Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Výkonový tester startovacích olověných akumulátorů

Michal Jaroš

Bakalářská práce

2019

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: **2017/2018**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Michal Jaroš**
Osobní číslo:	**D15191**
Studijní program:	**B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor:	**Elektrotechnické a elektronické systémy v dopravě**
Název tématu:	**Výkonový tester startovacích olověných akumulátorů**
Zadávající katedra:	**Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě**

Zásady pro vypracování:

Kondici startovacích akumulátorů lze přibližně zjistit zátěžovým testem, kdy je z akumulátoru odebírána určitá velikost elektrického proudu. Z poklesu napětí při tomto definovaném odběru lze stanovit vnitřní odpor akumulátoru a přibližně určit jeho stav. Důležitou podmínkou pro úspěšný start motoru vozidla je napětí akumulátoru alespoň přibližně 8V. Tuto podmínku ověří právě navrhovaný tester. Cílem bakalářské práce bude návrh, výroba a oživení výkonového testeru startovacích olověných akumulátorů, u kterého bude možno nastavit testovací proud v relaci s reálnými startovacími podmínkami osobního zážehového či vznětového vozidla.
Specifikace zařízení a úkoly bakaláře:
1. Seznámení s problematikou Pb akumulátorů
2. Vlivy způsobující zhoršený start vozidla
3. Přehled možných přístupů k testování startovacích akumulátorů
4. Přehled komerčně dostupných testerů
5. Návrh vlastního zařízení
6. Testovací elektrický proud o velikosti reálného startovacího proudu vozidla (stovky A)
7. Schopnost testu alespoň 5s
8. Výroba a oživení zařízení

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

KOZUMPLÍK, Josef. Akumulátory vozidel. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1977.
Olověné akumulátory v dopravě a v průmyslu: sborník referátů. Praha: ČVTS - Dům techniky, 1977.
CENEK, Miroslav. Akumulátory od principu k praxi. Praha: FCC Public, 2003. ISBN 80-86534-03-0.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ondřej Sadílek, Ph.D.**
Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě

Datum zadání bakalářské práce: **21. prosince 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **18. května 2018**

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

L.S.

Ing. Dušan Čermák, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 12. března 2018

Prohlášení autora

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 14.1.2019 Michal Jaroš

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Ondřeji Sadílkovi, Ph.D za vedení této práce, trpělivost a vynaloženou ochotu. Jsem vděčný zejména za užitečné rady, které mi velmi pomohly s vývojem zařízení. Též bych chtěl poděkovat své rodině za podporu, kterou mi poskytla po celou délku studia.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá návrhem, výrobou a oživením výkonového testeru startovacích olověných akumulátorů. První část práce je určená k seznámení s problematikou olověných akumulátorů. V této části nechybí ani přehled možných přístupů k testování akumulátorů a přehled komerčně dostupných testerů. V druhé části práce je popsán vývoj zařízení. V této části je detailně popsán návrh, simulace a výroba zařízení. Závěr práce se zabývá testováním zařízení a vyhodnocením výsledků.

Klíčová slova

Startovací olověný akumulátor, tester, simulace, elektronická zátěž, vnitřní odpor.

Title

Power tester of starting lead acid accumulators

Annotation

The Bachelor thesis deals with design, production and putting the power tester of starting lead acid accumulators into operation. The first part of the Bachelor thesis is meant to be introduction into the issue of lead acid accumulators. In this part is published also overview of every possible approaches to testing accumulators and also the overview of commercially available testers. In the second part of the Bachelor thesis is described the development of the device. In this part is also thoroughly described the design, simulation and production of the device. The conclusion of the Bachelor thesis deals with device testing and evaluation of results.

Keywords

Starting lead acid accumulators, tester, simulation, electronic load, internal resistance.

Obsah

ÚVOD **9**
1 AKUMULÁTORY **10**
1.1 Rozdělení akumulátorů 10
Elektrochemické akumulátory 10
Mechanické akumulátory 10
Elektrické akumulátory 10
Tepelné akumulátory 10
1.2 Elektrochemické akumulátory 10
1.2.1 Primární články 11
1.2.2 Sekundární články 11
1.3 Olověný akumulátory 11
1.3.1 Historie 11
1.3.2 Dělení dle využití 11
Startovací akumulátory 11
Trakční akumulátory 11
Staniční akumulátory 12
2 VOZIDLOVÉ STARTOVACÍ AKUMULÁTORY **13**
2.1 Princip olověných akumulátorů 13
2.1.1 Vybíjení akumulátoru 13
2.1.2 Nabíjení akumulátoru 13
2.2 Konstrukční řešení a koncepce 14
2.2.1 Údržbové akumulátory 15
2.2.2 Bezúdržbové akumulátory 15
Akumulátory s vázaným elektrolytem 15
Gelové akumulátory 16
Akumulátory s technologií EFB 17
2.3 Hlavní parametry akumulátorů 17
2.3.1 Kapacita 17
2.3.2 Napětí článku 17
2.3.3 Vnitřní odpor 17
2.3.4 Vybíjecí proud 18
Vybíjecí křivky 18
2.4 Požadavky kladené na provoz startovacích akumulátorů 18

Sumarizace požadavků 20
2.5 Životnost olověných startovacích akumulátorů 20
3 PŘEHLED MOŽNÝCH PŘÍSTUPŮ K TESTOVÁNÍ STARTOVACÍCH AKUMULÁTORŮ 23
3.1 Měření napětí 23
3.2 Měření kapacity 23
3.3 Měření vnitřního odporu 23
4 TESTERY AKUMULÁTORŮ 25
4.1 Zátěžový tester ZB - 12 25
4.2 Zátěžový tester COMPASS 07 173 25
4.3 Zátěžový tester COMPASS 07 172 26
4.4 Zátěžový tester FY-500 27
4.5 Tester akumulátorů FERRET 44 28
5 NÁVRH TESTERU 29
5.1 Volba koncepce 29
5.1.1 Řídící část 29
Řídicí část elektronické zátěže 29
Časovač testovacího cyklu 30
Vyhodnocení vnitřního odporu 31
Kompletní řídící část 32
5.1.2 Výkonová část 34
5.2 Simulace provozu 35
6 VÝROBA TESTERU AKUMULÁTORŮ 39
6.1 Návrh obvodu v programu Eagle 39
6.2 Návrh desky plošného spoje (DPS) 39
6.3 Výroba desky plošného spoje (DPS) 41
6.4 Zhotovení testeru 41
7 TESTOVÁNÍ ZAŘÍZENÍ 46
ZÁVĚR 50
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 51
SEZNAM OBRÁZKŮ 55
SEZNAM TABULEK 57
SEZNAM PŘÍLOH 58

Úvod

V moderní době se lidé běžně dostávají do styku s elektrickou energií uloženou ve formě akumulátorů. Akumulátory se objevují všude okolo nás, například v mobilních zařízeních, zařízeních denní potřeby, ve zdravotnictví, hospodářství a také v zařízeních výpočetní techniky. Pro zajištění činnosti těchto zařízení zajišťují elektrickou energii akumulátory, které mají v sobě nashromážděnou energii v elektrochemické podobě. Tato energie je velmi důležitá pro pohon elektrických vozidel, ale také pro startování spalovacích motorů. Žijeme v době, kdy jsou akumulátory nezbytné pro fungování automobilu, jelikož jsou jedním z hlavních prvků zdrojové soustavy vozidla. Životnost akumulátoru je konečná a činí mnohem kratší dobu než životnost vozidla jako celku, přičemž jeho kondici může ovlivnit i samotný uživatel vhodnou údržbou a péčí. Určení stavu akumulátoru pak lze zjistit pravidelnými kontrolami v servisech, ale i doma, například pomocí testeru. To byl důvod, proč jsem se tímto tématem zabýval ve své bakalářské práci s názvem: „Výkonový tester startovacích olověných akumulátorů“. Výrobci olověných akumulátorů neposkytují záruky na poškození baterie nesprávnou údržbou. Předcházení poškození nebo vybití akumulátoru je v moci všech uživatelů, kteří nechtějí být v zimě překvapeni, že nemohou vozidlo nastartovat. I nejlepší akumulátor nám přinese hodně starostí, když o něj nebudeme řádně pečovat.

V praktické části jsem navrhl a vyrobil tester akumulátoru, což může být jeden ze způsobů revize akumulátoru. V mé práci je nastíněn princip vozidlového akumulátoru, konstrukce, parametry a požadavky kladené na provoz akumulátorů. Další sekcí je životnost akumulátorů a přehled komerčně dostupných testerů akumulátorů. Dále je v realizační části nastíněn vývoj zařízení od návrhu přes simulaci až po výrobu. Závěr práce se věnuje validačním testům funkčnosti. Tento tester akumulátoru může být pro řidiče jistotou, v jakém stavu se akumulátor nachází, a tudíž nemůže na cestě řidiče nemile překvapit.

1 Akumulátory

1.1 Rozdělení akumulátorů

Pro uložení některé z forem energie nám slouží akumulátory. Podle způsobů uchování energie můžeme akumulátory rozdělit:

Elektrochemické akumulátory

Tyto akumulátory přeměňují elektrickou energii na energii chemickou. Při požadavku na využití energie dojde k přeměně chemické energie zpět na energii elektrickou. [1]

Mechanické akumulátory

Do této skupiny patří třeba přečerpávací elektrárna. Ta přečerpává vodu z dolní nádrže do horní nádrže v případě přebytku elektrické energie v síti. Naopak při nedostatku elektrické energie se voda vypouští z horní nádrže do dolní. Dalším mechanickým akumulátorem může být například setrvačník. [1]

Elektrické akumulátory

Mezi elektrické akumulátory patří cívka nebo kondenzátor. Elektrická energie se v cívce akumuluje do magnetického pole. Energie magnetického pole cívky je dána vztahem: $W=1/2 \cdot L \cdot I^2$. Elektrická energie se v kondenzátoru akumuluje do elektrického pole. Energie kondenzátoru je dána vztahem: $W=1/2 \cdot C \cdot U^2$. Energie superkapacitorů je v posledních letech využívána u elektromobilů. [1]

Tepelné akumulátory

Tepelné akumulátory shromažďují energie ve formě tepla. Do této skupiny spadají například akumulační kamna. Kamna akumulují tepelnou energie při nízkém tarifu proudu tak, aby mohla být využita v době vyššího tarifu proudu. [2]

1.2 Elektrochemické akumulátory

Existují různé druhy elektrochemických zdrojů elektrické energie, též označovaných jako galvanické články. Galvanické články se využívají nejvíce v mobilních spotřebičích, jako jsou mobilní telefony, fotoaparáty, dálkové ovladače, mobilní svítilny a podobně. Jednotlivé galvanické články mají různé vlastnosti a liší se principem činnosti. Galvanické články rozdělujeme do dvou základních skupin: [3]

1.2.1 Primární články

Primárními články jsou označované takové články, které po vybití nejdou znovu nabít. To znamená, že mohou být použity pouze jednou. Do této skupiny patří zinko-uhlíkový článek, stříbro-zinkový článek nebo primární lithiové baterie a podobně. [3]

1.2.2 Sekundární články

Sekundární články, též označované jako akumulátory, lze na rozdíl od primárních článků opakovaně nabíjet. Sekundární článek se nejprve nabije, to znamená, že přemění elektrickou energie na chemickou a poté je možnost akumulátor vybíjet, to znamená, že z něho můžeme odebírat elektrickou energii. Tento proces lze opakovat na určitém počtu nabíjecích cyklů. Mezi sekundární články patří stříbro-zinkové baterie, nikl-kadmiové, lithiové sekundární články anebo olověné články. Každý článek má své vlastnosti a také využití. Například olověné akumulátory mají hojné využití v automobilovém průmyslu, záložních zdrojích či pohonech. [3] [4]

1.3 Olověný akumulátory

1.3.1 Historie

První olověný akumulátor byl vynalezen v roce 1859, a to zásluhou francouzského fyzika Gastona Plantého. Jeho akumulátor se skládal z desek olověného plechu, které tvořily elektrody. Tyto elektrody byly ponořeny do roztoku kyseliny sírové a byly odděleny separátorem, jenž tvořilo plátno. Akumulátor od té doby prošel mnoha modernizacemi. Avšak velká podobnost konstrukce olověného akumulátoru zůstala dodnes. Dnes jsou olověné akumulátory nedílnou součástí mnoha oborů lidské činnosti. [4]

1.3.2 Dělení dle využití

Startovací akumulátory

Tyto akumulátory mají největší zastoupení na trhu a používají se v automobilovém a motocyklovém průmyslu. Startovací akumulátory mají schopnosti dodat v malém časovém okamžiku velký proud. Akumulátor je složený z dostatečně dimenzovaných elektrod a vyznačuje se malým vnitřním odporem. [4] [5]

Trakční akumulátory

Trakční akumulátory se používají pro pohony elektrických dopravních prostředků, jako jsou třeba invalidní vozíky nebo elektrické skútry. Na tyto akumulátory není kladen

důraz okamžitě dodat velký proud, ale je kladen důraz na velkou kapacitu, velký počet nabíjecích a vybíjecích cyklů. Na rozdíl od startovacích akumulátorů jsou elektrody znatelně slabší, neboť není kladen důraz na krátkodobé vybíjecí proudy vysokých hodnot. [4] [5]

Staniční akumulátory

Staniční akumulátory se využívají jako záložní zdroj energie při výpadku elektrické energie z rozvodné sítě. Tyto akumulátory jsou stále připojeny k napájení, aby byly připraveny k okamžitému použití. Používají se tedy tam, kde je zapotřebí stálého napájení – záložní zdroje pro stěžejní napájecí okruhy budov, lokální záložní zdroje pro PC. [4] [6]

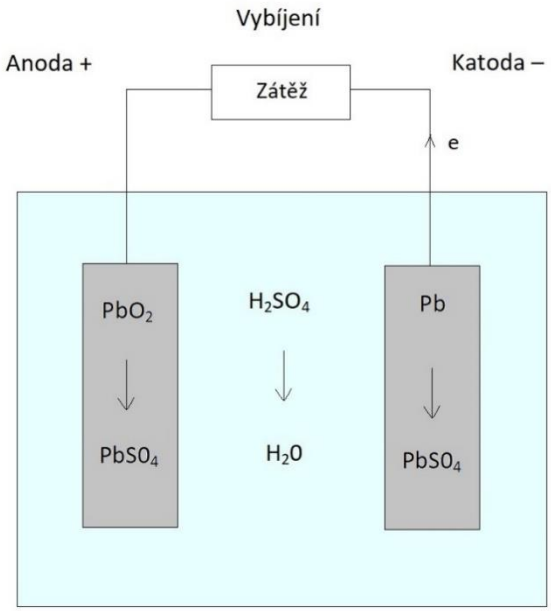
2 Vozidlové startovací akumulátory

2.1 Princip olověných akumulátorů

2.1.1 Vybíjení akumulátoru

Při vybíjení akumulátoru dochází ke změně chemické energie v energii elektrickou. Proud začne procházet od záporné elektrody ke kladné. Při vybíjení se začne spotřebovávat kyselina sírová a vzniká voda. To má za následek, že elektrolyt začne řídnout. Na elektrodách vzniká síran olovnatý. [4] [7]

Rovnice vybíjení [7]: $Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \rightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O$

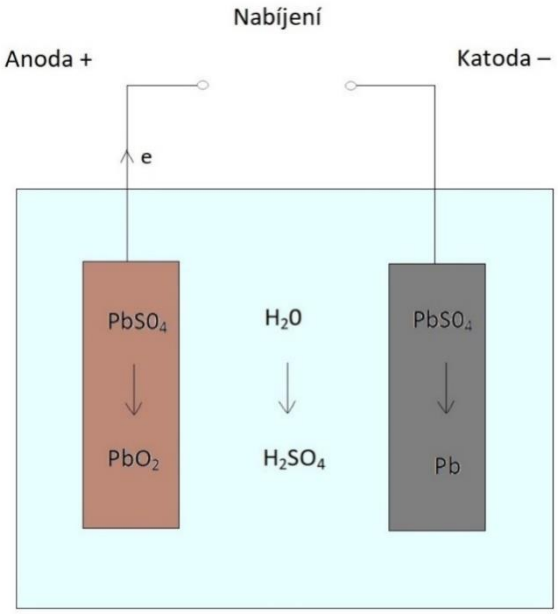


Obr. 2.1 Chemický proces při vybíjení akumulátoru

2.1.2 Nabíjení akumulátoru

Při nabíjení akumulátoru probíhá opačná reakce než při vybíjení. To znamená, že elektrická energie se mění zpět v chemickou. Při nabíjení je elektrolyt obohacován o kyselinu sírovou a houstne. Na záporné elektrodě vzniká tmavošedé houbovité olovo a na kladné elektrodě vzniká černohnědý oxid olovičitý. [4] [7]

Rovnice nabíjení [7]: PbSO4 + 2H2O → PbO2 + Pb + 2H2SO4

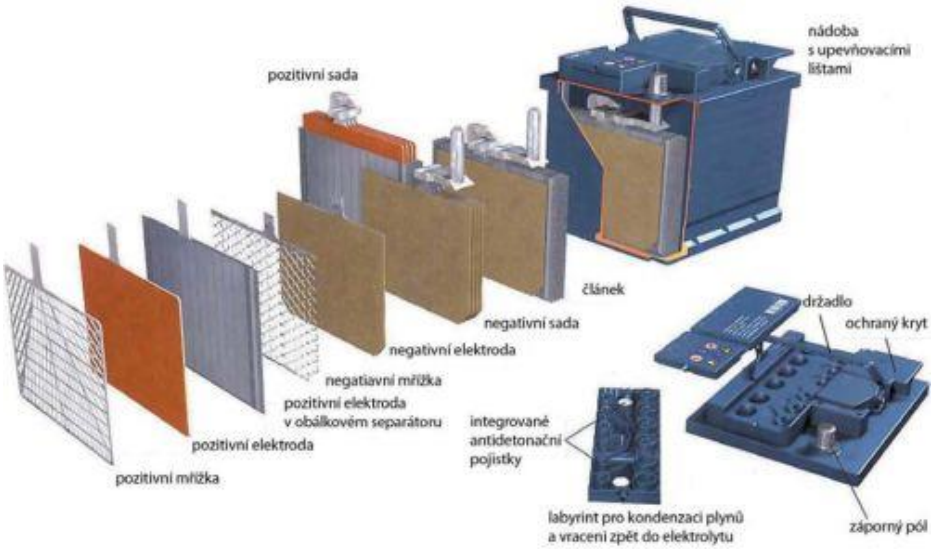


Obr. 2.2 Chemický proces při nabíjení akumulátoru

2.2 Konstrukční řešení a koncepce

Olověný akumulátor tvoří nádoba, která se vyrábí z plastového materiálu. Materiál nádoby musí odolat účinkům zředěné kyseliny sírové. Na horní části této nádoby nalezneme kladný pól, záporný pól a v případě údržbového akumulátoru i zátky. [4] [8]

Vnitřek akumulátoru tvoří články spojené do série, z čehož vyplývá, že se jejich napětí sčítá. Ze šesti článků po 2 V složíme akumulátor o jmenovité hodnotě 12 V. Akumulátor o napětí 6 V je složen ze tří článků. Jednotlivé články se skládají z kladné a záporné elektrody. Elektrody tvoří mřížky, které pokrývá aktivní hmota. Konstrukce elektrod ovlivňují parametry akumulátoru, mezi které patří vybíjecí proud, kapacita nebo životnost. Mezi elektrody je vložen separátor, jenž odděluje kladnou a zápornou elektrodu tak, aby byla zabezpečena vysoká hodnota elektrického odporu a zároveň výborná průchodnost iontů v případě elektrochemických reakcí. Používají se různé druhy separátorů, například papírové, mikroporézní nebo separátory ze skleněných vláken. Jednotlivé akumulátory se liší konstrukcí elektrod a separátorů. Výrobci chtějí různými konstrukcemi dosáhnout co nejlepších parametrů. Vodivé desky (elektrody) jsou ponořené do elektrolytu. Jako elektrolyt slouží zředěná kyselina sírová. S hustotou elektrolytu úzce souvisí kapacita akumulátoru. Hustota elektrolytu též závisí na teplotě. Při teplotě 25 °C je hustota elektrolytu plně nabitého akumulátoru přibližně 1,28 g/cm3. Uvedená hodnota platí pro startovací akumulátor. [4] [8] [9]



Obr. 2.3 Konstrukce olověného akumulátoru [10]

2.2.1 Údržbové akumulátory

Jedná se o akumulátory se zaplavenými elektrodami. Tento typ akumulátorů je nejstarším typem. Už na první podhled vidíme, zda se jedná a údržbový akumulátor či ne. Na horní části akumulátoru se nachází zátky pro případnou údržbu. Údržba spočívá v kontrole hladiny elektrolytu a případném doplnění destilované vody. Údržbový akumulátor nemůžeme provozovat v jiné než základní poloze, jinak by hrozilo vytečení elektrolytu. [8]

2.2.2 Bezúdržbové akumulátory

Pod termínem bezúdržbový akumulátor si představíme akumulátor, který nevyžaduje téměř žádnou údržbu. Přesto je možné uskutečnit alespoň malou údržbu, která se týká kontroly výstupních svorek. Na rozdíl od údržbového akumulátoru neobsahuje zátku pro kontrolu hladiny elektrolytu a případné doplnění destilované vody. I tak bezúdržbový akumulátor není zcela uzavřený, protože obsahuje ventily na odvětrávání plynů. I akumulátor se zaplavenými deskami může být bezúdržbový. Toho lze docílit legováním elektrod vápníkem. Nejčastěji jsou však bezúdržbovými akumulátory gelové akumulátory a akumulátory s vázaným elektrolytem. [5] [8]

Akumulátory s vázaným elektrolytem

Akumulátory s vázaným elektrolytem (AGM – Absorbent Glass Mat) jsou modernější typy akumulátoru s odlišnou konstrukcí separátoru. Elektrolyt těchto akumulátorů je vsáklý do separátoru. Separátor je tvořen tkaninou ze skleněných vláken. Tím pádem tento typ

akumulátoru neobsahuje tekoucí elektrolyt, jako tomu je u akumulátoru se zaplavenými elektrodami. To má výhodu v tom, že AGM akumulátor můžeme používat v jakékoli poloze a nehrozí vytečení elektrolytu. Mezi další výhody této konstrukce patří například větší životnost a větší odolnost při hlubokém vybití. Tento typ akumulátoru je schopný dodávat větší proud za nižších teplot. [8] [11]

Obr. 2.4 Konstrukce AGM akumulátoru se spirálovitými elektrodami [12]

Gelové akumulátory

Gelový akumulátor má konstrukci elektrod stejnou jako akumulátor se zaplavenými elektrodami. Na rozdíl od akumulátoru s vázaným elektrolytem mají gelové akumulátory obyčejné separátory a elektrolyt je vázán v tixotropním křemičitém gelu. Stejně jako u AGM akumulátoru nehrozí vytečení elektrolytu, například při převržení. I gelové akumulátory mají příznivé vlastnosti, jako například životnost, větší kapacitu a snáší podstatně lépe vyšší teploty než klasické akumulátory.

Akumulátory s vázaným elektrolytem i gelové akumulátory jsou většinou provedeny jako VRLA (Valve Regulated Lead Acid batteries) akumulátory. To znamená ventilem řízené akumulátory. Na akumulátorech se nachází ventily, které regulují tlak uvnitř akumulátoru a zároveň slouží jako bezpečnostní přetlakové ventily. [8] [11]

Akumulátory s technologií EFB

Další z technologií, kterou můžeme najít na trhu, může být technologie EFB (Enhanced Flooded Battery). Akumulátory s touto technologií se používají zejména u aut vybavených START–STOP systémem. Akumulátor pak musí být odolnější proti opakovanému zatěžování. To je dosaženo tím, že kladná deska je potažena polyesterovým plátnem. Akumulátory s technologií EFB se dále vyznačují delší životností a tepelnou stabilitou. Avšak tato technologie se nehodí pro automobily s rekuperačním brzděním. [13]

2.3 Hlavní parametry akumulátorů

2.3.1 Kapacita

Kapacita článku se značí C a udává se nejčastěji v ampérhodinách [Ah]. Kapacita udává velikost proudu, který je schopen článek dodávat po určitou dobu. Po té době přejde článek z nabitého stavu do stavu vybitého. Například článek o kapacitě 100 Ah znamená, že článek ideálně dodává proud o velikosti 100 A po dobu jedné hodiny. Reálná kapacita je vždy trochu odlišná od hodnoty udávané výrobcem, protože je závislá na provozních podmínkách, jako jsou třeba teplota nebo stáří. Například s rostoucím stářím kapacita článku klesá. [2] [14]

2.3.2 Napětí článku

Jmenovité napětí článku se značí U a udává se ve voltech [V]. Napětí článku naměříme na svorkách článků ve stavu naprázdno. Hodnota napětí jednotlivých článků je dána typem článků. Olověné články mají napětí 2 V. [2]

2.3.3 Vnitřní odpor

Každý galvanický článek má svůj vnitřní odpor. Vnitřní odpor se značí Ri a udává se v ohmech [Ω]. Velikost vnitřního odporu zásadně ovlivňuje schopnost článku dodat určitou hodnotu vybíjecího či nabíjecího proudu. Články s malými vnitřními odpory jsou tvrdé zdroje, to znamená, že při zvyšujícím se vybíjecím proudu klesne svorkové napětí jen velmi málo. Naopak články s malým vnitřním odporem jsou měkké zdroje, protože vysoký vybíjecí proud způsobí velký pokles svorkového napětí. Napětí na svorkách je dáno vztahem: [2] [3]

$$U = Ue - Ri \cdot I \tag{1}$$

Kde: U = svorkové napětí

Ue = elektromotorické napětí

Ri = vnitřní odpor článku

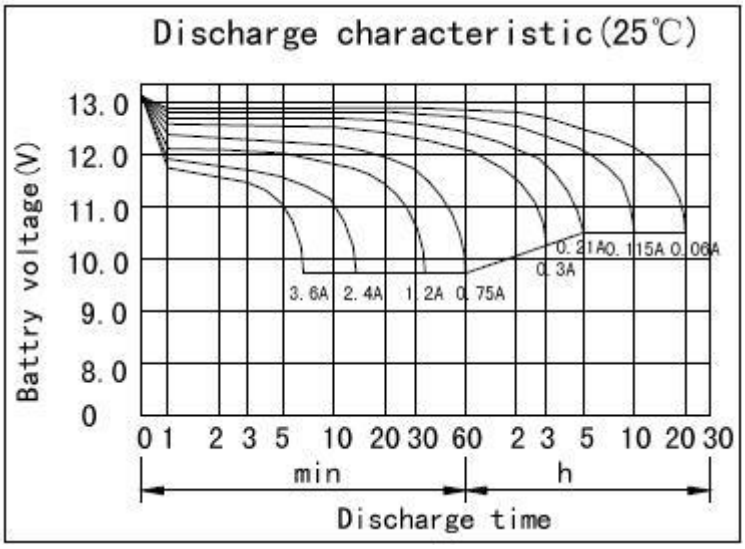
I = doba proud protékající článkem

2.3.4 Vybíjecí proud

Vybíjecí proud je trvalý proud, který je možno ze článku odebírat, než se vybije. Značí se I a udává se v ampérech (A). Udává se jako násobek C (jmenovitá kapacita článku). Například pro akumulátor o jmenovité kapacitě 1500 mAh odpovídá hodnotě 1 C proud 1,5 A. [2]

Vybíjecí křivky

Vybíjecí křivky nám charakterizují chování akumulátoru při vybíjení. Doba, za kterou se akumulátor vybije, závisí na vybíjecím proudu a také na teplotě. Při různých teplotách se akumulátor chová jinak, a tudíž jsou vybíjecí křivky odlišné. Tyto charakteristiky nalezneme v technické dokumentaci akumulátoru. [15]



Obr. 2.5 Vybíjecí křivky při teplotě 25 °C [16]

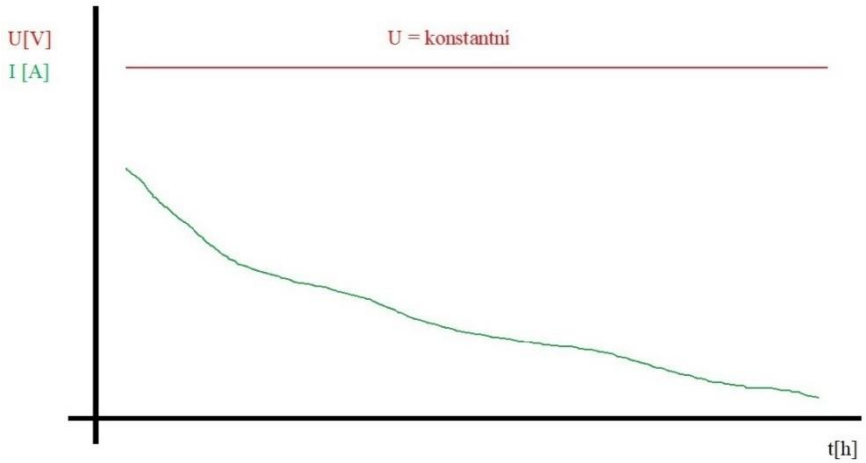
2.4 Požadavky kladené na provoz startovacích akumulátorů

Jelikož akumulátory tvoří nedílnou součást zdrojové soustavy vozidla, klademe na ně určité požadavky. Životnost a spolehlivost je důležitým parametrem všech akumulátorů. Na startovací akumulátory klademe odlišné požadavky než na staniční akumulátory, a to z hlediska jejich provozu. Z hlediska provozu se startovací akumulátory krátce vybíjejí vysokými proudy. Poté se dlouhou dobu nabíjejí a udržují nabité. K hloubkovému vybití u nich dochází zcela mimořádně. U startovacích akumulátorů je tedy důležitým parametrem

vybíjecí proud, počet startovacích cyklů a samozřejmě kapacita. Jelikož mají akumulátory poměrně velké rozměry a hmotnost, jsou u nich také důležitými parametry objemová a hmotnostní hustota energie. [17] [18]

Dalším velmi důležitým parametrem při výběru akumulátoru je vybíjecí proud za studena. Tento parametr nám udává hodnotu proudu, kterou je schopný akumulátor dodávat po dobu 30 sekund při teplotě -18 °C. Tento parametr se volí přibližně 1,5 až 2 x větší než proud odebíraný startérem. Proud odebíraný startérem muže být cca 80-120 A, u dieselových motorů muže startér odebrat více jak 300 A. [8] [17] [19]

Při stanovování požadavků je důležité vědět, jakým způsobem se akumulátor nabíjí. Akumulátor se dobíjí třífázovým alternátorem. Alternátor obsahuje usměrňovač, který usměrňuje výstupní střídavé napětí na napětí stejnosměrné. Pro usměrnění se dnes používá výhradně šestipulsní usměrňovač v můstkovém zapojení. Jelikož výstupní napětí alternátoru závisí na otáčkách a na zatížení, musí se toto napětí udržovat na žádané výši. Tento požadavek uskutečňuje regulátor. Z toho vyplývá, že akumulátor se ve voze během provozu kontinuálně nabíjí U charakteristikou. Na svorkách akumulátoru se udržuje konstantní napětí. Ve voze udržuje konstantní napětí regulátor na hodnotě ideálně 14,4 V. Hodnota konstantního napětí se u nabíječek nastavuje přibližně na 14,4 V, hodnotu takzvaného „plynovacího napětí“. Zpočátku se akumulátor nabíjí velkou hodnotou proudu, který poté klesá se zvyšujícím se napětím akumulátoru. Výhodou tohoto typu nabíjení je krátká doba nabíjecího procesu. Na obrázku 2.6 vidíme předpokládanou podobu nabíjecí charakteristiky U. [7] [20]



Obr. 2.6 Nabíjecí charakteristika U

Tato charakteristika se nejvíce aplikuje ve voze. U nabíječek se používají spíše jiné typy nabíjecích charakteristik. Jiný způsob nabíjení akumulátoru je nabíjení charakteristikou

I. Akumulátor se nabíjí konstantním proudem o hodnotě přibližně 1/10 násobek jmenovité kapacity akumulátoru. Napětí na akumulátoru při nabíjení roste. Nevýhodu tohoto způsobu nabíjení představuje možnost přebití akumulátoru. Tento problém se dá vyřešit použitím nabíječky s hlídáním konce nabíjení. Další způsob, jak akumulátor dobít, je řízení nabíjení charakteristikou W. Akumulátor se dobíjí zvyšujícím se napětím. Naopak proud při nabíjení klesá. Tento způsob je oblíbený pro jeho rychlost nabíjení. U nabíječek se též používá nabíjení IU charakteristikou, která kombinuje základní typy nabíjecích charakteristik. Akumulátor se nabíjí konstantním proudem. Po dosažení hodnoty takzvaného „plynovacího napětí“ přejde nabíječka do režimu konstantního napětí. Speciálním způsobem nabíjení je pulzní nabíjení. Pulzní nabíjení pracuje tak, že se střídá nabíjení kladnými pulzy a vybíjení zápornými pulzy. Vybíjecí proud dosahuje hodnoty 1/10 proudu nabíjecího. Tento způsob je velmi rychlý a má také příznivé vlivy na akumulátor, jako například desulfatační účinek. [7]

Sumarizace požadavků

- Vysoké vybíjecí proudy
- Vysoké nabíjecí proudy
- Vysoká kapacita
- Vysoká spolehlivost
- Vysoký počet nabíjecích cyklů
- Nízké pořizovací náklady

2.5 Životnost olověných startovacích akumulátorů

Životnost startovacích olověných akumulátorů závisí na konstrukci, teplotě, prostředí i způsobu nabíjení. Dále údržba a způsob provozu značně ovlivňují životnost. Proto by se mělo o akumulátory pečovat, aby vydržely co nejdéle. [21]

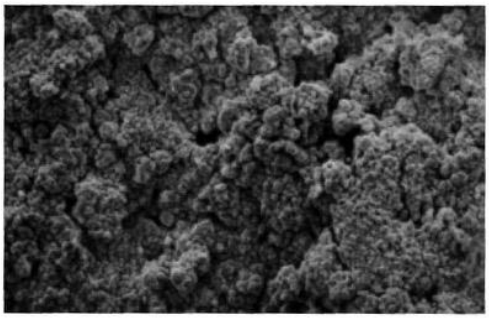
Z hlediska údržby je zapotřebí sledovat hladinu elektrolytu. Je důležité, aby byly zaplaveny celé elektrody. Akumulátor, jehož nádoba se vyrobí z průhledného plastu, má na jedné ze stěn rysky. Hladina elektrolytu by se měla nacházet mezi těmito ryskami. Pokud se na akumulátoru tyto rysky nenacházejí, hladina elektrolytu je odlišná podle konstrukce a je udávána výrobcem. Pokud se hladina elektrolytu nenachází v dostatečné výši, je třeba dolít akumulátor destilovanou vodou. Nízká hladina elektrolytu zkracuje životnost akumulátoru, ale snižuje i kapacitu. Nezaplavené části elektrody nepracují, naopak zaplavené části elektrod jsou přetěžovány a tím i poškozovány. Ani vysoká hladina elektrolytu není pro akumulátor

vhodná. Při nabíjení elektrolyt vytéká ze zátek ven a může tak způsobit poškození kovových části mimo akumulátor, např. kovových nosičů akumulátoru. [22] [23]

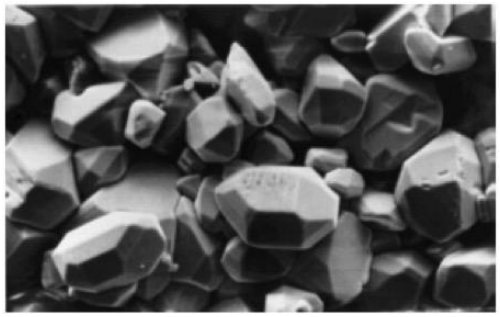
Mezi další důležitou údržbu akumulátoru patří čištění a uskladnění. Povrch akumulátoru by se měl očistit od prachu a mastnoty. Důležité je i odstranění koroze z pólových vývodů. Uskladnění akumulátoru se doporučuje v zakrytých suchých místnostech. [22] [23]

Z hlediska provozu je zapotřebí dát si pozor na přebíjení akumulátoru, protože přebíjení zkracuje životnost akumulátoru. Hodnota konečného nabíjecího napětí se liší podle konstrukce. Olověné akumulátory mají toto napětí na hodnotě 2,4 V na článek. Tato hodnota se značí jako hodnota tzv. „plynovacího napětí“. Dosažením tohoto napětí dochází k rozkladu vody na kyslík a vodík. Jelikož se může akumulátor špatným nabíjením poškodit a tím zkrátit jeho životnost, je zapotřebí vhodně zvolit nabíječku a nabíjecí cyklus. [7] [24]

Akumulátoru též vadí hluboké vybití. To znamená, že ho není vhodné vybíjet pod konečné vybíjecí napětí dané výrobcem. Toto napětí bývá např. 1,75 V na článek. Po vybití není vhodné akumulátor zachovat vybitý delší dobu, ale měl by se co nejrychleji dobít. Pokud akumulátor ihned nedobijeme, dochází k sulfataci. Sulfatace je jev, při kterém se na elektrodách vytváří krystalky síranu olovnatého. Malé krystalky se dalším vybíjením zvětšují a tím snižují účinnou plochu elektrod. Z toho vyplývá, že sulfatace je nežádoucí jev, který zhoršuje akumulační schopnosti akumulátoru. V první řadě snižuje kapacitu akumulátoru. Dále zvyšuje vnitřní odpor, což má za následek menší vybíjecí proud a větší pokles napětí při vybíjení. Sulfatace není trvalá. Existují metody, jak obnovit akumulátoru jeho akumulační schopnosti, ale jen v určité míře. Nejlépe se sulfatace eliminuje tím, že vybitý akumulátor začneme ihned nabíjet a neponecháme jej ve vybitém stavu. [7] [24]



Obr. 2.7 Povrch elektrody bez sulfatace [7]



Obr. 2.8 Povrch elektrody pokrytý masivní sulfatací (krystaly síranu olovnatého) [7]

Akumulátoru neprospívá ani ponechání v klidovém stavu. Když je akumulátor v nečinném stavu, to znamená, že ho nedobíjíme ani z něj neodebíráme proud, tak se v něm uskutečňuje stejná reakce jako při procesu vybíjení. Za jak dlouho se akumulátor vybije sám, závisí na mnoha faktorech, a to na typu akumulátoru, dále na konstrukci, stáří a také na teplotě. Běžné akumulátory se zaplavenými elektrodami se vybijí za 6-9 měsíců. Důsledkem samovybíjení je i snížení svorkového napětí. Samovybíjením trpí každý akumulátor. [7] [25]

3 Přehled možných přístupů k testování startovacích akumulátorů

3.1 Měření napětí

Měření napětí akumulátoru je nejjednodušším způsobem určování stavu akumulátoru. K měření nám postačí obyčejný voltmetr, který připojíme na svorky akumulátoru ve stavu naprázdno. Tento způsob je sice nejjednodušší, ale zároveň velmi nepřesný. Když se podíváme na vybíjející křivky (obr. 2.5), tak vidíme, že křivky jsou v pracovní oblasti téměř vodorovné. Z toho vyplývá, že znalost svorkového napětí ve stavu naprázdno nám přesně neřekne, v jakém stavu se akumulátor nachází. [26]

3.2 Měření kapacity

Kapacita je nejdůležitější parametr akumulátoru. Jelikož s rostoucím stářím akumulátoru klesá kapacita, může nám znalost kapacity napovědět, zda se akumulátor nachází na konci svého života. Akumulátor se považuje na konci svého života, když jeho kapacita klesne na 80 % jmenovité hodnoty. Měření probíhá tak, že akumulátor zatížíme proudem určité hodnoty. Při zatěžování budeme zaznamenávat hodnoty svorkového napětí. Až napětí klesne pod hodnotu, která je považována za hodnotu, při které je akumulátor vybitý, test ukončíme. Z hodnot svorkového napětí vypočítáme průměr. Kapacita je dána vztahem: [26]

$$C = \frac{\mathrm{U_{av}} \cdot \mathrm{t}}{\mathrm{R}} \tag{2}$$

Kde: C = kapacita akumulátoru

U_{av} = průměrná hodnota svorkové napětí

t = doba, po kterou akumulátor zatěžujeme

R = zatěžovací rezistor

3.3 Měření vnitřního odporu

Vnitřní odpor není konstantní parametr. Vnitřní odpor se zvyšuje s hloubkou vybití, a to má za následek snížení svorkového napětí při vybíjení. Abychom tento pokles stanovili, je zapotřebí vnitřní odpor vypočítat. Nejdříve si změříme napětí naprázdno. Poté zatížíme akumulátor rezistorem a změříme svorkové napětí. Vnitřní odpor je dán vztahem: [26]

$$Ri = \frac{\mathrm{R} \cdot (\mathrm{U_0} - \mathrm{U})}{\mathrm{U}} \tag{3}$$

Kde: Ri = vnitřní odpor akumulátoru

U_0 = svorkové napětí bez zatížení

U = svorkové napětí při zatížení

R = zatěžovací rezistor

Pokud známe hodnotu vnitřního odporu nového akumulátoru, můžeme porovnat s hodnotu vypočtenou a určit přibližný stav akumulátoru. [26]

č.	Jmenovité napětí [V]	Kapacita [Ah]	Startovací proud [A]	Vnitřní odpor [mΩ]	Typ	Výrobce
1	12,5	40	330	10,5	Se zaplavenými elektrodami	VARTA
2	12,4	45	330	12,8	Se zaplavenými elektrodami	VARTA
3	12,6	60	540	6,7	Se zaplavenými elektrodami	VARTA
4	12,6	70	630	5,7	Se zaplavenými elektrodami	VARTA
5	12,5	95	830	5,3	Se zaplavenými elektrodami	VARTA
6	12,5	77	780	5,3	Se zaplavenými elektrodami	VARTA
7	12,6	100	830	3,6	Se zaplavenými elektrodami	VARTA
8	12,6	50	815	4,7	AGM	OPTIMA
9	12,6	95	850	4,3	AGM	VARTA
10	12,6	240	1200	4,3	EFB	VARTA

Tabulka 3.1 Hodnoty vnitřního odporů u nových akumulátorů

Do tabulky 3.1 jsem vložil nové doposud nepoužité akumulátory s jejich parametry. Tyto akumulátory jsem proměřil v obchodě VARTA. Jejich vnitřní odpory jsem stanovil měřicím přístrojem SM8124. Akumulátor č.2 vykazuje vyšší hodnotu vnitřního odporu. Tento akumulátor byl na obchodě delší dobu, a tudíž není zcela nový. Tato tabulka může posloužit k porovnání s vypočtenou hodnotou vnitřního odporu pro stanovení přibližného stavu akumulátoru.

4 Testery akumulátorů

4.1 Zátěžový tester ZB - 12

Obr. 4.1 Zátěžový tester BZ-12 [27]

- Tento zátěžový tester je určen pro olověné akumulátory se jmenovitým napětím 12 V, nikoli pro 6 V akumulátory.
- Stupnice testeru v rozsahu 7-12 V.
- Indikace stavu měřeného akumulátoru pomocí 6 led diod.
- Určeno pro kapacity v rozsahu 35-120 Ah.
- Testovací proud v rozsahu 160-180 A.
- Měření po dobu maximálně 5 s.
- Po měření je třeba ponechat tester v klidu minimálně 15 s, než začneme následující měření.
- Hmotnost testeru 450 g.
- Cena BZ -12 testeru od cca 2 156 Kč. [27]

4.2 Zátěžový tester COMPASS 07 173

- Zátěžový tester s pro olověné akumulátory se jmenovitým napětím 12 V, ale i 6 V.
- Lze použít i jako tester nabíjecí soustavy vozidla a tester startéru.
- Rozsah napětí 0-16 V.
- Tester je vybaven analogovým měřidlem napětí.
- Testovací proud o hodnotě 100 A.

- Startovací proud za studena v rozsahu 200-1000 A
- Rozsah teplot při skladování 0-55 °C
- Provozní teploty v rozsahu 0-40 °C
- Měření po dobu maximálně 10 s.
- Po měření je třeba ponechat minimálně 5 min, aby tester mohl vychladnout.
- Hmotnost testeru 1,1 kg.
- Cena Compass 07 173 od cca 546 Kč. [28]

Obr. 4.2 Zátěžový tester Compass 07 173 [29]

4.3 Zátěžový tester COMPASS 07 172

- Zátěžový tester pro olověné akumulátory se jmenovitým napětím 12 V.
- Lze použít i jako tester nabíjecí soustavy vozidla a tester startéru.
- Tester je vybaven led digitálním měřidlem napětí.
- Rozsah napětí 8,5-25 V.
- Testovací proud o hodnotě 100 A.
- Startovací proud za studena v rozsahu 150-1400 A.
- Rozsah teplot při skladování 0-55 °C.
- Provozní teploty v rozsahu 0-40 °C.
- Měření po dobu maximálně 10 s.
- Po měření je třeba ponechat minimálně 5 min, aby tester mohl vychladnout.
- Hmotnost testeru 1 kg.
- Cena Compass 07 172 od cca 638 Kč. [28]

Obr. 4.3 Zátěžový tester Compass 07 172 [30]

4.4 Zátěžový tester FY-500

- Zátěžový tester pro olověné akumulátory se jmenovitým napětím 12 V.
- Lze použít i jako tester alternátoru a startéru.
- Tester je vybaven analogovou stupnicí.
- Rozsah napětí 0-16 V.
- Testovací proud v rozsahu 0-500 A.
- Startovací proud za studena v rozsahu 0-1000 A.
- Měření po dobu maximálně 15 s.
- Po měření je třeba ponechat minimálně 1 min, aby tester mohl vychladnout.
- Maximálně 3 testy v 5 minutách.
- Hmotnost testeru 3,6 kg.
- Cena testeru FY 500 od cca 1890 Kč. [31]

Obr. 4.4 Zátěžový tester FY 500 [32]

4.5 Tester akumulátorů FERRET 44

Obr. 4.5 Tester akumulátorů FERRET 44 [33]

- Zátěžový tester pro akumulátory se jmenovitým napětím 12 V i 6 V.
- Tester je možno použít pro testování startéru a alternátoru.
- Možnost výběru automatického nebo manuálního testování pro testování akumulátoru, startéru i alternátoru.
- Tester je vybaven dvouřádkovým podsvíceným LCD displejem.
- Tester je dále vybaven tiskárnou pro vyhodnocení výsledků.
- Testovací proud v rozsahu 0-600 A.
- Tester má schopnost odhadnout startovací proud za studena CCA.
- Měření po dobu maximálně 15 s (hlídáno akustickým signálem).
- Tester je vybaven ventilátorem chlazení.
- Hmotnost testeru cca 20,4 kg.
- Cena testeru cca 64 000 Kč. [34]

5 Návrh testeru

Tato část se věnuje vlastnímu návrhu testeru. Postupně je nastíněn postup realizace zařízení od návrhu zařízení přes simulaci až po výrobu.

Hlavním cílem je tedy navrhnout výkonový tester startovacích olověných akumulátorů, který bude přibližně simulovat reálný start vozidla. To znamená realizovat tester, který je schopný odebírat z akumulátoru testovací proud o hodnotě cca 100 A. Z poklesu napětí při tomto zatížení stanovíme přibližnou kondici testovaného akumulátoru. Je rovněž důležité, aby byl tester schopný odebírat testovací proud alespoň po dobu 5 s. Tyto dva parametry jsou nejdůležitějšími pro náš návrh testeru.

5.1 Volba koncepce

Nyní máme stanoveny hlavní parametry a nastává čas věnovat se realizaci. Níže bude nastíněn postup vývoje obvodu a popis jeho částí. Celý obvod se dělí do dvou hlavních částí, a to na část řídící a část výkonovou.

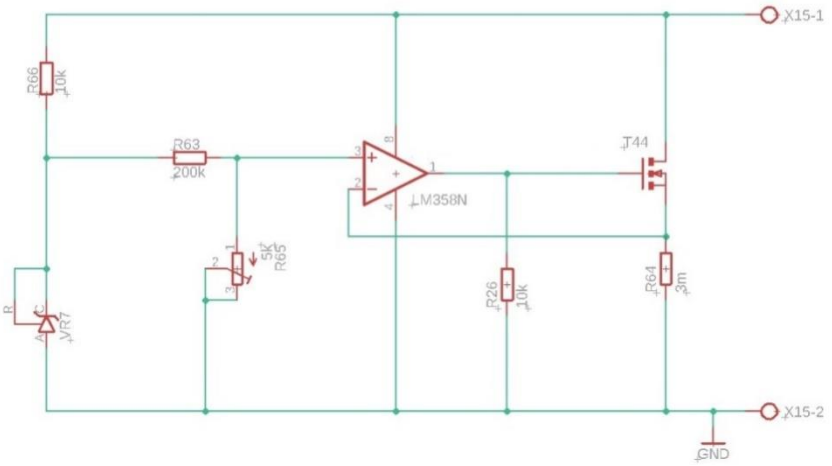
5.1.1 Řídící část

Výkonový tester je realizován formou elektronické zátěže. Elektronická zátěž slouží pro testování různých napájecích zdrojů, jako například v našem případě akumulátor. Elektronická, též aktivní zátěž, se zevně chová jako zpětnovazebně řízený nastavitelný rezistor, přičemž nejčastěji využívanou regulovanou veličinu představuje elektrický proud. Nastavování velikosti procházejícího proudu zátěží probíhá prostřednictvím nastavovacího prvku – trimru. Z toho vyplývá, že funkce aktivní zátěže je stejná jako funkce reostatu. Pro větší výkony se reostaty ale moc nevyužívají, protože jsou velké a těžké. V aktivních zátěžích se využívají polovodičové součástky a tím dochází k jisté minimalizaci. Bohužel ani elektronické zátěže kolikrát nedosahují malých rozměrů. Důvodem je chladič, který odvádí teplo z výkonových prvků. [35]

Řídicí část elektronické zátěže

Na obrázku 5.1 je vidět jednoduchá elektronická zátěž, která je hlavním prvkem řídící části výkonového testeru. V obvodu se nachází napěťová reference TL431 (v obvodu na obr. 5.1 s označením VR3). Napěťová reference TL431 má nastavitelné výstupní napětí v rozsahu 2,5-36 V a disponuje teplotní stabilitou. V tomto zapojení, které vidíme ve schématu níže, pracuje jako přesný paralelní stabilizátor s napětím 2,5 V. Toto napětí se dále dělí děličem napětí. Tento dělič se skládá z rezistoru R21 a odporového trimru R23, pomocí kterého lze

napěťovou referenci regulovat. Napětí je dále přivedeno na neinvertující vstup operačního zesilovače LM358N, který pracuje v komparačním režimu. Na invertující vstup operačního zesilovače se přivádí úbytek napětí na rezistoru R22. Tento rezistor se nazývá měřící rezistor, též shunt rezistor, a používá se pro měření proudu. Operační zesilovač otevírá výkonový unipolární tranzistor T4. Vstupní energie se na tomto tranzistoru přemění v teplo. Tranzistor je otevírán tak, aby proud procházející přes shunt rezistor vyvolal úbytek napětí stejný jako napětí z děliče napětí přivedené na neinvertující vstup. Jinými slovy se operační zesilovač reguluje otevíráním tranzistoru tak, aby rozdíl napětí na invertujícím a neinvertujícím vstupu byl nulový.

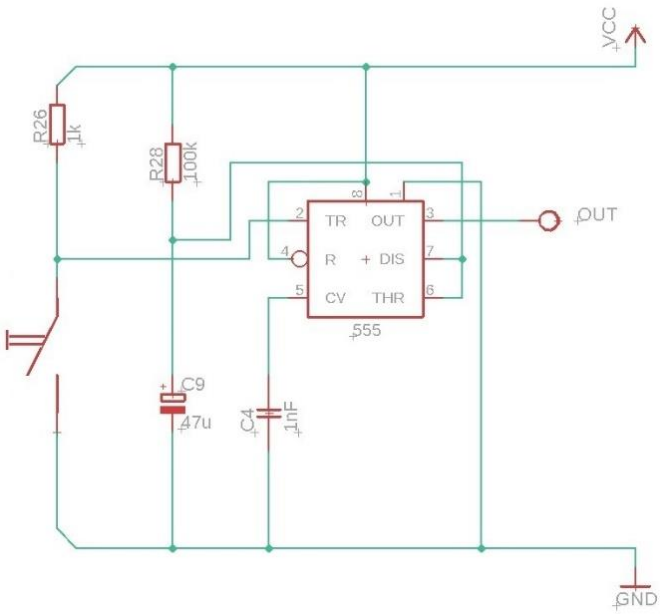


Obr. 5.1 Elektronická zátěž [36]

Časovač testovacího cyklu

Dalším důležitým obvodem řídící části je časovač. V obvodu je začleněný analogový časovač 555 zapojený v monostabilním režimu. To znamená, že má pouze jeden stabilní stav. Do nestabilního stavu se překlopí, pokud na pin č.2 Trigger přijde sestupná hrana. V tomto nestabilním stavu přetrvává po dobu, která se nastaví pomocí rezistoru R28 a kondenzátoru C9. [37]

Přivedením záporné hrany na pin č.2 Trigger na výstupním pinu č.3 Out se nastaví log. 1. Kondenzátor C9 se začne nabíjet přes rezistor R28. Po dosažení napětí kondenzátoru na 2/3 napájecího napětí se resetuje klopní obvod, vybíjecí tranzistor se aktivuje a kondenzátor se začne vybíjet. Na výstupním pinu se nastaví log. 0. [37]



Obr. 5.2 Monostabilní zapojení analogového časovače 555 [37]

Doba, po kterou se časovač 555 nachází v nestabilním stavu, je doba, kdy se nabíjí kondenzátor a je dána vztahem: [37]

$$t = \ln(3) \cdot \mathrm{R28} \cdot \mathrm{C9} \tag{4}$$

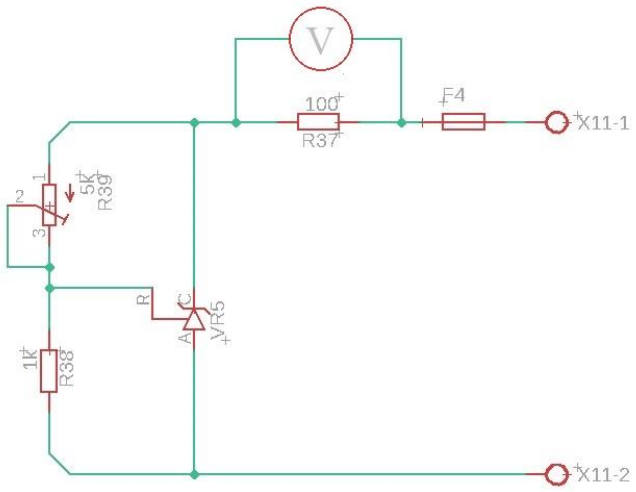
Kde: t = doba nestabilního stavu

R28 = odpor rezistoru

C9 = kapacita vybíjecího kondenzátoru

Vyhodnocení vnitřního odporu

Pro odečítání poklesu napětí akumulátoru při zatěžování je zapotřebí vybavit tester voltmetrem. V této práci je použit analogový voltmetr s rozsahem 0 až 5 V. Jelikož má akumulátor jmenovité napětí 12 V, tak by se nabízelo využít voltmetr s rozsahem 0 až 15 V. U tohoto voltmetru bychom ale nevyužili celou stupnici. Při poklesu napětí pod 8 V můžeme s jistotou říci, že se akumulátor nachází ve špatném stavu. Z toho vyplývá, že stačí odečítat napětí v rozmezí 8-13 V. Navíc při poklesu svorkového napětí o malé hodnoty, jako třeba desetiny voltu, je velmi složité přesné napětí z voltmetru odečíst, jelikož test trvá pouze 5 s. Proto jsem využil voltmetr s menším rozsahem, u kterého se využívá celá stupnice a odečítání není tak nepřesné. Z těchto důvodů je zapotřebí použít obvod, který vidíme na obr. 5.3.



Obr. 5.3 Obvod pro voltmetr s rozsahem 0–5 V

Zapojení přizpůsobovacího obvodu spočívá v konstrukci přesného 8 V paralelního stabilizátoru, přičemž uvedený voltmetr zobrazuje právě přesný rozdíl svorkového napětí a výstupu 8 V stabilizátoru. V sestavení stabilizátoru je opět použita napěťová reference TL431 (na obr 5.3 s označením VR5). Pomocí rezistoru R38 a odporového trimru R39 se nastavuje napětí napěťové reference. V tomto případě je napěťová reference nastavena na 8 V. Z toho vyplývá, že když se na svorkách objeví 8 V, bude voltmetr ukazovat 0 V. Na druhou stranu, když bude na svorkách napětí 13 V, bude voltmetr ukazovat 5 V.

Kompletní řídící část

Celá řídící část (obr. 5.4) se skládá z jednotlivých částí popsaných výše. Na levé straně obvodu se nachází časovač 555 zapojený v monostabilním režimu. Obvod tohoto časovače je rozšířen tak, aby byla zachována správná funkce monostabilního časovače 555. V obvodu nechybí ošetření zákmitu tlačítka. Dále je obvod vylepšen tak, aby byl výstupní signál vždy delší než vstupní signál, jinak by docházelo k ovlivňování výstupního signálu. Pomocí rezistoru R44 a kondenzátoru C12 se nastavuje délka výstupního impulzu. Jelikož je zapotřebí, aby tester zatěžoval akumulátor alespoň 5 s, je volena hodnota odporu 100 kΩ a hodnota kapacity 47 µF. Doba nestabilního stavu je dána vztahem:

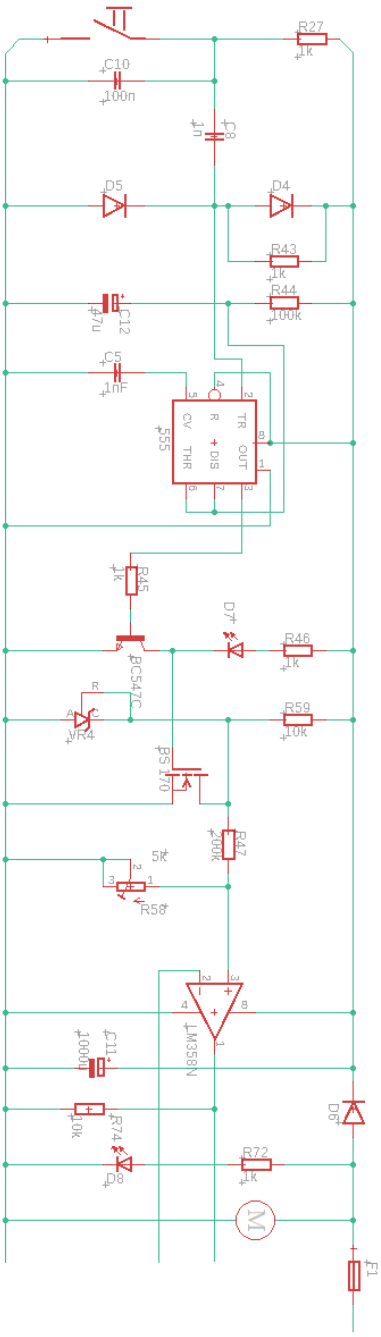
$$t = \ln(3) \cdot \mathrm{R44} \cdot \mathrm{C12} \tag{5}$$

$$t = 1{,}099 \cdot 100000 \cdot 47 \cdot 10^{-6} = 5{,}165\ \mathrm{s} \tag{6}$$

Kde: t = doba nestabilního stavu

R44 = odpor rezistoru

C12 = kapacita vybíjecího kondenzátoru

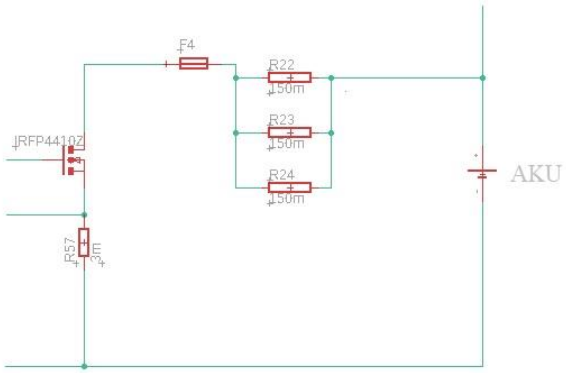


Obr. 5.4 Schéma řídící část výkonového testeru akumulátorů

Výsledek vztahu vyšel 5,165 s, což pro testování akumulátoru zcela postačuje. Výstup časovače (pin 3) je přiveden do báze bipolárního NPN tranzistoru BC547C. V okamžiku neaktivního výstupu z časovače, tj. na pinu 3 log. 0, se tento tranzistor nachází uzavřený. Unipolární tranzistor BS 170 je v této době otevřen, jelikož je jeho gate spojen s kolektorem bipolárního tranzistoru. Pokud se tento unipolární tranzistor nachází v otevřeném stavu, pak bude napětí mezi drain a source nulové. Z toho dále vyplývá, že napětí na neinvertujícím

vstupu operačního zesilovače bude též nulové a operační zesilovač nebude otevírat výkonové tranzistory. Jestliže se na výstupu časovače objeví kladný impulz, otevře se bipolární tranzistor. Led dioda D7, která signalizuje průběh testování a rozsvítí se. Napětí na gate unipolárního tranzistoru bude tedy nulové a tento tranzistor bude uzavřený. Z toho vyplývá, že napětí napěťové reference se podělí na odporovém děliči a objeví se na neinvertujícím vstupu operačního zesilovače. V celém testeru je 10 kusů operačních zesilovačů. Každý operační zesilovač ovládá pouze jeden výkonový tranzistor. Obvod je dále vybaven elektrolytickým kondenzátorem C11, který zaručuje napájení řídící části při krátkodobém poklesu napětí akumulátoru vlivem testování. Dále se v obvodu nachází další led dioda, která slouží k signalizaci připojení testeru k akumulátoru. V obvodu nechybí ani ochranné prvky. To zaručuje dioda D6 zapojená v propustném směru a pojistka F1. Výkonový tester je vybaven nuceným chlazením, které zajišťuje ventilátor.

5.1.2 Výkonová část

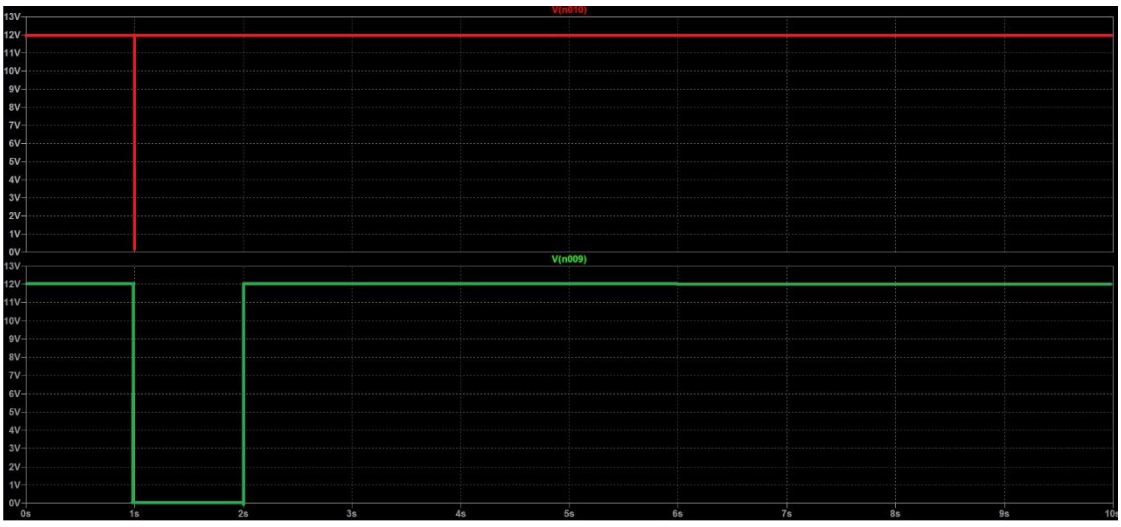


Obr. 5.5 Zjednodušené schéma výkonové části

Na obrázku (obr. 5.5) je vidět zjednodušené schéma výkonové části výkonového testeru akumulátorů. Výkonová část se skládá z předřadných výkonových rezistorů R22, R23, R24. V obvodu se též nachází výkonová pojistka. Na levé straně obvodu je připojen výkonový unipolární tranzistor IRFP4410Z a nakonec měřící shunt rezistoru R57. Výkonové rezistory jsou 50 W a do obvodu jsou začleněny proto, aby se veškeré teplo nemařilo pouze na výkonových tranzistorech. V testeru se nachází celkem 10 kusů výkonových tranzistorů. Jeden operační zesilovač ovládá jeden výkonový tranzistor. Na každý výkonový tranzistor připadá jeden měřící odpor. To znamená, že i měřících odporů je v celém testeru 10 kusů. Kompletní schéma výkonového testeru akumulátoru s kompletní výkonovou částí je uvedeno v příloze B.

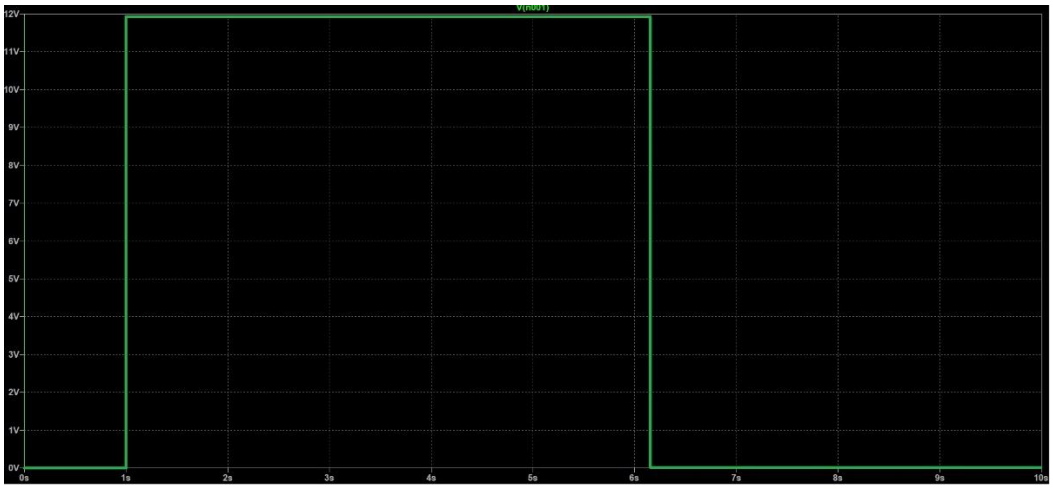
5.2 Simulace provozu

Simulace proběhla v programu LTspice firmy Linear Technology. LTspice slouží pro realizaci a simulaci elektronických obvodů. Tento program byl využit i při návrhu zařízení pro doladění některých částí systému. Schéma simulovaného obvodu se od kompletního schématu výkonového testeru akumulátoru mírně liší. Schéma simulovaného obvodu je uvedené v příloze C. V obvodu pro simulaci se nenachází obvod pro voltmetr, signalizační led diody, ventilátor aj. V programu LTspice byla testována funkčnost celého systému, proto v obvodu pro simulaci chybí některé součástky, které nemají na funkčnost systému zásadní vliv. Další problém nastal s některými součástkami. Jelikož je tento program od firmy Linear Technology, tak se v něm nenachází součástky od jiných výrobců. Například napěťová reference TL431 od Texas Instruments se v programu vůbec nenacházela. Tato reference je nahrazena napěťovou referencí od Analog Devices LT1009. Výkonové tranzistory jsou též použity jiné, a to IRFZ44V. Unipolární tranzistor BS170 je nahrazen unipolárním tranzistorem SI4874DY. V programu se též nenacházelo tlačítko. Tento problém byl vyřešen tím, že se do obvodu vložil zdroj, který pracuje v pulsním režimu. Zdroj ovládá unipolární tranzistor a tím se demonstruje jednosekundový stisk tlačítka. Pro simulaci je využita transientní analýzu, která trvá 10 s.



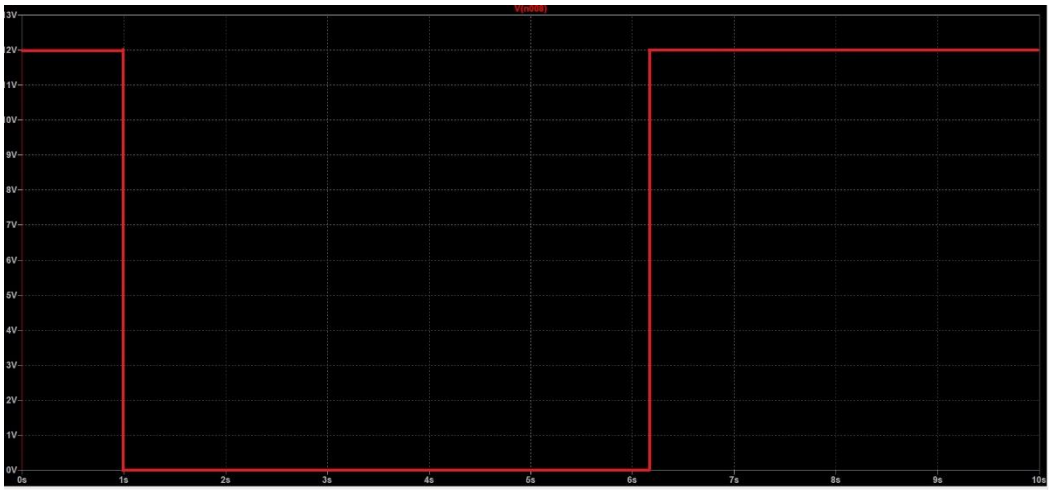
Obr. 5.6 Transientní analýza vstupu do časovače 555

Na obrázku 5.6 jsou dva průběhy. Zelený signál ve spodní části analýzy představuje stisk tlačítka. Stisk tlačítka začíná v první sekundě a končí přesně v druhé sekundě. Červený signál, který se nachází v horní části transientní analýzy, je signál na spouštěcím pin č.2 časovače 555. Na průběhu je přesně vidět sestupná hrana, která uvádí časovač 555 do činnosti.



Obr. 5.7 Transientní analýza výstupu z časovače 555

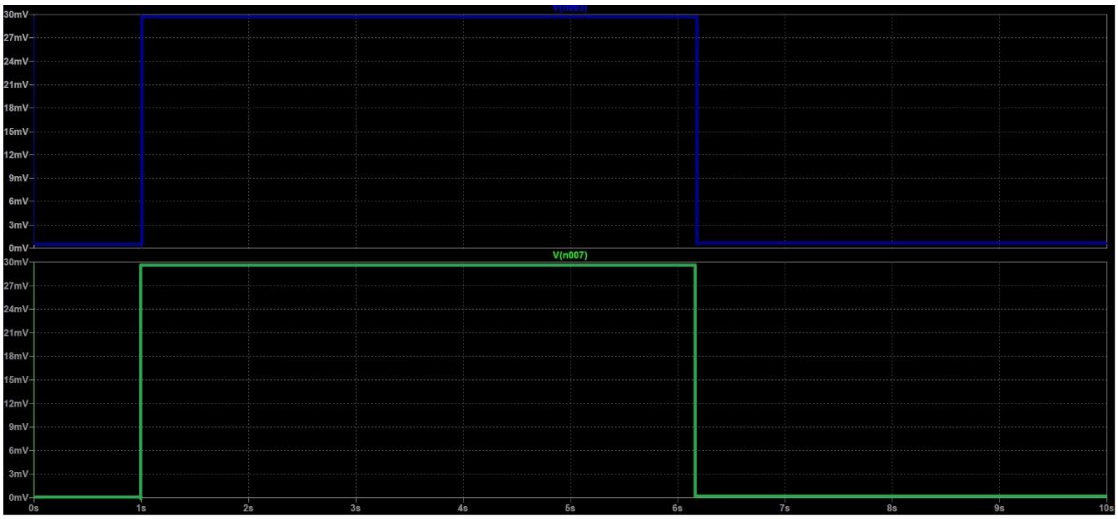
Průběh na obrázku 5.7 znázorňuje signál na výstupním pinu č.3 časovače 555. Z průběhu je patrné, že jakmile se na spouštěcím pinu č.2 objeví sestupná hrana spouštěcího signálu, tak se na výstupním pinu č.3 objeví 12 V. Toto napětí se na výstupním pinu drží po celou dobu nabíjení kondenzátoru. V předchozí části bylo vypočítáno, že tato prodleva trvá 5,165 s. Z průběhu analýzy je zřejmé, že skutečná hodnota přibližně odpovídá hodnotě vypočtené. Po přiblížení časové osy v programu LTspice je evidentní, že výpočet byl přesný.



Obr. 5.8 Transientní analýza gate unipolárního tranzistoru

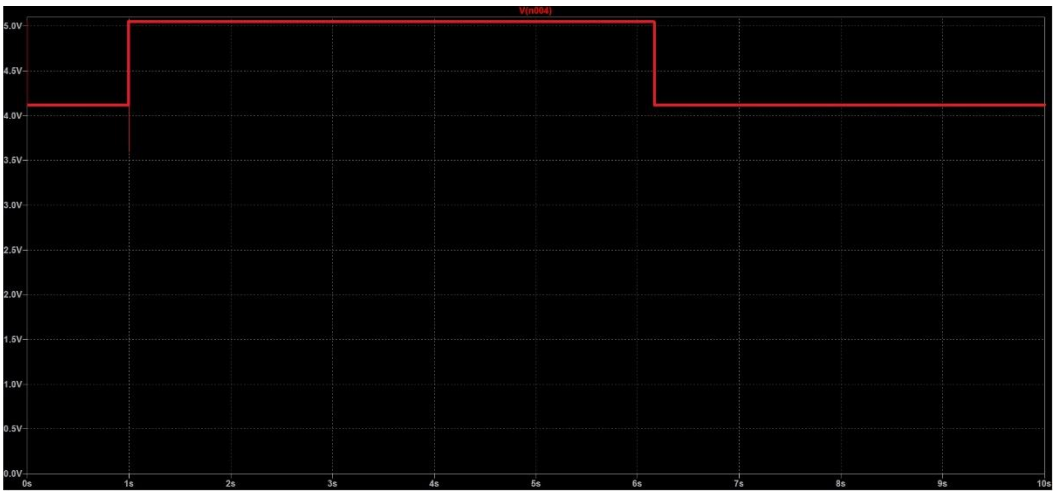
Na tomto průběhu (obr. 5.8) je vyobrazen průběh napětí na gate unipolárního tranzistoru SI4874DY. Při porovnání průběhu s předešlým průběhem (obr. 5.7) je očividné, že průběhy jsou vůči sobě invertované. Z toho vyplývá, že bipolární tranzistor BC547C posloužil jako invertor. Napětí na gate unipolárního tranzistoru je v klidovém stavu 12 V. Jakmile se na výstupu časovače objeví kladný puls, který otevře bipolární tranzistor, klesne napětí

na gate na 0 V a unipolární tranzistor se uzavře. Na tomto napětí setrvá, dokud se bipolární tranzistor zpět nezavře, pak se vrací zpět na 12 V.



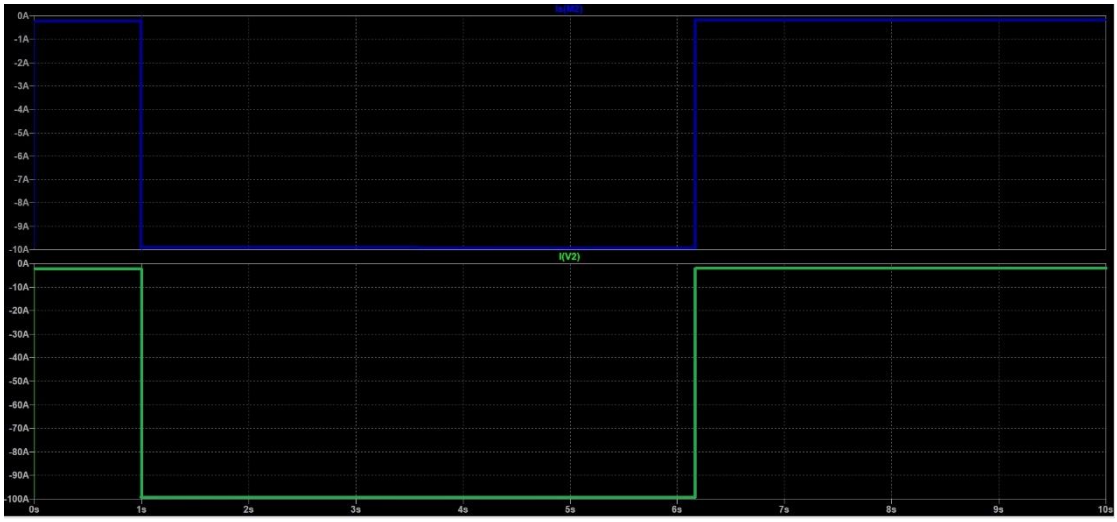
Obr. 5.9 Transientní analýza invertujícího a neinvertujícího vstupu operačního zesilovače

Na obrázku 5.9 jsou znázorněny průběhy napětí na invertujícím a neinvertujícím vstupu operačního zesilovače. V dolní části obrázku je průběh na neinvertujícím vstupu. Když je unipolární tranzistor SI4874DY otevřený, objeví se na neinvertujícím vstupu napětí 0 V. Pokud se nachází unipolární tranzistor v uzavřeném stavu, objeví se na neinvertujícím vstupu napětí napěťové reference snížené odporem děličem na 30 mV. Na horní části obrázku je napětí na invertujícím vstupu. Operační zesilovač otevírá výkonové tranzistory tak, aby proud vyvolal na měřícím odporu úbytek 30 mV a rozdíl napětí na mezi invertujícím a neinvertujícím vstupem byl 0 V. Jak je vidět z obrázků, průběhy na obou vstupech jsou stejné.



Obr. 5.10 Transientní analýza výstupního signálu z operačního zesilovače

Na obrázku 5.10 je vyobrazený průběh napětí na výstupu operačního zesilovače. V klidovém stavu má toto napětí hodnotu přibližně 4,1 V. Po zapnutí testovacího tlačítka stoupne napětí na 5,05 V. Při tomto napětí jsou otevřené výkonové tranzistory. Po uplynutí testu samozřejmě napětí klesá zpět na 4,1 V a tranzistory se uzavírají.



Obr. 5.11 Transientní analýza průběhu proudu výkonovým tranzistorem a akumulátorem

Na posledním obrázku 5.11 jsou znázorněny průběhy proudů. Na horní části obrázku je modrý průběh znázorňující průběh proudu jedním výkonovým tranzistorem. Na dolní části nám zelený průběh znázorňuje průběh proudu akumulátorem. Když uživatel stiskne tlačítko, začne tester odebírat z akumulátoru proud přibližně 100 A po dobu 5,165 s.

Z výsledku tranzientní analýzy je patrné, že tester funguje dle požadavků.

6 Výroba testeru akumulátorů

6.1 Návrh obvodu v programu Eagle

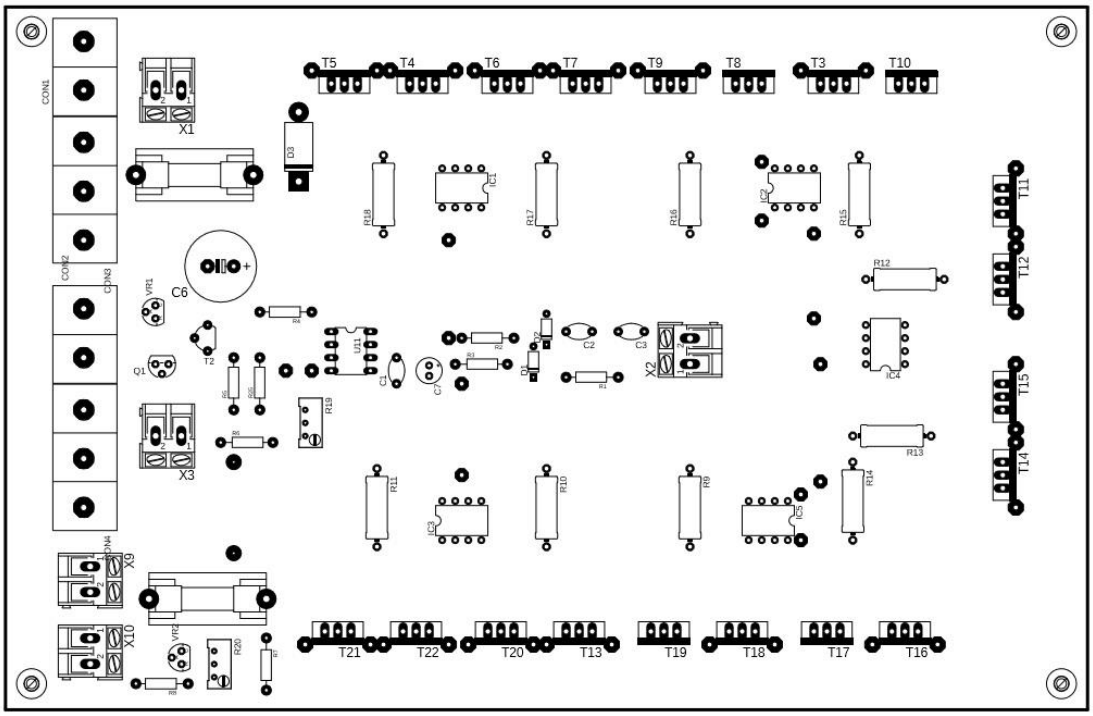
Pro navržení obvodu a desky plošného spoje (DPS) byl využit program EAGLE od společnosti Autodesk. Nakonec je v tomto editoru vytvořeno i reálné schéma výkonového testeru akumulátorů.

Jako první krok před samotným vytvářením schématu bylo zapotřebí do programu EAGLE vložit příslušné knihovny. Ve schématu pro tvorbu plošného spoje chybí několik součástek. Ve schématu se nenachází tlačítko. Tlačítko se nachází na čele výkonového testeru akumulátoru, nikoli na desce plošného spoje. Tlačítko je ve schématu nahrazeno svorkovnicí do DPS X2-1, X2-2. Totéž můžeme říci o svorkovnici X3-1, X3-2, na kterou je připojena signalizační led dioda. Svorkovnice X1-1, X1-2 slouží pro připojení ventilátoru. Svorkovnice X4-1, X4-2 slouží pro další signalizační diodu. V obvodu pro voltmetr se nachází svorkovnice X10-1, X10-2, na kterou se připojuje analogový voltmetr. Pro připojení přívodních kabelů na DPS slouží svorkovnice CON1, CON2, CON3, CON4, X9-1, X9-2. Ze schématu je patrné, že jeden operační zesilovač ovládá dva výkonové tranzistory. Tranzistory jsou do obvodu začleněny proto, aby na ně bylo připraveno místo na desce plošného spoje, kdyby se v budoucnu zvětšoval rozsah odebíraného proudu na více jak 100 A. V reálném zapojení ovládá jeden operační zesilovač pouze jeden výkonový tranzistor. V obvodu dále chybí předřadné rezistory, a to proto, že se nenachází na desce plošného spoje, ale na chladiči. Na desce plošného spoje se též nenachází ani výkonová pojistka. Téměř všechny součástky použité v testeru, jsou k dispozici v jednotlivých knihovnách programu. Součástky, které se v programu nenacházejí, jsou nahrazeny jinými součástkami se stejnými pouzdry. Například unipolární tranzistor BS 170 je nahrazen tranzistorem TN0604N3, protože oba tyto tranzistory mají pouzdro TO92. Napěťová reference TL431 je v obvodu s označením VR1. Do schématu jsou vloženy 4 otvory, do kterých se při výrobě vloží distanční sloupky a upevní se na chladič. Schéma obvodu pro návrh desky plošného spoje v programu EAGLE je uvedené v příloze A.

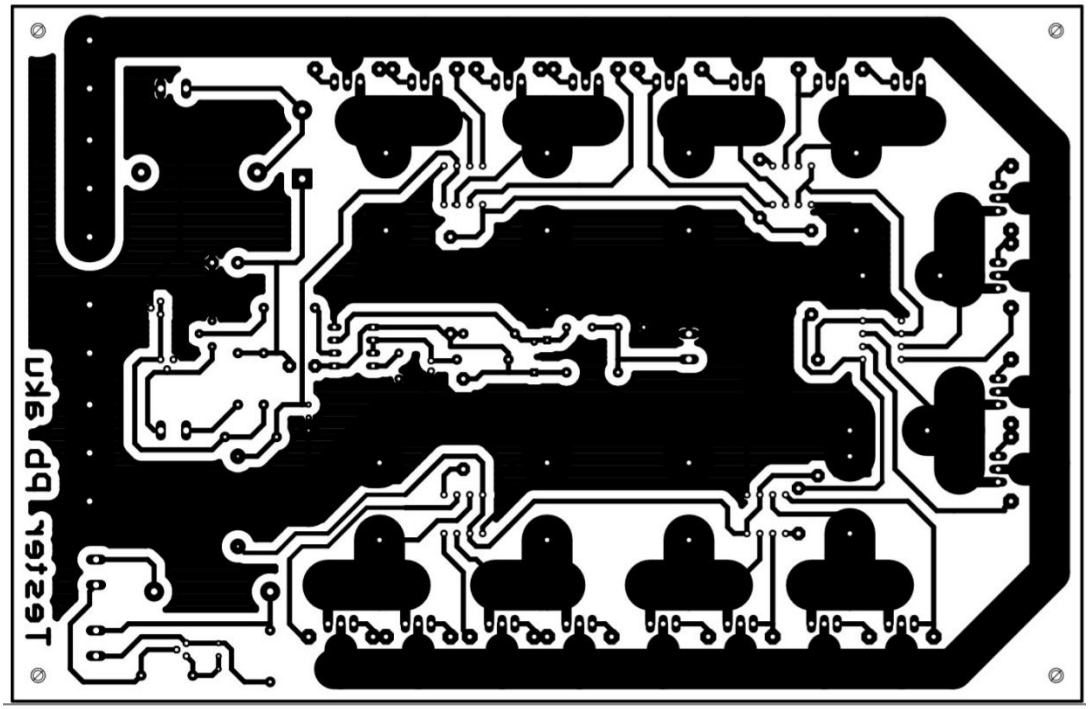
6.2 Návrh desky plošného spoje (DPS)

Jako druhý krok po návrhu obvodu byla realizace desky plošného spoje. Při návrhu plošného spoje bylo velmi důležité rozmístění jednotlivých součástek. Na obrázku 6.1 je vidět rozmístění jednotlivých součástek na desce plošného spoje. Z tohoto obrázku je patrné,

že výkonová část se nachází po obvodu desky a řídící část se nachází uvnitř výkonové části. Výjimkou je obvod pro voltmetr, který se nachází na kraji desky plošného spoje.



Obr. 6.1 Rozmístění součástek na desce plošného spoje v editoru EAGLE



Obr. 6.2 Realizace vodivých cest na desce plošného spoje v editoru EAGLE

Na levé straně jsou umístěny konektory pro napájení desky plošného spoje. Výkonové tranzistory se nachází po obvodu desky plošného spoje, a to z důvodu, aby se jejich pouzdra dala přišroubovat na chladič. Na obrázku se nachází 20 výkonových

tranzistorů. Ve výkonovém testeru je jich umístěno pouze 10. Zbylých 10 tranzistorů se do obvodu umístilo z důvodu případného rozšíření proudového rozsahu proudu odebíraného z akumulátoru. V obvodu je 10 kusů operačních zesilovačů, které se nachází na desce plošného spoje v pouzdrech DIP8. Jedno pouzdro DIP8 obsahuje dva zesilovače, které mají spojený pin VCC a GND. I tímto bylo dosaženo lehké minimalizace obvodu. Z pohledu na desku to vypadá, že se součástky mohly umístit blíže k sobě, a tím by se celkový rozměr desky plošného spoje zmenšil. Opak je ale pravdou. Při pohledu na obrázek 6.2 je vidět realizace cest. Vzhledem k velikosti proudu procházející výkonovou částí testeru bylo zapotřebí použít cesty s větší šířkou než cesty pro řídící část testeru. Cesty pro řídící část testeru mají tloušťku 1 mm. Cesty výkonové části mají tloušťku 8 mm. Při osazování součástek na desku plošného spoje byly tyto cesty enormně zesíleny cínem. Jak vidíme z obrázku, cesta GND je vytvořena polygonem. Tím pádem se více využily nepropojené plochy. Celkový rozměr desky plošného spoje je 210 mm na 136 mm. Kompletní deska plošného spoje, která obsahuje všechny důležité vrstvy v jednom obrázku, je uvedena v příloze D.

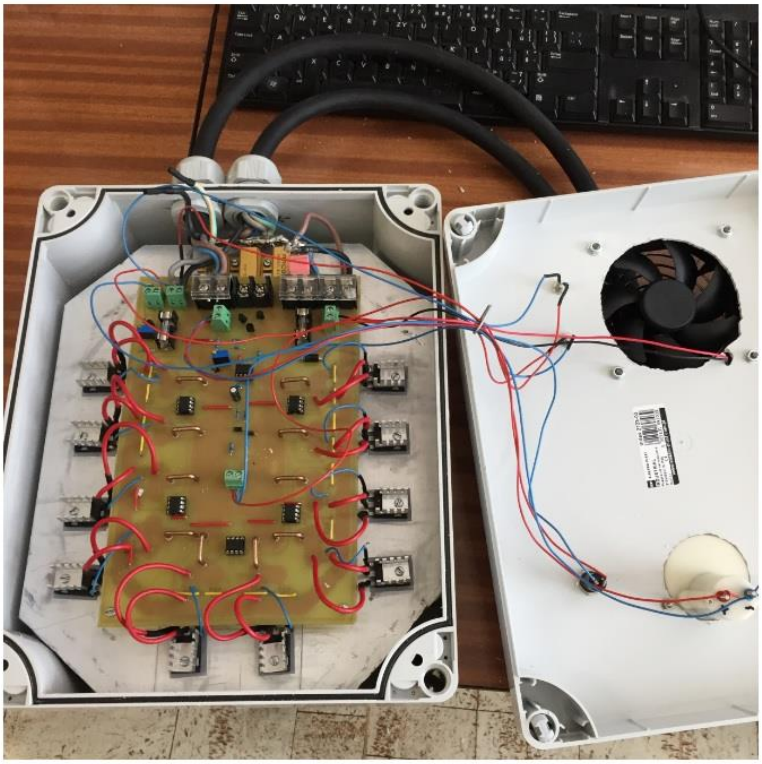
6.3 Výroba desky plošného spoje (DPS)

Deska plošného spoje jde vyrobit mnoho způsoby. Já osobně si vybral nažehlovací metodu, která byla velmi jednoduchá a pro tento obvod zcela dostačující. Postup této metody je jednoduchý. Nejprve vytiskneme obvod na lepící papír laserovou tiskárnou. Poté musíme odmastit cuprextitovou destičku. V dalším kroku přiložíme vytištěný obvod na destičku. Na to položíme obyčejný kancelářský papír a může se začít s nažehlováním. Na žehličce nastavíme nejlépe tu nejvyšší teplotu a položíme žehličku na desku. Žehličku necháme chvíli položenou na desce a po několika sekundách po desce přejíždíme. Poté sundáme kancelářský papír a desku necháme vychladnout. Po vychladnutí vložíme desku do vody a necháme krátký čas desku ve vodě. Po chvíli se papír sám ve vodě odlepí a nám tak zůstane deska s otištěným obvodem. Pokud se celý obvod přežehlil na měděnou folii cuprextitové destičky, můžeme leptat. Destičku vložíme do roztoku chloridu železitého a necháme působit. Když uvidíme, že se destička celá vyleptala, očistíme ji a máme připraveno vše k pájení součástek.

6.4 Zhotovení testeru

V další kroku výroby testeru bylo zapotřebí součástky osadit a připájet. Nejprve jsem vyvrtal díry pro součástky a začal s pájením. Jako první přišla na řadu řídící část výkonového testeru. Po napájení se obvod odzkoušel, zdali tato část funguje. Až teprve potom se napájela

zbylá část testeru. Po napájení všech součástek se opět obvod odzkoušel, zda je vše správně napájeno. V dalším kroku došlo k přišroubování desky plošného spoje na chladič pomocí distančních sloupků. Dále se na chladič připevnily výkonové předřadné rezistory a výkonové tranzistory, aby jejich pouzdra seděla na chladiči. Deska plošného spoje s chladičem se umístila do univerzální plastové krabice. Do krabice jsem udělal dvě díry na přívodní kabely, které se našroubovaly na svorkovnice připravené na desce plošného spoje. Konce přívodních kabelů jsou opatřeny startovacími kleštěmi, určenými pro připojení na akumulátor. Do spodní strany krabice jsem pro nucené proudění vzduchu vyvrtal díru opatřenou mřížkou. Na víku krabice je umístěný ventilátor, signalizační diody, testovací tlačítko a analogový voltmetr. Prvky umístěné na víku se připojily do předem připravených svorkovnic umístěných na desce plošného spoje. Náhled výkonového testeru zevnitř vidíme na obrázku 6.3.



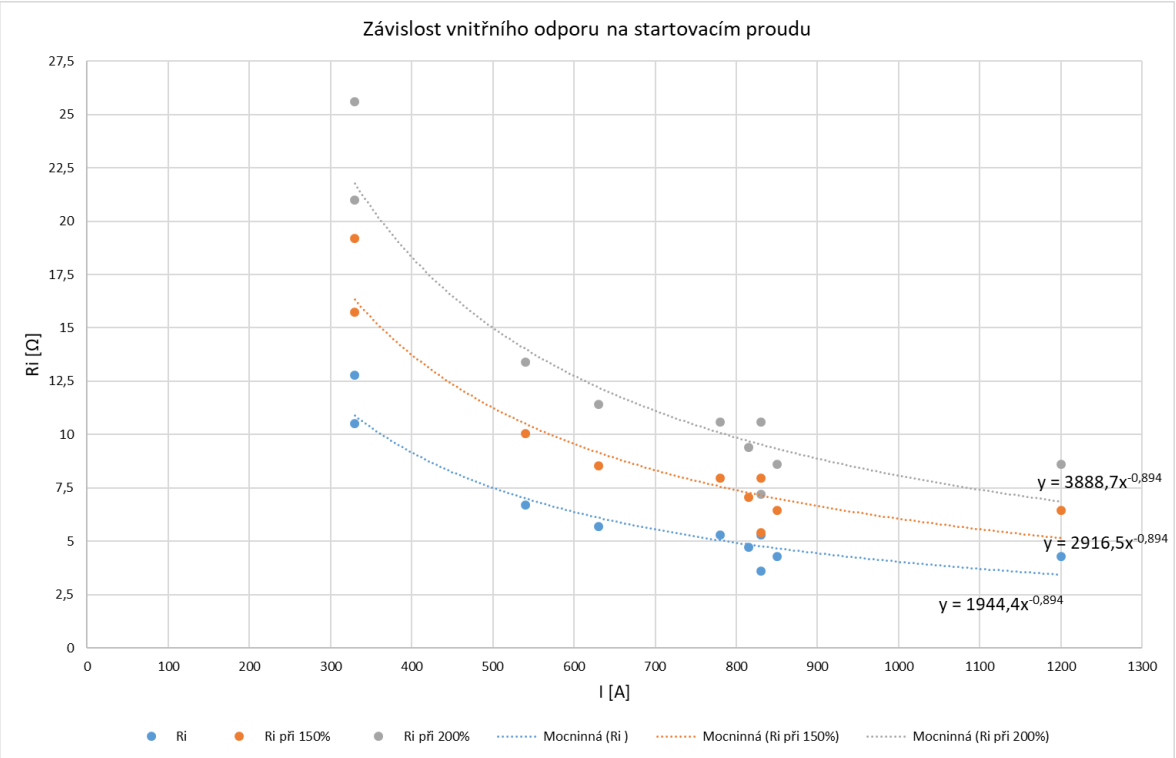
Obr. 6.3 Výkonový tester akumulátorů (pohled zevnitř)

Po zhotovení celého testeru bylo zapotřebí vytvořit graf pro určení, v jakém stavu se měřený akumulátor nachází. Při návrhu tohoto grafu jsem vycházel z naměřených hodnot, které jsou v tabulce 6.1. V této tabulce jsou uvedeny hodnoty vnitřních a nových akumulátorů. Poté jsem změřil hodnoty vnitřních odporů u akumulátorů, které poměrně dobře startují, ale nejsou zcela nové. Při porovnání s novými akumulátory se jejich vnitřní odpory pohybovaly okolo hodnoty 1,5x vetší než u nových akumulátorů. Tento postup bylo nutné provést i pro akumulátory, které již velmi špatně startují. U těchto akumulátorů se vnitřní

odpor zvýšil na 200 % oproti novým akumulátorům. Z tohoto zjištění jsem vycházel. Dále bylo zapotřebí určit, jaké hodnoty vnitřního odporu by měly nové proměřené akumulátory při zvýšení na 150 % a na 200 %. Do grafu 6.4 jsem zobrazil závislost vypočítaného vnitřního odporu na startovacím proudu pro všechny případy. Body jsem proložil mocninnou funkcí, která bodům odpovídala nejlépe. Z předpisů mocninných funkcí se stanovily vnitřní odpory pro dané startovací proudy. Vnitřní odpor se vynásobil proudem, který tento tester odebíral (100 A), a tím se zjistily úbytky napětí pro startovací proudy (tabulka 6.2). Z těchto úbytků napětí se lehce vytvořil graf (obr 6.5), z kterého lze stanovit stav akumulátoru. Nejprve si uživatel změří hodnotu napětí naprázdno. Poté spustí test a odečte úbytek napětí při testu. Akumulátor, jehož úbytek napětí na vnitřním odporu se nachází v zelené oblasti, tedy pod zelenou křivkou, je ve výborném stavu. Akumulátor, jehož úbytek na vnitřním odporu se nachází v oranžové oblasti, tedy mezi zelenou a červenou křivkou, je v dobrém stavu. Nakonec akumulátor, který má úbytek na vnitřním odporu v červené oblasti, tedy nad červenou křivkou, se nachází ve špatném stavu. Tento postup není zcela přesný, ale postačující, abych zjistil přibližný stav akumulátoru.

Jmenovité napětí [V]	Kapacita [Ah]	Startovací proud [A]	Vnitřní odpor [mΩ]	Vnitřní odpor [mΩ] při150%	Vnitřní odpor [mΩ] při 200 %	Typ
12,5	40	330	10,5	15,75	21	Se zaplavenými elektrodami
12,4	45	330	12,8	19,2	25,6	Se zaplavenými elektrodami
12,6	60	540	6,7	10,05	13,4	Se zaplavenými elektrodami
12,6	70	630	5,7	8,55	11,4	Se zaplavenými elektrodami
12,5	95	830	5,3	7,95	10,6	Se zaplavenými elektrodami
12,5	77	780	5,3	7,95	10,6	Se zaplavenými elektrodami
12,6	100	830	3,6	5,4	7,2	Se zaplavenými elektrodami
12,6	50	815	4,7	7,05	9,4	AGM
12,6	95	850	4,3	6,45	8,6	AGM
12,6	240	1200	4,3	6,45	8,6	EFB

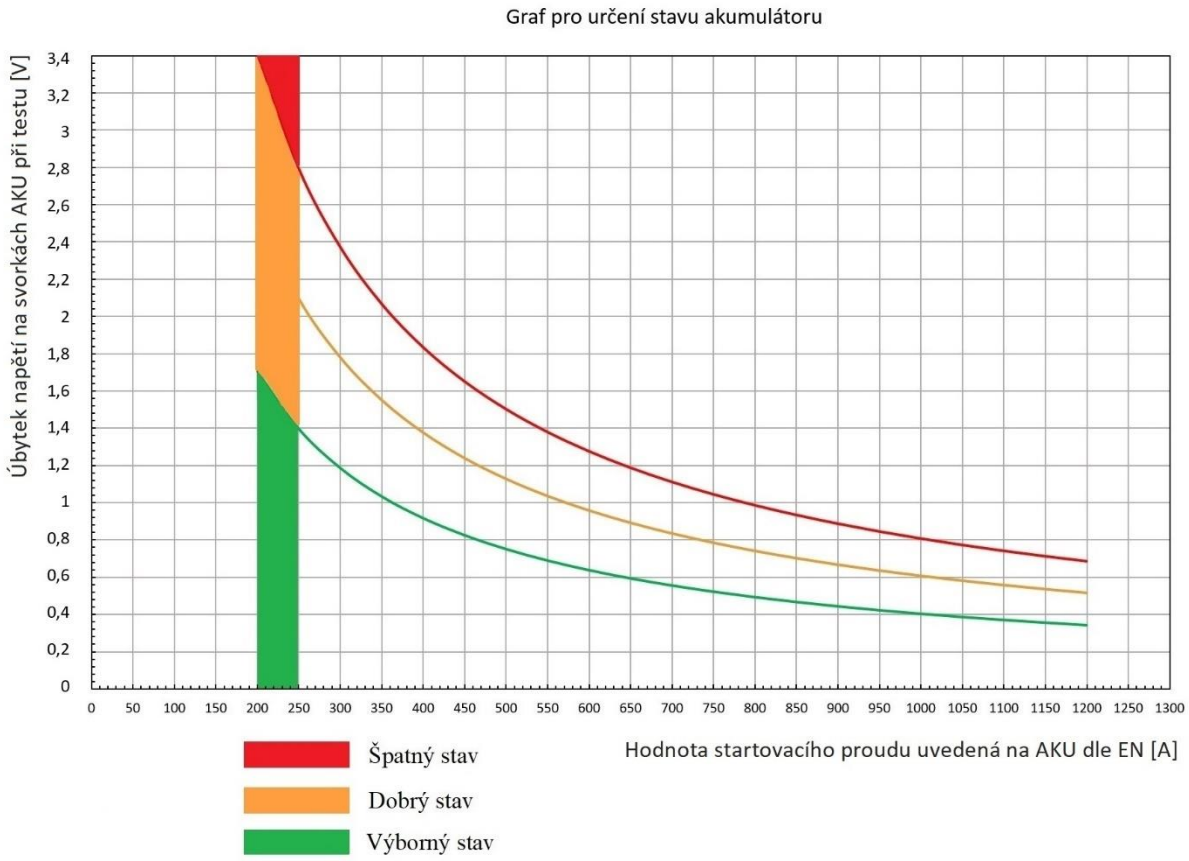
Tabulka 6.1 Hodnoty vnitřního odporů u nových akumulátorů a při zvýšení vnitřního odporu na 150 % a na 200 %



Obr. 6.4 Závislost vnitřního odporu na startovacím proudu proložené mocninou funkcí

	$Ri = 1944,4I^{-0,894}$	$Ri = 2916,5I^{-0,894}$	$Ri = 3888,7I^{-0,894}$
I [A]	Uri [V]	Uri [V] (150%)	Uri [V] (200%)
150	2,204753429	3,307016754	4,409393469
200	1,704766083	2,557061449	3,40944449
250	1,396455962	2,094612124	2,792840105
300	1,186422053	1,779572062	2,372783089
350	1,033686349	1,550476361	2,067319535
400	0,917368831	1,376006066	1,834690482
450	0,825683536	1,23848284	1,651324608
500	0,75146097	1,127152807	1,502883292
550	0,690083062	1,035089103	1,380130634
600	0,638437509	0,957623429	1,276842184
650	0,594348364	0,891491979	1,188666161
700	0,556247362	0,834342436	1,112466117
750	0,522974897	0,784435449	1,045922897
800	0,493654572	0,74045647	0,987283756
850	0,467611403	0,701393055	0,935198756
900	0,444316876	0,666452463	0,888610901
950	0,423351116	0,635004902	0,84668046
1000	0,404376224	0,606543539	0,808731651
1050	0,387117121	0,580655772	0,774214332
1100	0,371347541	0,557002212	0,742675983
1150	0,356879616	0,53530107	0,713740878
1200	0,343556032	0,515316379	0,687094396

Tabulka 6.2 Hodnoty úbytků napětí v závislosti na startovacím proudu

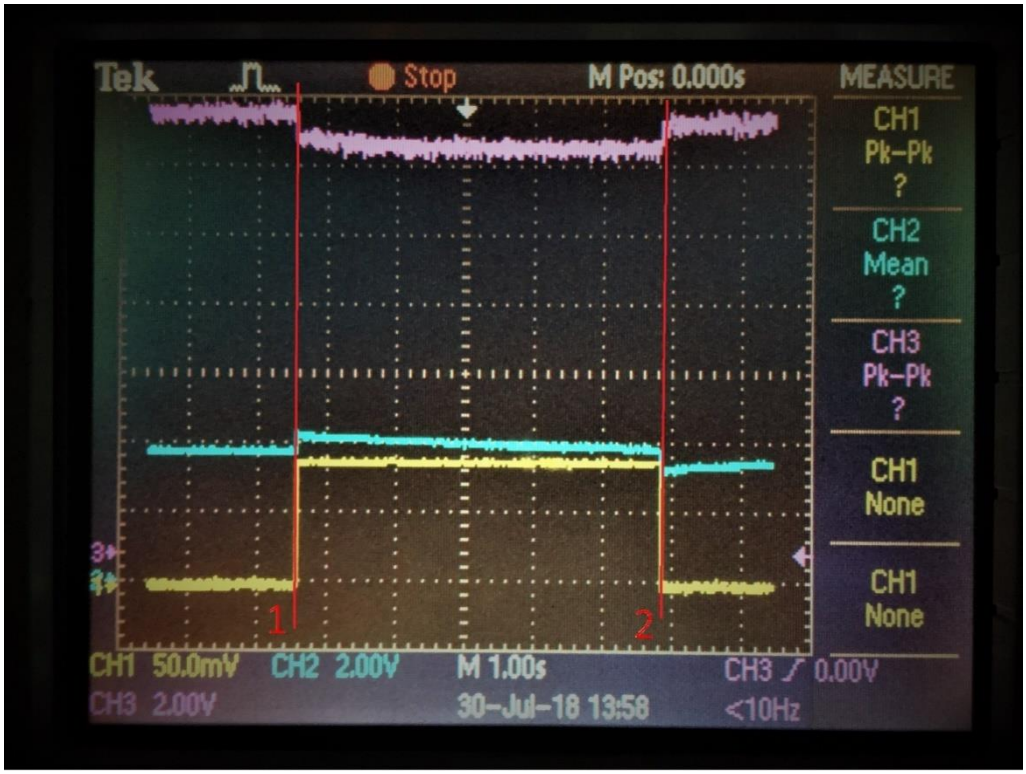


Obr. 6.5 Graf pro určení stavu akumulátoru

7 Testování zařízení

Před testováním samotného testeru bylo nejprve nutné uvést tester do činnosti a ověřit si, zda tester koná to, co se od něj požaduje. Testování jednotlivých části proběhlo již při výrobě. Nejprve se oživovala řídící část. Při oživení zařízení se vyskytly dílčí problémy, které se podařilo operativně vyřešit. Po oživení řídící části bylo zapotřebí oživit i výkonovou část. Nejprve se testovala zařízení s jedním výkonovým tranzistorem. Poté se připojily i ostatní tranzistory. Nakonec se do obvodu zapojil obvod pro voltmetr.

Po oživení všech částí výkonového testeru následovala analýza činnosti. Analýza činnosti testeru proběhla na akumulátoru VARTA Silver dynamic 12 V 70 Ah 640 A. Pomocí osciloskopu se zaznamenaly průběhy výkonového testeru. Na osciloskopu se zaznamenal průběh proudu odebíraný testerem z akumulátoru, řídící napětí na gate výkonového tranzistoru a nakonec úbytek napětí na vnitřním odporu akumulátoru.

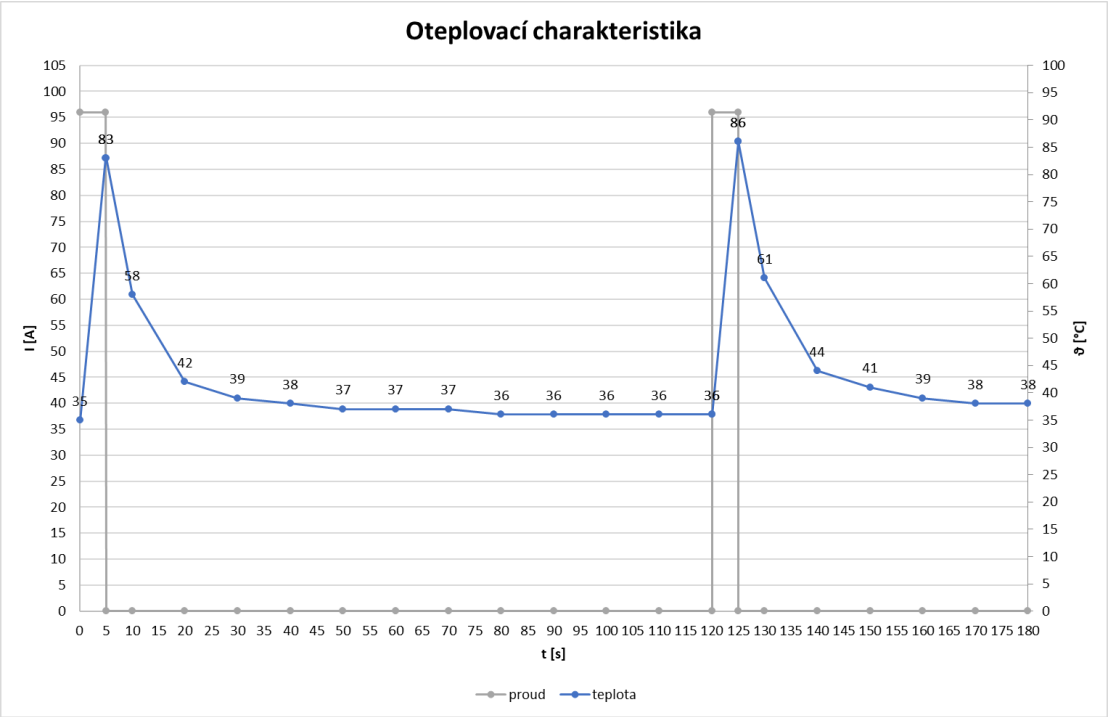


Obr. 7.1 Průběh řídícího napětí U_g, úbytku napětí U_{Ri} a proudu odebíraného z akumulátoru I

Na obrázku 7.1 jsou zaznamenány jednotlivé měřené průběhy. Bod 1 znázorňuje dobu, kdy se stiskne tlačítko a tester začne testovat. Bod 2 značí konec testování. Žlutý průběh znázorňuje proud odebíraný z akumulátoru. Proud byl měřen přímo na přívodním kabelu z akumulátoru pomocí proudových kleští FLUE i310s s převodem 1 mV/A. Z průběhu je patrné, že proud v klidovém stavu je nulový. V bodě 1 a se proud zvedne téměř na 100 A. Na této hodnotě se proud drží po dobu cca 5,2 s. Po konci testování v bodě 2 proud opět klesá

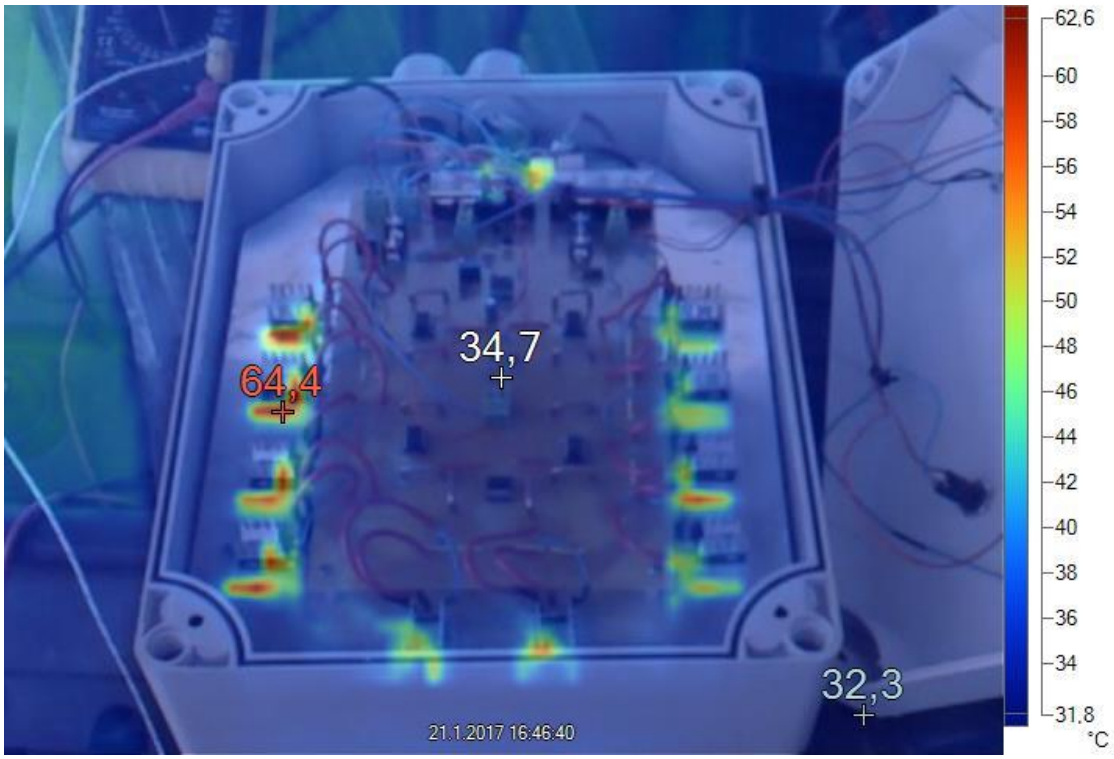
zpět na 0 A. Modrý průběh zobrazuje průběh napětí na řídící elektrodě gate výkonového unipolárního tranzistoru. Z průběhu je patrné, že operační zesilovač drží výkonové tranzistory téměř zavřené – 4 V na gate výkonového tranzistoru. K ideálnímu zavření tranzistoru N-FET dochází v okamžiku, kdy je na gate přivedeno napětí blízké hodnotě 0 V. V případě výkonového testeru hodnota 4 V vychází z požadavku nastavení výstupního proudu ne 0 A (tedy ideální zavření tranzistoru), ale z požadavku proudu blížícího se nule – proto je tranzistor částečně otevřen. V bodě 1 operační zesilovač zvedne napětí na gatu na přibližně 5 V. Toto napětí na gatu setrvá do bodu 2, po kterém se vrací zpět na 4 V. Poslední fialový průběh zobrazuje napětí na svorkách akumulátoru. Napětí na svorkách akumulátoru v klidovém režimu je přibližně 12,6 V. Při odebírání proudu z akumulátoru klesá toto svorkové napětí přibližně o 0,8 V. Toto napětí představuje úbytek napětí na vnitřním odporu akumulátoru. Z tohoto úbytku napětí na vnitřním odporu lze stanovit vnitřní odpor akumulátoru a přibližnou kondici měřeného akumulátoru. Všechny průběhy přibližně odpovídají simulačním průběhům. Drobné nepřesnosti vznikly špatným odečítáním z osciloskopu.

V další části měření je vyobrazena oteplovací charakteristika testeru. Cílem tohoto měření bylo zapotřebí zjistit, na jakou teplotu se ohřejí výkonové tranzistory při odebírání testovaného proudu v akumulátoru. Dále se touto charakteristikou zjistilo, po jakém čase se na výkonových tranzistorech opět ustálila teplota a kdy by bylo možné výkonový tester znovu použít.



Obr. 7.2 Časový průběh teploty na výkonovém tranzistoru, časový průběh proudu odebíraný testerem

Na obrázku 7.2 je patrný časový průběh teploty na jednom výkonovém tranzistoru. Měření proběhlo pomocí teplotní sondy a digitálního multimetru MY-64. V prvních pěti sekundách je zřejmé, že tester odebírá z akumulátoru proud. Poté následuje přibližně dvouminutová prodleva a opětovné spuštění testu. Výchozí teplota výkonového testeru akumulátoru byla 35 °C. Při spuštění testu teplota rapidně vzrostla z 35 °C na 83 °C. Po konci testu teplota exponenciálně klesala. Jak je vidět z grafu, tak se teplota téměř ustálila po minutě od konce testu. Poté už se neměnila a zůstala na stejné hodnotě, a to na 36 °C. Následně byl test znovu spuštěn. Teplota vyšplhala na 86 °C. Poté, opět jako v předchozím případě, klesala zpět na výchozí teplotu. Důvod, proč nejsou maximální teploty shodné, je ten, že se teplota rychle měnila a bylo velmi obtížné z multimetru odečítat. Z teplotní charakteristiky vyplývá, že výkonový tester je možné použít téměř po 80 s od předchozího testu.



Obr. 7.3 Pohled na zařízení termokamerou

Pomocí termokamery od firmy FLUKE jsme udělali snímek vnitřku testeru krátce po testu. Ze snímku je vidět, že nejvíce se zahřívají výkonové tranzistory a předřadné odpory. Každý tranzistor se zahřívá odlišně. To je způsobeno ne zcela rovnoměrným rozložením proudu výkonovými tranzistory. Teplota desky plošného spoje se téměř neliší od výchozí hodnoty.

Závěr

Bakalářská práce s názvem Výkonový tester startovacích olověných akumulátorů se zabývá návrhem a výrobou testeru pro rychlé kvalitativní zhodnocení aktuálního stavu startovacího olověného akumulátoru. Práce se skládá ze dvou základních částí – části teoretické a části praktické (realizační).

Teoretická část se zaobírá popisem olověných akumulátorů. Tato část krátce líčí historii dané technologie, interní chemické procesy, druhy a rozdělení akumulátorů. Detailně se zaměřuje na startovací olověné akumulátory, jejich parametry a hlavně požadavky, jež jsou na startovací akumulátory kladeny. V teoretické části nechybí ani zmínka o životnosti olověných akumulátorů, neboť tato kapitola úzce souvisí s výstupem této práce, jelikož tester představuje jeden ze způsobů určení stavu akumulátoru. Z toho důvodu práce poskytuje přehled možných přístupů k testování akumulátoru a náhled vybraných komerčně dostupných testerů.

V praktické části bylo cílem vyrobit a navrhnout výkonový funkční tester startovacích olověných akumulátorů. Je v ní detailně naznačen postup realizace zařízení od návrhu zařízení přes simulaci až po jeho výrobu. Závěr práce se věnuje validačním testům funkčnosti v laboratoři.

V samotném závěru mohu říci, že se podařilo splnit cíl této práce a zkonstruovat funkční tester startovacích olověných akumulátorů, který pracuje dle předpokládaných požadavků. Při porovnání s komerčně dostupnými testery mohu konstatovat, že navrhnutý tester dosáhl podobných parametrů jako tester od firmy Compass. Výhodou navrhnutého testeru je možnost rozšíření proudového rozsahu a krátká zotavovací doba mezi testy.

Seznam použité literatury

[1] MAREŠ, Jan, Martin LIBRA a Vladislav POULEK. *Akumulace elektrické energie. ELEKTRO: časopis pro elektrotechniku* [online]. FCCpublic, 2011, 2011(02) [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/akumulace-elektricke-energie--9696

[2] SADÍLEK, Ondřej. *Akumulátory energie – parametry: ČÁST I*. UNIVERZITA PARDUBICE, Dopravní fakulta Jana Pernera.

[3] MACHALA, PAVEL. *ELEKTRONICKÝ MĚŘIČ KAPACITY A VNITŘNÍHO ODPORU AKUMULÁTORŮ A BATERI* [online]. Brno, 2010 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29394. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Doc. Ing. IVO LATTENBERG, Ph.D.

[4] HLAVÁČ, Pavel. *FORMACE OLOVĚNÉHO AKUMULÁTORU* [online]. Brno, 2013 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=69375. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. SEBASTIAN VACULÍK.

[5] Jak funguje olověný akumulátor? In: *TZB-info* [online]. Křenova 438/3, 162 00 Praha 6, 2.8.2017 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/16090-jak-funguje-oloveny-akumulator

[6] MIČÁK, Tomáš. *CYKLOVACÍ REŽIMY OLOVĚNÝCH AKUMULÁTORŮ* [online]. Brno, 2013 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/27399/review_66947.html?sequence=2. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. SEBASTIAN VACULÍK.

[7] MARCONI. *Skoro vše o akumulátorech a nabíjení: aneb letem světem startovacích olověných akumulátorů* [online]. 20. prosince 2008, 24-31 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: http://www.motola.cz/UserFiles/Diskuzni_clanky/akumulatory.pdf

[8] MARCONI. *Skoro vše o akumulátorech a nabíjení: aneb letem světem startovacích olověných akumulátorů* [online]. 20. prosince 2008, 7-14 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: http://www.motola.cz/UserFiles/Diskuzni_clanky/akumulatory.pdf

[9] *KREJČÍ, Libor. Nové trendy v konstrukci akumulátorů pro automobily* [online]. Brno, 2007 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/zp/portal_zp.pl?prehled=vyhledavani;podrobnosti_zp=12683;zp=12683;download_prace=1;lang=cz. Bakalářská práce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Jan ŠKYŘÍK, CSc.

[10] Bezúdržbové baterie MEYLE. In: *MG Parts* [online]. 253 01 Chýně, Praha-Západ [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: http://www.mgparts.cz/bezudrzbove-baterie-meyle/

[11] POŠTA, Josef a Bohuslav PETERKA. *Provoz a údržba startovacích akumulátorů.Agrojournal* [online]. 2016, 23. 1. 2016 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: https://www.agrojournal.cz/clanky/provoz-a-udrzba-startovacich-akumulatoru-137

[12] ChoosingTheRightBatteryForYourVehicleWith Optima Batteries. In: *PowerAutomedia* [online]. 25843 Jefferson Ave, Murrieta, CA 92562, 18.6.2014 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: https://www.fordmuscle.com/tech-stories/electronics-efi/choosing-the-right-battery-for-your-vehicle-with-optima-batteries/

[13] Zdokonalená technologie EFB. In: *VARTA* [online]. 47090 Česká Lípa,Dubická 958 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: https://www.varta-automotive.cz/cs-cz/technologie/technologie-baterii-efb

[14] *Akumulátory* [online]. , [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: https://www.rchobbyracing.cz/navod/akumulatory.pdf

[15] HAMMERBAUER, Jiří. *Olověné akumulátory* [online]. , 52 -53 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: http://canov.jergym.cz/elektro/clanky2/olov.pdf

[16] Olověné akumulátory – PB akumulátory (gelové). In: *Každodenní život* [online]. 2013, 28.1.2017 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: http://www.kazdodennizivot.cz/olovene-akumulatory-pb-akumulatory-gelove/

[17] GREGORA, Stanislav a Zdeněk MAŠEK. *Elektronické a mechatronické systémy v konstrukci silničních vozidel*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2008, s. 14-21. ISBN 978-80-7194-982-8.

[18] CENEK, Miroslav. *Akumulátory od principu k praxi.* Praha: FCC Public, 2003, s. 22. ISBN 80-86534-03-0.

[19] MARCONI. *Skoro vše o akumulátorech a nabíjení: aneb letem světem startovacích olověných akumulátorů* [online]. 20. prosince 2008, 61 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: http://www.motola.cz/UserFiles/Diskuzni_clanky/akumulatory.pdf

[20] GREGORA, Stanislav a Zdeněk MAŠEK. *Elektronické a mechatronické systémy v konstrukci silničních vozidel*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2008, s. 24-29. ISBN 978-80-7194-982-8.

[21] CENEK, Miroslav. *Akumulátory od principu k praxi.* Praha: FCC Public, 2003, s. 34. ISBN 80-86534-03-0.

[22] CENEK, Miroslav. *Akumulátory od principu k praxi.* Praha: FCC Public, 2003, s. 57-62. ISBN 80-86534-03-0.

[23] CENEK, Miroslav. *Akumulátory od principu k praxi.* Praha: FCC Public, 2003, s. 88-93. ISBN 80-86534-03-0.

[24] SADÍLEK, Ondřej. *Akumulátory energie – přehled vybraných typů článků pro trakční účely: ČÁST II*. UNIVERZITA PARDUBICE, Dopravní fakulta Jana Pernera.

[25] MARCONI. *Skoro vše o akumulátorech a nabíjení: aneb letem světem startovacích olověných akumulátorů* [online]. 20. prosince 2008, 19 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: http://www.motola.cz/UserFiles/Diskuzni_clanky/akumulatory.pdf

[26] LUST, Radek. *MĚŘENÍ KAPACITY AKUMULÁTORŮ* [online]. Brno, 2010 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29596. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Prof. Dr. Ing. ZDENĚK KOLKA.

[27] Zátěžový odporový TESTER ZB-12. In: *OTOS* [online]. Úročnice 69 Benešov u Prahy 256 01 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: http://www.otos.cz/tester-autobaterie/zatezovy-odporovy-tester-zb-12/

[28] *Zátěžový tester autobaterie* [online]. , 2-6 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: https://www.kasa.cz/document/4/5/8/doc_2577854.pdf

[29] Tester autobaterie zátěžový ANALOG 07173. In: *MK-Autodoplňky* [online]. Kamenice113-pasáž Magnum 54701, Náchod [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: http://www.mkautodoplnky.cz/www-mkautodoplnky-cz/eshop/2-1-Autodoplnky/1411-3-Voltmetry-12-24V/5/5740-Tester-autobaterie-zatezovy-ANALOG-07173/description#anch1

[30] Tester autobaterie zátěžový LED 07172. In: *MK-Autodoplňky* [online]. Kamenice113-pasáž Magnum 54701, Náchod [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: http://www.mkautodoplnky.cz/www-mkautodoplnky-cz/eshop/2-1-Autodoplnky/1411-3-Voltmetry-12-24V/5/5739-Tester-autobaterie-zatezovy-LED-07172

[31] *FY-500 - ZÁTĚŽOVÝ TESTER 500A* [online]. , [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: https://eshop.micronix.cz/data/cz/att/002/4973-2863.pdf

[32] FY-500 tester autobaterií, motobaterií12V. In: *Kompresory - nářadí* [online]. 466 01 Jablonec nad Nisou Novoveská 2142/44 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: https://www.naradi-vzduch.cz/levnekompresory-cz/eshop/34-1-Nabijecky-startovacky-testry/830-2-TESTERY-AUTOBATERII/5/14669-FY-500-tester-autobaterii-motobaterii-12V/description#anch1

[33] BatteryElectrical&Starting Tester /w Printer. In: *Best Buy AutomotiveEquipment* [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: https://www.bestbuyautoequipment.com/Ferret-Instruments-44-p/fer44-03.htm

[34] *BatteryElectrical And Starting Tester* [online]. , [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: http://images.myautoproducts.com/images/Product_Media/Manuals/FRR/FRR-44_manual.pdf

[35] RADA, Jan. *Digitálně řízená stejnosměrná elektronická zátěž s rozhraním USB* [online]. Plzeň, 2013 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/9184/1/Diplomova%20prace%20Jan%20Rada%20final.pdf. Diplomová práce. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ. Vedoucí práce Ing. Ondřej Pajer.

[36] KEIM, Robert. How to Buffer an Op-Amp Output forHigherCurrent, Part 1. In: *All aboutcircuits* [online]. 2016, 14.3.2016 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/how-to-buffer-an-op-amp-output-for-higher-current-part-1/

[37] Zapojení časovače 555. In: *Mylms* [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: https://www.mylms.cz/text-zapojeni-casovace-555/

Seznam obrázků

Obr. 2.1 Chemický proces při vybíjení akumulátoru 13
Obr. 2.2 Chemický proces při nabíjení akumulátoru 14
Obr. 2.3 Konstrukce olověného akumulátoru [10] 15
Obr. 2.4 Konstrukce AGM akumulátoru se spirálovitými elektrodami [12] 16
Obr. 2.5 Vybíjecí křivky při teplotě 25 °C [16] 18
Obr. 2.6 Nabíjecí charakteristika U 19
Obr. 2.7 Povrch elektrody bez sulfatace [7] 21
Obr. 2.8 Povrch elektrody pokrytý masivní sulfatací (krystaly síranu olovnatého) [7] 22
Obr. 4.1 Zátěžový tester BZ-12 [27] 25
Obr. 4.2 Zátěžový tester Compass 07 173 [29] 26
Obr. 4.3 Zátěžový tester Compass 07 172 [30] 27
Obr. 4.4 Zátěžový tester FY 500 [32] 27
Obr. 4.5 Tester akumulátorů FERRET 44 [33] 28
Obr. 5.1 Elektronická zátěž [36] 30
Obr. 5.2 Monostabilní zapojení analogového časovače 555 [37] 31
Obr. 5.3 Obvod pro voltmetr s rozsahem 0–5 V 32
Obr. 5.4 Schéma řídící část výkonového testeru akumulátorů 33
Obr. 5.5 Zjednodušené schéma výkonové části 34
Obr. 5.6 Transientní analýza vstupu do časovače 555 35
Obr. 5.7 Transientní analýza výstupu z časovače 555 36
Obr. 5.8 Transientní analýza gate unipolárního tranzistoru 36
Obr. 5.9 Transientní analýza invertujícího a neinvertujícího vstupu operačního zesilovače 37
Obr. 5.10 Transientní analýza výstupního signálu z operačního zesilovače 37
Obr. 5.11 Transientní analýza průběhu proudu výkonovým tranzistorem a akumulátorem 38
Obr. 6.1 Rozmístění součástek na desce plošného spoje v editoru EAGLE 40
Obr. 6.2 Realizace vodivých cest na desce plošného spoje v editoru EAGLE 40
Obr. 6.3 Výkonový tester akumulátorů (pohled zevnitř) 42
Obr. 6.4 Závislost vnitřního odporu na startovacím proudu proložené mocninou funkcí 44
Obr. 6.5 Graf pro určení stavu akumulátoru 45

Obr. 7.1 Průběh řídícího napětí U_g, úbytku napětí U_{Ri} a proudu odebíraného z akumulátoru I 46
Obr. 7.2 Časový průběh teploty na výkonovém tranzistoru, časový průběh proudu odebíraný testerem 48
Obr. 7.3 Pohled na zařízení termokamerou 49

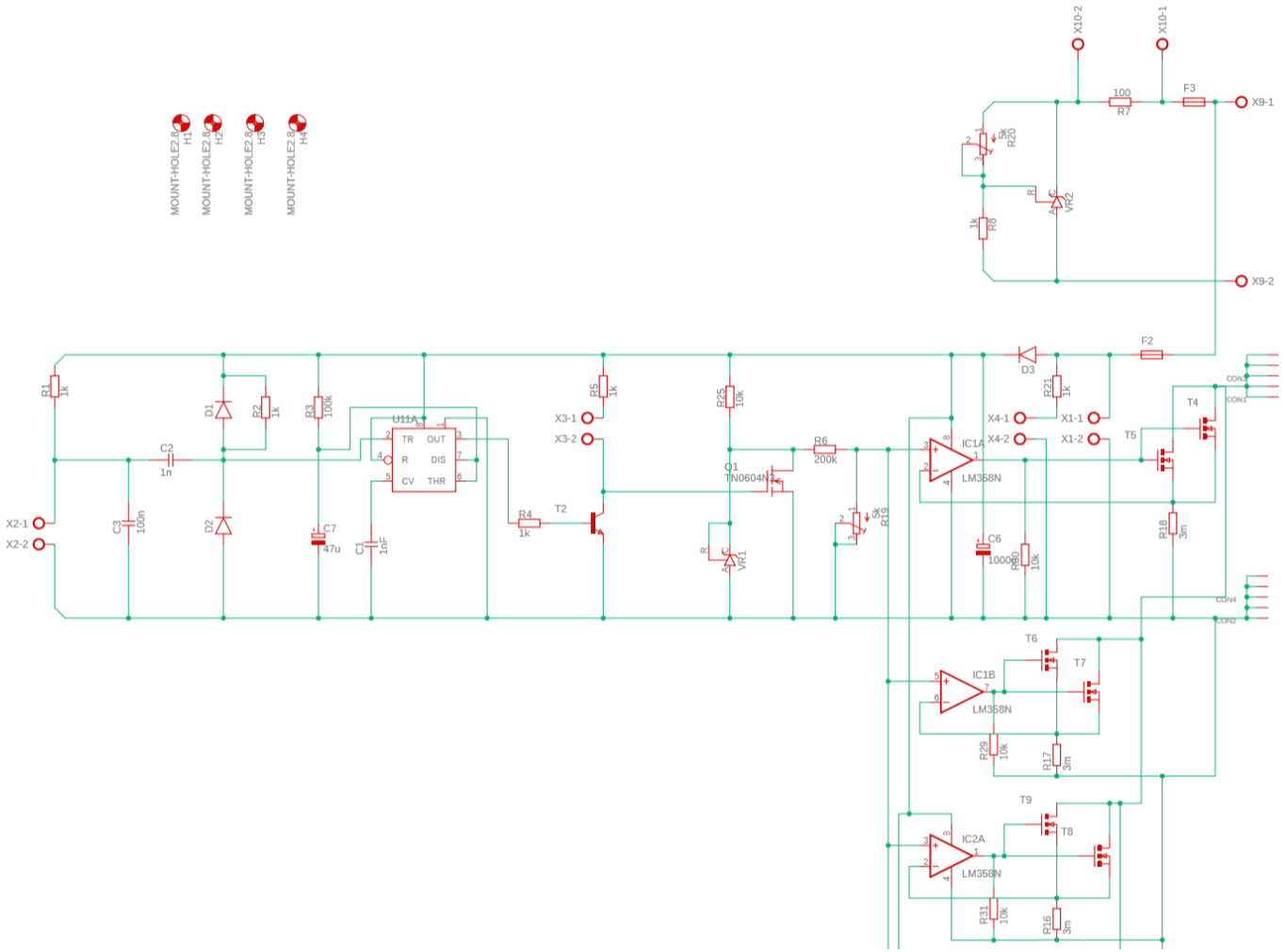
Seznam tabulek

Tabulka 3.1 Hodnoty vnitřního odporů u nových akumulátorů.....24
Tabulka 6.1 Hodnoty vnitřního odporů u nových akumulátorů a při zvýšení vnitřního odporu na 150 % a na 200 % 43
Tabulka 6.2 Hodnoty úbytků napětí v závislosti na startovacím proudu.....44

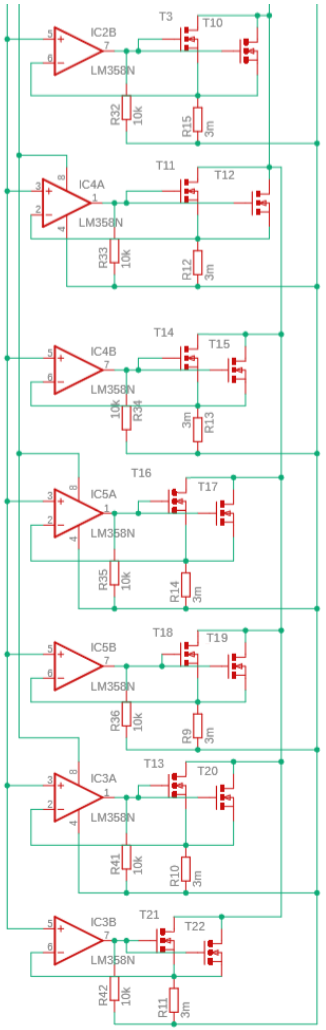
Seznam příloh

Příloha A – Schéma obvodu pro návrh desky plošného spoje v programu EAGLE – část 1. 59
Příloha A – Schéma obvodu pro návrh desky plošného spoje v programu EAGLE – část 2. 60
Příloha B – Kompletní schéma obvodu výkonového testeru akumulátorů – část 1. 61
Příloha B – Kompletní schéma obvodu výkonového testeru akumulátorů – část 2. 62
Příloha C – Schéma obvodu pro simulaci v programu LTspice – část 1. 63
Příloha C – Schéma obvodu pro simulaci v programu LTspice – část 2. 64
Příloha D – Deska plošného spoje v programu EAGLE.....65
Příloha E – Seznam součástek 66
Příloha F – Fotografie výkonového testeru startovacích olověných akumulátorů.....67

Příloha A – Schéma obvodu pro návrh desky plošného spoje v programu EAGLE

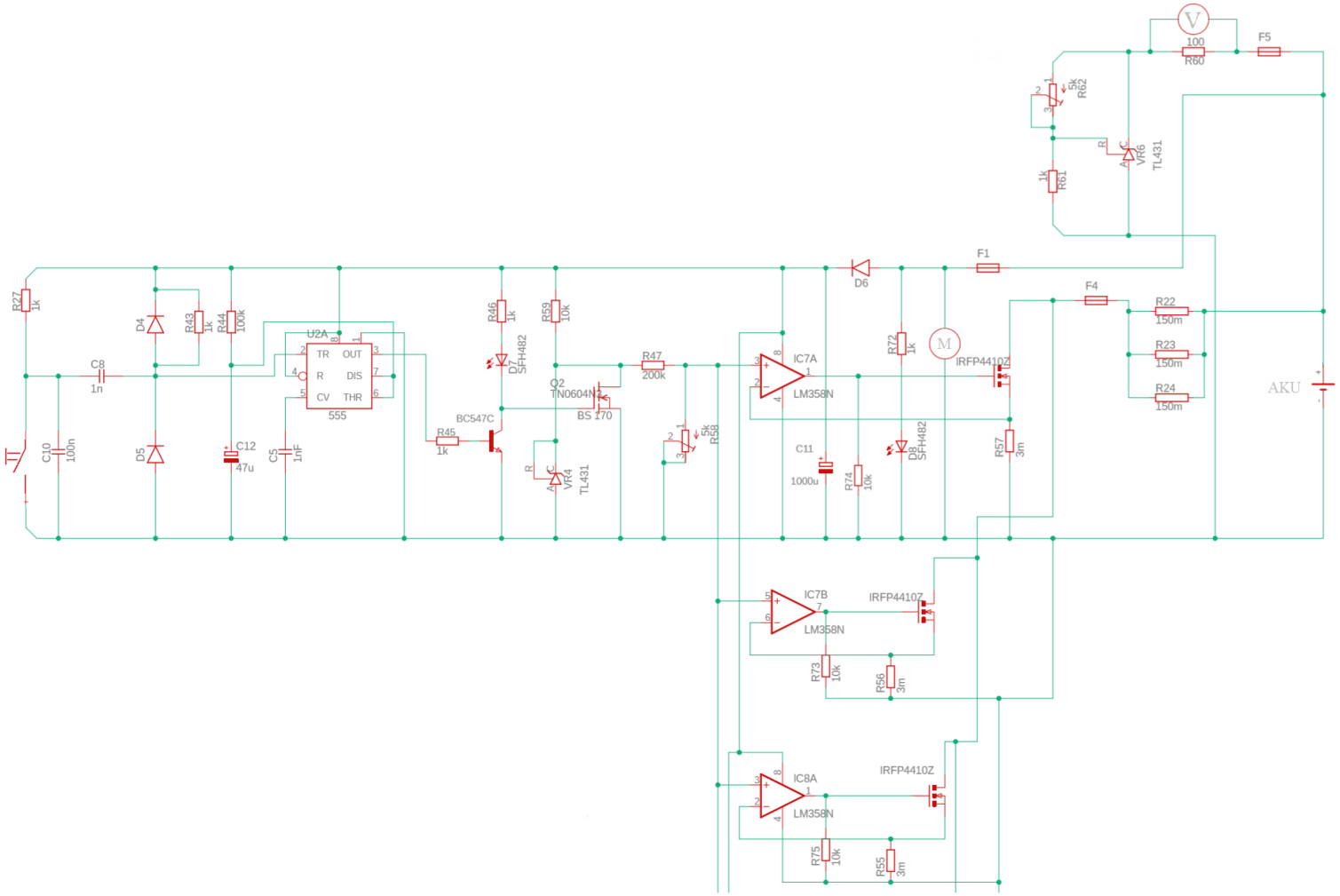


Příloha A – Schéma obvodu pro návrh desky plošného spoje v programu EAGLE – část 1.

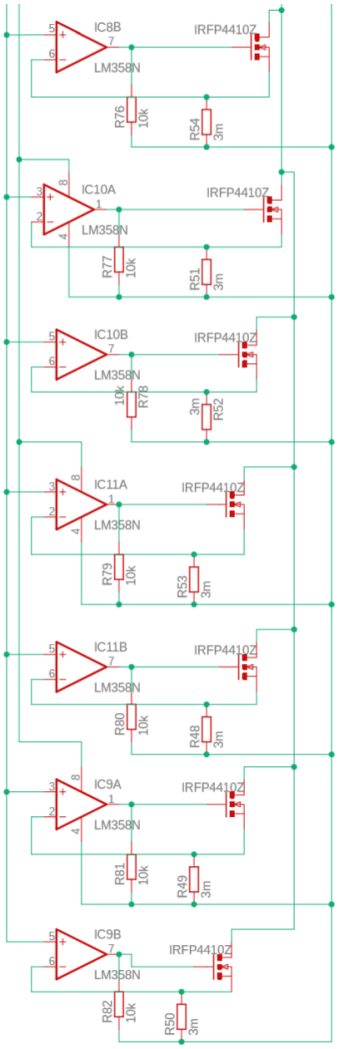


Příloha A – Schéma obvodu pro návrh desky plošného spoje v programu EAGLE – část 2.

Příloha B – Kompletní schéma obvodu výkonového testeru akumulátorů

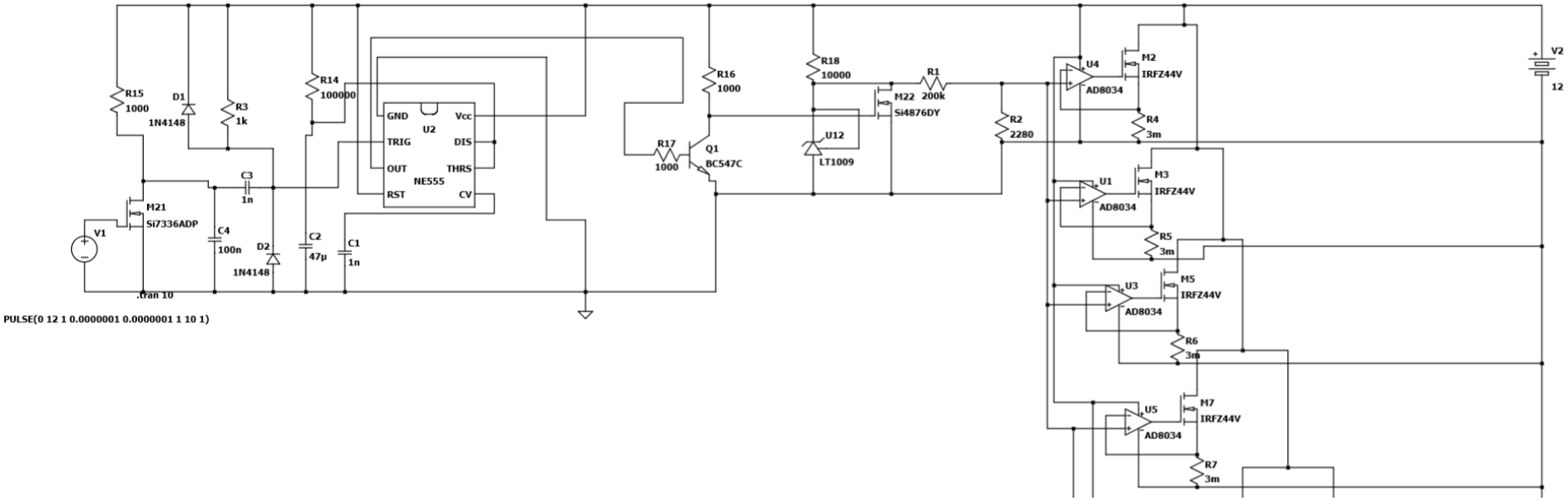


Příloha B – Kompletní schéma obvodu výkonového testeru akumulátorů – část 1.

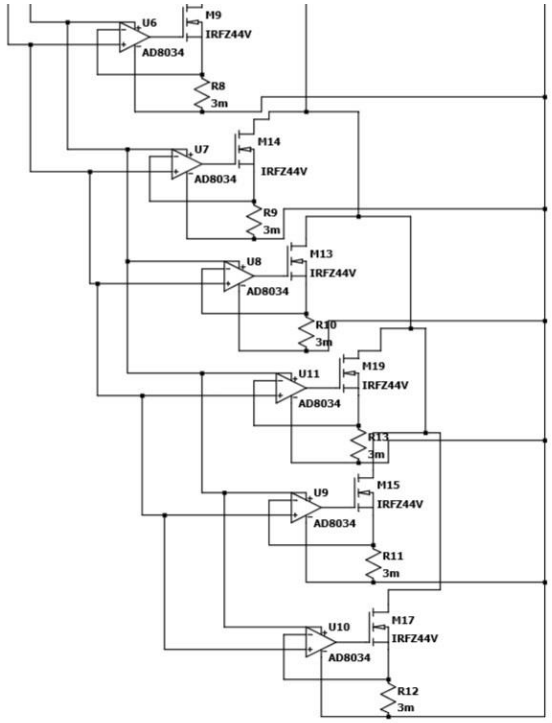


Příloha B– Kompletní schéma obvodu výkonového testeru akumulátorů – část 2.

Příloha C – Schéma obvodu pro simulaci v programu LTspice

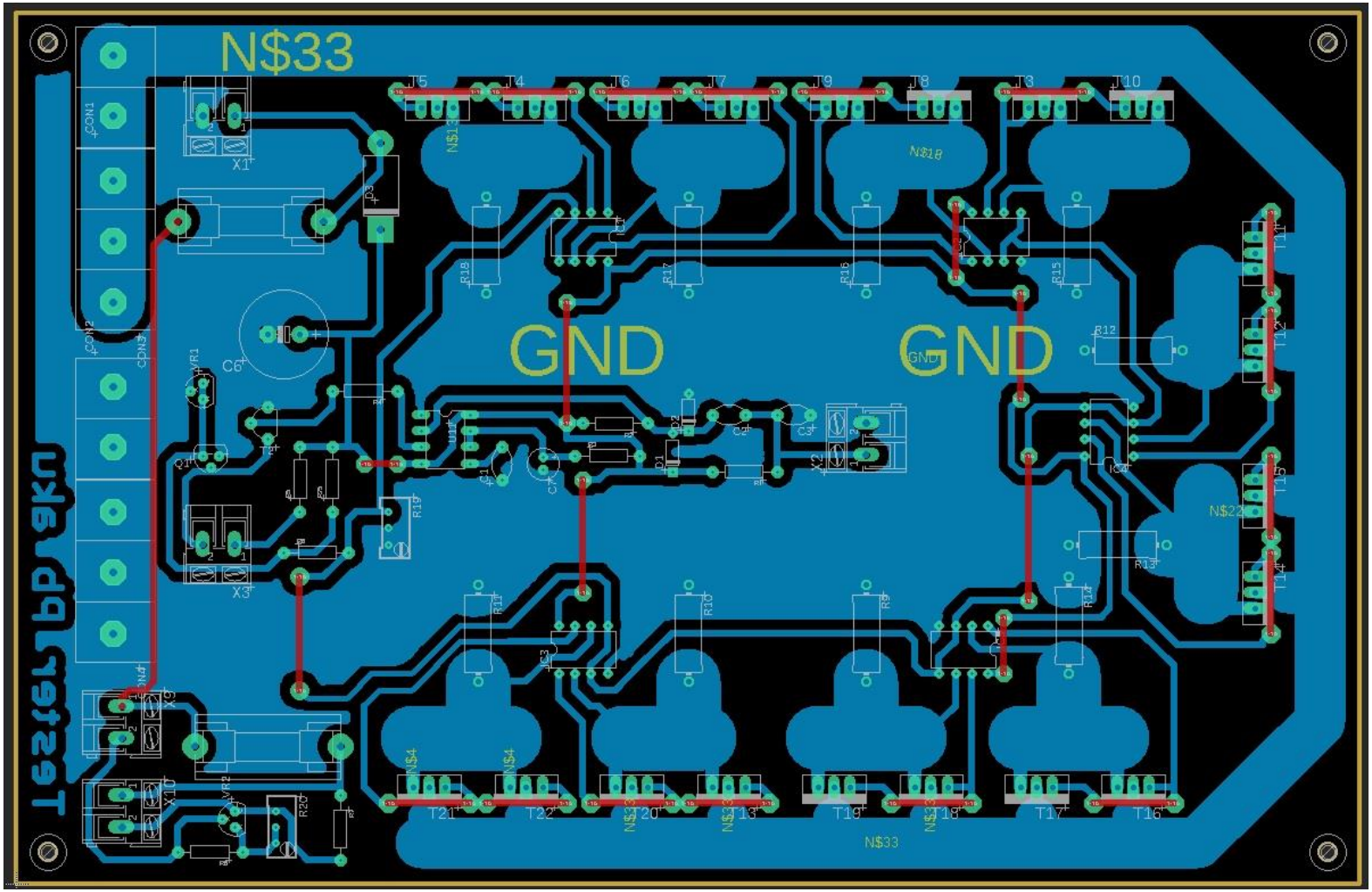


Příloha C – Schéma obvodu pro simulaci v programu LTspice – část 1.



Příloha C – Schéma obvodu pro simulaci v programu LTspice – část 2.

Příloha D – Deska plošného spoje v programu EAGLE



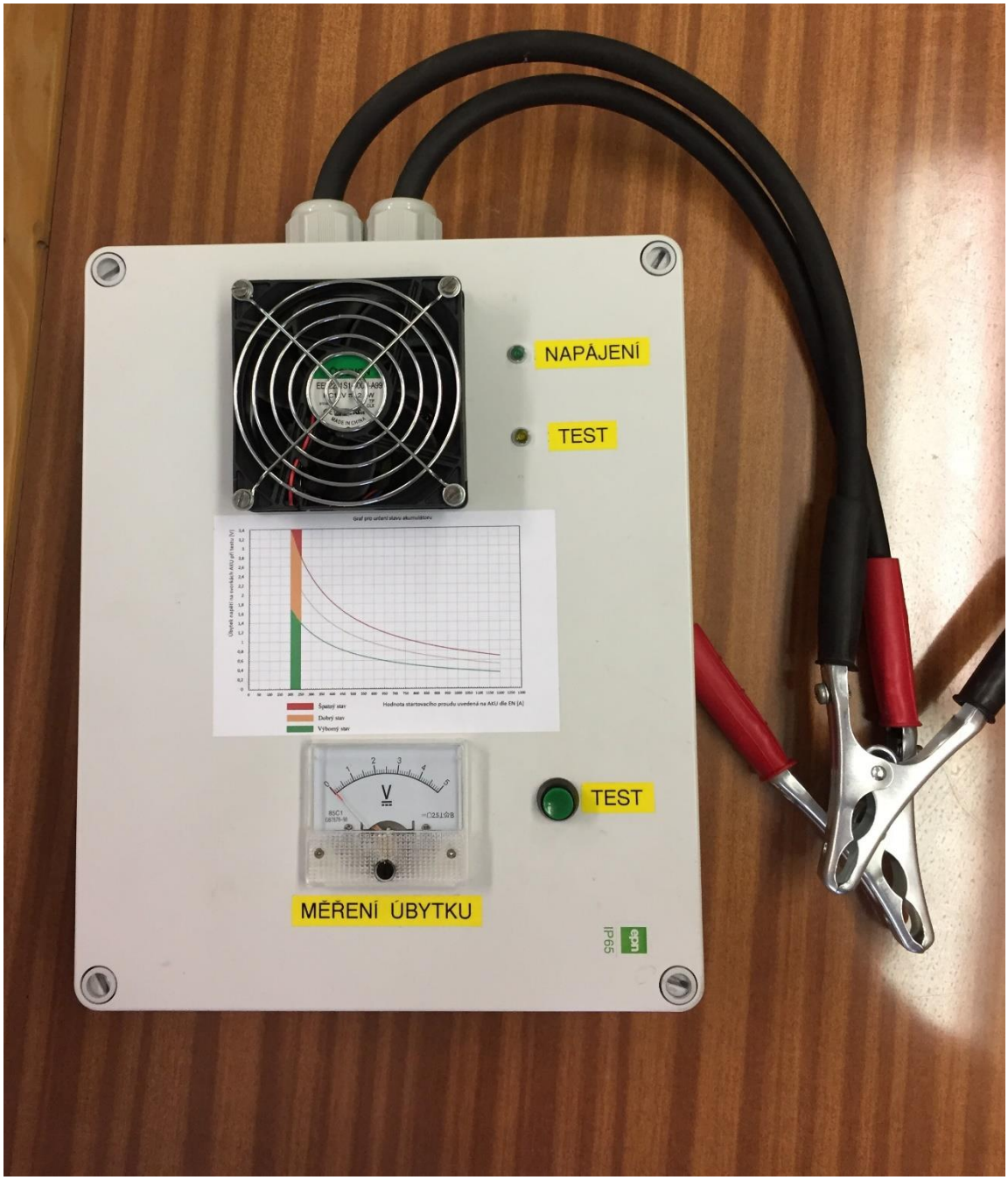
Příloha D – Deska plošného spoje v programu EAGLE

Příloha E – Seznam součástek

Součástka	typ součástky	Součástka	typ součástky
R27	Rezistor 1kΩ vrstvový	R22	Výkonový rezistor HS50-R15J 150mΩ
R43	Rezistor 1kΩ vrstvový	R23	Výkonový rezistor HS50-R15J 150mΩ
R44	Rezistor 100kΩ vrstvový	R24	Výkonový rezistor HS50-R15J 150mΩ
R45	Rezistor 1kΩ vrstvový	R58	Cermetový trimr 64 W 5kΩ
R46	Rezistor 1kΩ vrstvový	R62	Cermetový trimr 64 W 5kΩ
R59	Rezistor 10kΩ vrstvový	C10	Keramický kondenzátor CK 100n/50V
R47	Rezistor 200kΩ vrstvový	C8	Keramický kondenzátor CK 1n/100V
R74	Rezistor 10kΩ vrstvový	C5	eramický kondenzátor CK 1n/100V
R72	Rezistor 1kΩ vrstvový	C12	Elektrolytický kondenzátor CE 47µF/25V
R73	Rezistor 10kΩ vrstvový	C11	Elektrolytický kondenzátor CE 1000µF/25V
R75	Rezistor 10kΩ vrstvový	D4	Dioda 1N4007
R76	Rezistor 10kΩ vrstvový	D5	Dioda 1N4007
R77	Rezistor 10kΩ vrstvový	D7	Signálka se žlutou LED L-R732Y
R78	Rezistor 10kΩ vrstvový	D8	Signálka se zelenou LED L-R732G
R79	Rezistor 10kΩ vrstvový	D6	Dioda 1N5408
R80	Rezistor 10kΩ vrstvový	F1	Trubičková pojiska 1A
R81	Rezistor 10kΩ vrstvový	F4	Pojistka plochá MIDI 125A
R82	Rezistor 10kΩ vrstvový	F5	Trubičková pojiska 1A
R57	Měřící rezistor CSR-2.5-R003 3mΩ	Bipolární tranzistor	BC547C
R56	Měřící rezistor CSR-2.5-R003 3mΩ	Unipolární tranzistor	BS170
R55	Měřící rezistor CSR-2.5-R003 3mΩ	Výkonový unipolární tranzistor (10x)	IRFP4410Z
R54	Měřící rezistor CSR-2.5-R003 3mΩ	Časovač	NE555
R51	Měřící rezistor CSR-2.5-R003 3mΩ	Napěťová reference (2x)	TL431
R52	Měřící rezistor CSR-2.5-R003 3mΩ	Operační zesilovač (5x)	LM358N
R53	Měřící rezistor CSR-2.5-R003 3mΩ	Tlačítkový spínač	PBS-11B-G
R50	Měřící rezistor CSR-2.5-R003 3mΩ	Ventilátor	DC 12V 2W
R48	Měřící rezistor CSR-2.5-R003 3mΩ	Pojistkové pouzdro (2x)	199015
R49	Měřící rezistor CSR-2.5-R003 3mΩ	Svorkovnice (5x)	PTR AK350/2-5.0-V
R60	Rezistor 100Ω vrstvový	Svorkovnice (2x)	DG58C-B-05P-13-00A
R61	Rezistor 1kΩ vrstvový	Panelový analogový voltmetr	85C1 0-5V DC

Příloha E – Seznam součástek

Příloha F – Fotografie výkonového testeru startovacích olověných akumulátorů



Příloha F – Fotografie výkonového testeru startovacích olověných akumulátorů