
IC1	LM3914	ind. vybuz.	1
IC2	IO7809	stab. U	1
D1-D10	4mm	LED	5
D12	1A	1N4004	1
C1, C2	100n	keram.	2
C3	10u	elek.lyt.	1
R1 - R3	5k	trimr	1
R4	3k3	0,5W	1
R5	12k	0,5W	1
Q1-Q4	MPS A56 TO92	bip. PNP	4
K1	6V DC, 8A	Finder - 40.52.9.006	1
K2	6V DC, 8A		1
SV1-SV3	3pin		3

indikátor napětí - soupiska součástek			
Pozice	Hodnota	Poznámka	Ks.
D11	7v5	ZD	1
D6-D10	0,5W	1N1418	5
R1-R5	1k	0,5W	5
R1	150	0,5W	1
R2	100	0,5W	1
R3	68	0,5W	1
R4	30	0,5W	1
R11	12	0,5W	1
D1	4mm	červená	1
D2	4mm	žlutá	1
D3-D5	4mm	zelená	3
T1-T5	BC 337	NPN	5