

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2020

Bc. David Hynek



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

PŘENOSNÝ ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝ STABILIZOVANÝ ZDROJ SYMETRICKÉHO NAPĚTÍ

PORTABLE DIGITALLY CONTROLLED STABILIZED SOURCE OF SYMMETRICAL VOLTAGE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Hynek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jan Mikulka, Ph.D.

BRNO 2020

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Mikroelektronika**

Ústav mikroelektroniky

Student: Bc. David Hynek

ID: 186091

Ročník: 2

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Přenosný číslicově řízený stabilizovaný zdroj symetrického napětí

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem diplomové práce je optimální návrh a realizace stabilizovaného symetrického zdroje s možností nastavení výstupního napětí minimálně do ± 50 V a 10 mA. Zdroj musí splňovat další požadavky vedoucího práce pro napájení systému elektrické impedanční tomografie. Navržený zdroj bude složen z těchto částí: akumulátor (12 V), obvod pro dobíjení akumulátoru ze síťového napětí včetně galvanického oddělení, obvod pro indikaci stavu akumulátoru během provozu, zvyšující měnič, obvod pro nastavení výstupního napětí, mikroprocesorová jednotka řízení zdroje. Dále bude realizován jednoduchý program např. v prostředí LabView pro ovládání zdroje a budou vyhodnoceny výsledky z jednoduchého měření elektrické impedance.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 1.6.2020

Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Mikulka, Ph.D.

doc. Ing. Lukáš Fucik, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Práce pojednává o návrhu napájecího zdroje pro měřicí zařízení určené ke geofyzikálnímu mapování s cílem rekonstrukce elektrické impedance zemního prostředí vodních nádrží. Zdroj bude využíván při laboratorním měření, ale i při experimentech ve venkovním prostředí. Diplomová práce je zaměřena na výběr vhodných komponent, návrh zařízení a jeho testování. V teoretické části je vysvětlena funkce použitých součástek a princip elektrické impedanční tomografie. Závěr shrnuje vlastnosti navrhovaného řešení a zhodnocuje výsledný výrobek.

KLÍČOVÁ SLOVA

Symetrický napájecí zdroj, elektrická impedanční tomografie, DC/DC měnič, lineární napěťový stabilizátor, olověný akumulátor, nabíjení olověných akumulátorů

ABSTRACT

This thesis deals with a design of a power supply for a measuring equipment for a geophysical mapping intended to do a reconstruction of an electrical impedance of a ground environment of water reservoirs. The power source is going to be used for laboratory measurements and for outdoor experiments. The thesis describes the selection of suitable components, equipment design and testing. The theoretical part explains the functions of used components and the principle of an electrical impedance tomography. The conclusion summarizes the properties of the proposed solution and evaluates the final product.

KEYWORDS

Symmetrical power supply, electrical impedance tomography, DC/DC convertor, linear voltage stabilizer, lead acid battery, charging of lead acid batteries

Hynek, David. *Přenosný číslicově řízený stabilizovaný zdroj symetrického napětí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky, 2020. 63 s., 9 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Mikulka, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Janu Mikulkovi, Ph.D. za odborné a praktické rady s návrhem.

OBSAH

Úvod	9
1 Teoretická část	10
1.1 Princip elektrické impedanční tomografie	10
1.2 Použití napájecího zdroje	11
1.3 Koncepce napájecího zdroje	13
1.3.1 DC/DC měnič	13
1.3.2 Lineární stabilizátor	14
1.3.3 Optočlen	16
1.3.4 Pulzně šířková modulace (PWM)	16
1.3.5 Olověná baterie	17
2 Praktická realizace	19
2.1 Realizace zdrojové části	19
2.2 Realizace nabíjení akumulátoru	23
2.3 Realizace digitální části	26
2.4 Galvanické oddělení	31
2.5 Ochrany	33
2.6 Návrh desky plošného spoje	35
2.7 Mechanická konstrukce	38
2.8 Fotodokumentace celkového provedení napájecího zdroje	41
3 Ovládací program	45
3.1 Vývojový diagram	45
3.2 Popis ovládání zdroje	48
3.3 Kód programu	48
3.4 Funkce využité v ovládacím	49
3.5 Ovládací utilita v LabVIEW	49
4 Provozní vlastnosti	51
4.1 Výstupní napětí zdroje	51
4.2 Zvlnění výstupního napětí zdroje	51
5 Závěr	57

Literatura	59
Seznam symbolů, veličin a zkratk	61
Seznam obrázků	61
Seznam příloh	64
A Návrh zařízení	65
A.1 Schéma zapojení nabíječky akumulátoru	65
A.2 Schéma zapojení ochran akumulátoru, napájení 5V a zapnutí měničů ..	66
A.3 Schéma zapojení zdrojové části měničů	67
A.4 Schéma zapojení zdrojové části stabilizace a číslicové regulace	68
A.5 Schéma zapojení digitální části.....	69
A.6 DPS top (horní strana)	70
A.7 DPS bottom (spodní strana).....	71
A.8 Osazovací plán DPS top (horní strana).....	72
B Zdrojový kód	72

ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá návrhem napětového napájecího zdroje pro měřicí zařízení, které je využito v projektu geofyzikálního mapování, jehož cílem je rekonstrukce elektrické impedance zemního prostředí vodních nádrží.

Zobrazovací metoda použitá v tomto projektu se nazývá elektrická impedanční tomografie. Její princip spočívá v přivedení harmonického proudu do elektrod, které jsou umístěny v analyzovaném objektu nebo prostředí. Následně je na těchto elektrodách změřeno napětí, které je ovlivněno elektrickými vlastnostmi měřeného prostředí. Tato měření se provádějí mezi různými elektrodami a za různých podmínek (frekvence, amplituda proudu, apod.). Z naměřených dat je možné rekonstruovat obraz rozložení elektrické konduktivity. Elektrická impedanční tomografie se používá ve zdravotnictví, materiálovém inženýrství a chemickém průmyslu. Také bývá uplatněna při výzkumu stavu podloží nebo vodních toků.

Elektrody jsou buzeny proudovým zdrojem, který už je realizovaný a jeho návrh není součástí této práce. Tento proudový zdroj však potřebuje pro svou funkci napětový napájecí zdroj se specifickými vlastnostmi.

Hlavním požadavkem na realizovaný zdroj je, aby byl nezávislý na rozvodné síti. Jeho napájení bude zajišťovat vestavěný akumulátor. Díky tomuto řešení je zdroj galvanicky oddělený od měřicí sestavy a zároveň to umožní v budoucnu měřit v terénu bez nutnosti externího napájení.

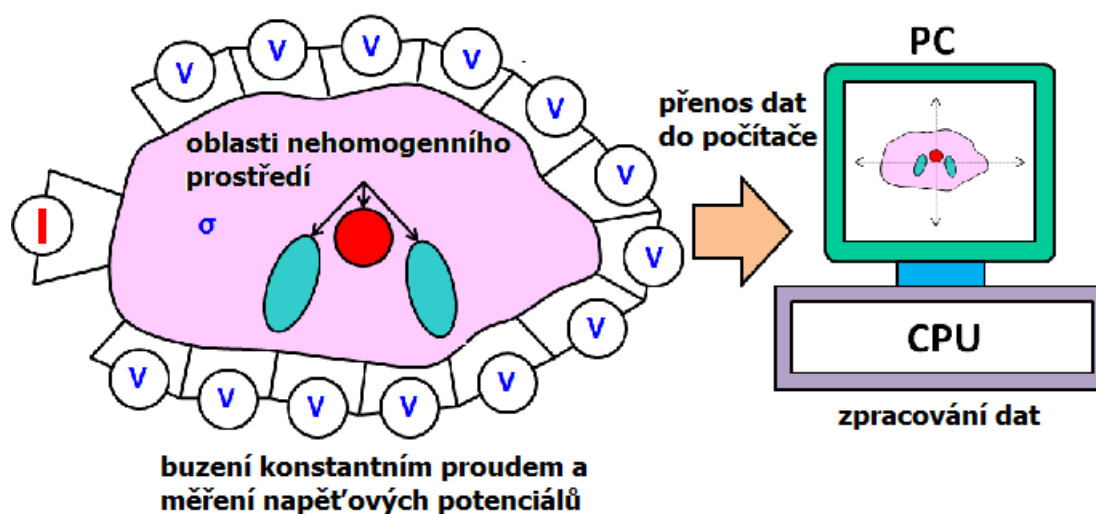
V projektu, pro který je zdroj navrhován, je při měření impedance potřebné symetrické napětí alespoň 50 V. K zajištění této hodnoty napětí z akumulátoru bude využito zvyšujících DC/DC měničů. Dále je nutné zajistit také regulaci tohoto výstupního napětí, možnost nabíjení, číslicové ovládání pomocí počítače ve standardních automatizovaných prostředích (LabView, HP VEE, apod.) a v neposlední řadě ochranu jak vnitřního akumulátoru, tak výstupu zdroje.

První kapitola obsahuje teoretické vysvětlení principu elektrické impedanční tomografie a popis použitých technologií. V následujících kapitolách bude proveden návrh částí sloužících k nabíjení akumulátoru, vytvoření potřebného výstupního napětí, napětové stabilizaci a regulaci. Další části jsou zaměřeny na vytvoření desky plošného spoje, mechanickou konstrukci a tvorbu ovládacího programu. Poslední kapitola se zabývá měřením provozních vlastností navrhnutého zdroje.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Princip elektrické impedanční tomografie

Jde o nedestruktivní a neinvazivní metodu pro zobrazení nehomogenit uvnitř pozorovaného objektu. Na zkoumaný předmět se přivede proudové buzení a na jednotlivých ekvidistantně rozmístěných elektrodách se následně měří harmonické napětí, viz obr. 1.1. Z naměřených dat lze řešením dopředné a inverzní úlohy rekonstruovat obraz rozložení konduktivity analyzovaného objektu [1].



Obr. 1.1: Schéma systému elektrod pro elektrickou impedanční tomografii

Počet měřících elektrod ovlivňuje rozlišení a přesnost zobrazení vodivosti zkoumaného objektu. Při šestnácti elektrodové konfiguraci je potřeba 208 měřících cyklů včetně přepínání proudového zdroje. Při větším počtu elektrod lze rozlišit menší entity, které mají specifickou vodivost. To je ovšem vykoupeno větší složitostí měřícího zařízení a náročnějším algoritmem pro rekonstrukci dat.

Samotná rekonstrukce vodivostního obrazu z napětí měřeného na povrchu objektu je nelineární špatně řešitelný problém. Nejběžnějším způsobem řešení je použití Gauss-Newtonova algoritmu, který využívá metodu nejmenších čtverců doplněnou Tichonovým regularizačním členem, jež zvyšuje stabilitu řešení. Zmíněnou metodu lze upravit do vzorce (1.1) pro stanovení neznámé vodivosti [2].

$$\Psi(\sigma) = \frac{1}{2} \sum_{ne} \|U_M - U_{FEM}(\sigma)\|^2 + \alpha \|R\sigma\|^2, \quad (1.1)$$

kde $\Psi(\sigma)$ je účelová funkce, (σ) značí rekonstruovaný vektor vodivosti, U_M představuje vektor elektrického napětí měřeného elektrodami na povrchu zkoumaného objektu, U_{FEM}

je elektrický vektor napětí získaný řešením dopředné úlohy a α je parametr ovlivňující vliv Tichonovy regularizace označené $\|R\sigma\|^2$ [2].

Elektrická impedanční tomografie se využívá v materiálovém inženýrství, v chemickém průmyslu a geofyzikálním mapování. V poslední oblasti se touto metodou zkoumá stav podloží, vodní toky a také zemní prostředí v bezprostřední blízkosti vodních nádrží. Elektrická impedanční tomografie může být využita i při výzkumu stavu permafrostu, kde se analyzuje jeho aktivní vrstva a schopnost absorbovat podzemní toky.

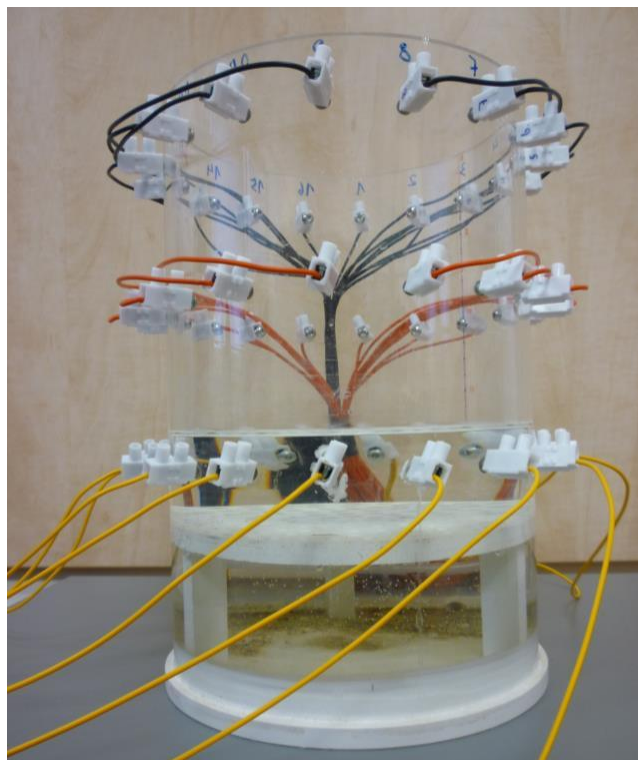
Metoda ERT, která je odvozená od elektrické impedanční tomografie slouží k předpovězení tvorby hlavního a parazitních kráterů nebo narušení struktury sopky. Na základě rekonstruovaného obrazu konduktivity z naměřených hodnot napětí lze vyhodnotit aktivitu sopky.[3].

1.2 Použití napájecího zdroje

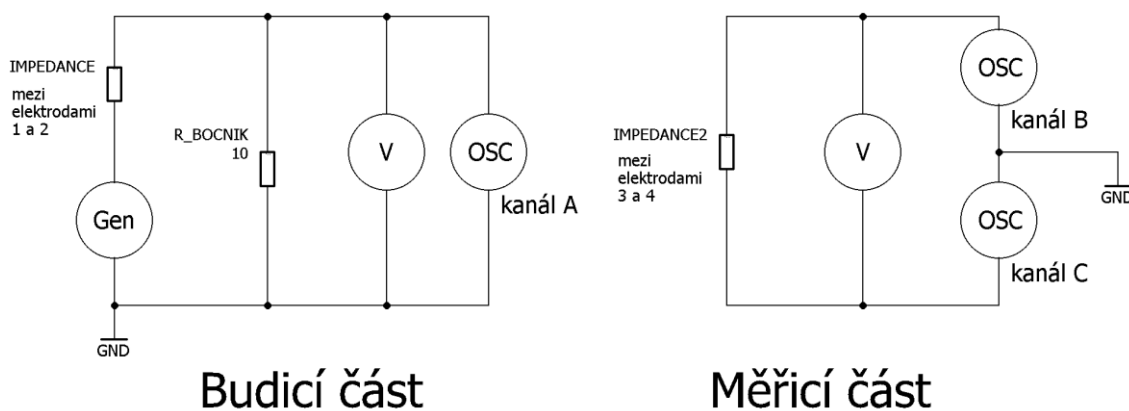
Navrhovaný zdroj bude využit pro buzení při měření na fyzikálním modelu, který slouží k vyhodnocení elektrických vlastností půdy. Do nádoby se umístí zemina s jíly a cílem měření bude lokalizovat jejich polohu a admitanci. Elektrody jsou rozmístěny ve třech patrech, kde v každém patře je 16 elektrod, tak jak je znázorněno na obr. 1.2.

Při experimentálním měření se využívá schéma zobrazené na obr. 1.3., kde je budicí a měřicí část galvanicky oddělena. V části buzení se nachází bočník R_B a na něm je měřeno napětí, které odpovídá procházejícímu proudu. Dále je na tento bočník připojen kanál A osciloskopu pro měření fázového posunu mezi budicím a měřeným harmonickým signálem. Měřicí část má k měřené impedanci zapojeny diferencně dva kanály osciloskopu z důvodu zajištění eliminace zemní smyčky [3].

Zdroj musí být napájen z akumulátoru, aby byl galvanicky oddělen od měřicí části. Ta je tvořena osciloskopy, které jsou připojeny k síťovému napětí. Pokud by byl zdroj napájen také ze sítě, tak by docházelo k ovlivnění měření. Zároveň musí být zdroj přenosný, aby ho bylo možné používat i při měření v terénu.



Obr. 1.2: Fyzikální model pro vyhodnocení elektrických vlastností půdy



Obr. 1.3: Schéma zapojení pro měření napětí a fázového posunu na tomografu

Impedance měřeného média jsou přibližně jednotky $k\Omega$ a budicí proudy jednotky mA . Podle vztahu (1.2) vyplývá, že potřebné napájecí napětí pro proudový zdroj musí mít velikost desítky V .

$$U_{IN} = Z_{Prostředí} \cdot I_{Budicí} = 810^3 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = \underline{48 V} \quad (1.2)$$

Z předchozího popisu měřicí soustavy a výpočtu vyplývají následující parametry pro navrhovaný napájecí zdroj.

Přehled základních požadavků na zdroj:

- symetrické výstupní napětí alespoň 50 V,
- výstupní proud 10 mA,
- regulace velikosti výstupního napětí,
- číslicové ovládání zdroje (pomocí PC),
- galvanické oddělení od sítě,
- zajistit, aby rušení vzniklé ve zdroji neovlivňovalo měřicí část,
- přenosný (malé rozměry a hmotnost),
- vhodný i pro použití ve venkovním prostředí,
- integrovaná nabíječka akumulátoru,
- signalizace stavu nabití akumulátoru,
- ochrana při zkratu,
- ochrana při přetížení.

1.3 Koncepce napájecího zdroje

Pro splnění požadovaných parametrů zdroje, bylo zvoleno řešení, obsahující 12V olověný akumulátor, který napájí zvyšující DC/DC měniče. Ty vytvářejí potřebné napětí. Regulace tohoto napětí probíhá lineárním stabilizátorem, jenž je pomocí dalších součástí ovládán číslicově. V následujících podkapitolách jsou teoreticky popsány nejdůležitější části navrhovaného napájecího zdroje.

1.3.1 DC/DC měnič

Navrhovaný zdroj bude dodávat na výstupní napětí desítky volt, které je nutné vytvořit z dvanácti voltového akumulátoru. K tomu budou použity zvyšující DC/DC měniče.

Jde o zařízení, které umožňuje změnu velikosti stejnosměrného napětí nebo proudu. Pro uchování energie při převodu využívá buď kondenzátor, nebo cívku. Pokud je měnič galvanicky oddělený, tak obsahuje pulsní transformátor [4].

Měniče se vyrábějí v provedení samostatně funkčních modulů nebo integrovaných obvodů, ke kterým stačí připojit několik součástek.

Druhy měničů bez galvanického oddělení:

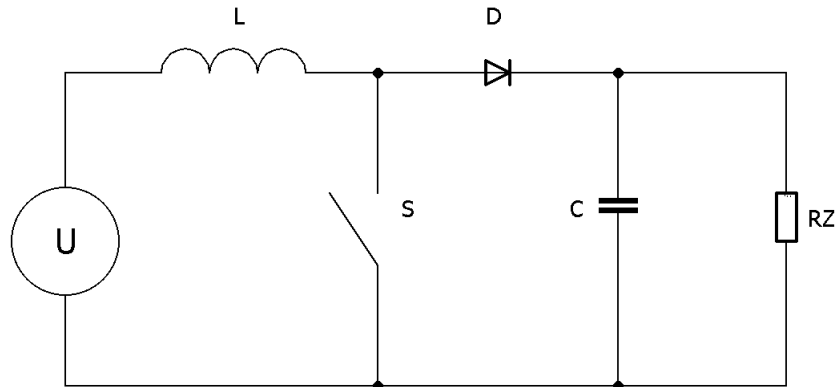
- **Step-down (buck-convertor)** – snižuje napětí
- **Step-up (boost convertor)** – zvyšuje napětí
- **Invertor (buck-boost)** – snižuje i zvyšuje napětí
- **Nábojová pumpa** – zvyšuje napětí, pouze pro velmi malé výkony

Druhy měničů s galvanickým oddělením:

- **Jednočinný blokující měnič (flyback)** – obsahuje transformátor se vzduchovou mezerou, je určen pro nižší výkony
- **Jednočinný propustný měnič (half-forward)** – využívá transformátor bez vzduchové mezery s pomocným vinutím

Základní schéma je velice jednoduché a obsahuje pouze zdroj napětí, tlumivku, spínač (tranzistor), usměrňovací diodu, kondenzátor a odporovou zátěž. Zapojení je

zobrazeno na obr. 1.4.



Obr. 1.4: Schéma step-up měniče

Při sepnutí spínače cívkou teče proud a po rozepnutí se na cívce objeví napětí opačné polarity. Takto vznikne druhý napěťový zdroj, který je sériově spojen s napájecím zdrojem. Tyto zdroje začnou nabíjet kondenzátor přes diodu. Napětí na kondenzátoru bude díky sériové kombinaci zdrojů vyšší. Totéž napětí se objeví i na zátěži.

Pokud je frekvence spínání neměnná, tak je výstupní napětí závislé na střídě a její změnou ho lze nastavit. Při zavedení zpětné vazby lze udržovat konstantní napětí na výstupu i při změně vstupního napětí nebo velikosti zátěže.

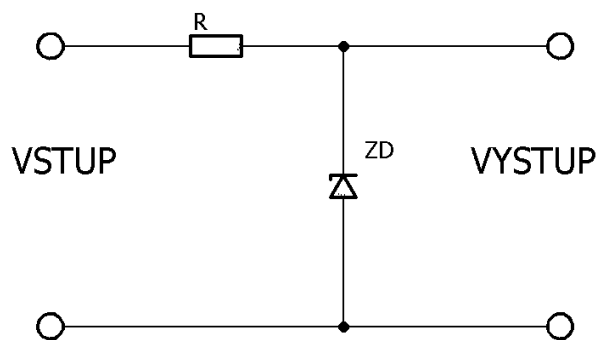
Hlavní předností DC/DC měniče je vysoká účinnost, malé rozměry zdroje a nízká hmotnost díky absenci síťového transformátoru. Jeho použitím v bateriově napájeném zařízení lze výrazně zvýšit životnost baterií. V některých spínaných zdrojích se využívá aktivní kompenzace účinníku a jeho velikost je pak přibližně rovna jedné [4].

1.3.2 Lineární stabilizátor

Lineární stabilizátor je samostatný integrovaný obvod nebo zapojení několika součástek. Udržuje konstantní napětí nebo proud na výstupu a to při změně vstupního napětí, odebraného proudu a teploty v okolí.

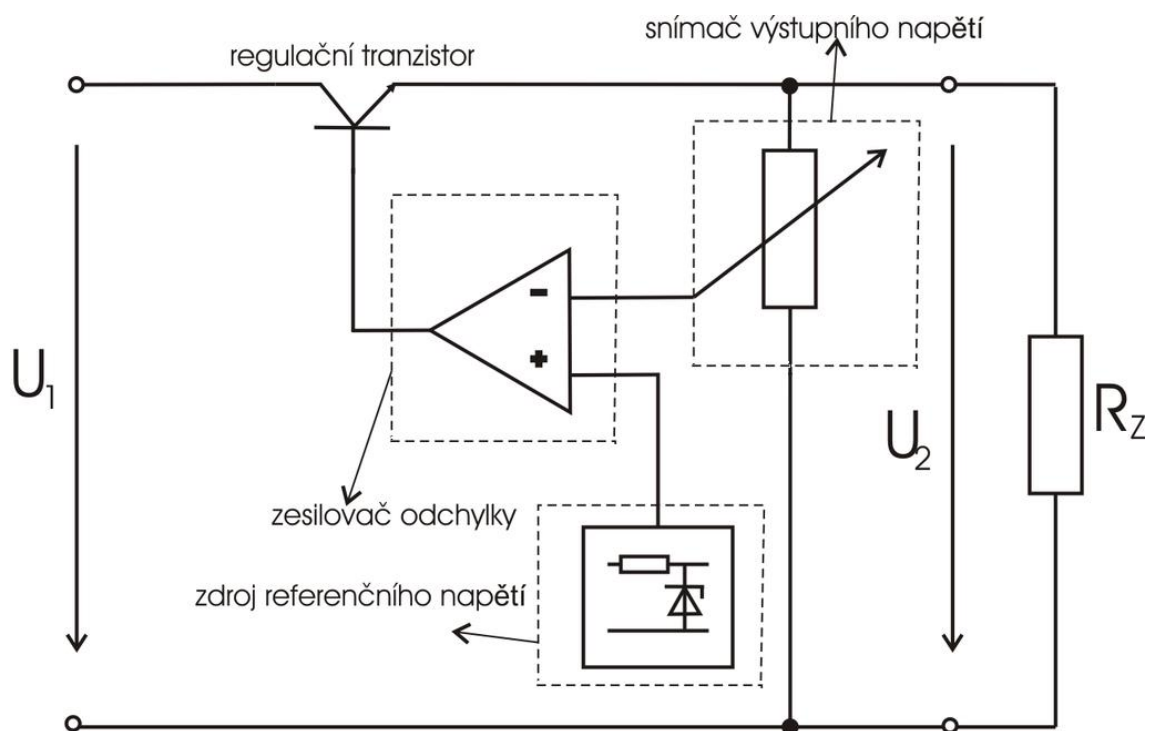
Ke stabilizaci se používá akční prvek, kterým je Zenerova dioda nebo tranzistor. Na tomto prvku je vždy nějaký napěťový úbytek, a proto je výstupní napětí stabilizátoru nižší než vstupní.

Nejjednodušší stabilizátor obsahuje Zenerovu diodu zapojenou v závěrném směru, jak je znázorněno na obr. 1.5. Využívá se strmé charakteristiky této součástky, kdy se při změně vstupního napětí pouze změní proud protékající diodou, ale napětí zůstává konstantní.



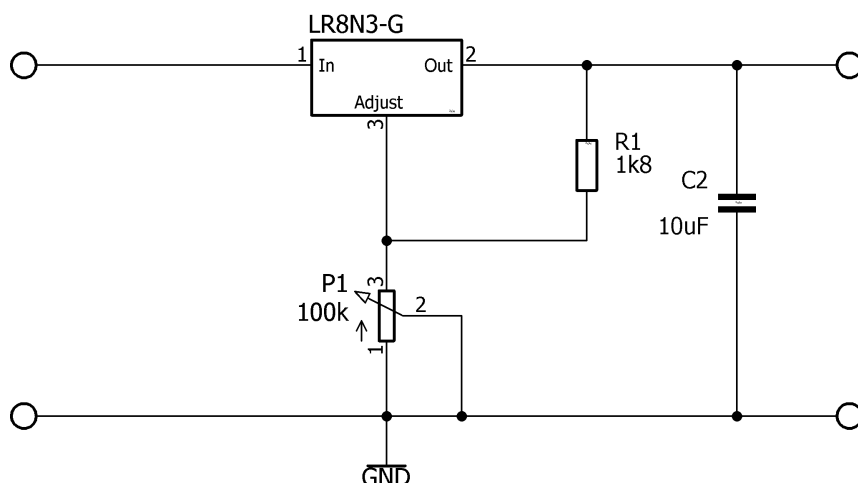
Obr. 1.5: Schéma stabilizátoru se Zenerovou diodou

Další typ lineárního stabilizátoru využívá k regulaci výstupního napětí tranzistor, viz obr. 1.6, jenž řízen pomocí zpětné vazby. Ta je tvořena komparátorem, na který je připojena napěťová reference a snímač výstupního napětí. Komparátor porovnává referenční napětí s výstupním napětím a podle velikosti odchylky otevírá nebo přivírá tranzistor. Pokud dojde ke zvýšení zátěže, tak se tranzistor více otevře, aby nedošlo k poklesu výstupního napětí [5].



Obr. 1.6: Blokové schéma zpětnovazebního stabilizátoru (převzato z [5])

Výhoda lineárních stabilizátorů spočívá především ve snadné konstrukci a z toho vyplývající nízké ceně. Dalším přínosem je, že vytvářejí hladké výstupní napětí. Pro jejich správnou funkci není potřeba velké množství externích součástek, většinou stačí pouze filtrační kondenzátor na výstupu a snímací odpory pro nastavení velikosti výstupního napětí, což je vidět na obr. 1.7.

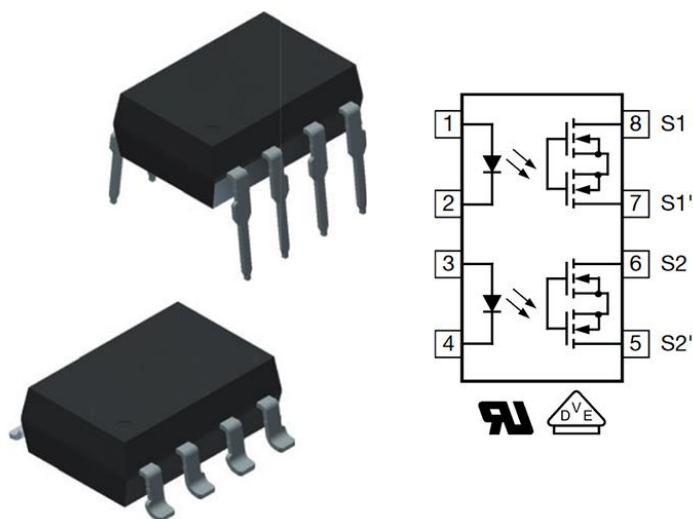


Obr. 1.7: Katalogové zapojení lineárního stabilizátoru L8N3-G (podle [6])

1.3.3 Optočlen

Optočlen je součástka používána ke galvanickému oddělení v obvodech. Využívá optického přenosu signálu. Nejjednodušší provedení se skládá z infračervené svítivé diody a fototranzistoru. Pokud diodou protéká dostatečný proud a je otevřena, dochází ke generování světla, které otevře fototranzistor. Změnou velikosti tohoto proudu dochází k otevírání nebo přivírání fototranzistoru.

Vyrábí se jako integrovaný obvod, který většinou obsahuje více optočlenů. Pro připojení jsou jejich vývody vyvedeny samostatně, jak je znázorněno na obr. 1.8. Pomocí této součástky můžeme oddělit různé napěťové úrovně nebo zemní propojení.

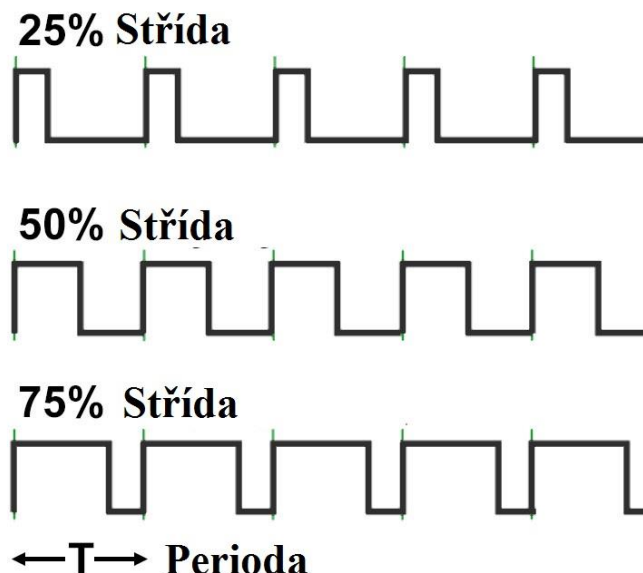


Obr. 1.8: Integrovaný čip s dvěma optočleny (převzato z [7])

1.3.4 Pulzně šířková modulace (PWM)

Pulzně šířková modulace je způsob, jak převést analogový signál pomocí dvouhodnotové

veličiny. Poměr mezi zapnutím a vypnutím je střída. Doba, za kterou dojde k přenosu jedné střídy, se označuje perioda nebo také frekvence. Tyto veličiny jsou zobrazeny na obr. 1.9.



Obr. 1.9: Různá střída u PWM signálu

Tento způsob řízení se hojně využívá ve výkonové elektronice k řízení výkonu. Při použití PWM s tranzistorem jsme schopni změnou střídy plynule otevírat kanál tranzistoru. Při dostatečně vysoké nosné frekvenci je změna plynulá [8].

1.3.5 Olověná baterie

Jde o akumulátor, jehož elektrody jsou vytvořeny na bázi olova a jako elektrolyt funguje kyselina sírová. Jejich výhodou je nízká cena, vysoké rázové proudy a dlouhá životnost. Využívají se především jako startovací baterie v automobilech nebo v záložních zdrojích.

Při nabití je aktivní hmota záporné elektrody tvořena houbovitým olovem a kladná elektroda obsahuje oxid olovičitý (PbO_2). Jako elektrolyt slouží kyselina sírová (H_2SO_4) naředěná vodou na koncentraci kolem 35%.

Pokud se akumulátor vybíjí, tak se aktivní hmota přetváří na síran olovnatý (PbSO_4). Z elektrolytu je odebírána kyselina sírová a přibývá voda, tím jeho koncentrace klesá. Při nabíjení je reakce opačná a koncentrace elektrolytu stoupá [9].

Pro zaručení dlouhé životnosti olověných akumulátorů se využívá třístupňové nabíjení. V první fázi se nabíjí konstantním proudem, napětí baterie začne stoupat a při dosažení jeho určité velikosti dojde k přepnutí na druhou fázi, kdy se nabíjí konstantním napětím (absorpční část). Poslední fáze je udržovací a probíhá při nižším napětí. Tato část nabíjení omezuje samovybíjení akumulátoru a udržuje ho plně nabitý.

Olověných akumulátorů existuje několik druhů, které se liší legováním desek, např. pomocí vápníku. Rozdílů jsou i ve formě elektrolytu. U typu AGM je elektrolyt napuštěn

ve skelné vatě. V gelových bateriích je zahuštěn ve formě gelu [9].

Jiné druhy olověných akumulátorů mají oproti standardnímu modelu se zaplavenými elektrodami vyšší životnost, bezúdržbovost (není potřeba dolévat vodu) a vyšší vybíjecí proud. Pro nabíjení je ale důležité, o jaký typ akumulátoru jde, protože se liší jednotlivá nabíjecí napětí, jak ukazuje tab. 1.1

Tab. 1.1: Přehled nabíjecích napětí pro různé druhy olověných akumulátorů (převzato z [9])

Typ akumulátoru	Udržovací napětí	Absorpční napětí	Vyrovnávací napětí
Standardní nalévané (Sb/Sb)	13,2 V	14,5 V	15,5 V
Nalévací nízkoudržbové (Sb/Ca)	13,2 V	14,4 V	15,8 V
Mokré bezúdržbové (Ca/Ca)	13,2 V	14,8 V	15,8 V
AGM SLA (deskové)	13,6 V	14,3 V	15,6 V
AGM SLA (válcové)	13,6 V	14,6 V	-
Gelové SLA (Ca/Ca)	13,2/13,8 V	14,1/14,4 V	-

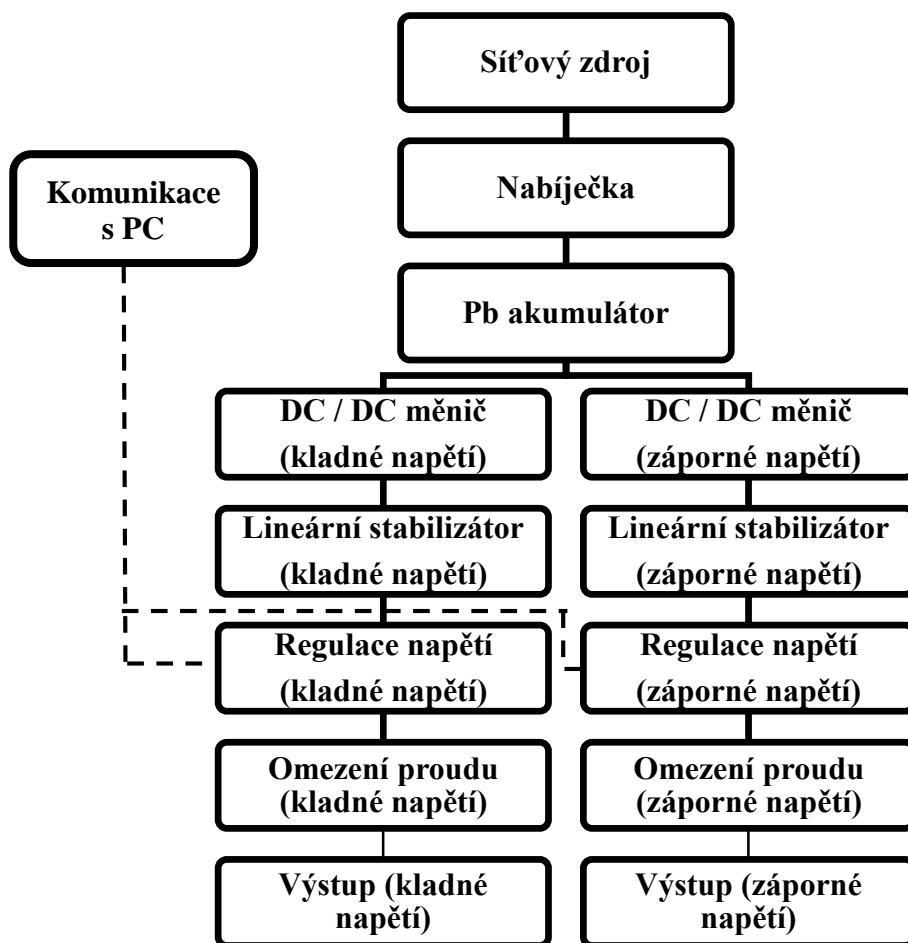
2 PRAKTICKÁ REALIZACE

2.1 Realizace zdrojové části

Zdrojová část bude tvořit základ napájecího zdroje. Jejím účelem bude zajistit vytvoření symetrického napětí ± 50 V, regulaci výstupního napětí a nabíjení baterie.

V dalších kapitolách je popsán výběr obvodů, výpočet hodnot potřebných součástek, jejich zapojení a popis jednotlivých částí.

Zdrojová část se skládá z jednotlivých bloků, které jsou zobrazeny na obr. 2.1.



Obr. 2.1: Blokové schéma zdrojové části

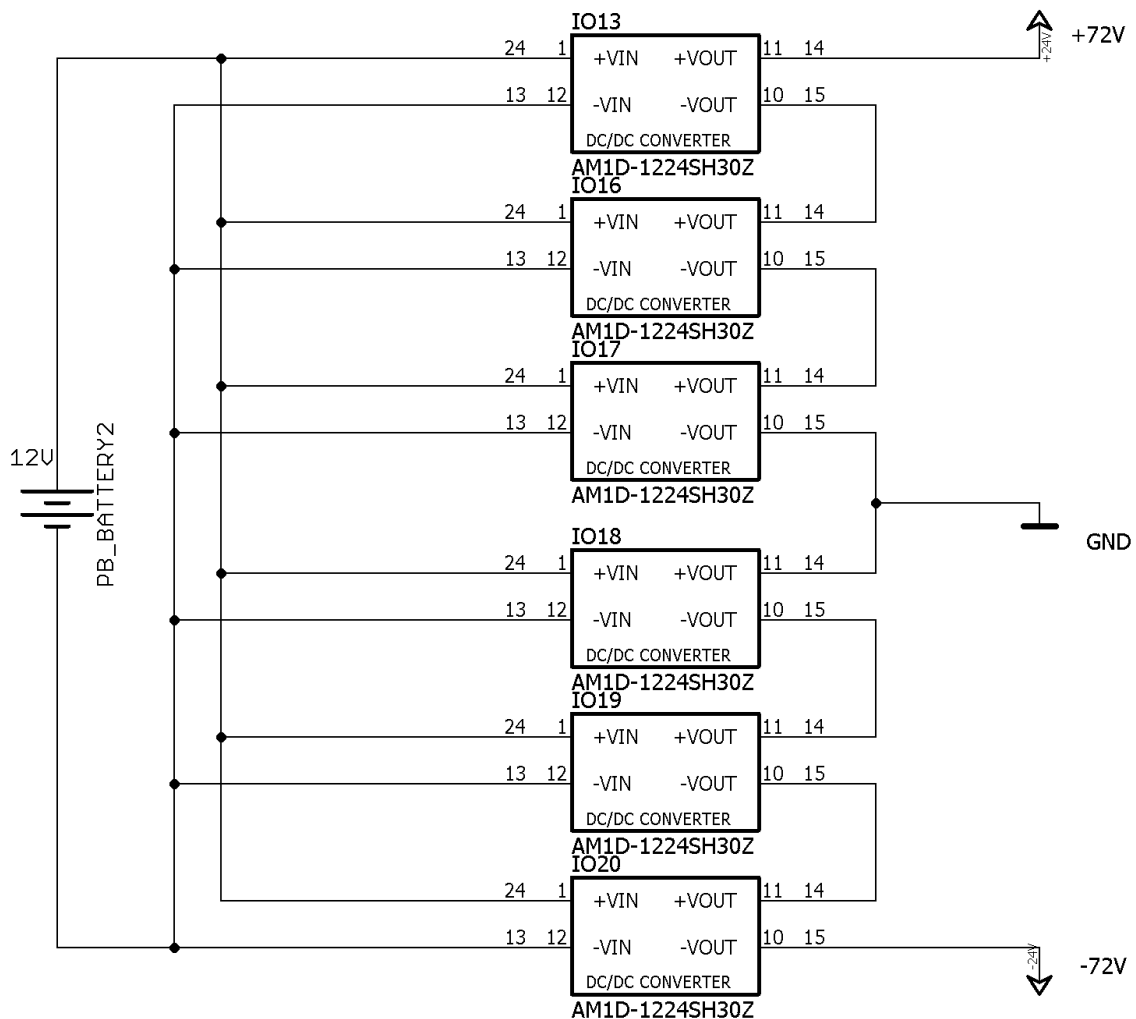
K vytvoření symetrického napětí o hodnotě ± 50 V z 12V akumulátoru bylo nutné zvolit vhodný DC/DC měnič. Rozhodujícím parametrem, který rozhodl o výběru, byla cena. Na trhu existuje mnoho měničů, jež dokáží vytvořit potřebné napětí, ale jejich cena je velmi vysoká. Další parametry jako rozměry či vysoký výkon nejsou rozhodující.

Byla proto zvolena koncepce sériového spojení výstupu několika samostatných

izolovaných DC/DC měničů. Jejich kombinací lze dosáhnout potřebného napětí.

Vybrán byl obvod **AM1D-1224SH30Z**, který vyrábí společnost Aimtec. Tento zvyšující měnič vytváří na výstupu napětí 24 V. Na jeho vstup je možné přivést napětí v rozsahu 10,8 V až 13,2 V. Výrobce udává izolační napětí mezi vstupem a výstupem 3000 V [10].

Zařízení obsahuje celkem šest těchto měničů. Jejich vstupy jsou paralelně připojeny k baterii a výstupy jsou spojeny sériově. Schéma je na obr. 2.2. Pokud je střed tohoto sériového spojení vyveden jako zem, tak je mezi jednotlivými konci napětí 72 V (3×24 V) oproti zemi. Takto je vytvořen zdroj symetrického napětí 72 V.



Obr. 2.2: Spojení několika DC/DC měničů

Výstupní napětí je potřeba stabilizovat a zároveň regulovat. K tomu lze využít lineární stabilizátor.

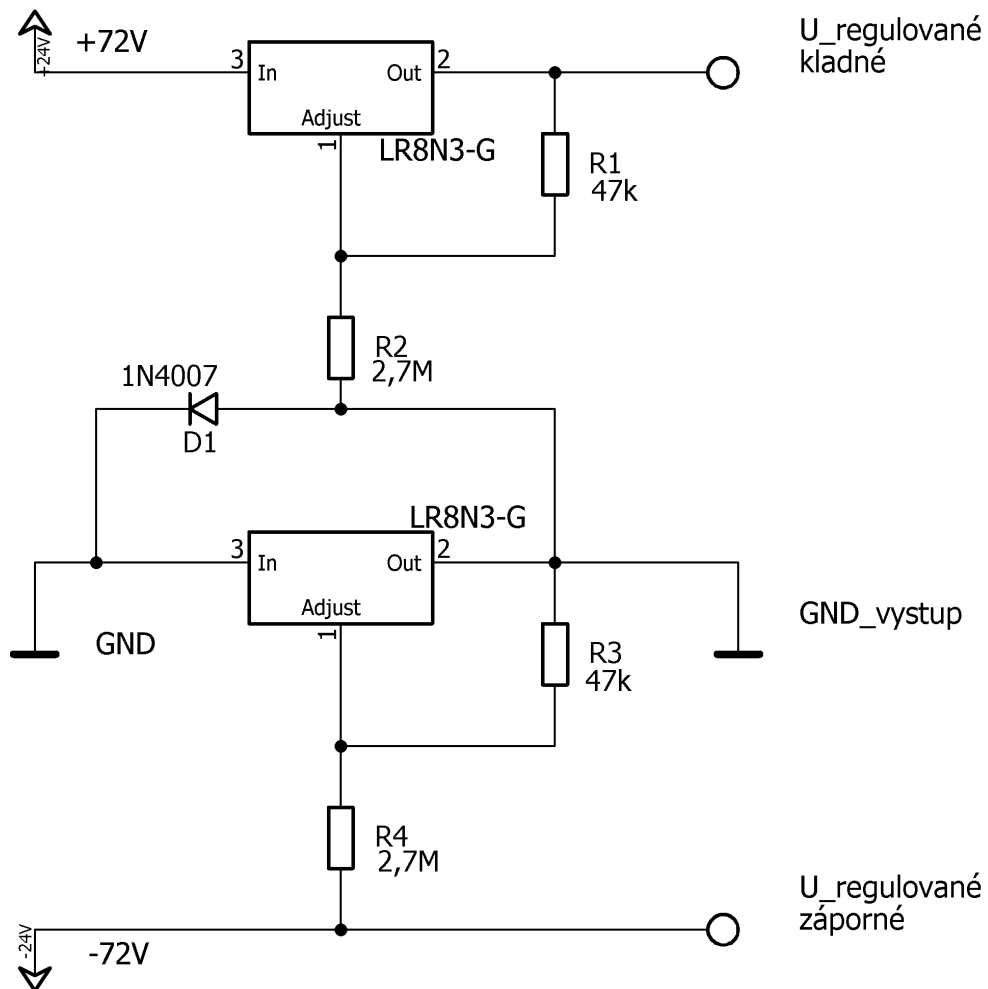
Ke konstrukci byl využit obvod **LR8N3-G** od výrobce Supertex. Pracuje v rozsahu vstupního napětí 13,2 V až 450 V. Výstup lze regulovat od 1,2 V do 440 V a je schopný dodat výstupní proud až 30 mA [6].

Je využito dvou těchto stabilizátorů, jak je znázorněno na obr. 2.3. Regulace a

stabilizace probíhá zvlášť pro kladnou a zápornou větev. Výstupní napětí lze nastavit změnou velikosti odporu R2 pro kladnou větev a R4 pro zápornou větev. Výstupní napětí je pak dáno tímto vztahem (2.1). Pokud bude potenciometr R2 nastaven na maximální velikost, tak bude velikost výstupního napětí podle vztahu (2.2). Dioda D1 umožňuje, aby při nesymetrické zátěži tekla proud z kladné větve do země měničů.

$$U_{OUT} = 1,2 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{ADJ} \quad (2.1)$$

$$U_{OUT} = 1,2 \cdot \left(1 + \frac{2,7 \cdot 10^6}{47 \cdot 10^3}\right) + 10 \cdot 10^{-6} = \underline{70 \text{ V}}, \quad (2.2)$$



Obr. 2.3: Zapojení lineárních stabilizátorů

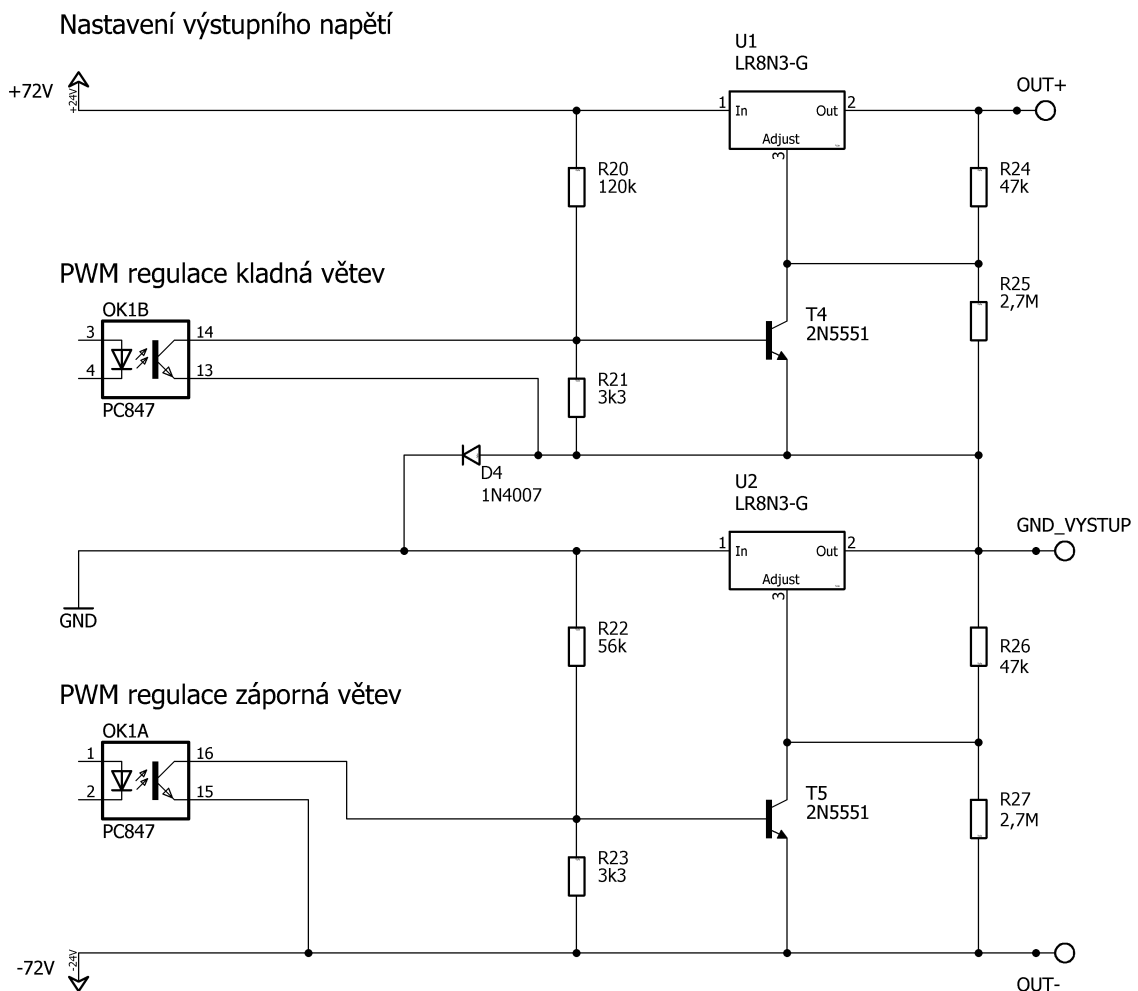
Jedním z požadavků na zdroj je i číslicová regulace velikosti výstupního napětí. Na obr. 2.4 je zobrazeno její zapojení. K rezistoru R25 je paralelně připojen bipolární tranzistor. Pokud se tranzistor otevírá nebo zavírá, mění se celkový odpor T4 a R25. Tím

dochází i ke změně napětí na výstupu stabilizátoru. Kvůli galvanickému oddělení je T4 ovládán fototranzistorem z optočlenu OK1B. Maximální napětí U_{CE} tohoto fototranzistoru je 35 V [11], a proto musí být jeho kolektor připojen do středu děliče tvořeného odpory R20 a R21. Pokud je fototranzistor v optočlenu zavřený, tak je podle vztahu (2.3) na bázi T4 1,9 V a T4 je otevřen. Při otevření fototranzistoru dojde k uzemnění báze a T4 je zavřen.

$$U_2 = \frac{R_{21}}{R_{20} + R_{21}} \cdot U_1 = \frac{3,3 \cdot 10^3}{120 \cdot 10^3 + 3,3 \cdot 10^3} \cdot 72 = \underline{1,92 \text{ V}}, \quad (2.3)$$

Na diodu optočlenu OK1B přichází PWM signál z výstupního pinu mikrokontroléru. Změnou střídry PWM signálu dochází ke změně kladného výstupního napětí.

Číslicová regulace pro zápornou větev je obdobná jako pro kladnou větev, která je popsána výše.



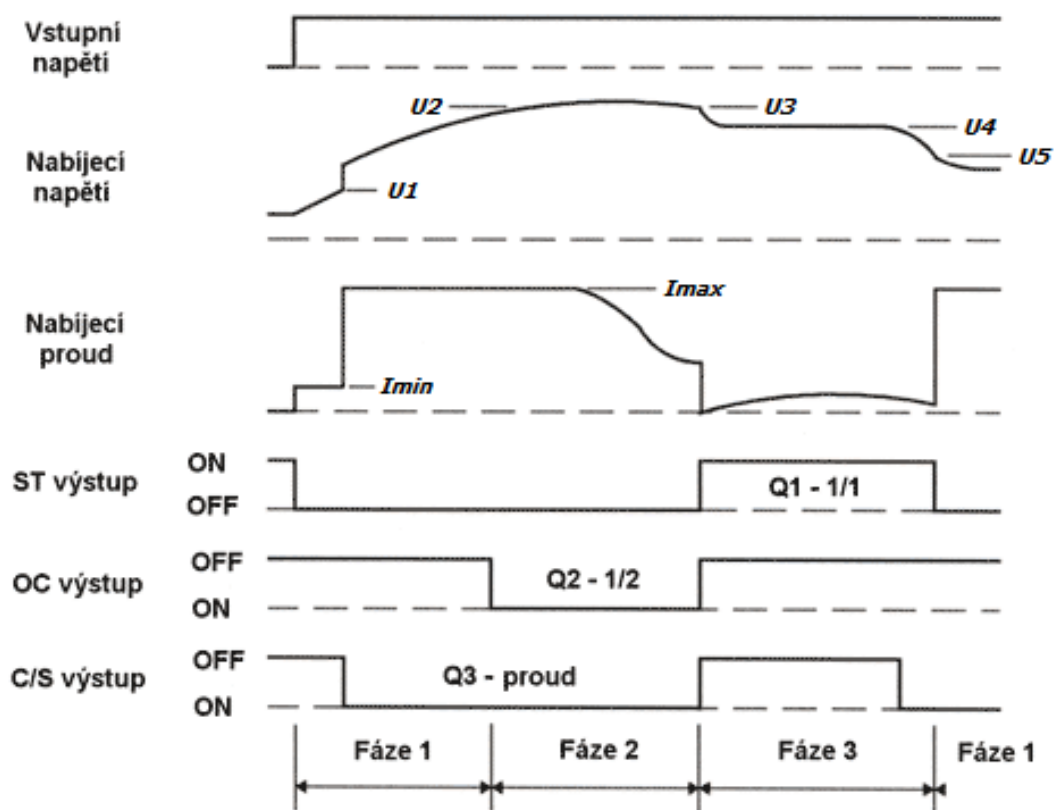
Obr. 2.4: Zapojení číslicové regulace výstupního napětí

2.2 Realizace nabíjení akumulátoru

Pro dosažení dlouhé životnosti olověného akumulátoru je výhodné použít třístupňové nabíjení. Takové řízení nabíjení umožňuje obvod **UC3906**, který je vyráběn firmou Texas Instruments. Ten se vyznačuje těmito vlastnostmi:

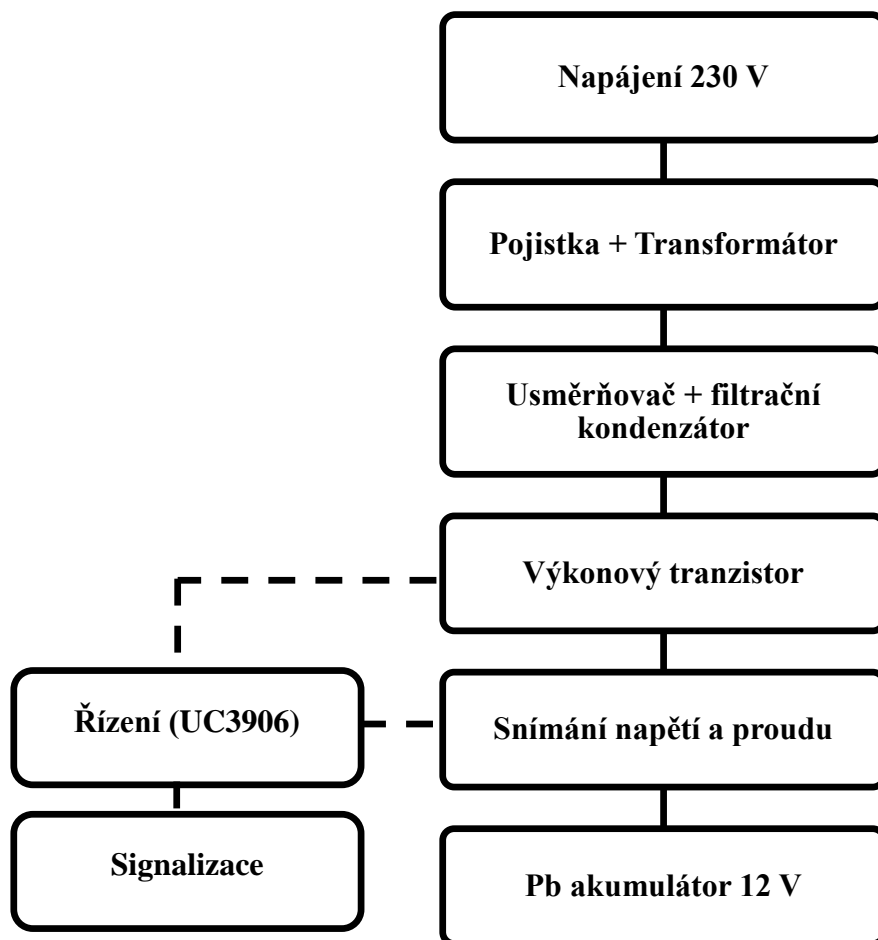
- zajišťuje kontrolu maximální kapacity a životnosti akumulátoru,
- umožňuje tři nabíjecí režimy,
- obsahuje precizní vnitřní napěťovou referenci s výbornou teplotní stabilitou,
- zajišťuje kontrolu výstupního napětí a proudu,
- chrání proti zkratu a proudovému přetížení na výstupu,
- indikuje stav nabíjení a nabití akumulátoru [12].

Jednotlivé stavy výstupů tohoto obvodu v průběhu nabíjení jsou zobrazeny na obr. 2.5.



Obr. 2.5: Stavy výstupu obvodu UC3906 při nabíjení (převzato z [13])

Nabíječka se skládá z několika celků, které jsou znázorněny na obr. 2.6.



Obr. 2.6: Blokové schéma nabíječky

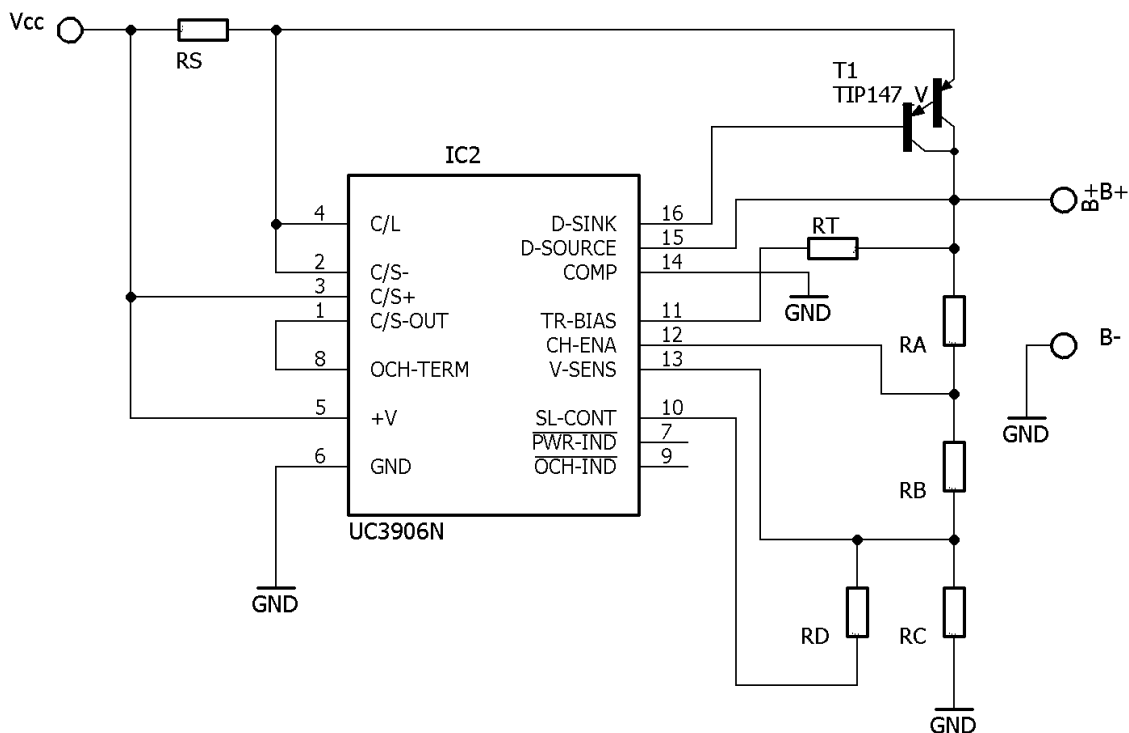
Síťové napájení zajišťuje vytvoření stejnosměrného napětí pro nabíjení ze střídavého síťového napětí 230 V/50 Hz. Skládá se z pojistky, síťového transformátoru, usměrňovače a filtračního kondenzátoru. Střídavé výstupní napětí transformátoru je 12 V.

Regulaci nabíjení zajišťuje výkonový tranzistor **TIP147**, který je ovládán obvodem pro řízení nabíjení.

Katalogové zapojení obvodu UC3906 je zobrazeno na obr. 2.7. Obsahuje šest snímacích odporů. Jejich volbou určujeme parametry nabíjení. Pro výpočet velikosti těchto odporů je nezbytné určit napětí jednotlivých fází nabíjení (U_1 až U_5), která jsou na obr. 2.5. Ve zdroji bude využit olověný akumulátor typu AGM a hodnoty nabíjecích napětí jsou v tab. 2.1. Tyto hodnoty budou využity pro následující výpočty.

Tab. 2.1: Napětí pro jednotlivé fáze nabíjení AGM akumulátoru

Úroveň napětí	Hodnota [V]
U_1	12
U_2	14,4
U_3	15
U_4	13,8
U_5	12,4



Obr. 2.7: Katalogové zapojení obvodu UC3906 (podle [12])

Rezistor s označením R_S určuje velikost nabíjecího proudu a jeho odpor byl vypočten podle vztahu (2.4). Nabíjecí proud byl zvolen 0,2 A. V návrhu je využit 5W výkonový odpor. Pro další výpočty byla zvolena hodnota proudu $I_D = 70 \mu\text{A}$. Podle vztahu (2.5) byl vypočten odpor R_C . Vztahem (2.6) je vypočten pomocný odpor R_{SUM} pro další výpočty. Pomocí zbývajících vztahů (2.7) až (2.10) byly dopočteny zbývající odpory. K dosažení přesného nastavení nabíjecích napětí jsou některé odpory vytvořeny sérovou kombinací dvou rezistorů z řady E24.

$$R_S = \frac{0,25}{0,2} = \underline{1,25 \Omega}, \quad (2.4)$$

$$R_C = \frac{2,3}{I_D} = \frac{2,3}{70 \cdot 10^{-6}} = \underline{33 \text{ k}\Omega}, \quad (2.5)$$

$$R_{SUM} = \frac{(U_4 - 2,3)}{I_D} = \frac{(13,8 - 2,3)}{70 \cdot 10^{-6}} = \underline{164,29 \text{ k}\Omega}, \quad (2.6)$$

$$R_D = \frac{2,3 \cdot R_{SUM}}{(U_3 - U_4)} = \frac{2,3 \cdot 164,29 \cdot 10^3}{15 - 13,8} = \underline{315 \text{ k}\Omega}, \quad (2.7)$$

$$R_A = \left(R_{SUM} + \frac{R_C \cdot R_D}{R_C + R_D} \right) \cdot \left(1 - \frac{2,3}{U_1} \right) = \left(164,29 \cdot 10^3 + \frac{33 \cdot 10^3 \cdot 315 \cdot 10^3}{33 \cdot 10^3 + 315 \cdot 10^3} \right) \cdot \left(1 - \frac{2,3}{12} \right) = \underline{157 \text{ k}\Omega}, \quad (2.8)$$

$$R_B = R_{SUM} - R_A = 164,29 \cdot 10^3 - 157 \cdot 10^3 = \underline{7,3 \text{ k}\Omega}, \quad (2.9)$$

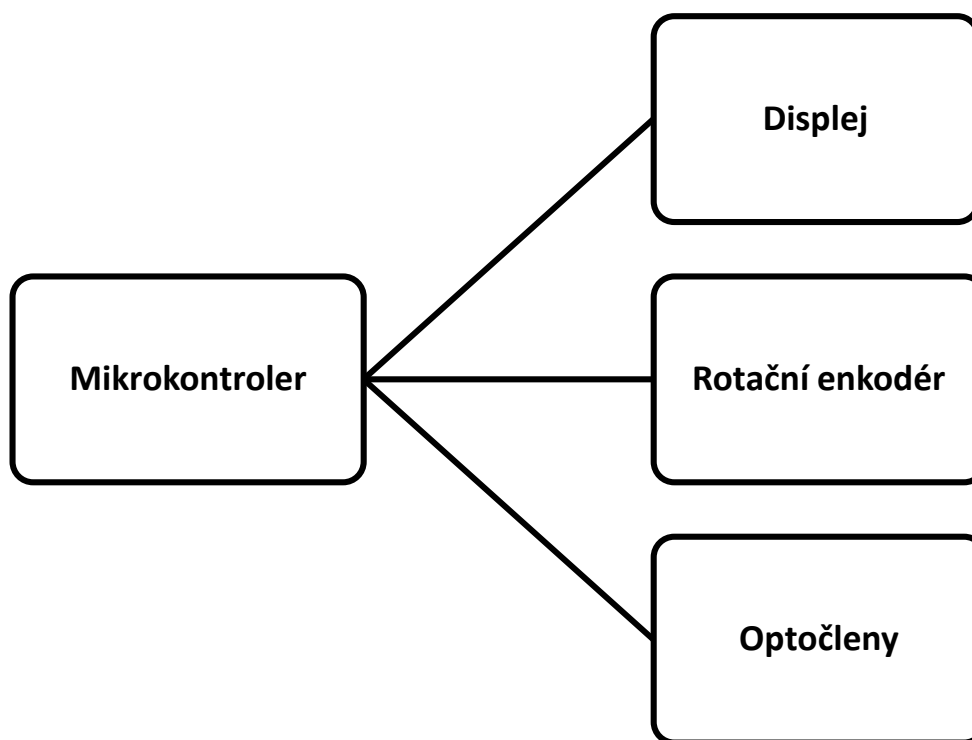
$$R_T = \frac{V_{IN} - U_1 - 2,5}{I_T} = \frac{15,4 - 12 - 2,5}{25 \cdot 10^{-3}} = \underline{36 \Omega}. \quad (2.10)$$

K signalizaci stavu nabíjení slouží 4 LED. Zelená světelná dioda indikuje připojení nabíječky k síťovému napájení. Pokud napětí baterie dosáhne hodnoty U_1 podle tabulky 2.1, tak dojde k nabíjení plným proudem (0,2 A) a zároveň se rozsvítí červená světelná dioda. Zbylé dvě LED znázorňují stav nabití akumulátoru. Pokud svítí jedna, tak je akumulátor nabit z poloviny (U_2). Při svitu obou je nabíjení dokončeno a nabíječka je přepnuta do udržovacího režimu.

2.3 Realizace digitální části

Digitální část zajišťuje ovládání celého zdroje a komunikaci s PC. Její základní části jsou mikrokontroler, displej, optočleny a rotační enkodér.

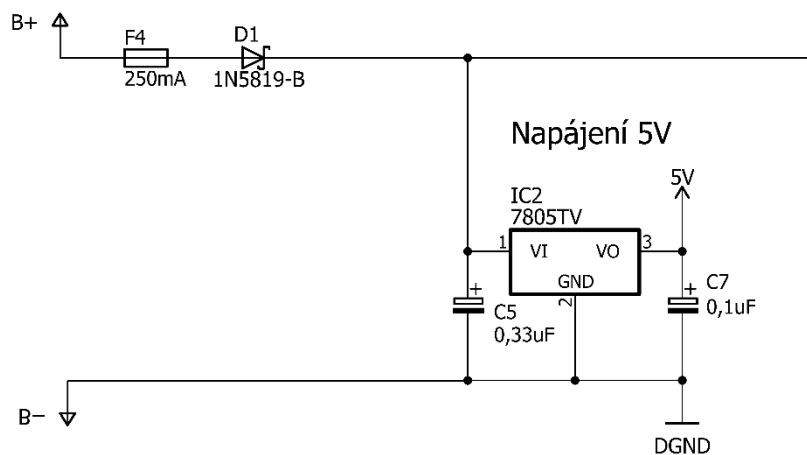
V dalších částech textu je přehled použitých obvodů, jejich zapojení a popis. Hlavní bloky této části jsou zobrazeny na obr. 2.8.



Obr. 2.8: Blokové schéma digitální části

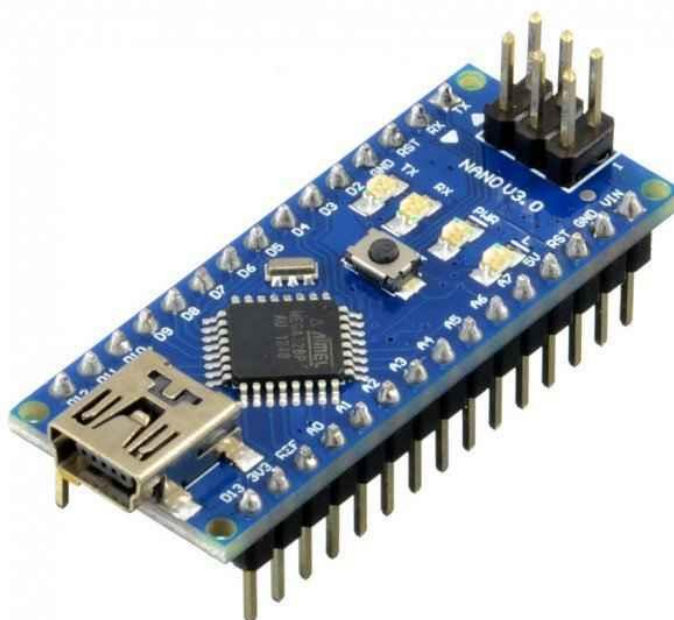
Napájení celé digitální části zajišťuje lineární stabilizátor **7805**, který je zapojen jako na obr. 2.9. Ten vytváří stabilizované napětí 5 V z 12V akumulátoru. Na vstup i výstup jsou připojeny elektrolytické kondenzátory, které zajišťují stabilitu. Jejich kapacita je dána doporučením výrobce.

Vstup akumulátor 12V



Obr. 2.9: Zapojení lineárního stabilizátoru 7805

K řízení bylo zvoleno **Arduino NANO**, které obsahuje mikrokontroler ATmega328P. Na samostatné desce plošného spoje se nachází mikrokontroler, jehož piny jsou vyvedeny na okraj desky a umožňují zasunutí do patice DIP32, viz obr. 2.10. Na desce je dále převodník ze sériové linky na USB, jež je vyvedeno konektorem mini USB. Obvod má dostatečný počet digitálních výstupů i analogových vstupů a dále obsahuje sběrnici I2C, která je využita ke komunikaci s displejem. Arduino je vhodné z důvodu nízké ceny, dostupnosti a snadného programování.



Obr. 2.10: Arduino NANO V3.0 (převzato z [14])

Zobrazení informací je pomocí LCD zobrazovače s podsvícením. Displej je dvouřádkový se šestnácti znaky na řádek jako na obr. 2.11. Kvůli snížení počtu vodičů potřebných k propojení, obsahuje displej osmi bitový převodník na sběrnici I2C. K tomu je využit obvod PCF8574.

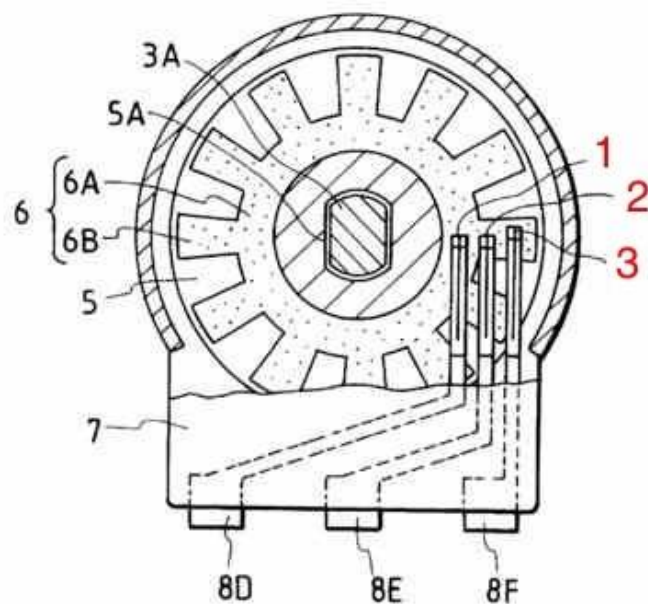
K displeji tedy stačí připojit pouze 4 vodiče a to pěti voltové napájení přes kontakty VCC a GND. Ke komunikaci slouží dva datové piny SDA a SCL. Ty jsou připojeny k Arduino NANO, jenž má SDA vyvedeno na pin A4 a SCL na pin A5.

Displej ještě obsahuje trimer, kterým lze nastavit kontrast. Sběrnice I2C používá ke komunikaci adresu zařízení. Ta se nastavuje pomocí tří drátových propojek a to v rozsahu od 0x20 do 0x27. Tyto propojky nejsou propojeny, takže adresa displeje, která se bude používat dále v ovládacím programu je 0x20.

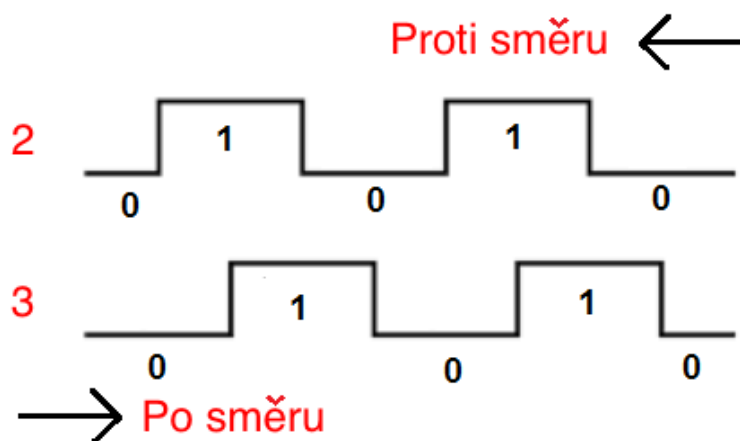


Obr. 2.11: LCD modul 16×2 (převzato z [15])

Ovládání probíhá pomocí rotačního enkodéru. Jeho osa je připojena ke kotouči se speciálním motivem. Na tento motiv dosedají tři kontakty. Vnitřní uspořádání enkodéru je na obr. 2.12. Pokud se kotouč otáčí, dochází k propojení kontaktů 1 a 2 nebo 1 a 3. Tím, že je kontakt 3 mírně posunut, dochází i k pozdějšímu propojení tohoto kontaktu. Výsledný signál z enkodéru je zobrazen na obr. 2.13. Podle rozdílu výstupních signálů lze vyhodnotit směr otáčení.

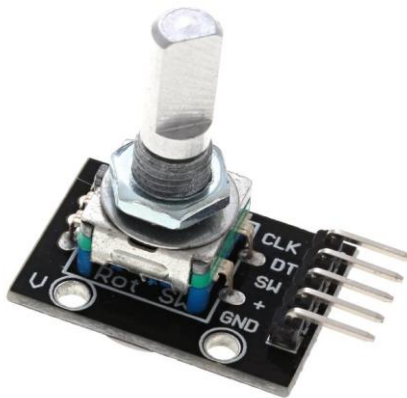


Obr. 2.12: Vnitřní uspořádání rotačního enkodéru (převzato z [16])



Obr. 2.13: Výstupní signál z rotačního enkodéru (převzato z [16])

Osa enkodéru je propojena s mikrospínačem. Po stisku osy dojde k aktivaci spínače. K připojení enkodéru je potřeba pět vodičů, jak je zobrazeno na obr. 2.14. Je to napájení 5 V označené + a GND. Datové vodiče jsou SW od mikrospínače, který připojen k pinu D5 na Arduino NANO. Zbývající výstupy CLK a DT, které slouží ke snímání otáčení, jsou připojeny k pinům D3 a D4.



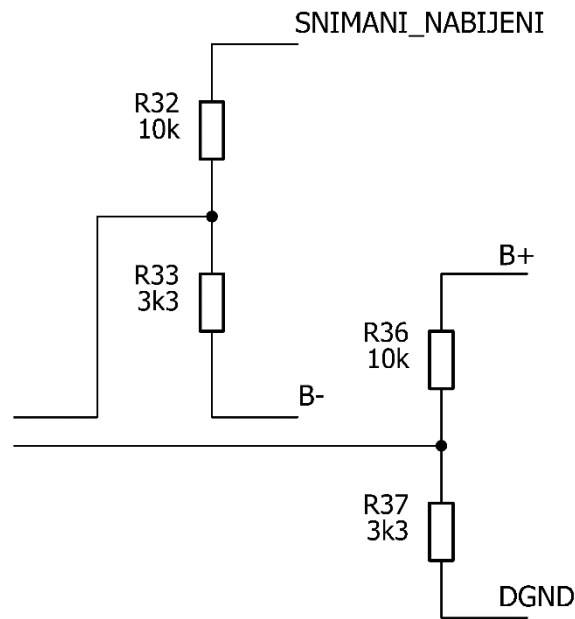
Obr. 2.14: Výstupy rotačního enkodéru (převzato z [17])

Ke zjištění, zda probíhá nabíjení akumulátoru, se měří usměrněné napětí za síťovým transformátorem a to může mít velikost až 15 V. Digitálně analogový převodník v mikrokontroléru zvládne však maximálně napětí 5 V. Proto je nutné použít napěťový dělič jako na obr. 2.15.

Ten je navržen tak, že při maximálním napětí 15 V na vstupu je na výstupu napětí podle vztahu (2.11). Výstup tohoto děliče je připojen k Arduino NANO na pin A3.

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_1 = \frac{3,3 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 3,3 \cdot 10^3} \cdot 15 = \underline{3,72 \text{ V}}, \quad (2.11)$$

Při provozu nebo nabíjení je nutné měřit napětí akumulátoru, aby bylo možné na displeji zobrazit úroveň jeho nabití. K tomu slouží obdobný dělič jako při snímání nabíjení. Jeho zapojení je na obr. 2.15. Pokud je zjištěno nízké napětí akumulátoru, je v ovládacím programu dán pokyn k vypnutí zdroje.

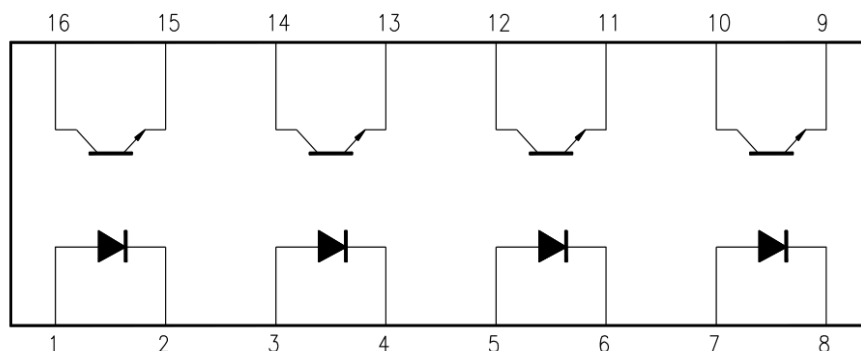


Obr. 2.15: Schéma zapojení děličů pro snímání nabíjení a napětí akumulátoru

2.4 Galvanické oddělení

Digitální část má svoji vlastní zem označenou DGND, která je oddělena od země zdrojové části označené GND. Digitální část také pracuje s maximálním napětím 5 V, kdežto zbytek zdroje s maximálním napětím až 72 V. Dále také vzniká v digitální části rušení od mikrokontroléru, které se nesmí dostat do zdrojové části. Proto je nutné použít při ovládání nebo snímání napětí ve zdrojové části oddělení optočleny.

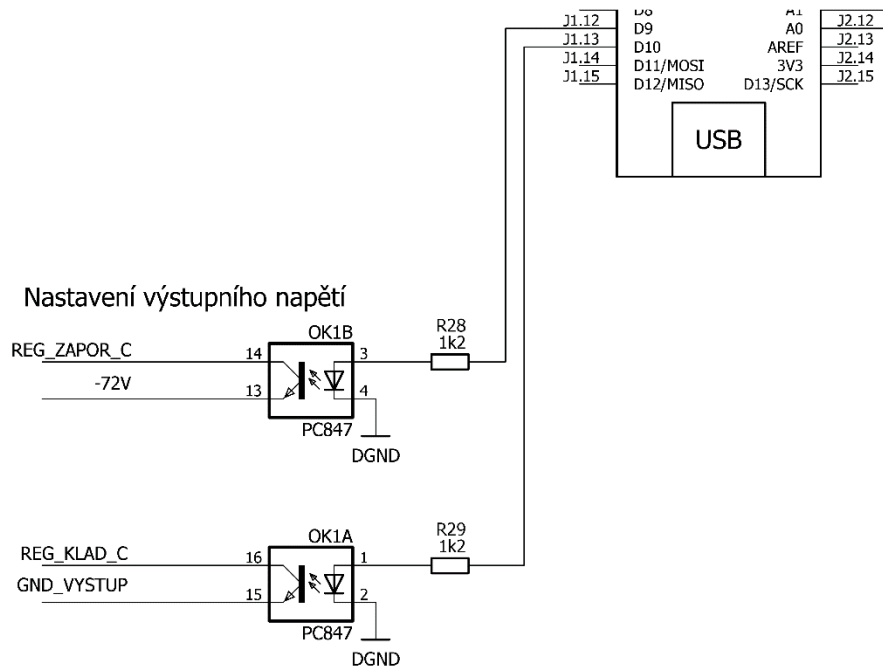
V celém zapojení byly potřeba 4 optočleny, a proto byl zvolen integrovaný obvod **PC847**. Obvod má vyvedeny samostatně anodu, katodu, kolektor a emitor pro každý optočlen tak, jak je na obr. 2.16.



Obr. 2.16: Rozložení výstupů obvodu PC847 (převzato z [11])

Dva optočleny jsou využity pro číslicovou regulaci výstupního napětí zdroje. Jejich zapojení je na obr. 2.17. Na vstup optočlenů je přiváděn PWM signál, jehož maximální

napětí je 5 V. Z toho vychází výpočet (2.12) pro předřadné odpory diod v optočlenech. Prahové napětí diod je podle výrobce 1,4 V [11] a proud diodou byl zvolen 3 mA. Anody diod jsou připojeny na piny D9 a D10 Arduina. Výstupy optočlenů jsou zapojeny k části pro číslicovou regulaci, která je popsána v kapitole 2.1.



Obr. 2.17: Schéma zapojení optočlenů pro číslicovou regulaci výstupního napětí

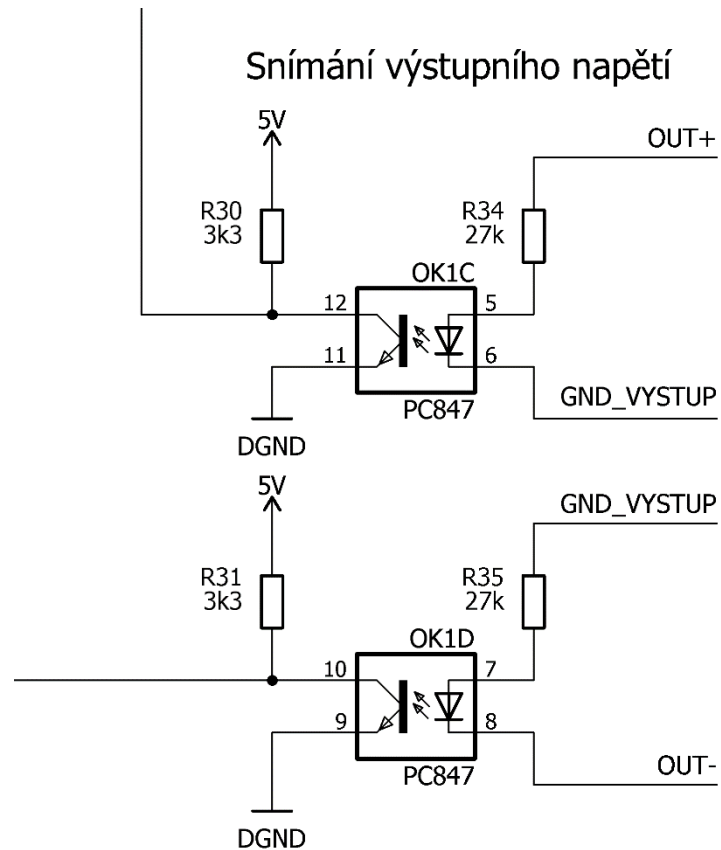
$$R = \frac{U_{CC} - U_F}{I_D} = \frac{5 - 1,4}{3 \cdot 10^{-3}} = \underline{1200 \Omega} \text{ (1k2)}, \quad (2.12)$$

Další dva optočleny se používají při snímání výstupního napětí zdroje. Zapojení je znázorněno na obr. 2.18. Předřadné odpory pro diody byly vypočteny podle vztahu (2.13). Pro výpočty bylo zvoleno s rezervou maximální napětí 80 V na vstupu optočlenů a proud diodami 3 mA. Prahové napětí, které je použito ve výpočtech, je 1,4 V [11].

$$R = \frac{U_{CC} - U_F}{I_D} = \frac{80 - 1,4}{3 \cdot 10^{-3}} = \underline{26200 \Omega} \text{ (27k)}, \quad (2.13)$$

Snímání záporné větve zdroje je zapojeno tak, aby dioda optočlenu byla v propustném směru. Optočleny v obvodu PC847 mají podle výrobce parametr CTR roven 50 % [11]. To znamená, že fototranzistorem prochází poloviční proud než diodou. Z toho vychází hodnota proudu fototranzistorem 1,5 mA, která je využita ve výpočtu (2.14). Takto vypočtený odpor je připojen mezi 5 V a kolektor optočlenu. Emitor je připojen k zemi. Společný bod kolektoru a odporu je připojen k analogovému pinu Arduina. Pokud je fototranzistor uzavřen, tak je na pinu změřeno napětí 5 V, což odpovídá nulovému napětí na výstupu zdroje. Při zvýšení výstupního napětí zdroje se snižuje velikost napětí na analogovém pinu Arduina.

$$R = \frac{U_{CC}}{I_{TR}} = \frac{5}{1,5 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{3333 \Omega (3k3)}}, \quad (2.14)$$

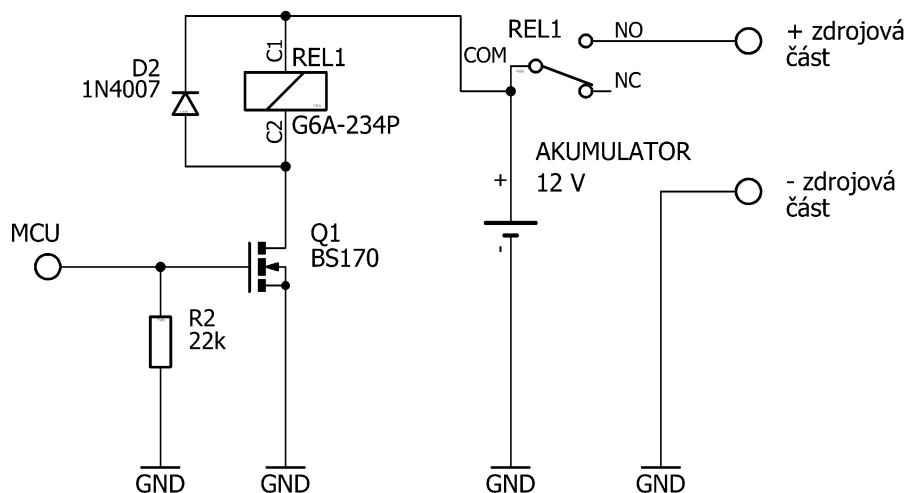


Obr. 2.18: Schéma zapojení optočlenů pro snímání výstupního napětí zdroje

2.5 Ochrany

V případě, že bude vypnut výstup zdroje, je nutné zajistit odpojení zdrojové části od akumulátoru. Proto je mezi plusový kontakt akumulátoru a vstup zdrojové části zařazen spínací kontakt relé.

Ovládání cívky relé je provedeno unipolárním tranzistorem. Samotný tranzistor je pak spínán výstupním pinem Arduina. Zapojení je na obr. 2.19. Pokud by se například při resetu nacházel výstup Arduina ve vysoké impedanci, tak rezistor R2 zajistí připojení řídicí elektrody tranzistoru na zem a tím nedojde k náhodnému sepnutí.



Obr. 2.19 : Odpojení akumulátoru od zdrojové části

Nabíječka je osazena na síťovém vstupu pojistkou kvůli ochraně například při přetížení transformátoru v případě poruchy. Další pojistka se nachází na výstupu nabíječky, kde zamezuje zničení akumulátoru při poruše nabíjení.

K akumulátoru jsou paralelně připojeny externí svorky, které slouží k připojení externí baterie nebo výkonnější nabíječky. Mezi kladnou svorku akumulátoru a kladnou externí svorku je sériově připojena pojistka se zkratovým proudem 250 mA, která zabrání zničení akumulátoru při nechtěném zkratu svorek.

Kvůli zamezení poškození zdrojové části při přepólování akumulátoru je na jejím vstupu sériově zapojena Schottkyho dioda v propustném směru. Tento typ diody je zvolen kvůli nižšímu úbytku napětí (0,3 V). Pokud bude akumulátor připojen se špatnou polaritou, tak bude dioda v nepropustném směru a zdrojová část nebude ohrožena. Dále je k diodě připojena sériově pojistka, která v případě poruchy zdrojové části zamezí zničení akumulátoru, jenž by se jinak mohl dostat do zkratu. Výrobce doporučuje připojit na vstupy měničů pojistku s hodnotou zkratového proudu maximálně 300 mA [10]. Byla použita pojistka s nejbližší vyráběnou hodnotou a to 250 mA.

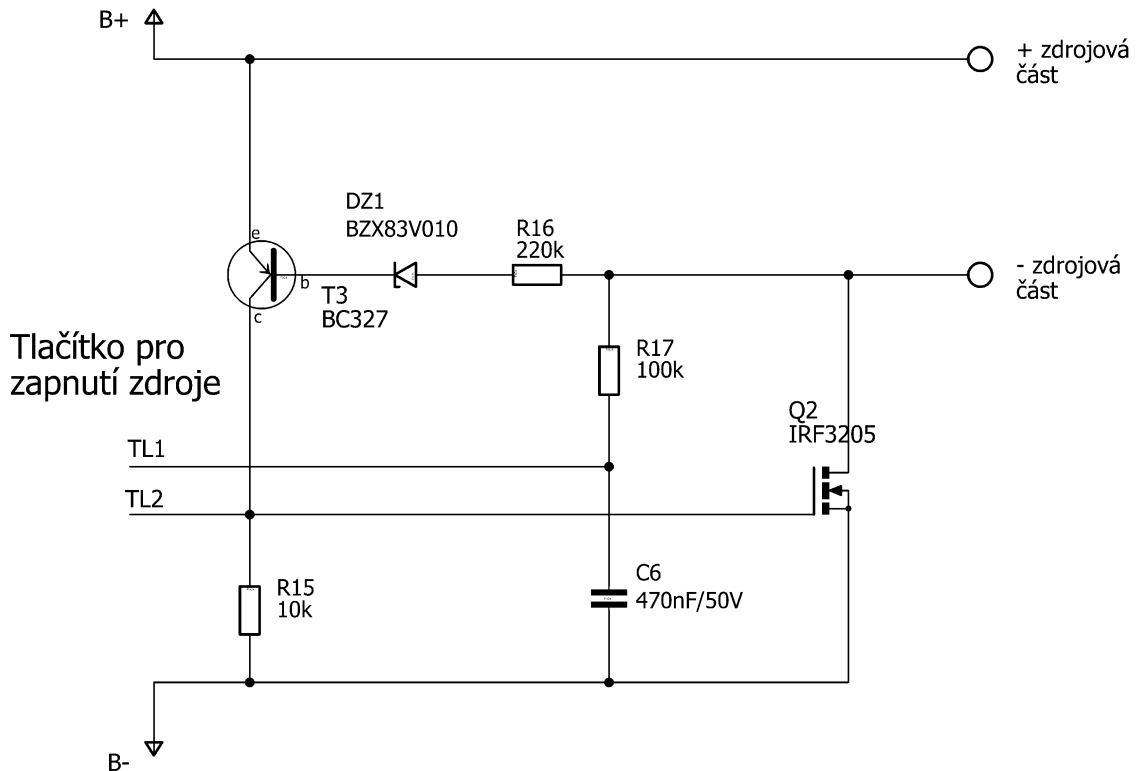
Maximální přípustné vstupní napětí měniče je 13,8 V [10]. Pro zamezení poškození měničů přepětím například při poruše nabíječky je do obvodu přidán transil, jehož průrazné napětí je 13,1 V. Pokud dojde k překročení tohoto napětí, tak dojde k otevření transilu a vybavení pojistky ve zdrojové části.

Do zařízení je přidána i ochrana, která zamezí vybití akumulátoru. Pokud by obsluha nechala zařízení zapnuto, tak dojde při nízkém napětí akumulátoru k samovolnému vypnutí zdroje. Schéma ochrany je na obr. 2.19. Unipolární tranzistor je použit kvůli nízkým ztrátám v sepnutém stavu.

Obvod zároveň slouží k vypnutí nebo zapnutí celého zdroje. Pokud je zdroj vypnut, tak přes zdrojovou část a R_{17} dojde k nabití C_6 . Při stisku zapínacího tlačítka dojde ke spojení vývodů TL1 a TL2, tím se dostane napětí z kondenzátoru na gate Q_2 . Tento unipolární tranzistor je tak sepnut a zdrojová část je uzemněním aktivována. Zároveň se přes R_{16} otevře i tranzistor T_3 , který pak udržuje stále otevřený Q_2 , a také se vybije C_6 . Při dalším stisku tlačítka se gate Q_2 vybije do C_6 a dojde k odpojení zdrojové části. V tu chvíli se zavře i T_3 . Pokud je zdroj zapnut a dojde k poklesu napětí akumulátoru pod 10 V, tak

zenerovou diodou přestane protékat proud a dojde k zavření T_3 a následně Q_2 . Tím je odpojen akumulátor a nemůže dojít k jeho zničení vybitím.

Vstup akumulátor 12V



Obrázek 2.1: Schéma zapojení ochrany akumulátoru proti vybití

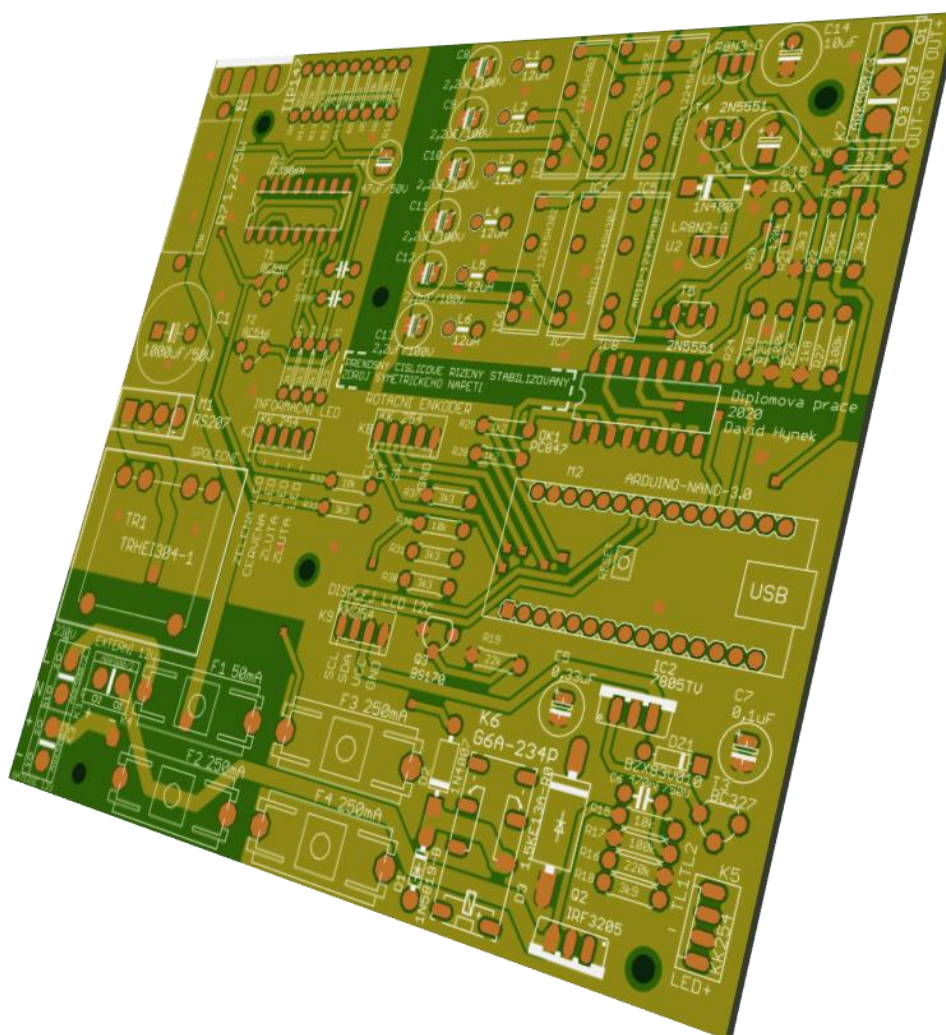
2.6 Návrh desky plošného spoje

Deska plošného spoje je oboustranná se šířkou 130 mm a výškou 120 mm, viz obr. 2.21. Na obr. 2.20 je 3D vizualizace DPS.

Je využita rozdílná šířka spojů kvůli jejich odlišnému proudovému zatížení. Pro spoje v části nabíječky je to 2,54 mm. Napájecí větve ve zdrojové části mají tloušťku 1,27 mm. Ostatní signálové cesty jsou široké 0,8 mm, aby mohli být taženy i mezi vývody integrovaných obvodů.

Zdroj obsahuje dvě samostatné země a to GND a DGND. Na DPS je každá země oddělena a samostatně vylita tak, jak je znázorněno na obr. 2.22. Mezi polygony těchto zemí je 6 mm izolační mezera. Tím je zajištěno galvanické oddělení digitální a zdrojové části. Elektrické spojení zajišťuje integrovaný obvod s optočleny. Ten je umístěn tak, aby jedna strana vývodů byla v části země DGND a druhá strana v ploše GND. Tyto opatření zamezí průniku rušení do zdrojové části.

Z horní strany desky plošného spoje je vytvořen potisk, který informuje o označení, hodnotě a obrysu součástky. U jednotlivých vývodů konektorů je popis jejich funkce. Potisk usnadní osazování součástek při výrobě.

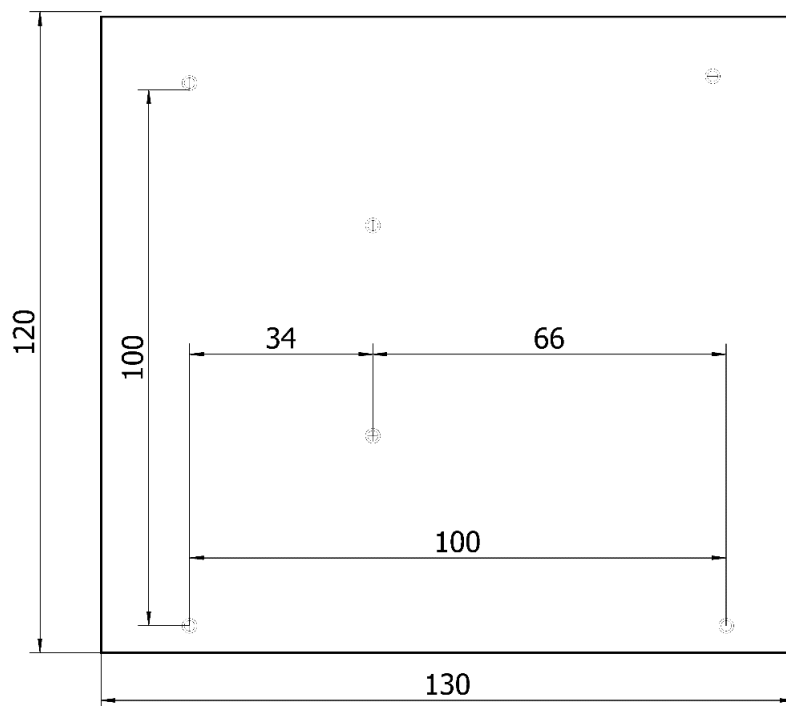


Obr. 2.20: 3D vizualizace horní strany desky plošného spoje

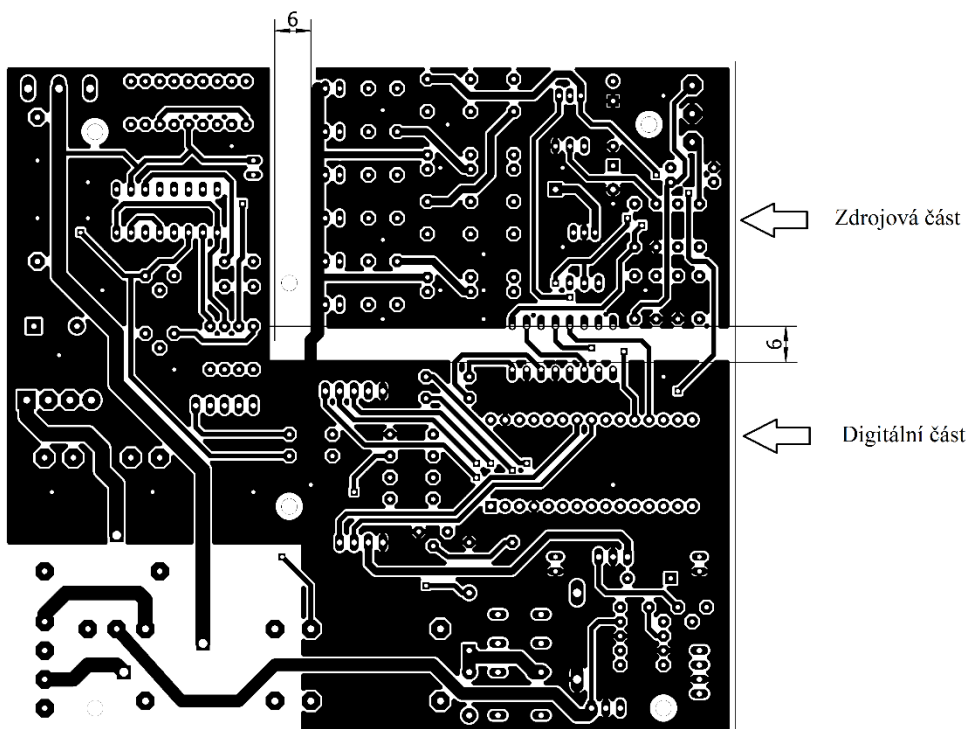
Kvůli upevnění DPS ke krabici je na ní umístěno 6 montážních otvorů o průměru 3 mm. Jejich rozložení je na obr. 2.21.

Všechny použité součástky jsou typu THT. Integrované obvody jsou zapojené v patičích kvůli jednoduché výměně, testování a zamezení poškození při pájení. Výkonový tranzistor v nabíjecí části je opatřen chladičem.

Vstupní a výstupní konektory pro připojení výstupních svorek, externích svorek a akumulátoru jsou umístěny na okrajích DPS tak, aby nedocházelo ke kolizi se součástkami a snadno se připojovaly vodiče.



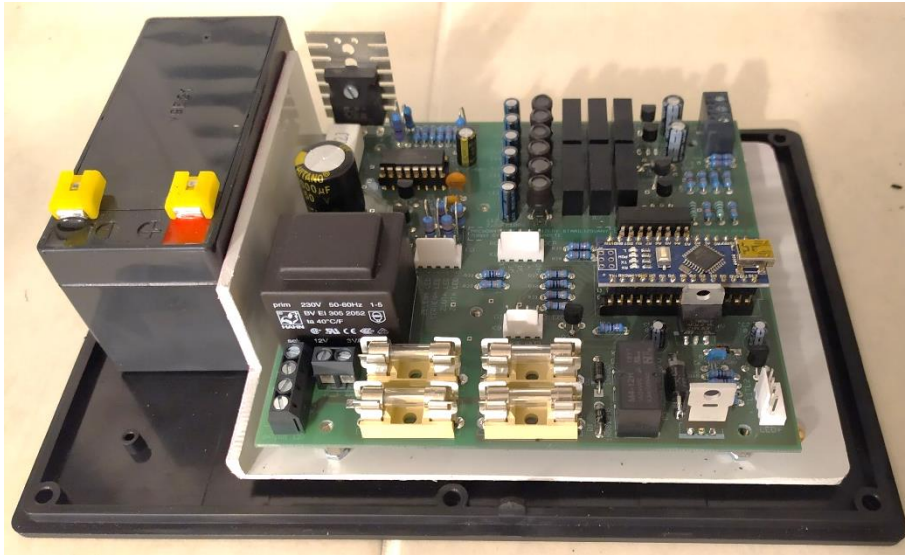
Obr. 2.21: Rozměry a umístění montážních otvorů DPS



Obr. 2.22: Horní strana DPS s vyznačenou izolační mezerou mezi GND a DGND

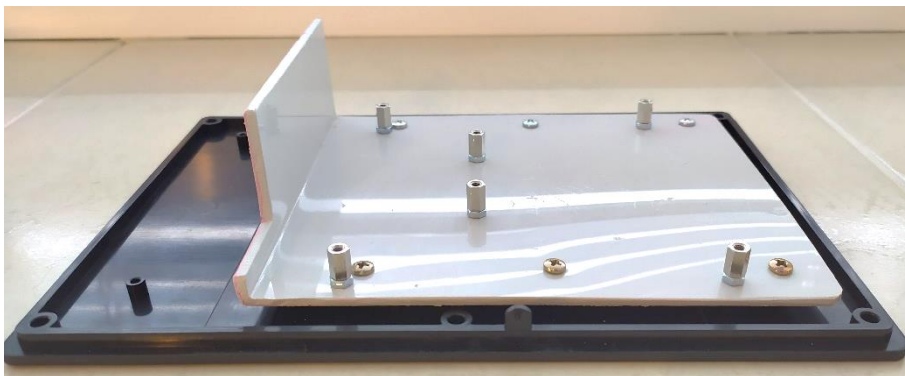
2.7 Mechanická konstrukce

Zdroj je zabudován do plastové krabičky s odmontovatelným víkem. K víku jsou připevněny DPS a akumulátor, což je vidět na obr. 2.23. Do těla krabičky jsou namontovány ovládací prvky, svorky, síťové napájení a vypínače. Propojení jednotlivých částí je zajištěno lankovými vodiči zakončenými konektory nebo svorkami pro rychlou demontáž. Dále v textu jsou popsány jednotlivé komponenty.



Obr. 2.23: Detail upevnění akumulátoru a DPS

Deska plošného spoje není přímo přichycena ke krabičce, protože by došlo vlivem montážních otvorů k porušení její voděodolnosti. Vnitřní sloupky nelze použít, protože vhodně nepasují k DPS. Na vnitřní originální sloupky je umístěno mezipatro z plastové desky, ke kterému je přes šest distančních sloupků přimontována samotná DPS, viz obr. 2.24.



Obr. 2.24: Provedení mezi patra pro uchycení DPS

Použitý olověný akumulátor má kapacitu 1,3 Ah. Přichycen je pomocí ocelové spony, která je upevněna dvěma šrouby k vnitřním sloupkům krabičky. Kontakty akumulátoru jsou připojeny konektory typu faston k přívodním vodičům do DPS.

Silové kabely mezi síťovou zásuvkou, akumulátorem, výstupními a externími svorkami jsou k DPS připojeny pomocí šroubovacích svorkovnic. Tyto lankové vodiče jsou zakončeny nalisovanými dutinkami. Signálové vodiče od displeje, rotačního enkodéru, signálních LED a vypínačů jsou připojeny k DPS konektory se zámkem typu KK254, viz obr. 2.25. Na konce vodičů jsou nalisovány piny, které jsou zasunuty do těla zásuvky konektoru.



Obr. 2.25: Konektor se zámkem typ KK254 (převzato z [18])

Pro vyvedení micro - USB kabelu z Arduina je využit průmyslový datový konektor typu SP13, viz obr. 2.26. Zdroj se k PC připojuje kabelem, který má na jedné straně průmyslovou datovou vidlici a na druhé straně konektor USB – A.



Obr. 2.26: Průmyslový datový konektro SP13 (převzato z [19])

V čelním panelu je vyříznout obdélníkový otvor, který je překryt průhledným plastem. Samotný displej je uchycen distančními sloupky za tento otvor. Osa rotačního enkodéru prochází otvorem v čelním panelu a je zakončena hmatníkem. Tělo enkodéru je přichyceno distančními sloupky k panelu.

Zdroj obsahuje tři výstupní svorky, jejichž označení je plus, mínus a země. Na zadní straně jsou dvě svorky pro připojení externí baterie nebo výkonnější nabíječky. Ty mají označení plus a mínus. Jsou použity svorky, které jsou na obr. 2.27. Ty umožňují připojení samostatného vodiče nebo zasunutí čtyř milimetrové kolíkové svorky.



Obr. 2.27: Výstupní svorka zdroje (převzato z [20])

Pro připojení vestavěné nabíječky k síti je použit standardní EURO konektor, viz obr. 2.28. Umístěn je na zadním panelu.



Obr. 2.28: Síťová EURO zásuvka (převzato z [21])

Pomocí kolébkového přepínače, který slouží jako hlavní vypínač, lze odpojit akumulátor od zbytku elektroniky. K zapnutí zdroje slouží tlačítko, kterým se aktivuje ochrana proti podvybití akumulátoru, jež umožní napájení zbytku zdroje. Toto tlačítko zároveň obsahuje zelenou svítivou diodu, která indikuje zapnutí zdroje. Oba vypínače jsou umístěny na čelním panelu, tak jako na obr. 2.29.



Obr. 2.29: Umístění vypínačů na krabičce

2.8 Fotodokumentace celkového provedení napájecího zdroje

Na obr. 2.30 až obr. 2.38 je několik snímků vytvořeného napájecího zdroje s detaily vnitřního provedení a DPS.



Obr. 2.30: Celkový pohled na zdroj



Obr. 2.31: Čelní panel s ovládacími prvky a výstupními svorkami



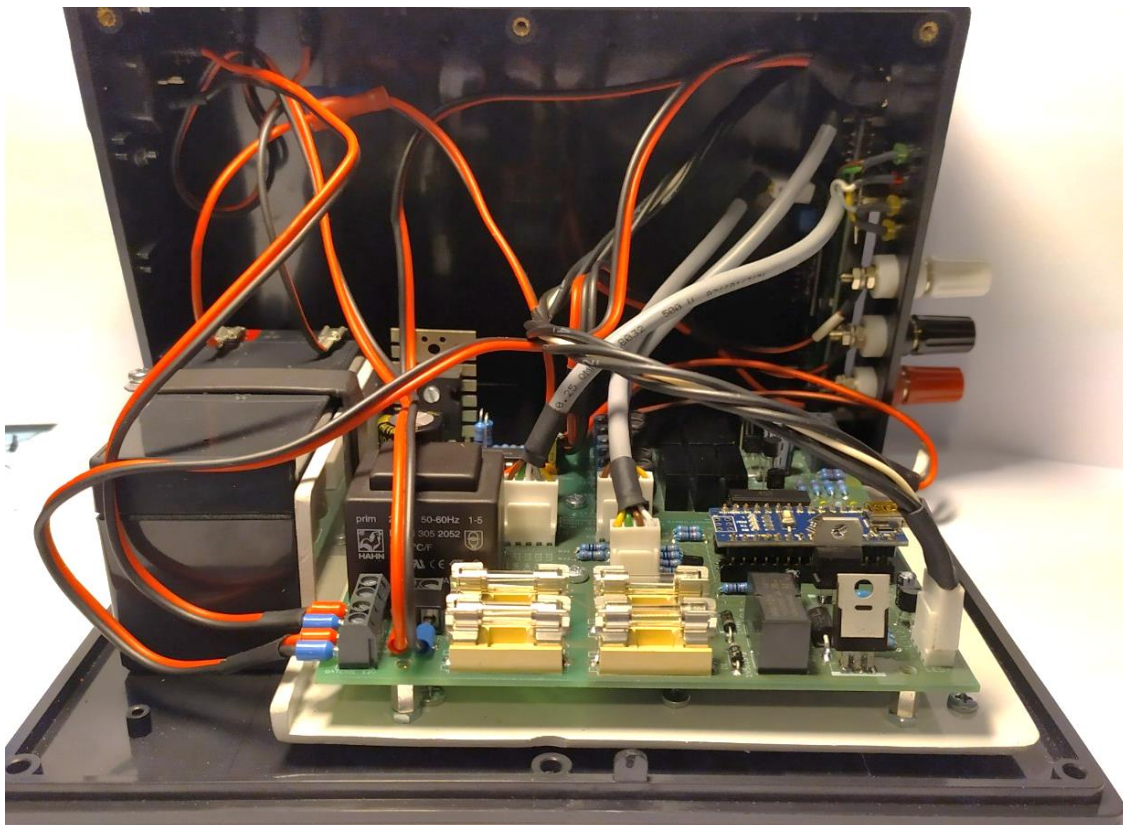
Obr. 2.32: Zobrazené informace na displeji v zapnutém stavu



Obr. 2.33: Svorky pro připojení externího akumulátoru



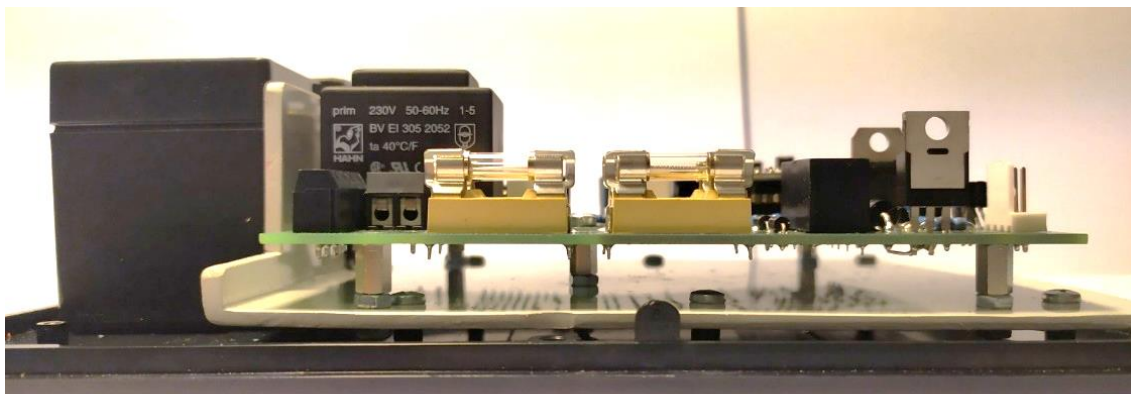
Obr. 2.34: Zadní strana zdroje s konektory pro napájení a připojení k PC



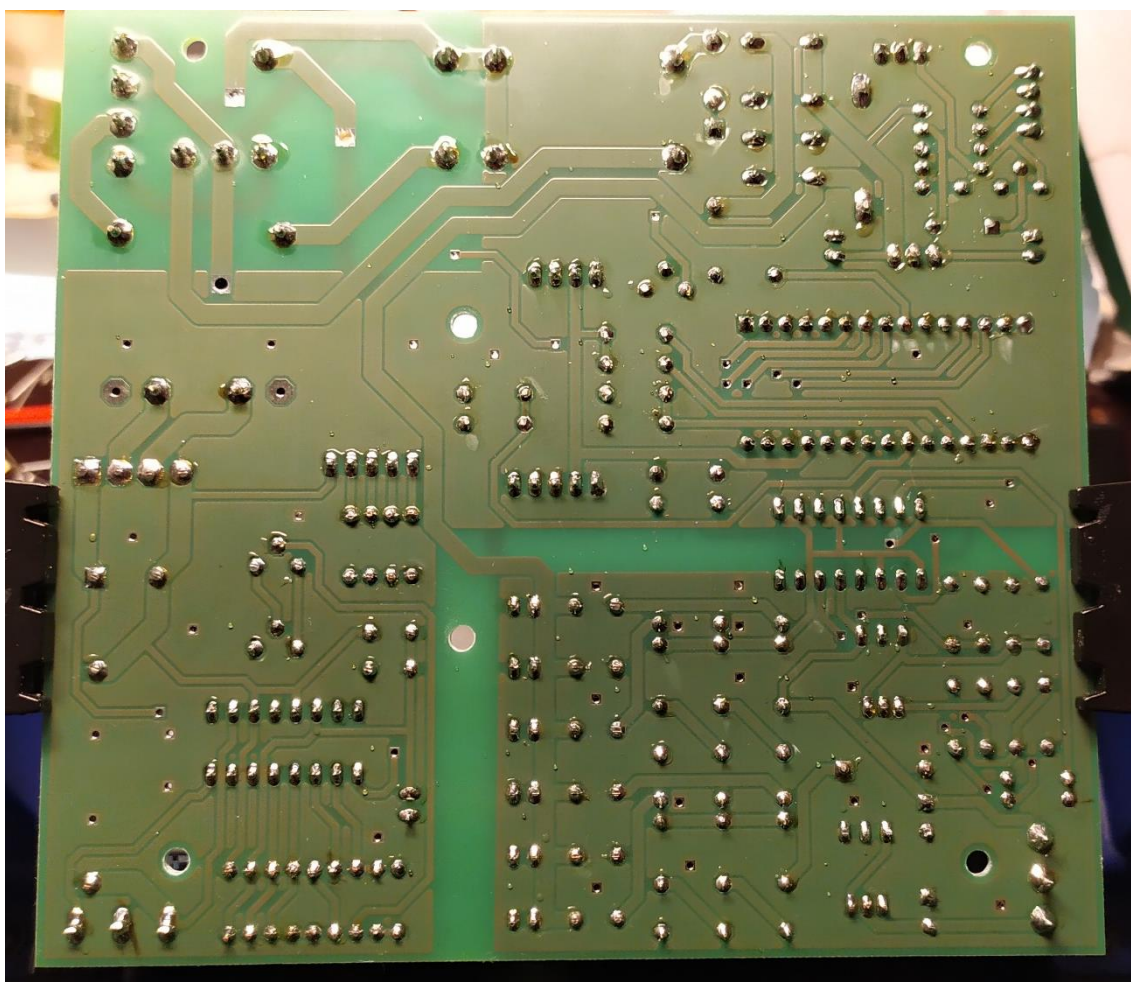
Obr. 2.35: Otevřený zdroj se zapojenou kabeláží



Obr. 2.36: Spodní víko krabičky s připevněnou DPS bez kabeláže a akumulátorem v držáku



Obr. 2.37: Detail uchycení DPS k vytvořenému mezipatru



Obr. 2.38: Pohled na spodní stranu osazené a zapájené DPS

3 OVLÁDACÍ PROGRAM

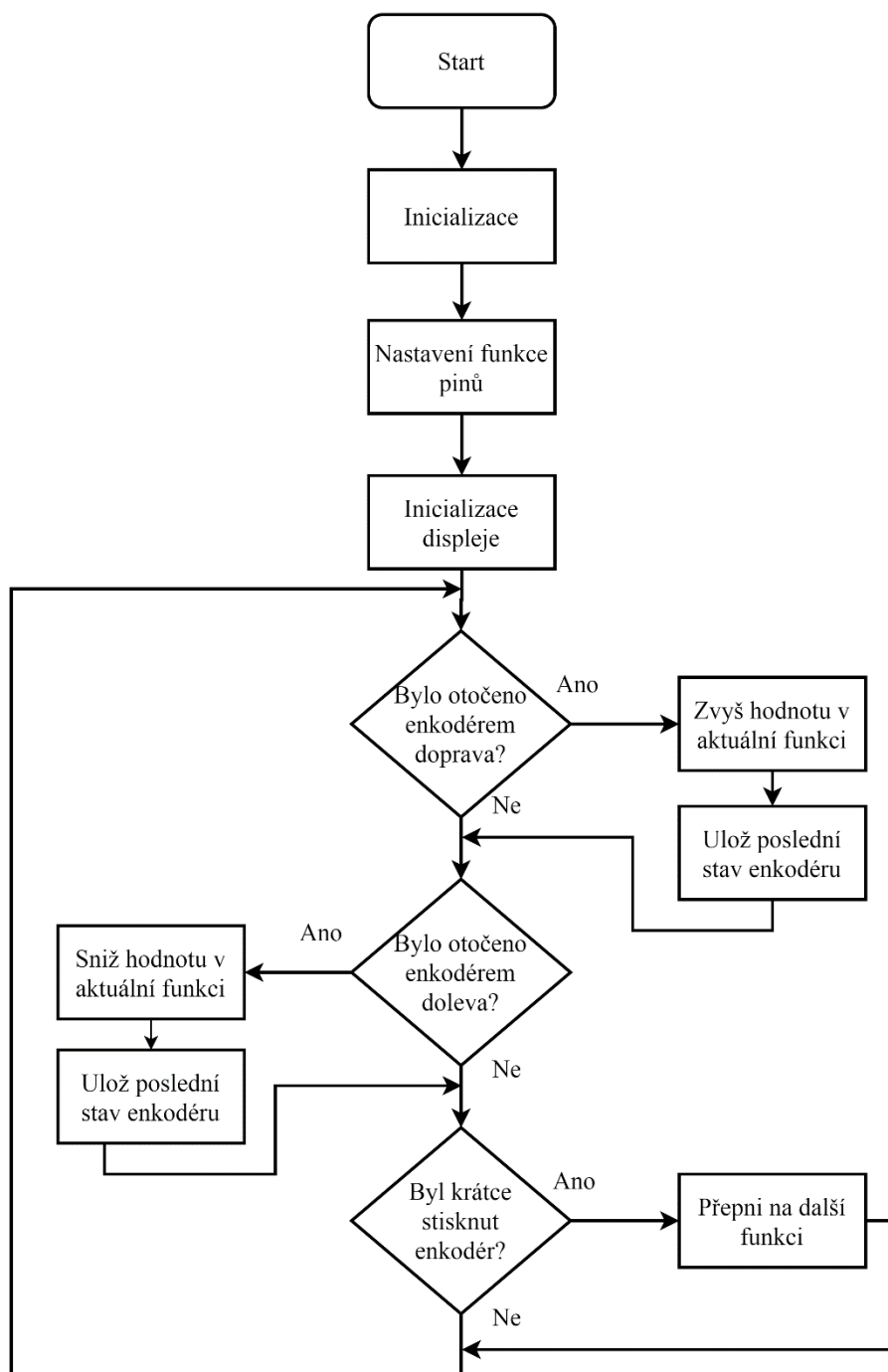
Tato kapitola se zabývá návrhem ovládacího programu (firmware) pro vytvořený napájecí zdroj. Dále je popsána i ovládací utilita, která slouží k nastavení zdroje z PC, jež je vytvořena v programu LabView. Kód firmwaru a program z LabVIEW jsou přiloženy v elektronické příloze.

3.1 Vývojový diagram

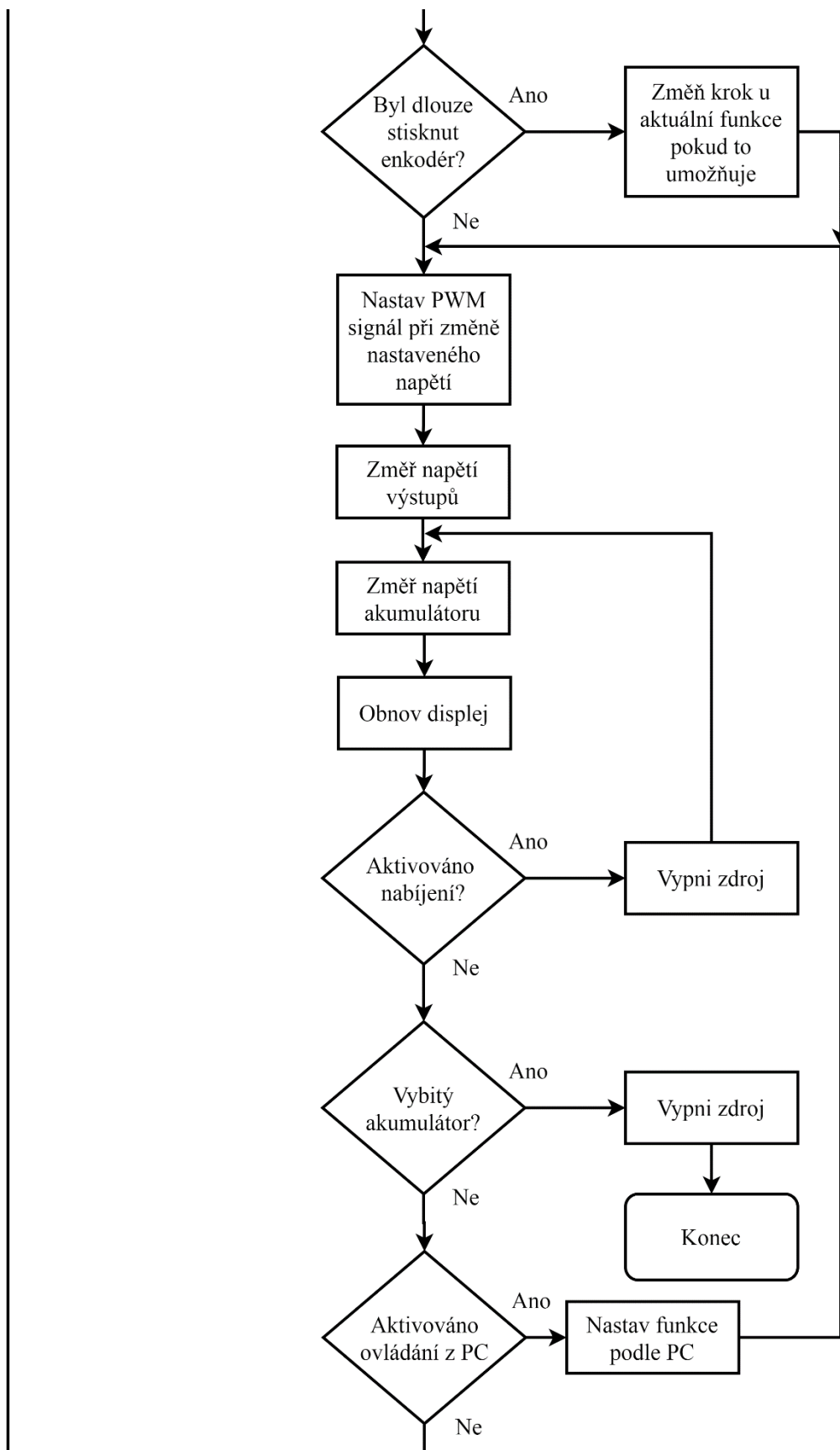
Znázornění ovládacího programu pomocí vývojového diagramu je na obr. 3.1 a obr. 3.2. Po zapnutí zdroje jsou při inicializaci vytvořeny používané proměnné a načteny potřebné knihovny. V dalším kroku se nastaví piny mikrokontroléru na požadovanou funkci a aktivuje se displej. Program potom přejde do hlavní smyčky.

V ní se nejprve kontroluje, zda nedošlo k otočení nebo ke stisku rotačního enkodéru. Rozlišuje se směr rotace a délka stisku a podle toho se provede daná operace. Následuje nastavení střídavy PWM podle zadaných hodnot, změření napětí na akumulátoru a výstupech a nakonec obnovení displeje.

Dále se kontroluje, zda není vybitý akumulátor, připojená nabíječka nebo jestli není zdroj připojen k PC. Pokud je zdroj ovládán z LabView, tak přestane reagovat na ovládání enkodérem. Pokud není platná žádná z předchozích podmínek, přejde program zpět na začátek hlavní smyčky.



Obr. 3.1: Vývojový diagram ovládacího programu 1. část

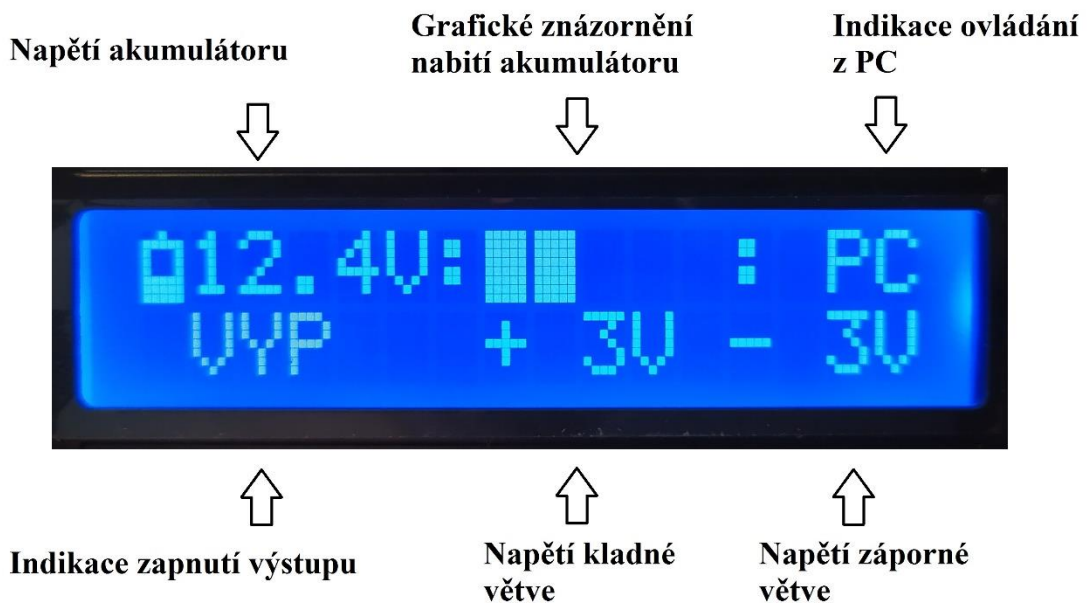


Obr. 3.2: Vývojový diagram ovládacího programu 2. část

3.2 Popis ovládání zdroje

Jediným ovládacím prvkem je rotační enkodér. Ten umožňuje zaznamenat rotaci v obou směrech a stisk. Otáčením enkodéru se mění vybraná část nastavení. Stiskem dochází ke změně funkce a to v pořadí zap/vyp výstupu, nastavení symetrického napětí, nastavení napětí kladné větve, nastavení záporné větve a zobrazení aktuálního napětí na výstupu. Procházení mezi funkcemi je ve smyčce. Při nastavování napětí lze dlouhým stiskem měnit krok.

Použitý displej je dvouřádkový. Rozložení a popis použitých parametrů je na obr. 3.3. První řádek je informační a zobrazuje grafické vyjádření nabití akumulátoru, aktivní nabíjení, připojení k PC a napětí akumulátoru. Funkce, které lze nastavit, jsou zobrazeny na druhém řádku displeje a jejich zobrazení se mění v závislosti na nastavené funkci.



Obr. 3.3: Popis rozložení zobrazení informací na displeji

Zobrazené nastavené napětí je pouze orientační a skutečné výstupní napětí se může mírně lišit, protože změnou střídy PWM nelze nastavit výstupní napětí přesně.

Při zapojení nabíječky do sítě dojde k deaktivaci zdrojové části a na displeji je zobrazeno grafické znázornění nabíjení a napětí akumulátoru.

Pokud je zdroj ovládán z PC, je ruční nastavení deaktivováno.

3.3 Kód programu

Ve zdroji je k ovládání využito Arduino NANO. Proto byl i firmware napsán ve vývojovém prostředí Arduino IDE, které využívá programovací jazyk Wiring. Samotný kód s komentáři je přiložen v elektronické příloze.

3.4 Funkce využívané v ovládacím

Přehled všech vytvořených funkcí je v tab. 3.1. Ke každé funkci je uveden její název v kódu, parametr, návratová hodnota a krátký popis.

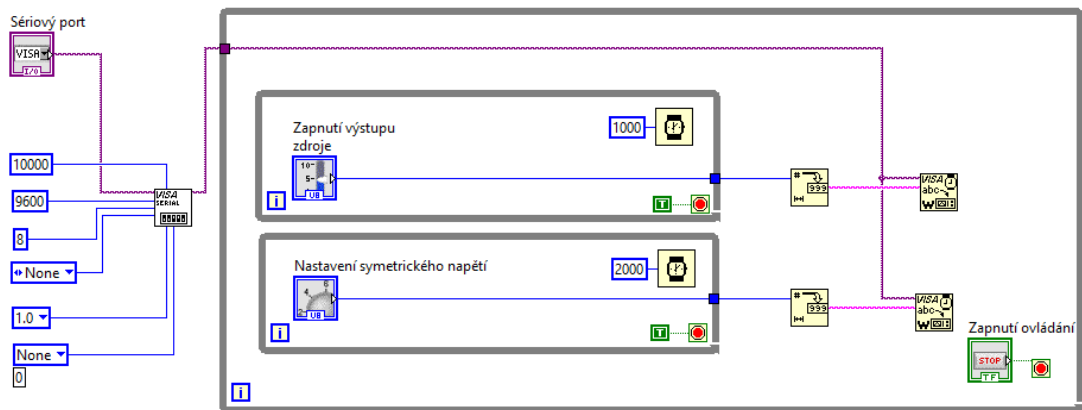
Tab. 3.1: Přehled všech funkcí ovládacího programu

Použitý název funkce v kódu	Parametr funkce	Návratová hodnota funkce	Popis
enkoder	žádný	žádná	kontroluje otočení rotačního enkodéru a jeho stisk
napeti_aku	žádný	napětí akumulátoru	vrací hodnotu skutečného napětí akumulátoru
displej_radek1	žádný	žádná	vykreslí první řádek displeje, který zobrazuje napětí a nabití akumulátoru
displej_radek2	žádný	žádná	vykreslí druhý řádek displeje, který zobrazuje stav výstupu a nastavené napětí obou větví, také zajišťuje blikání vybrané funkce při ovládacím a nastavuje PWM signál
displej_radek2_pc	prikaz	žádná	vykreslí druhý řádek displeje, který zobrazuje stav výstupu a nastavené napětí obou větví a nastavuje PWM signál podle příkazů z PC

3.5 Ovládací utilita v LabVIEW

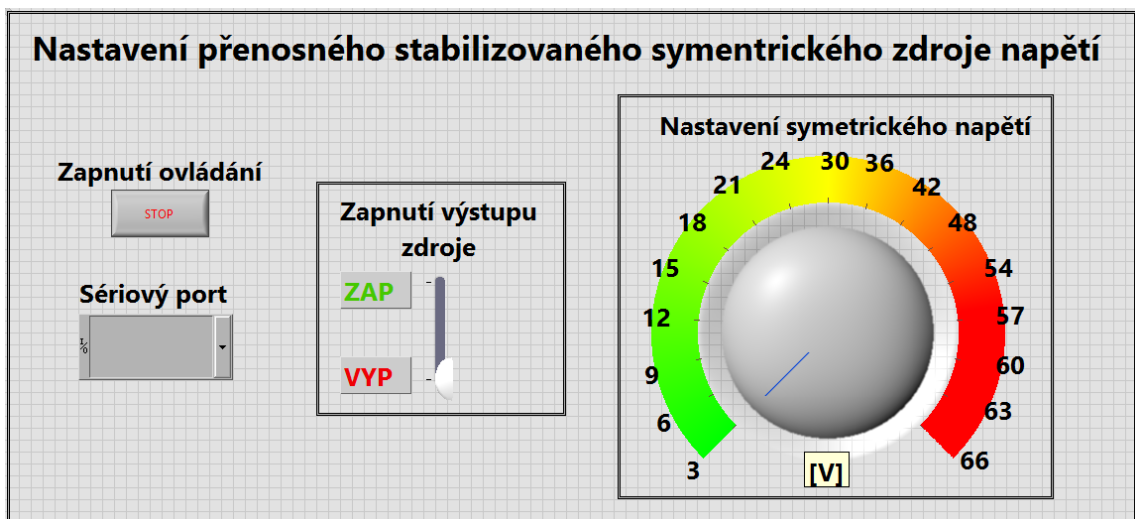
Zdroj je k PC připojen pomocí rozhraní USB, které Arduino využívá ke komunikaci pomocí sériové linky. Firmware v Arduino čeká na povely ze sériové linky a podle nich nastaví zdroj.

V prostředí LabVIEW je využit modul VISA, který umožňuje komunikaci vývojového prostředí se zařízeními pomocí sériové linky. LabVIEW používá k programování vizuální jazyk, který se skládá z bloků a šipek. Vizuální program vytvořeného ovládacího je na obr. 3.4. V levé části je nastavení parametrů sériové linky, uprostřed se nachází ovládací prvky a na pravé straně jsou komponenty pro zápis na sériovou linku. Každou jednu sekundu je poslán povel k zapnutí nebo vypnutí výstupu zdroje a každé dvě sekundy je poslán povel k nastavení velikosti výstupního napětí.



Obr. 3.4: Ovládací program v LabVIEW znázorněný vizuálním programovacím jazykem

V programu LabView je vytvořen i grafický ovládací panel, který je na obr. 3.5. Obsahuje tlačítko pro zapnutí ovládání, okno pro výběr aktivního sériového portu, posuvný přepínač pro zapnutí nebo vypnutí výstupu zdroje a otočný volič pro nastavení velikosti výstupního symetrického napětí.

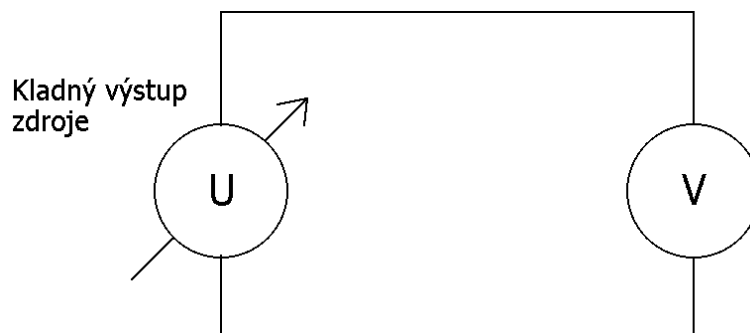


Obr. 3.5: Grafický ovládací panel zdroje vytvořený v programu LabVIEW

4 PROVOZNÍ VLASTNOSTI

4.1 Výstupní napětí zdroje

Měření výstupního napětí probíhalo podle obr. 4.1. Naměřené hodnoty jsou v tab. 4.1.



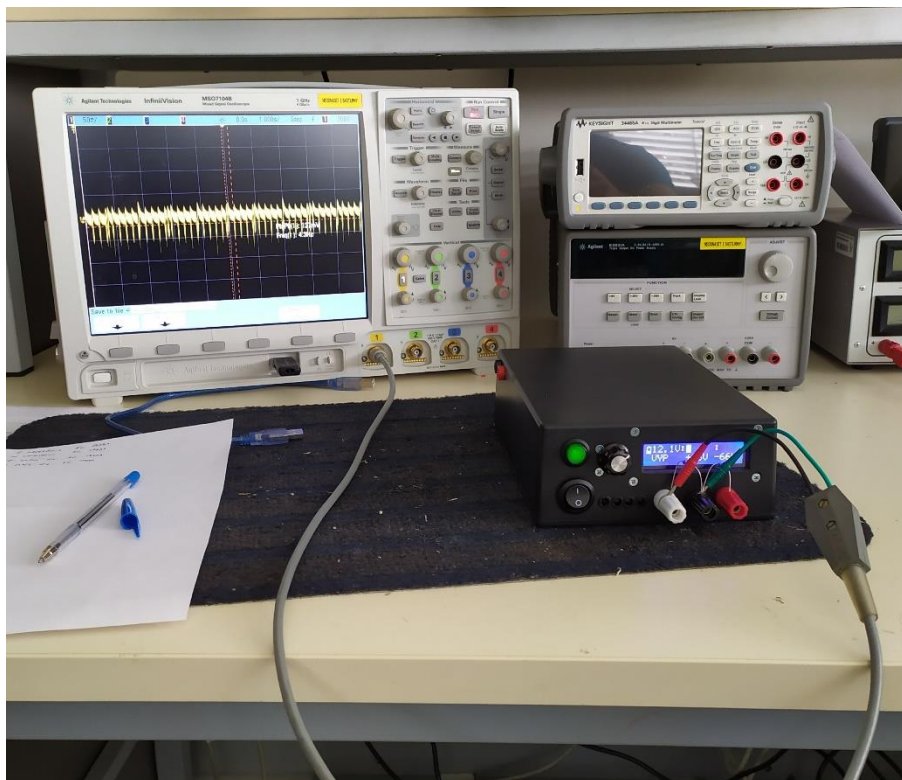
Obr. 4.1: Schéma měření výstupního napětí kladné větve zdroje

Tab. 4.1: Parametry zdroje

Parametr	Hodnota
Minimální výstupní napětí	3,15 V
Maximální výstupní napětí	66,5 V

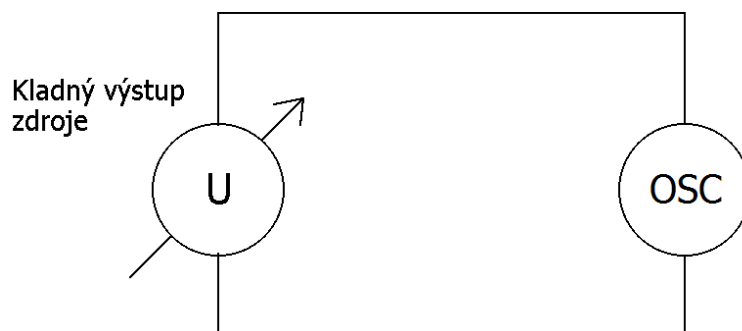
4.2 Zvlnění výstupního napětí zdroje

Ke změření zvlnění bylo využito osciloskopu MSO7104B od firmy Agilent Technologies, který má šířku pásma 1 GHz. Měření probíhalo v laboratoři na fakultě Elektrotechniky a komunikačních technologií VUT za asistence vedoucího této diplomové práce. Ukázka takového měření je na obr. 4.2.



Obr. 4.2: Měření zvlnění výstupního napětí zdroje pomocí osciloskopu

Nejprve bylo měřeno zvlnění napětí kladné i záporné větve bez zátěže. Schéma měření je na obr. 4.3.

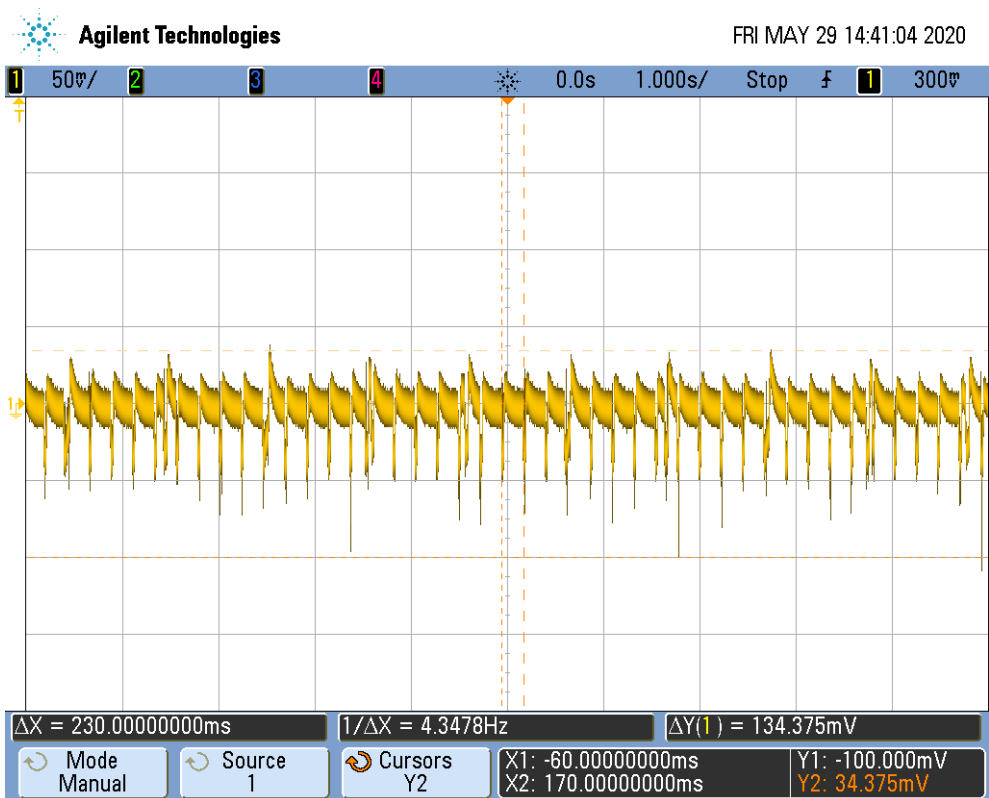


Obr. 4.3: Schéma měření zvlnění napětí na kladném výstupu zdroje

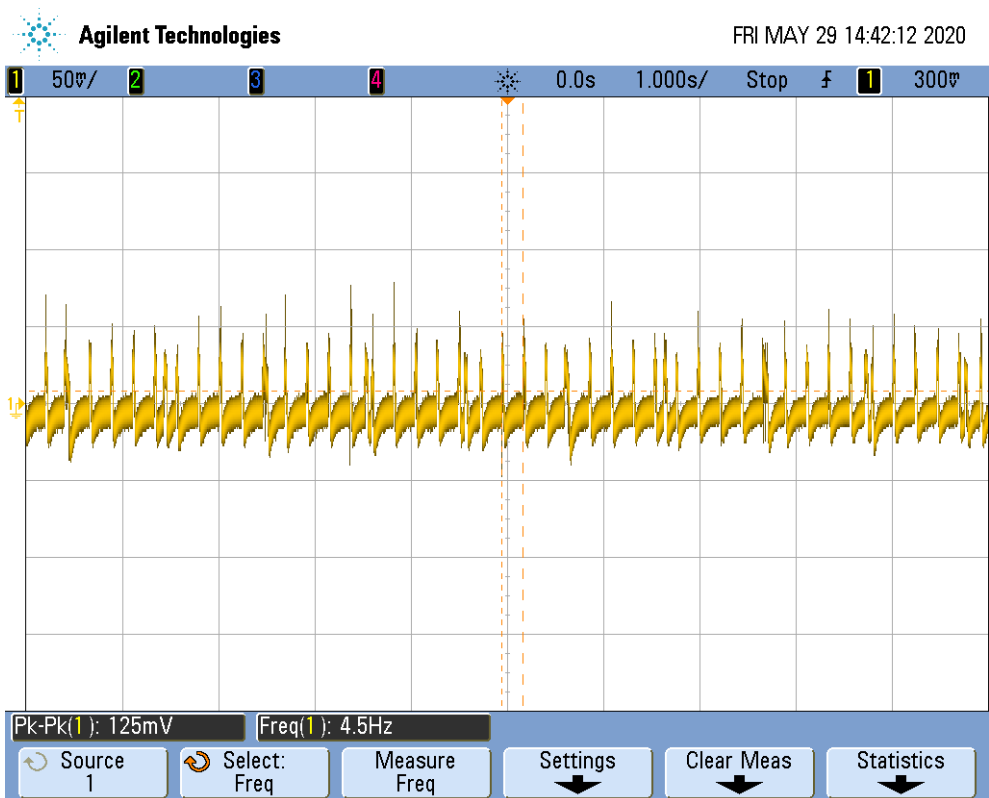
Výsledek měření pro kladnou větev je na obr. 4.4 a pro zápornou větev na obr. 4.5. Naměřené hodnoty jsou v tab. 4.2. Velikost zvlnění výstupního napětí je kolem jedné desetiny voltu a takováto hodnota neruší při použití zdroje v měřicí soustavě.

Tab. 4.2: Zvlnění výstupního napětí zdroje bez zátěže

Větev	Zvlnění [mV]	Frekvence rušení [Hz]
Kladná	134	4,3
Záporná	125	4,5

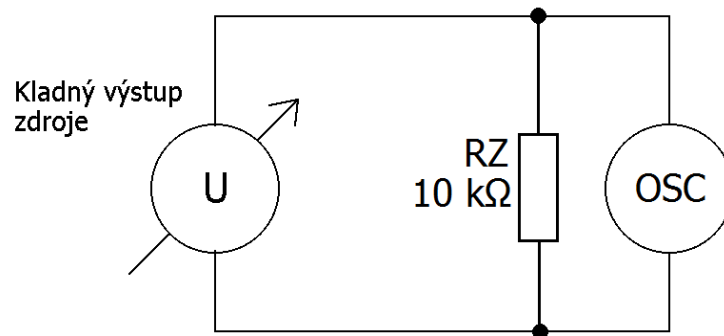


Obr. 4.4: Zvlnění výstupního napětí kladné větve zdroje



Obr. 4.5: Zvlnění výstupního napětí záporné větve zdroje

Následně bylo změřeno zvlnění výstupního napětí při zátěži obou větví odpory o velikosti $10\text{ k}\Omega$. Bylo měřeno podle zapojení na obr. 4.6.

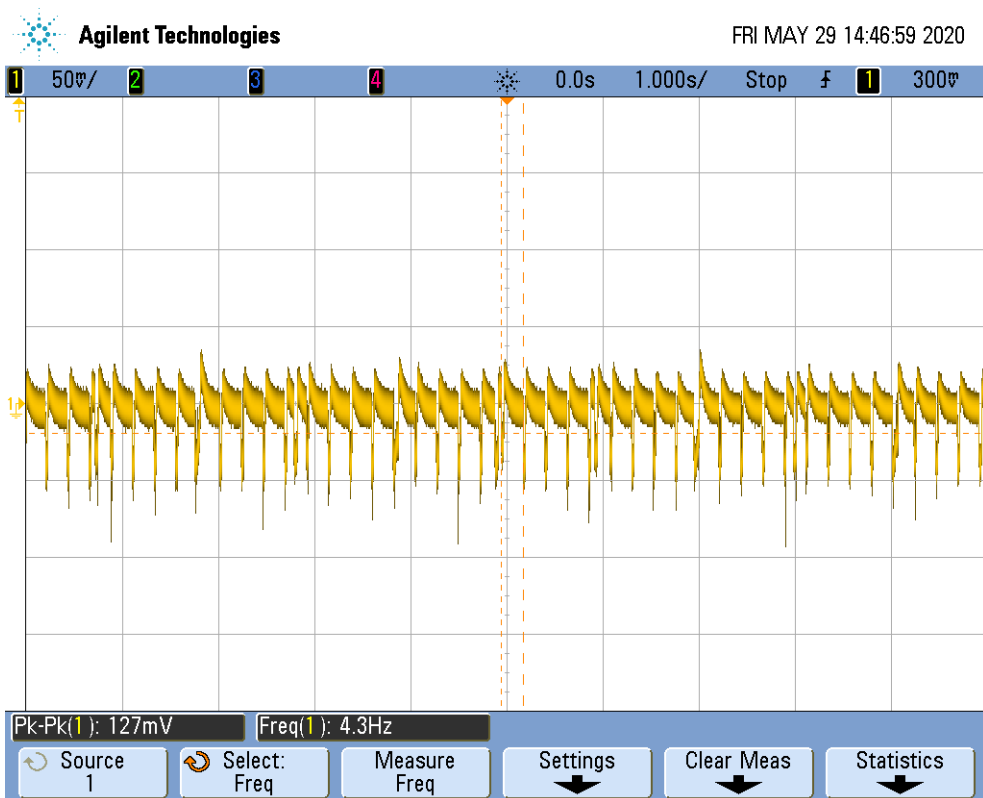


Obr. 4.6: Schéma měření zvlnění napětí na kladném výstupu zdroje při zátěži

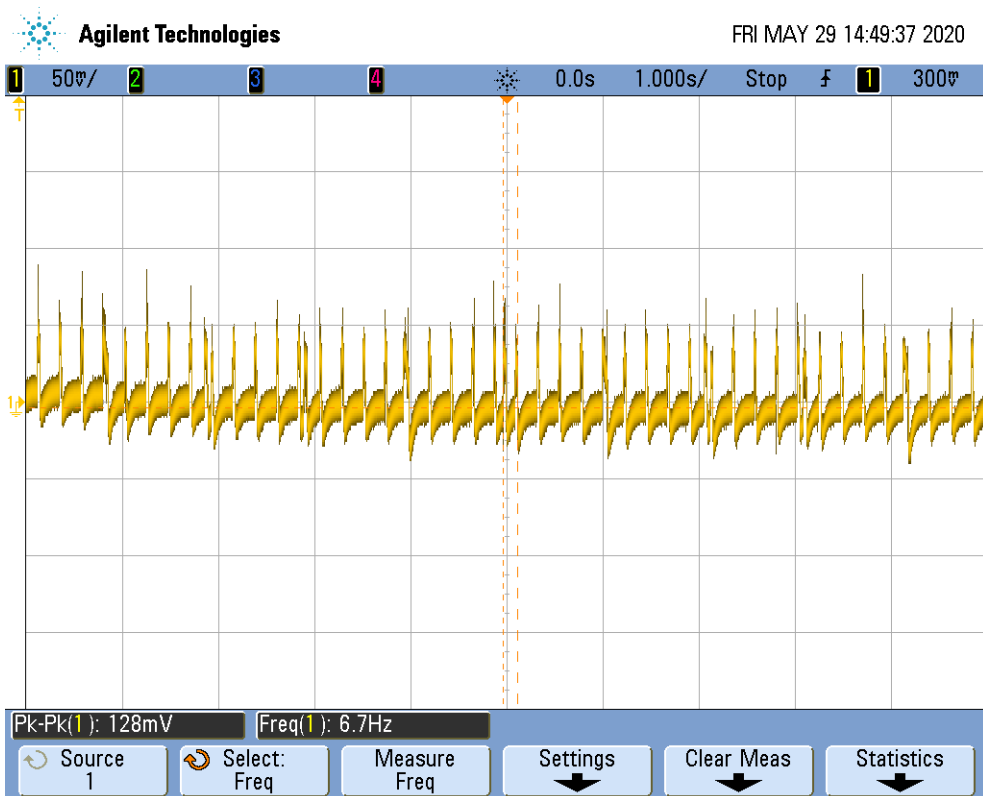
Naměřené průběhy jsou pro kladnou větev na obr. 4.7 a pro zápornou větev na obr. 4.8. Hodnoty odečtené z průběhů jsou v tab. 4.3. Zvlnění je v desetínách voltu a je téměř totožné jako při nezatížení výstupu zdroje.

Tab. 4.3: Zvlnění výstupního napětí zdroje se zátěží

Větev	Zvlnění [mV]	Frekvence rušení [Hz]
Kladná	127	4,3
Záporná	128	4,7

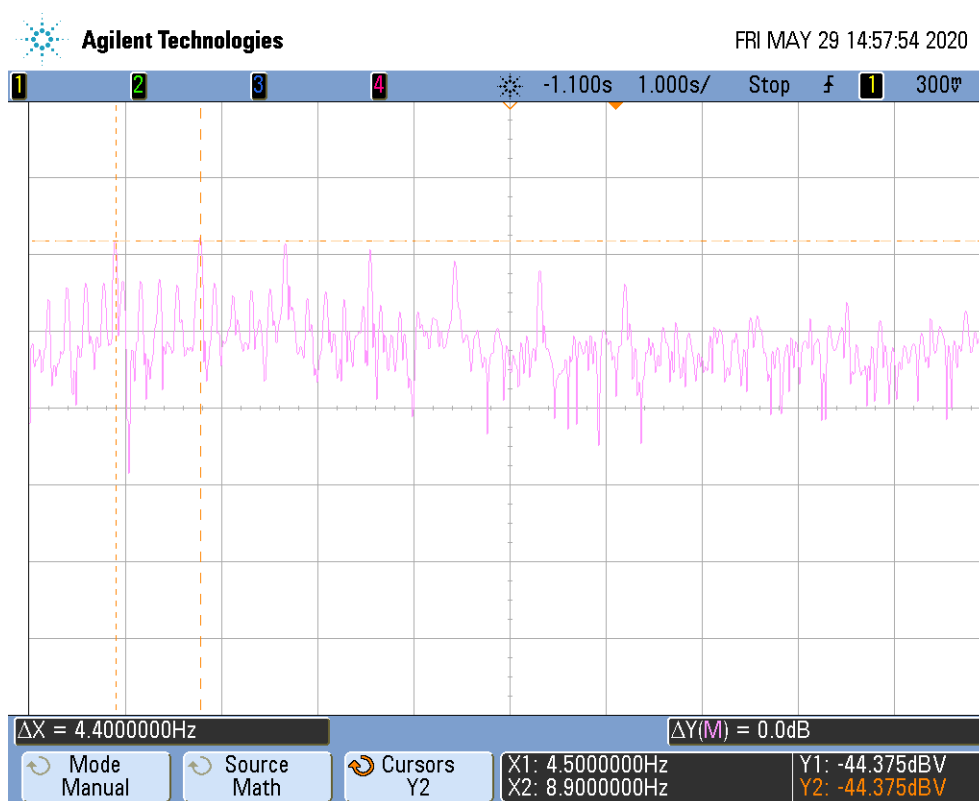


Obr. 4.7: Zvlnění výstupního napětí kladné větve zdroje při zátěži



Obr. 4.8: Zvlnění výstupního napětí záporné větve zdroje při zátěži

Nakonec byla změřena kmitočtová analýza spektra výstupního signálu pomocí funkce FFT na osciloskopu. Na obr. 4.9 je spektrum výstupního napětí kladné větve zdroje s připojenou zátěží. Z průběhu je patrné, že rušení je na základní frekvenci 4 Hz a opakuje se v dalších násobcích této frekvence (8, 12, 16, atd.), na nichž se postupně snižuje jeho velikost. Při buzení harmonickým signálem v elektrické impedanční tomografii se používají daleko vyšší frekvence a rušení, které vzniká ve zdroji, tedy neovlivní měření.



Obr. 4.9: Spektrum výstupního napětí kladné větve zdroje při zátěži

5 ZÁVĚR

Tato diplomová práce je zaměřena na návrh napájecího zdroje pro měřicí aparaturu určenou k rekonstrukci elektrické impedance zemního prostředí vodních nádrží.

Metoda měření se nazývá elektrická impedanční tomografie. V teoretické části je popsán její princip a shrnuty požadavky, které musí splňovat napájecí zdroj. Dále jsou teoreticky popsány nejdůležitější části zařízení. Jde o DC/DC měnič, lineární stabilizátor, optočlen a olověný akumulátor.

Kapitola Praktická realizace popisuje jednotlivé bloky zařízení a následující výběr vhodných obvodů, jejich zapojení a výpočet hodnot ostatních součástek. Také jsou zde zmíněny použité ochrany zařízení. Nakonec je znázorněn návrh desky plošného spoje a zabudování zdroje do krabičky včetně fotodokumentace.

V další kapitole s názvem Ovládací program je popsán firmware zařízení. Nachází se zde vývojový diagram programu, popis ovládání a seznam vytvořených funkcí. Dále je popsána ovládací utilita vytvořená v prostředí programu LabVIEW, která slouží k ovládání zdroje z PC.

Poslední kapitola nazvaná Provozní vlastnosti se zabývá měřením základních parametrů vytvořeného zdroje. Je zde ukázáno schéma měření a zobrazeny naměřené hodnoty a průběhy. Zaznamenány byly také výsledky měření zvlnění výstupního napětí určené osciloskopem.

V rámci diplomové práce byl vytvořen napájecí zdroj, který obsahuje akumulátor, nabíječku, měniče pro vytvoření symetrického napětí z akumulátoru, stabilizaci a regulaci výstupního napětí. Ovládání zdroje zajišťuje rotační enkodér a provozní vlastnosti jako je nabití akumulátoru, stav výstupu a nastavené výstupní napětí se zobrazují na displeji. Dále byla připravena ovládací utilita v programu LabVIEW, jež umožňuje ovládání zdroje z PC.

Hlavním bodem zadání bylo vytvořit zdroj, který by umožnil nastavit výstupní symetrické napětí alespoň ± 50 V. Navržený zdroj je schopný dodat napětí až ± 66 V. Díky tomu bude zdroj možné použít i v budoucnu při změně měřicí aparatury a potřebě vyššího symetrického napětí než doposud. Bylo provedeno i měření zvlnění výstupního napětí pomocí osciloskopu při nezatíženém i zatíženém výstupu zdroje. Naměřená zvlnění dosahují hodnot přibližně jedné desetiny voltu s frekvencí 4 Hz. V elektrické impedanční tomografii se při buzení používají daleko vyšší frekvence (kHz), a proto rušení vznikající na vytvořeném zdroji nebude ovlivňovat výsledky měření.

Celý zdroj je zabudován do konstrukční krabice, z níž jsou vyvedeny všechny potřebné vstupy, výstupy a ovládání. Na obr. 5.1 je znázorněno celkové provedení zdroje. Zařízení má šířku 15 cm, výšku 7 cm, hloubku 22 cm a hmotnost 1,5 kg. Tyto kompaktní rozměry umožní snadnou manipulaci se zdrojem v laboratoři a v budoucnu i při venkovním měření.



Obr. 5.1: Snímek vytvořeného napájecího zdroje

Postavený přenosný napájecí symetrický zdroj se bude využívat při experimentálním měření v laboratoři a také v terénu. Díky komunikaci s PC bude nastavení měření rychlejší a komfortnější.

Provedení tohoto výrobku byl velice komplexní proces a zahrnoval návrh schémat, tvorbu DPS, mechanickou konstrukci a také programování. Při tvorbě bylo nutné mít na paměti všechny souvislosti, protože by jinak později došlo k problémům v dalších částech návrhu. Testování prokázalo, že vytvořený zdroj je funkční a splňuje podmínky pro to, aby mohl být použit jako součást měřicí aparatury v projektu rekonstrukce elektrické impedance zemního prostředí vodních nádrží.

LITERATURA

- [1] BALAJKA M. Measuring card for electrical impedance tomography. In: 2019 EEICT sborník, s. 162 - 165 [online]. [cit. 27. 11. 2019]. Dostupné z: http://www.feec.vutbr.cz/conf/EEICT/archiv/sborniky/EEICT_2019_sbornik.pdf
- [2] MIKULKA, J., J. DUSEK, J. DEDKOVA, J. PARILKOVA a Z. MUNSTEROVA. A Fast and Low-cost Measuring System for Electrical Impedance Tomography. In: *2019 Photonics & Electromagnetics Research Symposium - Spring (PIERS-Spring)* [online]. IEEE, 2019, 2019, s. 3751-3755 [cit. 9. 5. 2020]. DOI: 10.1109/PIERS-Spring46901.2019.9017338. ISBN 978-1-7281-3403-1. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9017338/>
- [3] DUŠEK J., MIKULKA J., PAŘÍLKOVÁ J., MÜNSTEROVÁ Z. Rekonstrukce reálné a imaginární složky admitance válcového modelu pomocí elektrické impedanční tomografie.. In: *2019 Elektro revue* [online]. [cit. 27. 11. 2019]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/cz/clanky/zpracovani-signalu/0/rekonstrukce-realne-a-imaginarni-slozky-admitance-valcoveho-modelu-pomoci-elektricke-impedancni-tomografie--reconstruction-of-the-real-and-imaginary-parts-of-tank-model-admittance-via-electrical-impedance-tomography-/>
- [4] ROBERTS, Steve, In: 2015 DC/DC Book of Knowledge [online]. RECOM [cit. 24. 11. 2019]. Dostupné z: <http://www.dialogue.sk/pdf/Book%20of%20Knowledge%20by%20Steve%20Roberts.pdf>
- [5] KREJČIŘÍK, Alexandr. *Lineární napájecí zdroje*. BEN - technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-002-4 9788073000028.
- [6] LR8: High Input Voltage, Adjustable 3-Terminal Linear Regulator [online]. Supertex inc., 2013. [cit. 3. 12. 2019]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005399B.pdf>
- [7] Optocoupler selection and usage for isolating a PWM. Analog IC tips [online]. [cit. 3. 5. 2020]. Dostupné z: <https://www.analogictips.com/selecting-optocoupler-isolate-pwm/>
- [8] Activity: Pulse Width Modulation. *Analog Devices Wiki* [online]. [cit. 3. 5. 2020]. Dostupné z: <https://wiki.analog.com/university/courses/electronics/electronics-lab-pulse-width-modulation>
- [9] DARDEN, Bill, 2019. CAR AND DEEP CYCLE BATTERY FAQ 2019. [online]. [cit. 1. 12. 2019]. Dostupné z: <http://jgdarden.com/batteryfaq/>
- [10] AM1D-Z: 1 Watt, DC-DC Converter [online]. Aimtec, 2017. [cit. 3. 12. 2019]. Dostupné z: <http://www.aimtec.com/site/Aimtec/files/Datasheet/HighResolution/AM1D-Z.pdf>
- [11] PC847: High Density Mounting Type Photocoupler [online]. Sharp, 2017. [cit. 6. 5. 2020]. Dostupné z: https://www.picbasic.nl/downloads/PC827_PC847.pdf
- [12] UC3906: Sealed Lead-Acid Battery Charger [online]. Texas Instruments, 2019. [cit. 3. 12. 2019]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/uc3906.pdf>
- [13] Improved charging methods for lead-acid batteries using the UC3906, Application note [online]. Unitrode, 1999 [cit. 3. 12. 2019]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/slua115/slua115.pdf>
- [14] Arduino NANO. *Moglix* [online]. [cit. 11. 5. 2020]. Dostupné z: <https://cdn.moglix.com/p/i6Urw6nu6CPzG.jpg>

- [15] LCD PCF8574T. *Amazon* [online]. [cit. 11. 5. 2020]. Dostupné z: https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/71wDJVbb5QL._AC_SL1500_.jpg
- [16] Rotační enkodér. *Arduino.cz* [online]. [cit. 11. 5. 2020]. Dostupné z: <https://arduino.cz/tinylab-rotacni-enkoder/>
- [17] Rotační enkodér s tlačítkem. *Hwkitchen.cz* [online]. [cit. 11. 5. 2020]. Dostupné z: <https://www.hwkitchen.cz/ky-040-rotacni-enkoder-s-tlacitkem/>
- [18] Konektor se zámkem PFH02-05P. *GM electronic* [online]. [cit. 13. 5. 2020]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/konektor-se-zamkem-pfh02-05p>
- [19] SP1310/P4IN WEIPU. *TME* [online]. [cit. 13. 5. 2020]. Dostupné z: https://www.tme.eu/cz/details/sp1310_p4/konektory-weipu/weipu/sp1310-p4in/
- [20] CL1505 CLIFF. *TME* [online]. [cit. 13. 5. 2020]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/details/cl1505/zdirky-pro-bananky-4mm/cliff/>
- [21] 6100.3100 SCHURTER. *TME* [online]. [cit. 13. 5. 2020]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/details/6100.3100/konektory-iec-60320/schurter/>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

U	Elektrické napětí
I	Elektrický proud
R	Elektrický odpor
C	Elektrická kapacita
LED	Light-emitting diode
PWM	Pulse width modulation, pulzně šířková modulace
THT	Through-hole technology, součástky s drátovými vývody
DPS	Deska plošných spojů
FFT	Fast Fourier transform, rychlá Fourierova transformace

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Schéma systému elektrod pro elektrickou impedanční tomografii	10
Obr. 1.2: Fyzikální model pro vyhodnocení elektrických vlastností půdy	12
Obr. 1.3: Schéma zapojení pro měření napětí a fázového posunu na tomografu	12
Obr. 1.4: Schéma step-up měniče	14
Obr. 1.5: Schéma stabilizátoru se Zenerovou diodou	15
Obr. 1.6: Blokové schéma zpětnovazebního stabilizátoru (převzato z [5])	15
Obr. 1.7: Katalogové zapojení lineárního stabilizátoru L8N3-G (podle [6])	16
Obr. 1.8: Integrovaný čip s dvěma optočleny (převzato z [7])	16
Obr. 1.9: Různá střída u PWM signálu	17
Obr. 2.1: Blokové schéma zdrojové části	19
Obr. 2.2: Spojení několika DC/DC měničů	20
Obr. 2.3: Zapojení lineárních stabilizátorů	21
Obr. 2.4: Zapojení číslicové regulace výstupního napětí	22
Obr. 2.5: Stavy výstupu obvodu UC3906 při nabíjení (převzato z [13])	23
Obr. 2.6: Blokové schéma nabíječky	24
Obr. 2.7: Katalogové zapojení obvodu UC3906 (podle [12])	25

Obr. 2.8: Blokové schéma digitální části	26
Obr. 2.9: Zapojení lineárního stabilizátoru 7805	27
Obr. 2.10: Arduino NANO V3.0 (převzato z [14])	27
Obr. 2.11: LCD modul 16×2 (převzato z [15]).....	28
Obr. 2.12: Vnitřní uspořádání rotačního enkodéru (převzato z [16])	29
Obr. 2.13: Výstupní signál z rotačního enkodéru (převzato z [16])	29
Obr. 2.14: Výstupy rotačního enkodéru (převzato z [17]).....	30
Obr. 2.15: Schéma zapojení děličů pro snímání nabíjení a napětí akumulátoru	31
Obr. 2.16: Rozložení výstupů obvodu PC847 (převzato z [11])	31
Obr. 2.17: Schéma zapojení optočlenů pro číslicovou regulaci výstupního napětí.....	32
Obr. 2.18: Schéma zapojení optočlenů pro snímání výstupního napětí zdroje.....	33
Obr. 2.19 : Odpojení akumulátoru od zdrojové části.....	34
Obr. 2.20: 3D vizualizace horní strany desky plošného spoje.....	36
Obr. 2.21: Rozměry a umístění montážních otvorů DPS	37
Obr. 2.22: Horní strana DPS s vyznačenou izolační mezerou mezi GND a DGND	37
Obr. 2.23: Detail upevnění akumulátoru a DPS	38
Obr. 2.24: Provedení mezi patra pro uchycení DPS	38
Obr. 2.25: Konektor se zámkem typ KK254 (převzato z [18])	39
Obr. 2.26: Průmyslový datový konektor SP13 (převzato z [19])	39
Obr. 2.27: Výstupní svorka zdroje (převzato z [20]).....	40
Obr. 2.28: Síťová EURO zásuvka (převzato z [21]).....	40
Obr. 2.29: Umístění vypínačů na krabičce	40
Obr. 2.30: Celkový pohled na zdroj.....	41
Obr. 2.31: Čelní panel s ovládacími prvky a výstupními svorkami	41
Obr. 2.32: Zobrazené informace na displeji v zapnutém stavu	42
Obr. 2.33: Svorky pro připojení externího akumulátoru	42
Obr. 2.34: Zadní strana zdroje s konektory pro napájení a připojení k PC	42
Obr. 2.35: Otevřený zdroj se zapojenou kabeláží.....	43
Obr. 2.36: Spodní víko krabičky s připevněnou DPS bez kabeláže a akumulátorem v držáku.....	43
Obr. 2.37: Detail uchycení DPS k vytvořenému mezipatru	44
Obr. 2.38: Pohled na spodní stranu osazené a zapájené DPS	44
Obr. 3.1: Vývojový diagram ovládacího programu 1. část.....	46
Obr. 3.2: Vývojový diagram ovládacího programu 2. část.....	47

Obr. 3.3: Popis rozložení zobrazení informací na displeji.....	48
Obr. 3.4: Ovládací program v LabVIEW znázorněný vizuálním programovacím jazykem	50
Obr. 3.5: Grafický ovládací panel zdroje vytvořený v programu LabVIEW	50
Obr. 4.1: Schéma měření výstupního napětí kladné větve zdroje	51
Obr. 4.2: Měření zvlnění výstupního napětí zdroje pomocí osciloskopu	52
Obr. 4.3: Schéma měření zvlnění napětí na kladném výstupu zdroje.....	52
Obr. 4.4: Zvlnění výstupního napětí kladné větve zdroje.....	53
Obr. 4.5: Zvlnění výstupního napětí záporné větve zdroje.....	53
Obr. 4.6: Schéma měření zvlnění napětí na kladném výstupu zdroje při zátěži.....	54
Obr. 4.7: Zvlnění výstupního napětí kladné větve zdroje při zátěži	55
Obr. 4.8: Zvlnění výstupního napětí záporné větve zdroje při zátěži	55
Obr. 4.9: Spektrum výstupního napětí kladné větve zdroje při zátěži	56
Obr. 5.1: Snímek vytvořeného napájecího zdroje.....	58

SEZNAM TABULEK

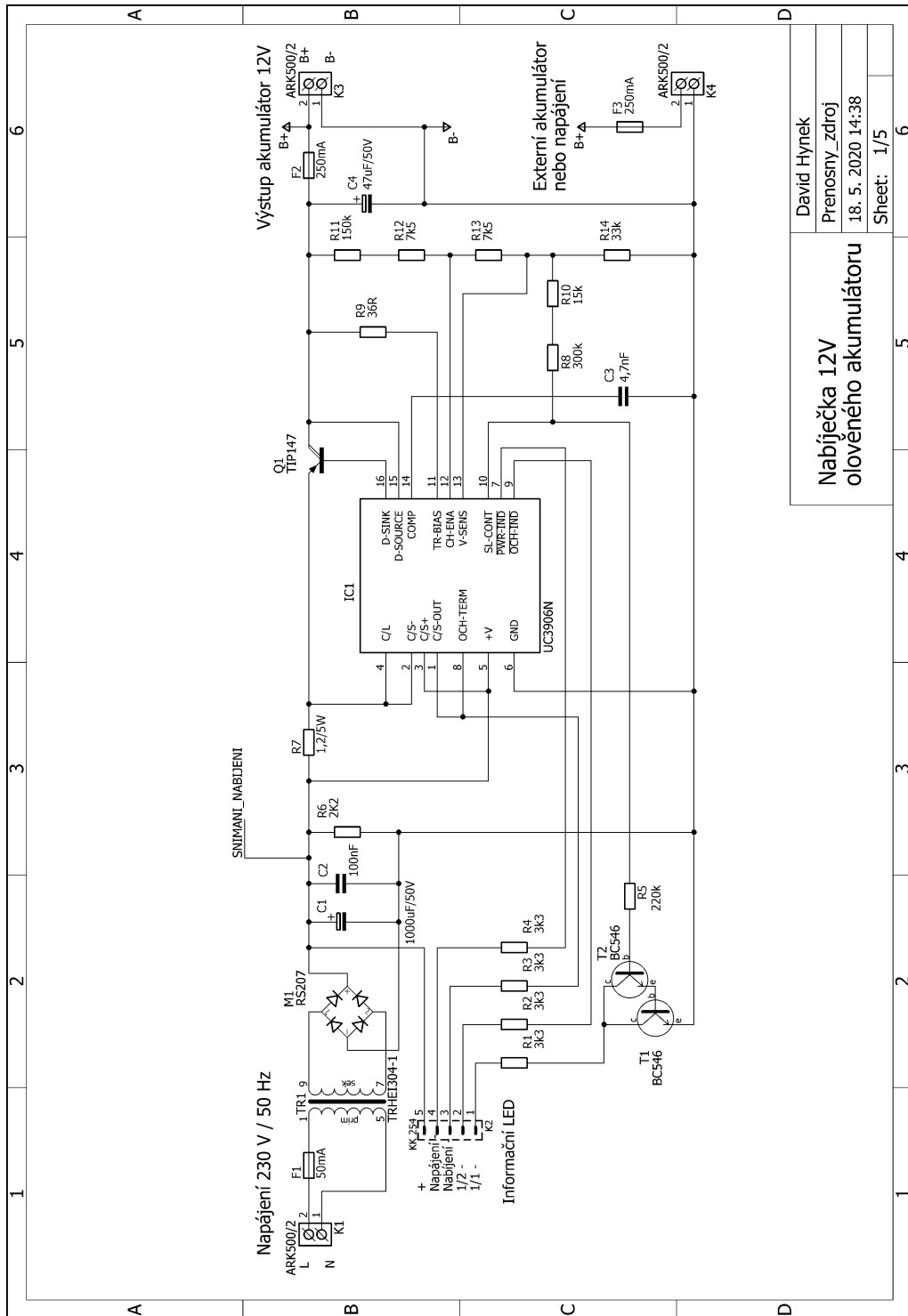
Tab. 1.1: Přehled nabíjecích napětí pro různé druhy olověných akumulátorů (převzato z [9])	18
Tab. 2.1: Napětí pro jednotlivé fáze nabíjení AGM akumulátoru	24
Tab. 3.1: Přehled všech funkcí ovládacího programu	49
Tab. 4.1: Parametry zdroje.....	51
Tab. 4.2: Zvlnění výstupního napětí zdroje bez zátěže.....	52
Tab. 4.3: Zvlnění výstupního napětí zdroje se zátěží	54

SEZNAM PŘÍLOH

A	Návrh zařízení	65
A.1	Schéma zapojení nabíječky akumulátoru	65
A.2	Schéma zapojení ochran akumulátoru, napájení 5V a zapnutí měničů ..	66
A.3	Schéma zapojení zdrojové části měničů	67
A.4	Schéma zapojení zdrojové části stabilizace a číslicové regulace	68
A.5	Schéma zapojení digitální části.....	69
A.6	DPS top (horní strana)	70
A.7	DPS bottom (spodní strana).....	71
A.8	Osazovací plán DPS top (horní strana).....	72
B	Zdrojový kód	72

A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

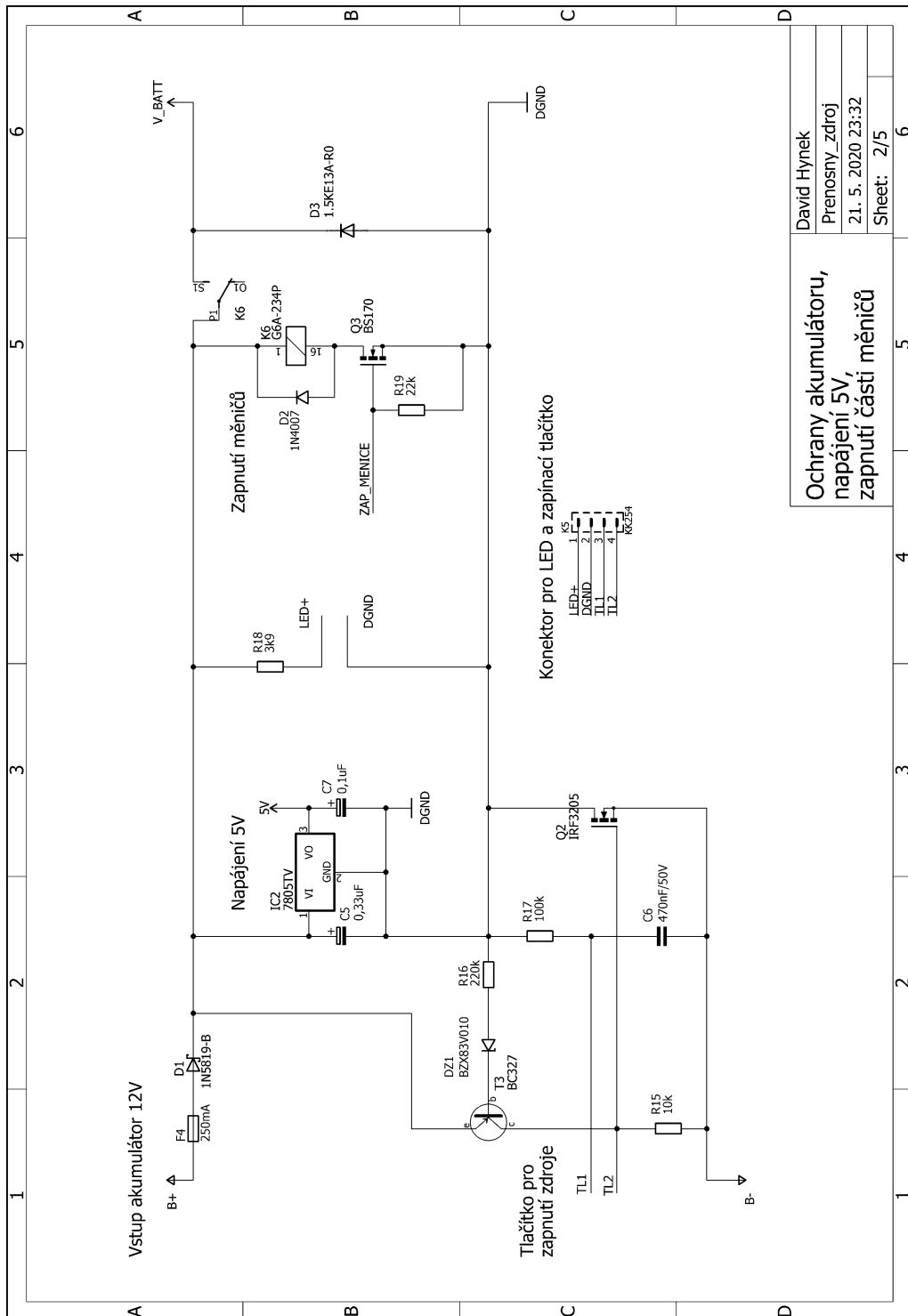
A.1 Schéma zapojení nabíječky akumulátoru



David Hynek	
Prenosný zdroj	
18. 5. 2020 14:38	
Sheet: 1/5	

Nabíječka 12V oloveného akumulátoru	
David Hynek	
Prenosný zdroj	
18. 5. 2020 14:38	
Sheet: 1/5	

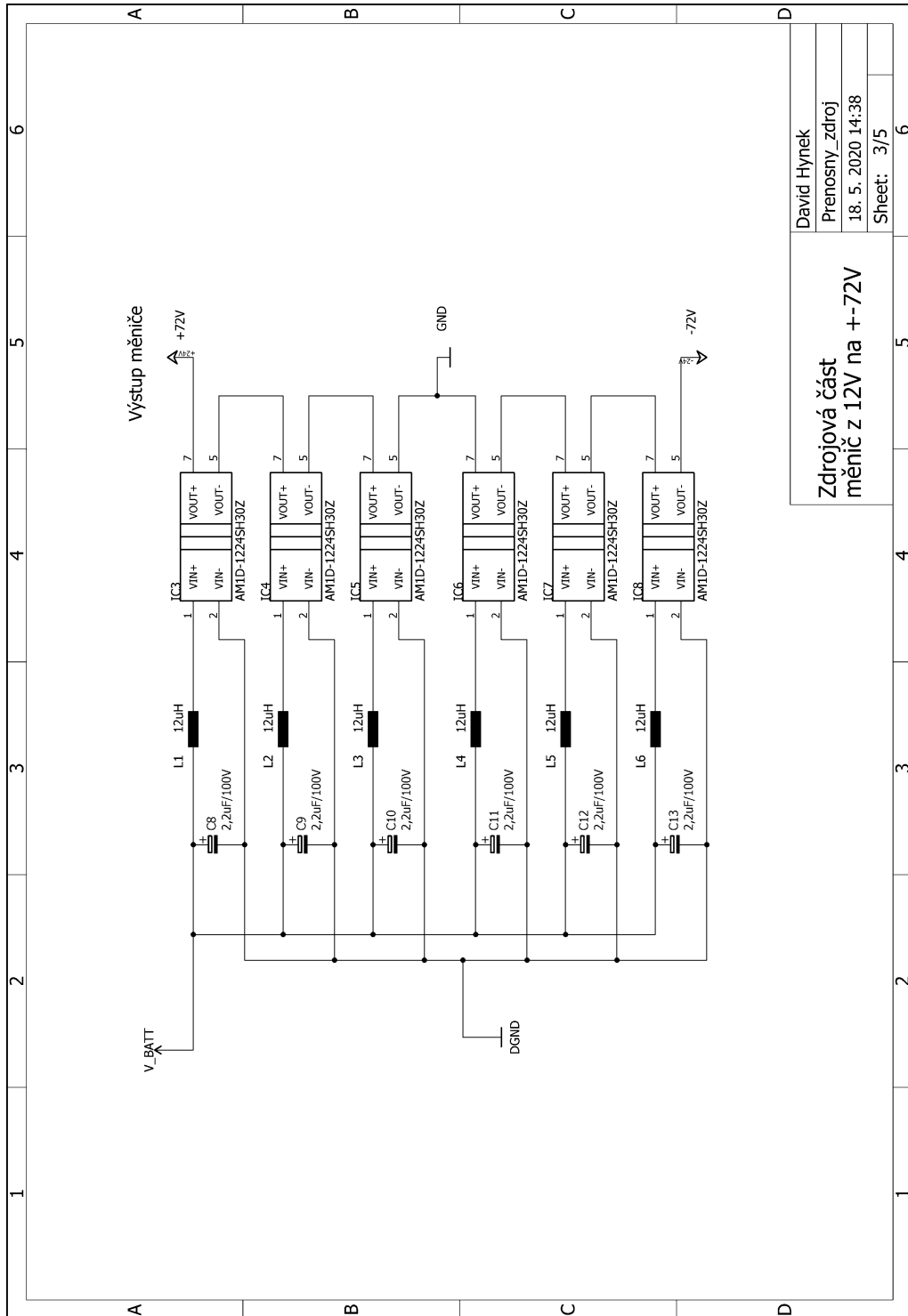
A.2 Schéma zapojení ochran akumulátoru, napájení 5V a zapnutí měničů



Ochrany akumulátoru,
napájení 5V,
zapnutí části měničů

David Hynek
Prenosny zdroj
21. 5. 2020 23:32
Sheet: 2/5

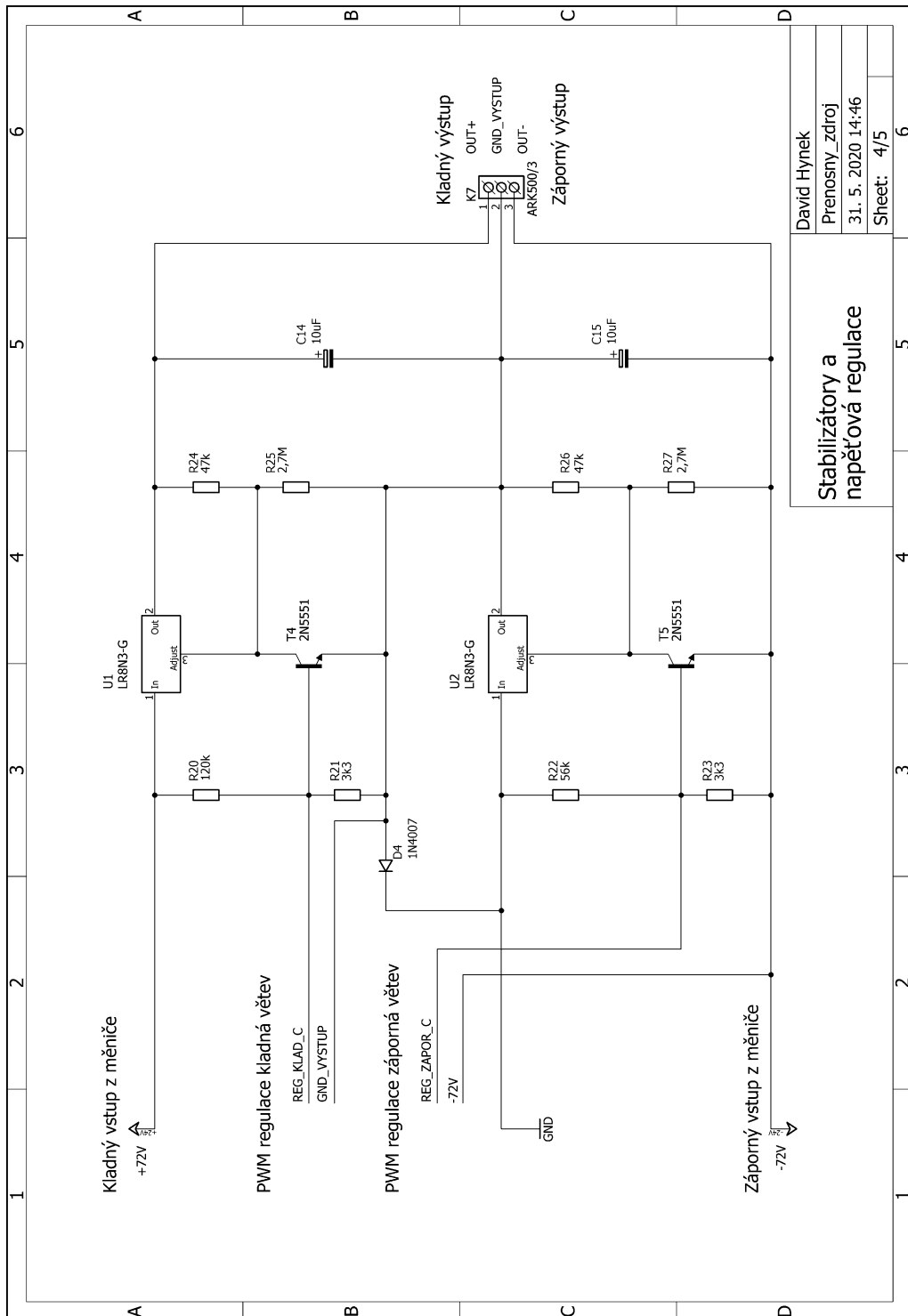
A.3 Schéma zapojení zdrojové části měničů



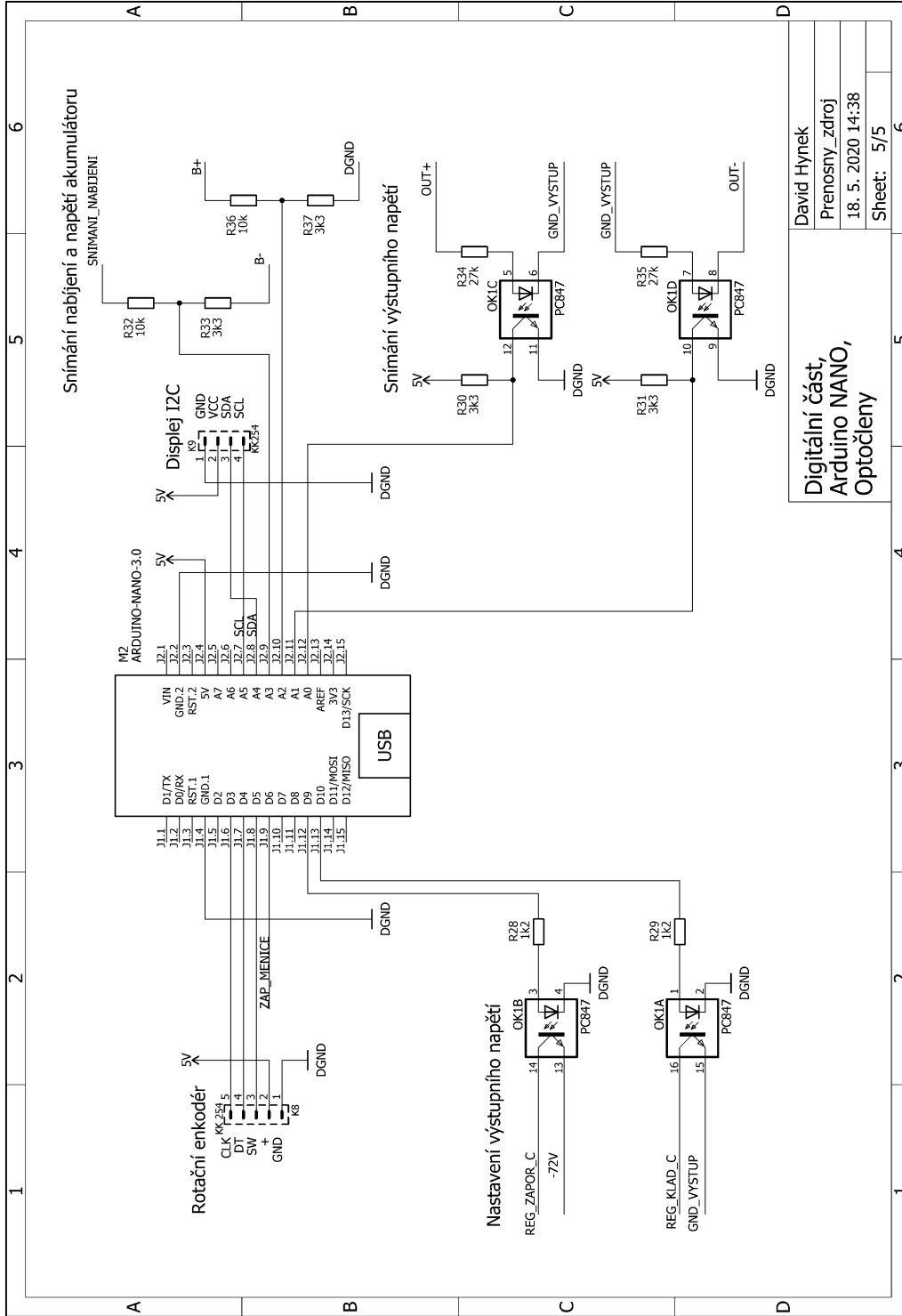
David Hynek	
Prenosný zdroj	
18. 5. 2020 14:38	
Sheet: 3/5	6

Zdrojová část
měnič z 12V na +-72V

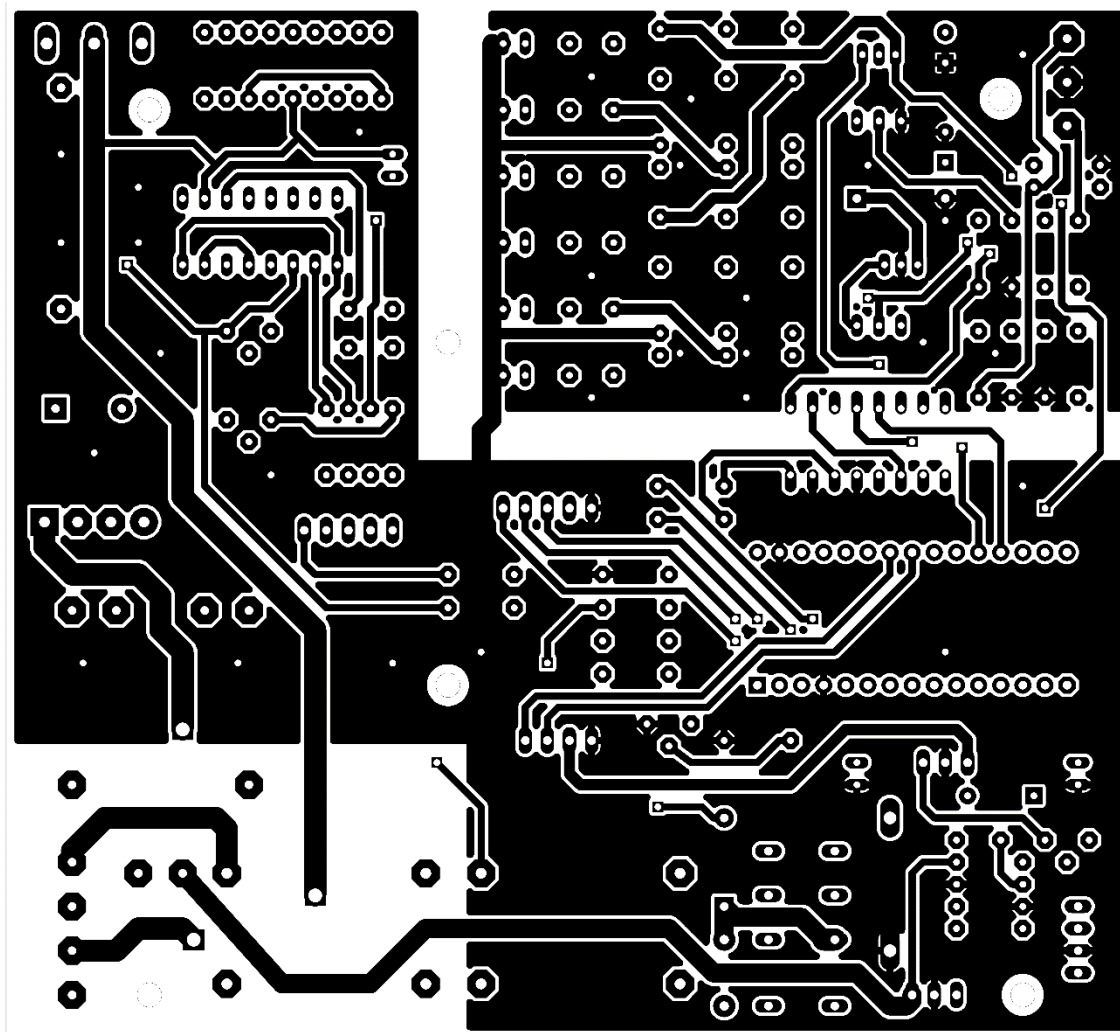
A.4 Schéma zapojení zdrojové části stabilizace a číslicové regulace



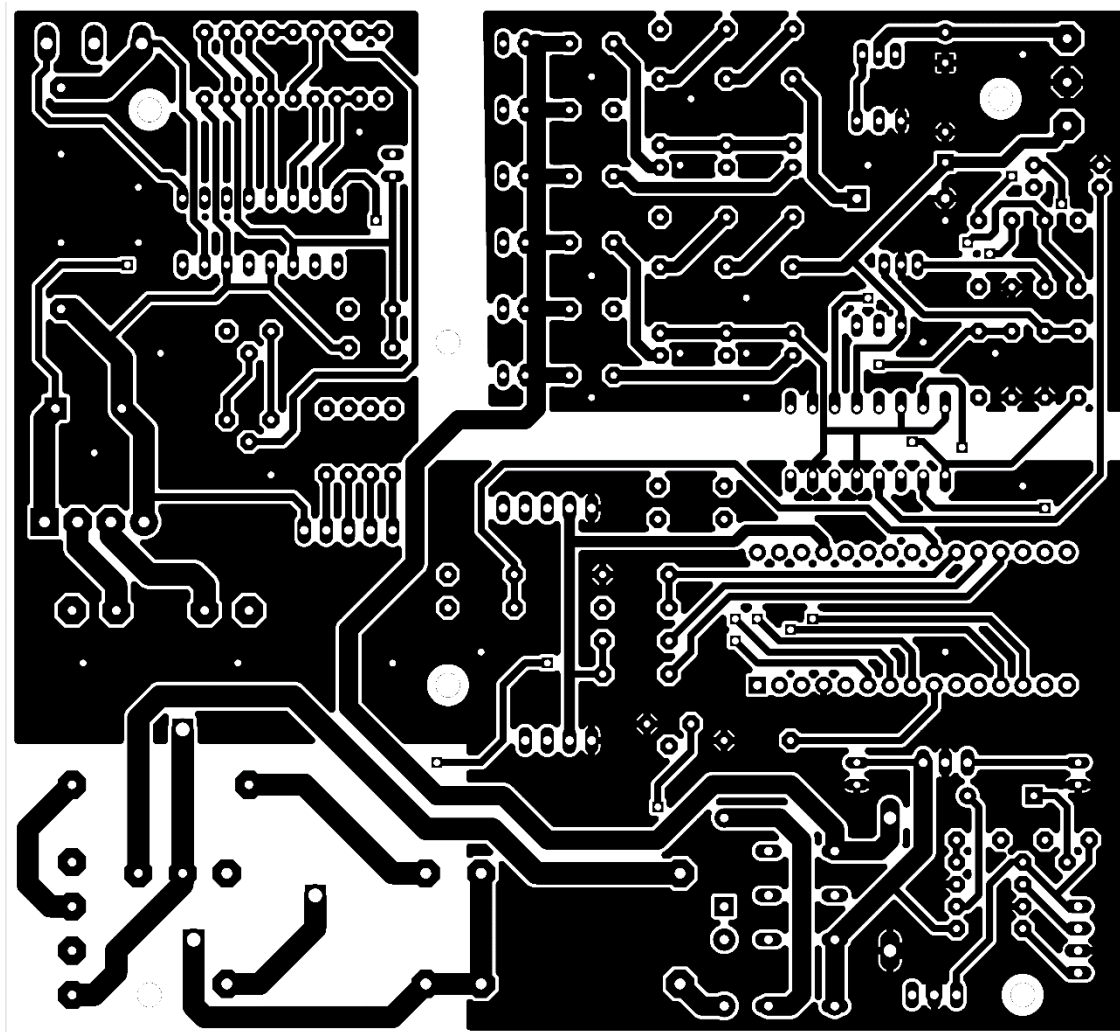
A.5 Schéma zapojení digitální části



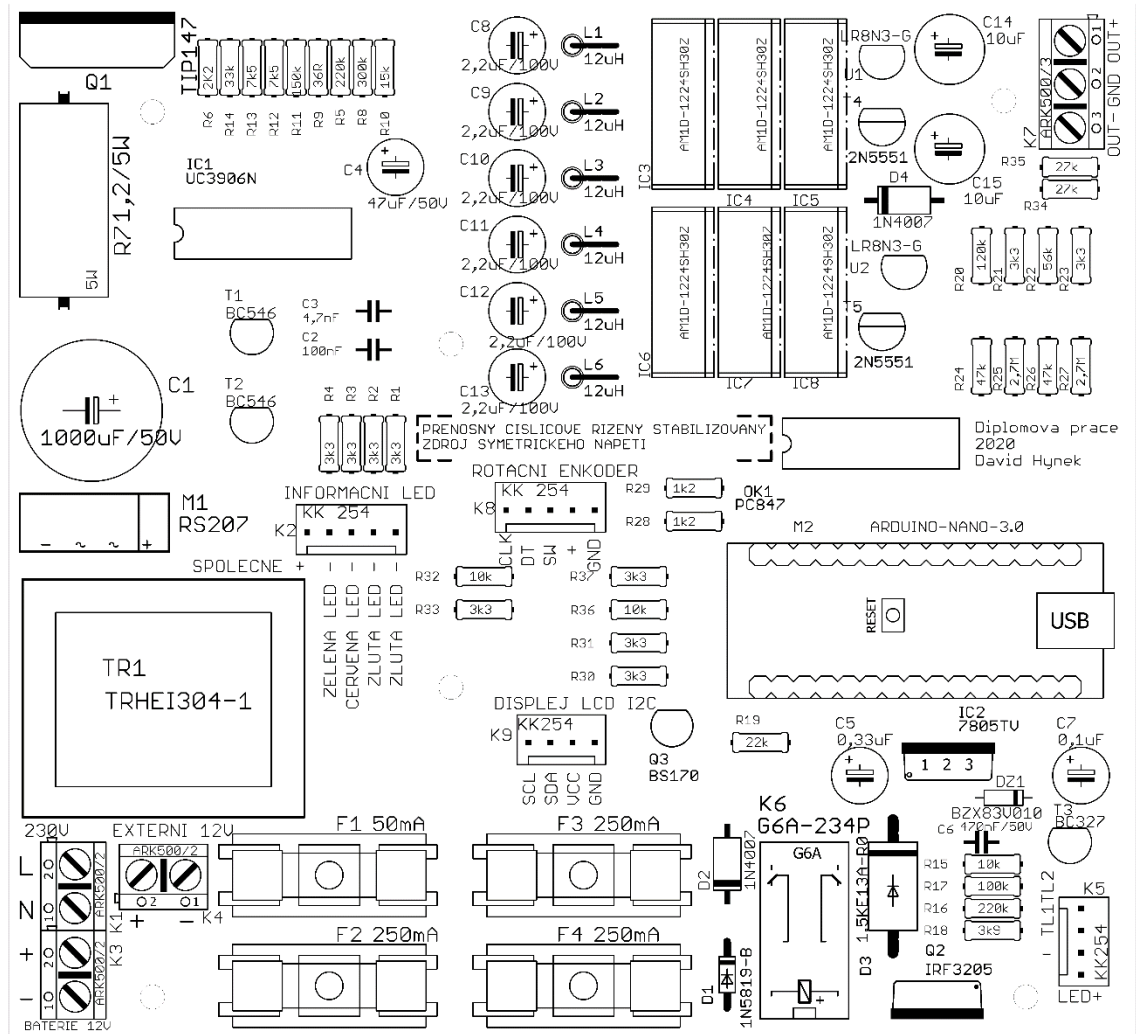
A.6 DPS top (horní strana)



A.7 DPS bottom (spodní strana)



A.8 Osazovací plán DPS top (horní strana)



B ZDROJOVÝ KÓD

Kvůli jeho délce je umístěn v elektronické příloze k diplomové práci.