



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A BIOMECHANIKY

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

## VÝVOJ A IMPLEMENTACE TESTOVACÍ JEDNOTKY PRO MALOSÉRIOVOU VÝROBU

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF TESTING UNIT FOR SMALL BATCH  
PRODUCTION

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Bc. Vojtěch Kolomazník**

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**Ing. Jan Hrbáček**

**BRNO 2016**



# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Student:	<b>Bc. Vojtěch Kolomazník</b>
Studijní program:	Aplikované vědy v inženýrství
Studijní obor:	Mechatronika
Vedoucí práce:	<b>Ing. Jan Hrbáček</b>
Akademický rok:	2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Vývoj a implementace testovací jednotky pro malosériovou výrobu

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Při výrobě prakticky libovolných elektromechanických soustav se již od poměrně malých výrobních sérií vyplácí automatizovat co nejvíce výrobních kroků. Pokud taková soustava zahrnuje programovatelný obvod, je nahrání příslušného firmware a následné ověření funkčnosti na automatizaci vhodným kandidátem. Podstatou zadání diplomové práce je navrhnout a sestavit přípravek, umožňující naprogramování a funkční otestování osazené desky plošných spojů (PCBA).

### Cíle diplomové práce:

1. Seznamte se s principy testování
2. Pro zadanou PCBA sestavte sled kroků programování a testu s ohledem na co nejúplnější pokrytí funkčnosti a časovou úspěšnost
3. Navrhněte a realizujte elektrickou a mechanickou konstrukci testeru
4. Implementujte obslužný software
5. Testovací jednotku ověřte v praxi

### Seznam literatury:

- P. Horowitz, W. Hill: The art of electronics, Cambridge University Press, 2015
- S. F. Scheiber: Building a Successful Board-Test Strategy, Butterworth-Heinemann, 2001
- J. D. Lenk: Electronic Testing Handbook: Procedures and Techniques, McGraw-Hill, 1994

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

-----  
prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.  
ředitel ústavu

-----  
doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá vývojem testovací jednotky pro malosériovou výrobu. V rešeršní části jsou představeny principy testování, také jsou zde diskutovány různé způsoby realizace testovacích konektorů a volba řídicí platformy. Práce dále popisuje návrh hardwarového zapojení a mechanické konstrukce. Výsledkem této práce je zařízení realizované dle návrhu popsaného v práci. Při provozu testovací jednotky nebyla nalezena žádná významná závada a byla ověřena její spolehlivost a plná funkčnost. Součástí práce je i popis realizace softwaru v jazyce Python.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Testovací jednotka, Python, LabJack, elektronická řídicí jednotka, automatické testování elektroniky

## **ABSTRACT**

The goal of the master's thesis is to design testing unit for small batch production. The background research part introduces testing principles, we are also discussed different ways of realization of testing connectors and choice of control unit. The work also describes the design of the hardware wiring and mechanical design. The result of this thesis is a device implemented according to the proposal described in the work. No significant fault was found during operation of testing unit, which verified its reliability and full functionality. The work also includes a description of the software implementation in Python.

## **KEYWORDS**

Testing unit, Python, LabJack, electronic control unit, automated testing of electronics.



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KOLOMAZNÍK, V. *Vývoj a implementace testovací jednotky pro malosériovou výrobu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 71 s.  
Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Hrbáček.



## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma “Vývoj a implementace testovací jednotky pro malosériovou výrobu,, jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce Ing. Jana Hrbáčka a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

V Brně dne 27. května 2016

.....

Vojtěch Kolomazník



## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě především děkuji vedoucímu mé diplomové práce Ing. Janu Hrbáčkovi za odborné konzultace, rady a připomínky, týkající se obsahové a formální úpravy práce. Dále děkuji mé ženě Kateřině za trpělivost a podporu při psaní a všem ostatním za poskytnutí četných technických podkladů a rad prostřednictvím e-mailové či osobní komunikace.



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>AUTOMATICKÉ TESTOVÁNÍ ELEKTRONIKY</b> .....	<b>17</b>
2.1	Rozdělení testování .....	17
2.1.1	Funkční a nefunkční testování .....	17
2.1.2	Verifikace a validace .....	17
2.1.3	Stupně testování .....	17
2.2	Výrobní testy DPS.....	18
2.2.1	Automatická optická inspekce (AOI) .....	18
2.2.2	Automatická X-ray inspekce (AXI).....	18
2.2.3	In-Circuit testy (ICT) .....	19
2.2.4	JTAG boundary scan .....	19
2.2.5	Kouřové testování (smoke testing) .....	19
2.2.6	Testování ohledáním .....	20
<b>3</b>	<b>ŘEŠERŠE TÉMATU, MOŽNÉ ŘEŠENÍ</b> .....	<b>21</b>
3.1	Výběr řídicí platformy.....	21
3.1.1	Platforma NI myRIO .....	21
3.1.2	Platforma LabJack U3 .....	22
3.1.3	Použití samostatného mikrokontroléru .....	23
3.2	Připojení DUT k testovací jednotce .....	24
3.2.1	Společný testovací konektor .....	24
3.2.2	Jednouúčelový testovací konektor .....	24
3.2.3	Pružinové připojení (bed of nails) .....	25
3.3	Shrnutí .....	25
<b>4</b>	<b>FORMULACE PROBLÉMU A CÍLŮ PRÁCE</b> .....	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>NÁVRH TESTOVACÍ JEDNOTKY</b> .....	<b>29</b>
5.1	Řídicí platforma .....	30
5.1.1	Digitální I/O .....	30
5.1.2	Analogové výstupy .....	30
5.1.3	Časovače .....	30
5.1.4	Čítače .....	30
5.2	Zprovoznění řídicí platformy .....	31
5.3	Realizace spojení testovací jednotky s DUT.....	31
5.4	Nahrání firmware do procesoru .....	32
5.5	Aktivace a deaktivace elektroniky .....	32
5.6	Test správnosti osazení DPS .....	35
5.7	Test nabíjení baterie .....	36
5.8	Ověření funkčnosti firmwaru .....	38
5.9	Manuální ovládání testovací elektroniky .....	39
5.10	Připojení mikrokontroléru k počítači .....	40
<b>6</b>	<b>NÁVRH SOFTWARE PRO TESTOVACÍ PLATFORMU</b> .....	<b>41</b>
6.1	Nahrání firmwaru do procesoru .....	42
6.2	Test aktivace.....	42
6.3	Test simulace termistoru .....	43
6.4	Test nabíjení baterie .....	44
6.5	Test osazení .....	44
6.6	Test softwaru .....	44

6.7	Test deaktivace .....	45
<b>7</b>	<b>REALIZACE TESTOVACÍ JEDNOTKY .....</b>	<b>47</b>
7.1	Návrh a realizace DPS .....	47
7.2	Návrh konstrukčních prvků .....	48
7.3	Finální testovací jednotka .....	49
7.4	Testovací pracoviště .....	51
7.4.1	Popis testovacího pracoviště .....	51
7.5	Ovládání testovací jednotky .....	51
7.6	Tvorba sériového čísla .....	52
7.7	Tisknutí výsledků .....	52
7.8	Ukládání výsledků do databáze .....	53
7.9	Výskyt chyb .....	54
7.9.1	Zkratovaný mikrokontrolér .....	54
7.9.2	Nepřesné nanesení nepájivé masky .....	55
7.9.3	Záměna elektronických součástek .....	56
<b>8</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>57</b>

# 1 ÚVOD

Současným trendem v průmyslu je nahrazování lidské pracovní síly automatizovanými systémy. Tyto systémy napomáhají ke zvýšení efektivity výrobního procesu od počátečního vývoje produktu až po jeho předání zákazníkovi. Nedílnou fází vývoje a následné výroby produktu je jeho testování. Díky testování je ověřeno, zda produkt splňuje požadavky zákazníka a také jestli vyhovuje normám, podle kterých je vyvíjen. Zavedením automatického testování do výroby lze dosáhnout výrazně lepších výrobních časů, než kdyby bylo testování prováděno manuálně personálem. Odstraněním lidského faktoru z tohoto procesu je zpravidla dosaženo i nižší chybovosti při opakovaném vykonávání testů.

Tato diplomová práce se zabývá vývojem a implementací testovací jednotky pro malosériovou výrobu. Z důvodu uvedení čtenáře do problematiky ohledně testování elektroniky obsahuje tato práce stručnou rešerši, ve které se věnuji seznámení s principy testování. V další části jsou uvedeny možnosti provedení testovacích konektorů a dále jsou popsány možnosti výběru řídicí jednotky pro testovací platformu.

Praktická část je zaměřena na popis koncepce a realizace testovacího zařízení. Tato část je věnována návrhu elektroniky, řešení konstrukčních prvků zařízení a testovacímu softwaru, který je navrhován s ohledem na co nejúplnější pokrytí funkčnosti a časovou úsporu. Součástí této práce je také praktické ověření testovacího zařízení a vykonání několika stovek reálných testů.



## 2 AUTOMATICKÉ TESTOVÁNÍ ELEKTRONIKY

Testování elektronických zařízení je soubor činností, jejímž cílem je zjistit zda testované zařízení splňuje předem definované vlastnosti po hardwarové i softwarové stránce. Takový proces hraje velkou roli při vývoji produktu. Hlavní motivací pro testování je zajištění odpovídající kvality produktu. [1]

Z důvodů velkých finančních nákladů při manuálním testování výrobků, kdy čas personálu tvoří nezanedbatelnou položku, se snažíme testování co nejvíce automatizovat. Automatické systémy pak umožňují testovat hardware i software s mnohem vyšší rychlostí, než by bylo možné při manuálním testování dosáhnout.

### 2.1 Rozdělení testování

#### 2.1.1 Funkční a nefunkční testování

*Funkční testy* mají za cíl zjištění, s jakou přesností systém vykonává funkce, které se od něj očekávají. Tato funkčnost je zanesena ve specifikaci požadavků a produkt ji musí splňovat. V případě funkčních testů nemusí být zařízení ještě plně zkompletováno. Funkční testy mají na výslednou bezporuchovost zařízení významný vliv. Proto je na tuto kategorii kladen velký důraz během celého testovacího cyklu. [1], [2]

*Nefunkční testy* spočívají v testování všech vlastností systému, které přímo nesouvisí s jejími funkcemi, ale zároveň jsou podstatné pro její správné fungování. Řadí se sem především testování výkonnosti, použitelnosti, kompatibility, či bezpečnosti. [2]

#### 2.1.2 Verifikace a validace

*Verifikace* je kontrola, zda vyvíjený systém vyhovuje specifikacím. Mezi metody verifikace patří většina testování, kterého se neúčastní zákazník, např. inspekce kódu, simulace, jednotkové testy či integrační testy. [3]

*Validace* je kontrola, zda vyvíjený systém splňuje to, co od něj zákazník očekává. Mezi metody validace patří např. akceptační testy, které se provádí u zákazníka. [3]

#### 2.1.3 Stupně testování

Podle úrovně testování, podle osoby, která testování provádí a podle toho, kdy se testování provádí, je možné aplikovat následující dělení:

*Jednotkové testy (unit testing)* ověřují funkčnost specifické části kódu. Jednotka je nejmenší testovatelná část a jedná se například o metodu, nebo funkci. Často tyto druhy testů tvoří sám programátor při psaní programu. [4]

*Integrační testování* si klade za cíl ověřit bezchybnou komunikaci mezi jednotlivými komponentami uvnitř aplikace. Jde o testování větších celků, než v případě jednotkových testů. [4]

*Systémové testování* je kompletní testování, které ověřuje, že systém splňuje dané požadavky. Je to první testování, kdy testujeme program, jako celek napříč celým jeho spektrem. Snažíme se napodobit práci uživatele se systémem, ale ověřujeme i výkon aplikace, spolehlivost, či její bezpečnost. [4],

*Akceptační testování* bývá posledním druhem testování před ostrým nasazením produktu. Probíhá při předání zákazníkovi, a pokud skončí pozitivně, je tvorba produktu u konce. Testování provádí zákazník. [4]

## **2.2 Výrobní testy DPS**

V této podkapitole budou rozebrány nejrozšířenější metody automatického testování DPS. K dispozici je mnoho postupů, které mohou být pro tento účel aplikovány. Každý způsob má své výhody i nevýhody a může najít své uplatnění pro konkrétní aplikace. Ve většině případů platí, že výběr pouze jedné metody nemůže pokrýt kompletní testování elektroniky a proto se jich v testovacích systémech využívá více.

### **2.2.1 Automatická optická inspekce (AOI)**

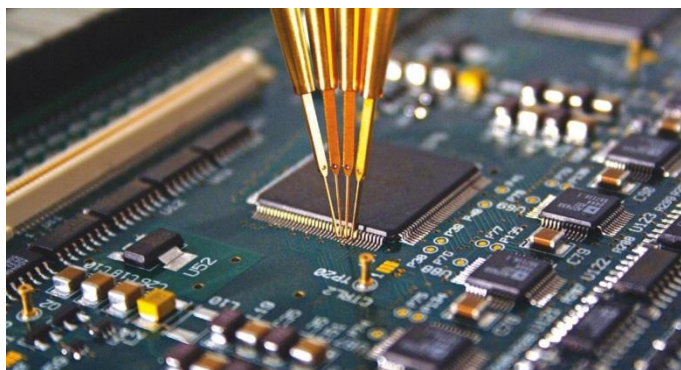
Jde o automatické vizuální měření, které je vhodné pro téměř všechny fáze výrobního procesu. Jedná se o bezkontaktní měření, při kterém je obraz snímán kamerou. Ta automaticky snímá postupně celé zařízení. Vyhodnocují se nálezy různých defektů, například: přerušeni cest, zkratky, špatné pájení a špatné umístění elektronických součástek. Nevýhodou metody je její omezení pouze na detekci viditelných vad zařízení. [5]

### **2.2.2 Automatická X-ray inspekce (AXI)**

S příchodem nových technologií osazování DPS nemusí být všechna pájená místa viditelná. V tomto případě je optická inspekce nepoužitelná a přichází v úvahu využití X-ray inspekce. Jde o technologii založenou na detekci pomocí rentgenového záření. Je určena pro odhalení vad, které nejsou kamerou viditelné. Umožňuje nahlédnout pod součástky a zkontrolovat veškeré pájené spoje i u součástek s BGA pouzdrům. Je vhodná pro elektronické desky s větší hustotou osazení. Nevýhodou této metody je vysoká cena. [6]

### 2.2.3 In-Circuit testy (ICT)

Tato metoda je velmi všestranná. Pomáhá odhalit rozpojené obvody nebo zkratky, umožňuje naměřit hodnoty osazených součástek a navíc může i kontrolovat funkčnost integrovaných obvodů. In-Circuit testy jsou založeny na měření pomocí několika automaticky polohovatelných hrotů. Při tomto způsobu testování je zapotřebí značně nákladné testovací zařízení. Ukázkou použití metody můžeme vidět na Obr. 2.1. Přestože se jedná o velmi užitečnou metodu, její uplatnění v dnešní době klesá a to z důvodů zvyšování hustoty osazení součástkami, díky čemuž testovací hroty nemají přístup k jednotlivým komponentům. [7]



Obr. 2.1. – In-Circuit metoda testování elektronických desek. [8]

### 2.2.4 JTAG boundary scan

Se zmenšováním komponent, integrovaných obvodů a desek plošných spojů ubývá místo pro fyzické testování pomocí kontaktních hrotů a sond. Klasické In-Circuit testování v mnoha komplexních případech vůbec nelze použít. Pro účel bezkontaktního testování byl vytvořen boundary scan. Jedná se o automatický testovací systém, který umožňuje softwarově testovat a kontrolovat funkci integrovaného obvodu bez nutnosti vytvářet měřicí body a fyzicky připojovat kontaktní hroty nebo sondy na vývody. Ty jsou v integrovaných obvodech nahrazeny vestavěnými logickými obvody. Nevýhodou boundary scanu je omezení pouze na kontrolu signálů připojených k mikrokontroléru. Neumožňuje například testovat zdroje napětí. [9]

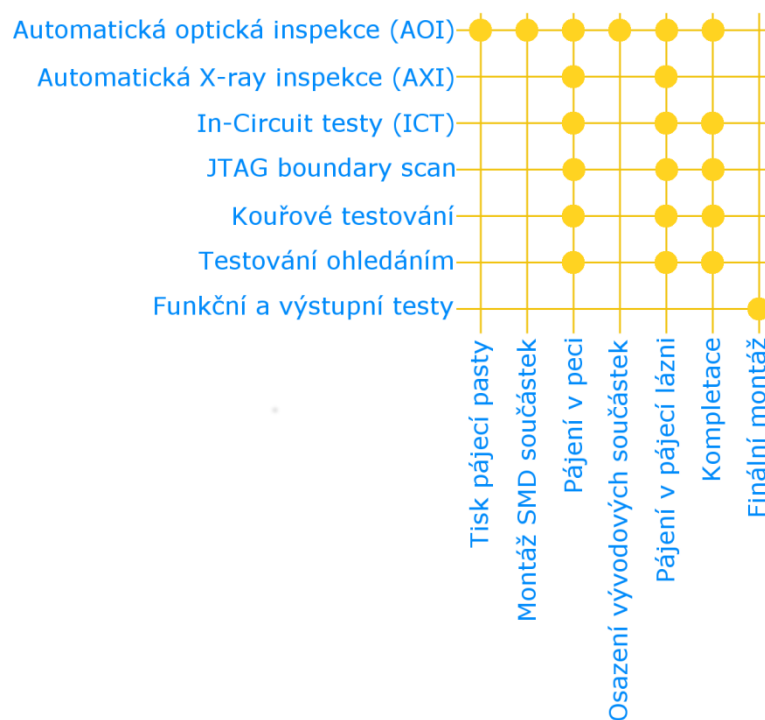
### 2.2.5 Kouřové testování (smoke testing)

Kouřové testování je založené na pozorování poruchy a týká se pouze hardwaru. Postup testování je následující: po zapnutí napájení se hledají komponenty, které se nepřiměřeně přehřívají, nebo se z nich začíná kouřit. Nalezené vadné komponenty se vymění, což vede k zamezení fatálním poruchám. Nároky na kompetenci obsluhy jsou minimální. [10]

## 2.2.6 Testování ohledáním

Tato metoda je založena na ohledání a kontrole zařízení zkušenou osobou. Hledají se přitom chyby ve funkci zařízení. Ve fázi výstupní kontroly mluvíme o tzv. beta-testerech. Výhodou tohoto přístupu je fakt, že školený pracovník je schopný relativně rychle najít poruchy v různých systémech. Zjevnou nevýhodou je fakt, že není možné pro tento způsob detekce chyb vyjádřit diagnostické pokrytí. To totiž záleží právě na osobě testera, na jeho zkušenostech a aktuální koncentraci. [10]

Na Obr. 2.2 můžeme vidět matici znázorňující uplatnění zmíněných metod testování elektroniky pro určité fáze procesu výroby.



Obr. 2.2. – Uplatnění zmíněných metod testování elektroniky ve výrobě DPS. [11]

## 3 REŠERŠE TÉMATU, MOŽNÉ ŘEŠENÍ

V této kapitole budou představeny možné způsoby řešení zadání. Předmětem této práce je návrh a realizace testovací jednotky pro malosériovou výrobu. Testovací jednotky jsou složeny z řídicí platformy a podpůrných obvodů. Řídicí platformou je v tomto textu myšlen centrální mikrokontrolér a jeho podpůrné obvody, které ovšem nespádají do ostatních subsystémů testovací platformy (výkonový stupeň, měření proudu).

K uvedení do problematiky budou vysvětleny následující termíny „mikroprocesor“, „mikrokontrolér“ a „signálový procesor“, které se v této práci často objevují. Mikroprocesor je zařízení integrující většinu funkcí základní výpočetní jednotky (CPU) do jednoho čipu. Mikrokontrolér je typem mikroprocesoru, který navíc integruje i typické periferie – paměť programu, operační paměť, I/O vývody, A/D převodníky a další specifické rozhraní. Signálový procesor je pak mikroprocesor nebo mikrokontrolér specializovaný na oblast real-time zpracování digitalizovaného analogového signálu.

### 3.1 Výběr řídicí platformy

Tato kapitola představuje různé varianty řídicích platform se zaměřením na jejich výhody a nevýhody. Klíčovými faktory při volbě řídicí platformy jsou cena, krátká doba vývoje a snadná implementace. Řídicí platforma může být ovládána přímo z PC, nebo může fungovat jako nezávislé (stand-alone) zařízení. V případě potřeby zobrazovat výsledky na PC je nutné, aby tato platforma měla potřebné komunikační rozhraní.

#### 3.1.1 Platforma NI myRIO

Jedná se o vestavné zařízení uvedené na trh společností National Instruments. Platforma NI myRIO je založena na stejné výkonné technologii jako jeho průmyslová varianta NI CompactRIO, nabízí však menší rozměry a je uzavřena do vkusného pouzdra. NI myRIO obsahuje nejnovější SoC (system on a chip) technologii Zynq®, která v sobě spojuje dvoujádrový procesor ARM Cortex-A9 a programovatelný obvod FPGA.

Platforma NI myRIO obsahuje deset analogových vstupů, šest analogových výstupů, vstupní i výstupní audio kanály a až čtyřicet kanálů pro digitální vstupy a výstupy. Zahrnuje také vestavěný WiFi adaptér, tříosý akcelerometr a několik programovatelných LED indikátorů.



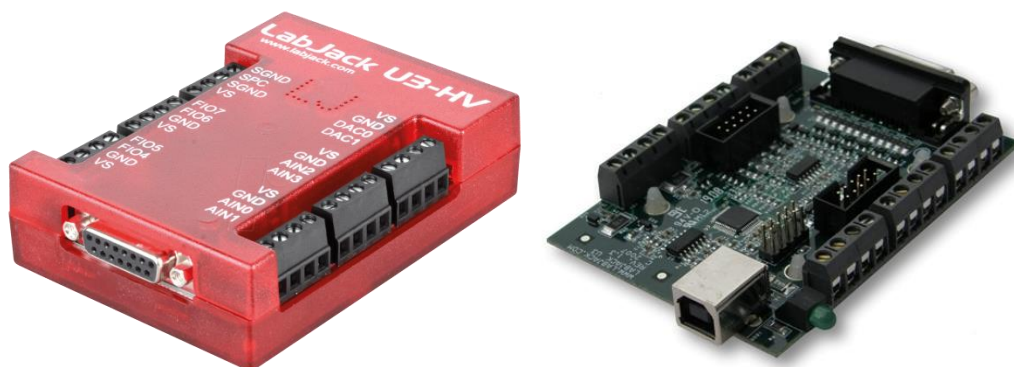
*Obr. 3.1. – Platforma myRIO. [12]*

Tuto platformu lze programovat nejen prostřednictvím grafického vývojového prostředí NI LabVIEW, ale i pomocí C/C++. Velkou výhodou tohoto zařízení je vysoký výkon a snadná použitelnost. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena a méně vhodné umístění připojovacích konektorů na bocích. [12]

### **3.1.2 Platforma LabJack U3**

Jde o multifunkční USB zařízení určené pro sběr dat a řízení. Ovladače tohoto zařízení jsou dostupné pro Windows, Linux, Mac a Pocket PC. K zařízení je možno volně stáhnout množství softwaru, skrze který můžeme zařízení ovládat. Další způsoby ovládání jsou pomocí programů LabVIEW a Matlab. Dá se také naprogramovat v mnoha jazycích, např.: C/C++, VB, Java, Delphi a Python. [13], [14]

Platforma LabJack U3 obsahuje šestnáct flexibilních vstupně/výstupních (I/O) portů, které mohou být libovolně nastaveny jako digitální vstup, digitální výstup, nebo jako analogový vstup. K tomu dvě z těchto linek mohou být nastaveny na časovače a další dva na 32bitové čítače. Dále nabízí dva analogové výstupy a čtyři dodatečně vyhrazené digitální vstupy a výstupy. Zahrnuje také jeden naprogramovatelný LED indikátor. [13]



Obr. 3.2. – LabJack U3 s krytem (vpravo) a bez krytu (vlevo). [14]

Oproti ostatním platformám umožňuje LabJack odejmutí krytu a následně připojení do testovací jednotky pomocí konektorů vyvedených ze spodní strany platformy. Dalšími výhodami jsou přijatelná cena a možnost naprogramování v jazyce Python.

### 3.1.3 Použití samostatného mikrokontroléru

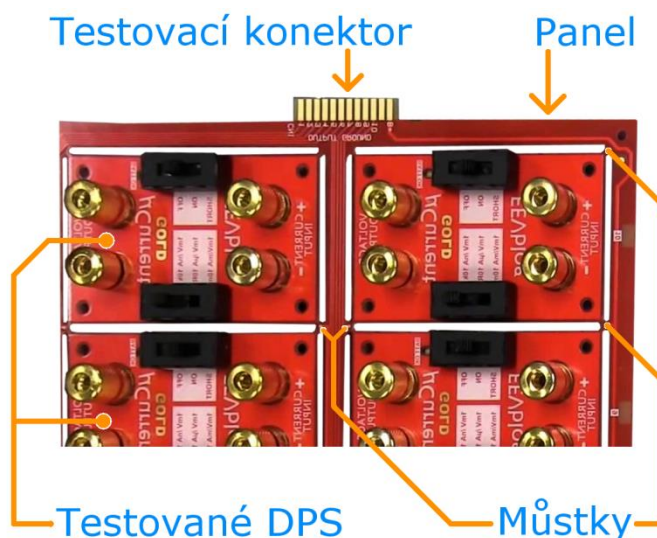
Tato možnost se volí jen v případě, kdy nelze použít žádnou hotovou řídicí platformu. Jde o variantu, kdy si zvolíme nějaký oblíbený a výkonově dostačující mikrokontrolér, pro který dále navrhujeme potřebné periferie. V tomto případě musíme zvážit veškeré požadavky na testovací jednotku a v případě její interakce s počítačem je nutné vymyslet vyhovující komunikační rozhraní a protokol předávání zpráv a pokynů, který může být značně komplikovaný. Vývoj takového protokolu pak prodlouží celé zpracování. Tato cesta je proto vhodnější pro jednoduché aplikace, které nekladou velké požadavky na vypisování výstupních stavů počítačem a namísto toho využívají pro zobrazení chybových stavů např. LED diody. Jde o variantu „nejčistší“ z hlediska provedení, které je šité na míru.

## 3.2 Připojení DUT k testovací jednotce

Propojení mezi testovaným zařízením (dále jen DUT) a testovací jednotkou lze provést dvěma způsoby. Prvním z nich je realizace spojení pomocí konektoru, druhý využívá pružinových kontaktů. Volba konkrétního řešení závisí především na složitosti DUT, počtu testování a na dalších testovacích požadavcích.

### 3.2.1 Společný testovací konektor

Součástí výroby většího množství elektronických desek je panelizace, při níž se několik DPS seskupí do jednoho panelu. Na Obr. 3.3 je vidět příklad využití panelizace pro přidání společného testovacího konektoru. Jednotlivé DPS jsou s panelem propojeny pomocí můstků, které navíc slouží k vedení signálových vodičů. Všechny DPS jsou připojeny k testovacímu konektoru paralelně, přičemž testování probíhá postupně. Po otestování se jednotlivá zařízení oddělí z panelu, čímž se přeruší spojení s testovacím konektorem.



Obr. 3.3. – Testování pomocí kolektivního konektoru. [15]

Jelikož můstky lze vést pouze omezené množství vodičů, je společný testovací konektor vhodný pro aplikace omezené složitosti.

### 3.2.2 Jednoúčelový testovací konektor

Některé elektronické desky obsahují jednoúčelové testovací konektory, pomocí nichž se desky naprogramují a testují. K testování pak musí být vytvořeno zařízení s opačným typem konektoru. Takovéto zařízení může v budoucnu sloužit pro diagnostiku nebo přehrání firmwaru. Je to řešení méně náročné z hlediska zajištění kontaktu s nadřazenou testovací platformou.

### 3.2.3 Pružinové připojení (bed of nails)

Bed of nails je elektronický testovací přípravek, který obsahuje speciální vložku s mnoha pružnými kontakty (pogo piny). Každý pogo pin tvoří kontakt s jednou testovací ploškou na DUT (testované zařízení). Vložky jsou výměnné a mají omezenou životnost čítající několik tisíc použití. Celé řešení je uzavřeno do boxu, který můžeme vidět např. na Obr. 3.4. Nejcitlivější částí přípravku jsou pogo piny, které musí být chráněny proti mechanickému poškození. K tomuto účelu obsahuje box ochranné prvky, které se vysunují automaticky s otevřením testovacího přípravku.



*Obr. 3.4. – Bed of nails testovací přípravek. [16]*

Testovací přípravek obsahuje montážní hroty, které přesně definují polohu pro založení DUT do testeru. U větších DUT, které obsahují i několik stovek testovacích pinů, je nutné dostatečně dimenzovat přítlačnou sílu pro zajištění stálého kontaktu. Tyto testovací systémy jsou velmi přesné a drahé. Jsou určeny pro testování velkého množství elektronických desek.

### 3.3 Shrnutí

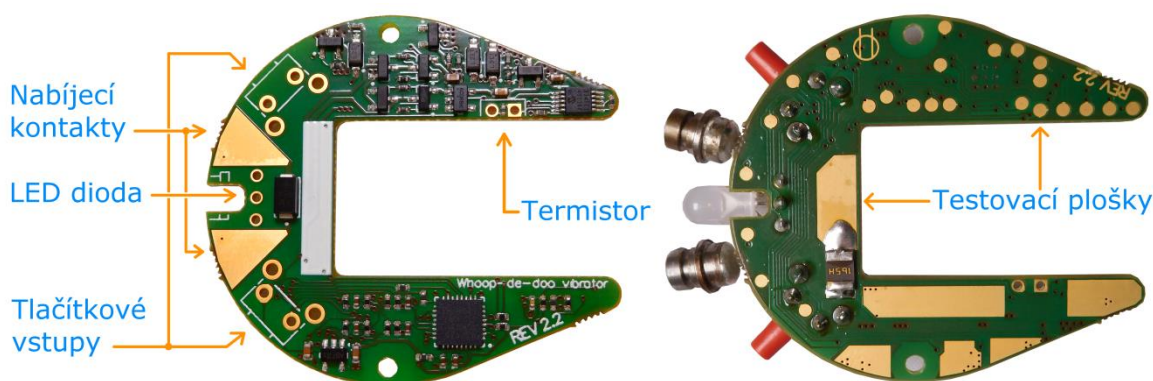
Jako řídicí platforma pro testovací jednotku bylo vybráno zařízení LabJack U3, jejíž výhodou je snadné použití, nízká cena a dostatečný výkon. Tato platforma také poskytuje dostatek analogových a digitálních vstupů/výstupů. Dalším benefitem je možnost spojení této platformy s testovací jednotkou pomocí konektorů vyvedených ze spodu zařízení. Navržené připojení DUT k testovací jednotce se skládá z pogo pinů umístěných v podpůrné mechanické konstrukci.



## 4 FORMULACE PROBLÉMŮ A CÍLŮ PRÁCE

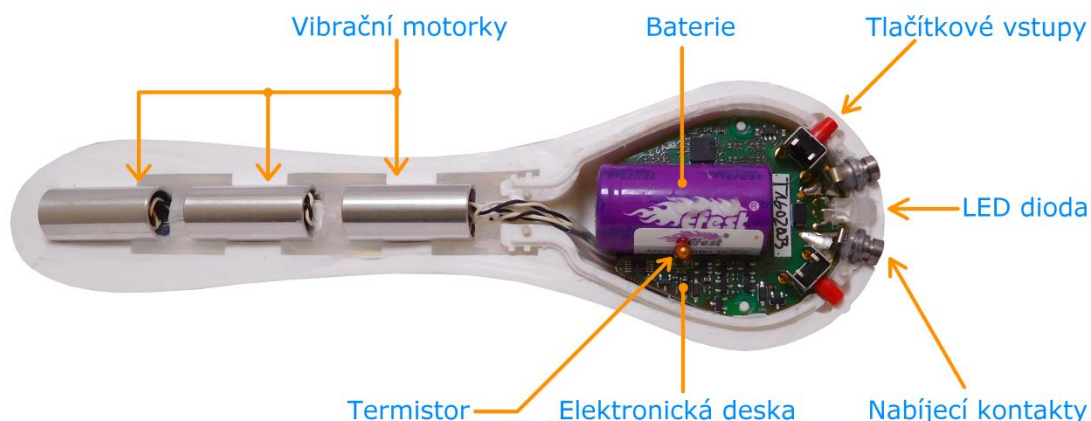
Firma Bender Robotics s.r.o. [17] se zabývá vývojem a výrobou elektronických zařízení. Pokrývá celý cyklus vývoje zařízení od návrhu, přes realizaci a naprogramování až po zajištění malosériové výroby a následného testování. Jedním z realizovaných projektů je vývoj řídicí jednotky pro vibrátor navržený českou designérkou Annou Marešovou. V rámci této diplomové práce je vyvíjena testovací jednotka pro zmíněný produkt. DPS jeho řídicí jednotky můžeme vidět na Obr. 4.1.

Hlavní funkce řídicí jednotky je ovládání tří vibračních motorků. Ty jsou rozmístěny v celém trupu vibrátoru pro zajištění intenzivních vibrací po celé jeho délce. K napájení elektroniky slouží akumulátor, který je nabíjen pomocí dvou magnetických kontaktů z nerezové oceli. Zařízení signalizuje funkčnost pomocí dvoubarevné LED diody. Celý vibrátor je vyroben ze silikonu, což zajišťuje stoprocentní voděodolnost a hygieničnost.



Obr. 4.1. – DPS testovaného zařízení.

Řídicí jednotka obsahuje sériové rozhraní UART určené pro servisní účely. Toto rozhraní slouží pouze pro výstup diagnostických údajů a modifikaci vybraných parametrů během vývoje.



Obr. 4.2. – Řez produktem s testovanou elektronickou deskou.

První výrobní série obsahuje pět set výrobků. Při tomto množství je důležité testování maximálně automatizovat, aby se zkrátila výrobní doba. Jelikož elektronické desky z výroby nejsou plně osazené, je nutné před testováním dopájet některé komponenty. Jedná se o LED diodu, ta se pájí ze strany součástek. Na stejné straně se také pájí nabíjecí kontakty. V poslední řadě se pájí ze spodní strany tlačítka a ochranná pojistka. Po otestování je připájena baterie, tři vibrační motorky a termistor pro ochranu baterie. Hotový produkt je zabalen a odeslán k zalití silikonem. Řez výrobkem vidíme na Obr. 4.2.

Pro efektivní testování byly určeny požadavky, které musí testovací jednotka splňovat. Jde o následující:

1. schopnost nahrát firmware do procesoru,
2. test osazení správnými součástkami,
3. schopnost aktivace a deaktivace testované elektroniky,
4. simulace nabíjení baterie,
5. ověření funkčnosti softwaru,
6. ukládání a vytištění výsledků testů

Pro splnění zadání je nutné navrhnout a zrealizovat elektronickou desku s řídicí jednotkou ovládanou počítačem s řídicím programem, který obsluhuje testování. Ještě předtím je potřeba navrhnout zapojení a zvolit vhodné součástky, kterými budeme chybové stavy detekovat a prezentovat. V následujících kapitolách bude podrobně rozebrán celý postup vývoje testovací jednotky od výběru vhodných součástek až po otestování funkčnosti.

## 5 NÁVRH TESTOVACÍ JEDNOTKY

Tato kapitola popisuje návrh hardwaru testovací jednotky. Ve 3. kapitole jsme se dozvěděli o různých provedeních řídicí platformy a spojení testovací jednotky s DUT. Pro ovládání testovací jednotky byla zvolena řídicí platforma LabJack U3 a pro její propojení s DUT bylo zvoleno použití pružinových kontaktů. K řídicí platformě bylo navrženo schéma s vhodnými periferiemi plnícími veškerou funkčnost popsanou ve 4. kapitole. Jeho návrh probíhal jako iterativní proces, přičemž jednotlivé iterace byly konzultovány s vedoucím práce. V každém kroku bylo navrženo řešení, které se následně testovalo v prototypovacím nepájivém poli. Produktem celého procesu je elektronické schéma uspokojující veškeré požadavky na funkčnost testovací jednotky. Toto schéma bude podrobně rozebráno v následujících podkapitolách.

Po odladění schématu byla tvořena DPS testovací jednotky. Ta je navrhována tak, aby její funkce byla pochopitelná a jednotka byla snadno ovladatelná i manuálně, bez použití PC. Jak pro návrh schématu, tak pro návrh DPS byl použitý program Altium Designer. Výhodou tohoto programu je podpora 3D návrhu s jehož pomocí bylo snadné odhalit kolize komponent. Další výhodou je možnost importování externích konstrukčních prvků, což umožňuje ověření navrhovaného modelu a jeho funkce.

Při návrhu zařízení nesmíme opomenout zajistit vhodné mechanické spojení mezi testovací platformou a DUT. To má na spodní straně vyvedených několik desítek testovacích bodů, se kterými je nutné zajistit vodivý kontakt. Proto jsou součástí práce i mechanické konstrukční prvky zajišťující upevnění DUT na definovaném místě a jeho snadnou výměnu za nové zařízení.

Celková schémata a navržené desky jsou k dispozici v příloze a na CD. V následujících kapitolách jsou podrobně rozebrány zvolená řídicí platforma, jednotlivé části zapojení testovací jednotky a mechanické části pro připevnění DUT.

## 5.1 Řídicí platforma

Zvolená řídicí platforma LabJack U3 byla představena v kapitole 3.1.2. V následujících podkapitolách budou popsány dostupné periferie zmíněné platformy.

LabJack obsahuje šestnáct flexibilních vstupně/výstupních portů (označených FIO a EIO porty), které mohou být libovolně nastaveny jako digitální vstup, digitální výstup, nebo jako analogový vstup. Všechny I/O linky jsou chráněny proti menšímu přepětí. FIO linky vydrží stálé napětí až  $\pm 10$  V, linky EIO a CIO trvale  $\pm 6$  V. LabJack nepotřebuje externí napájení, jelikož je napájen přímo z USB. [13]

### 5.1.1 Digitální I/O

LabJack U3 má až dvacet digitálních vstupně/výstupních kanálů. Čtyři z nich (CIO0-CIO3) jsou dostupné přes konektor DB15, ostatních šestnáct přes svorkovnici. Každá digitální linka může být samostatně konfigurována jako vstup, nebo LV-TTL výstupní úroveň (3,3 V logika), linky jsou kompatibilní s TTL (5 V) vstupními hodnotami. Prvních šestnáct vstupů může být také čteno jako hardwarově časovaný proud dat. [14]

### 5.1.2 Analogové výstupy

LabJack U3-HV disponuje dvěma analogovými výstupy (DAC0 a DAC1), jež jsou v provedení šroubovacích svorek. Každý analogový výstup může být nastaven na napětí 0–5 V s desetibitovým rozlišením. Analogové výstupy mají filtry typu horní propust, které omezuje frekvenci výstupního signálu pod hranici šestnáct Hz. [14]

### 5.1.3 Časovače

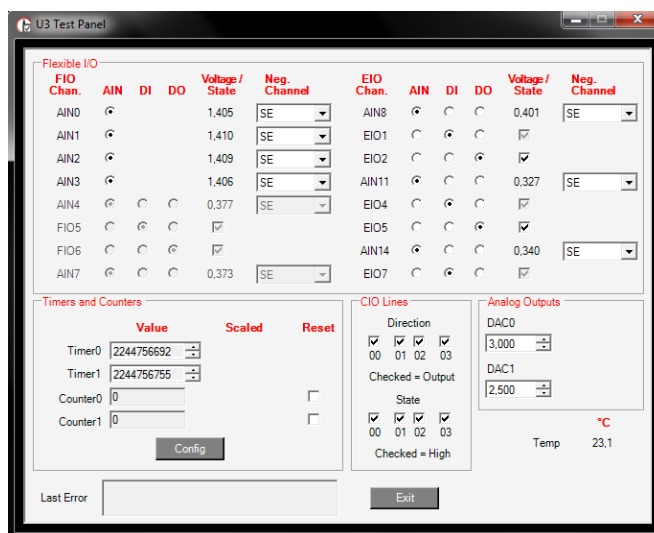
Až dvě nastavitelné I/O linky mohou být konfigurovány jako časovače. Časovače jsou velmi flexibilní, nabízejí režimy PWM výstup, časování pulz/perioda, čítání pulzů a fázový vstup. [14]

### 5.1.4 Čítače

Až dvě I/O linky mohou být použity jako 32bitové čítače. [14]

## 5.2 Zprovoznění řídicí platformy

K LabJacku lze stáhnout ovladače pro většinu operačních systémů, navíc je pro jeho ovládání dostupné velké množství aplikací. Na obrázku Obr. 5.1, můžeme vidět program LabJack Control Panel. Jedná se o jedno z mnoha dostupných grafických uživatelských rozhraní pro ovládání LabJacku. Obsahuje ovládací prvky ke změně nastavení a parametrů pro veškeré jeho periferie.



Obr. 5.1. – Grafické uživatelské rozhraní pro ovládání LabJack - Control Panel.

Dalším způsobem ovládání LabJacku je skriptování. Dá se naprogramovat v mnoha jazycích, např.: C/C++, VB, Java, Delphi a Python.

## 5.3 Realizace spojení testovací jednotky s DUT

Z předešlých kapitol už víme, že budeme potřebovat něco, co umožní pružné spojení a vodivý spoj s testovanou elektronikou. Tomuto spoji nejlépe vyhovují pogo piny. Jedná se o tenké trubičky s pružinkou uvnitř, tlačící na hroty v různých provedeních. V našem případě budeme používat dva druhy, pro signálové a výkonové linky. Výkonové linky budou odpovídat zejména napájecím kontaktům (napájení + baterie), signálové kontakty budou všechny ostatní. Příklad zmíněných pogo pinů můžeme vidět na obrázku Obr. 5.2.



Obr. 5.2. – Ukázka nejběžnějších pogo pinů. [18]

## 5.4 Nahrání firmware do procesoru

Testovaná elektronika obsahuje mikrokontrolér řady MSP430 od firmy Texas Instruments. Pro jeho programování lze použít emulátor MSP-FET430UIF zobrazený na Obr. 5.3. Tento výkonný programovací nástroj, připojitelný k počítači pomocí USB kabelu, umožňuje programovat a ladit mikrokontroléry skrze JTAG/SWD rozhraní.



Obr. 5.3. – Programátor MPS-FET430UIF.

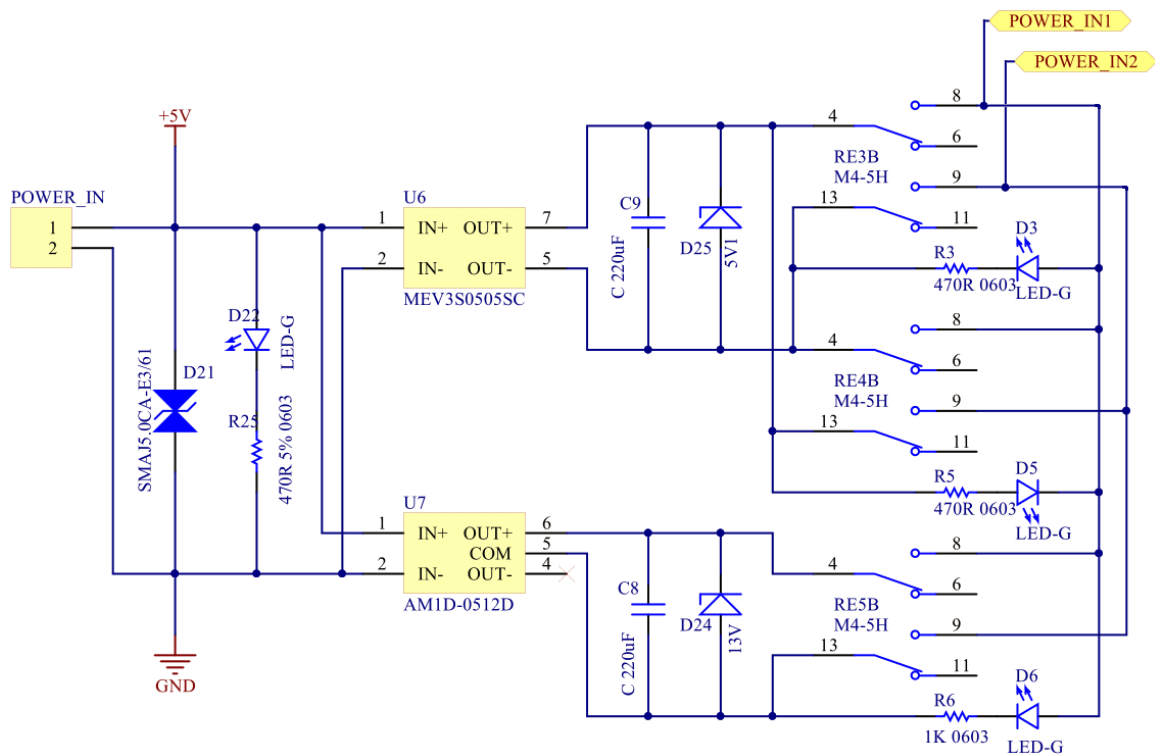
Programátor je možné ovládat pomocí příkazového řádku, tento způsob ovládání je využit ve výsledné aplikaci. Připojení DUT k programátoru je pomocí desetipinového konektoru vyvedeného na pružinové kontakty. Ovladače k tomuto nástroji lze stáhnout z odkazu [19]. Po instalaci lze spustit programátor z příkazového řádku. Například:

```
MSP430Flasher.exe -w "main.hex" -v -g -z [VCC]
```

Tímto příkazem nahrajeme do mikrokontroléru program. Pro plnohodnotné ovládání programátoru byl navržen skript v jazyce Python.

## 5.5 Aktivace a deaktivace elektroniky

Během vývoje testovaného produktu vznikl požadavek na aktivaci a deaktivaci elektroniky. Bylo zjištěno, že ve finální fázi výroby (před zastříknutím elektroniky silikonem) mohlo dojít k nechtěnému zapnutí elektroniky, konkrétně při jejím zakládání do formy. Následkem zapnutí tří vibračních motorků při zastříkávání silikonem by mohlo dojít ke znehodnocení výrobku. Proto byla přidána aktivace a deaktivace elektroniky, která spočívá v jednoduchém přivedení specifického napětí na nabíjecí konektory. Pro deaktivaci jde o napětí +12 V po dobu alespoň dvou sekund a pro aktivaci jde o napětí +5 V, což odpovídá nabíjecímu napětí. Díky shodnosti nabíjecího a aktivačního napětí tak aktivaci produktu může provést i koncový uživatel.



Obr. 5.4. – Schéma zapojení napájecího obvodu.

Na Obr. 5.4. je znázorněno schéma napájecího obvodu, který umožňuje měnit na výstupu potřebné napětí. Obvod zahrnuje dva spínané zdroje napájené společným napětím +5 V, napájení signalizuje svítící LED dioda. Na vstupu je umístěn transil, který chrání obvod proti přepětí. Spínané zdroje jsou izolované, aby bylo docíleno galvanického oddělení jejich výstupů od ostatních částí testovací jednotky. Na výstupech spínaných zdrojů jsou umístěny zenerovy diody pro stabilizaci napětí. Výstupy zdrojů jsou zapojeny do tří reléových spínačů, jejichž spínáním lze na výstup přivést napětí 0 V, +5 V, -5 V a 12 V. Každé relé má pro signalizaci zapnutí vyvedenou LED diodu. Tento obvod umožňuje simulovat aktivaci, deaktivaci a nabíjení testovaného zařízení.

Velikost sériových odporů signalizačních LED diod byla vypočítána pomocí rovnice:

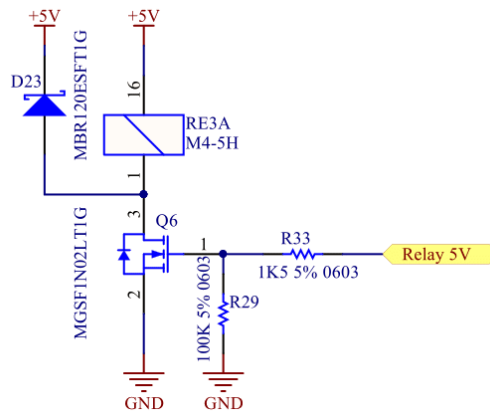
$$R_s = \frac{V_s - V_f}{I_f}$$

$R_s$  = sériový odpor [ $\Omega$ ]

$V_s$  = napájecí napětí [V]

$V_f$  = napětí diody (forward voltage) [V]

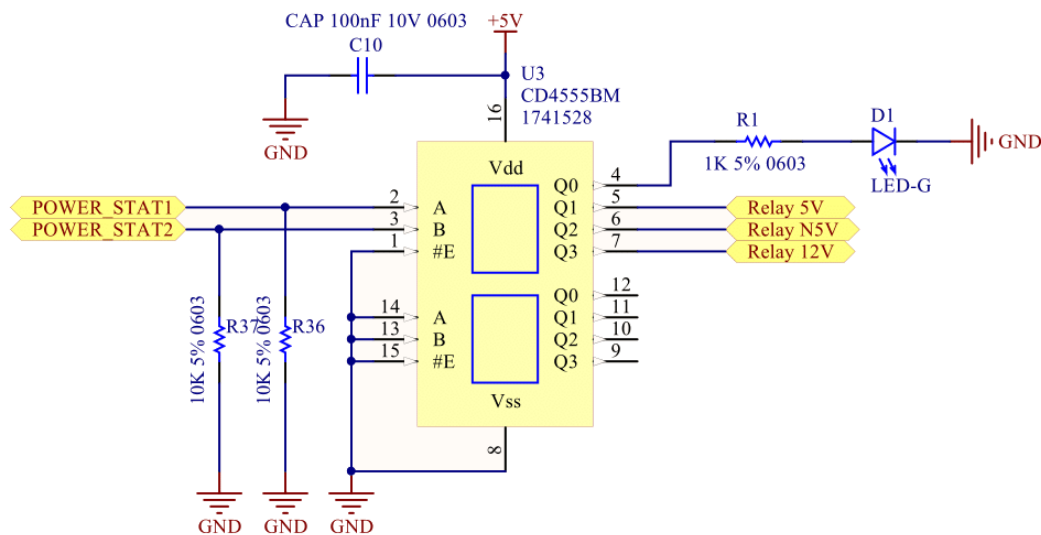
$I_f$  = požadovaný proud diodou [A]



Obr. 5.5. – Zapojení pro ovládání reléových spínačů.

Spínání reléových spínačů je realizováno pomocí tranzistoru typu MOSFET s N-kanálem. Cívka je přemostěna ochrannou diodou, která přebírá vedení proudu při vypnutí relé. Ovládací signál tranzistoru je přiveden přes rezistor, limitující maximální proud, na výstup demultiplexoru.

Dvoukanálový dekodér/demultiplexor CD4555 má na výstupech prvního kanálu připojeny tři relé pro změnu napětí popisovanou v předchozích odstavcích a jednu signalizační LED diodu. Na jeho vstup jsou přivedeny dva signály z řídicí platformy s názvem „POWER\_STAT1“ a „POWER\_STAT2“. Dekodér v závislosti na jejich stavech rozhoduje o výstupu podle pravdivostní tabulky na Obr. 5.7.



Obr. 5.6. – Schéma zapojení dvoukanálového dekodér CD4555.

Dekodér byl použit z důvodu nedostatku digitálních výstupů na řídicí platformě, jelikož umožňuje pomocí dvou signálů ovládat čtyři výstupy.

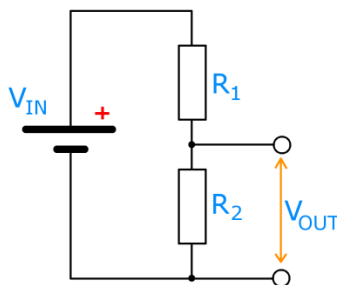
Vstup		Výstup			
POWER_STAT1	POWER_STAT2	GND	Relay 5V	Relay -5V	Relay 12V
0	0	1	0	0	0
0	1	0	1	0	0
1	0	0	0	1	0
1	1	0	0	0	1

Obr. 5.7. – Tabulka závislosti výstupu na vstupních signálech dekodéru CD4555.

## 5.6 Test správnosti osazení DPS

Chyb při osazení desky plošných spojů může vzniknout několik. Dokonce i v případě automatické osazovací linky může dojít k záměně osazovaných součástek. Četnost této chyby není příliš velká, nicméně závažnost je kritická. Frekventovanější chybou bývá výskyt studených spojů, vznikající při nedostatečném prohřátí pájky. Následkem je nefunkční spoj působící chybou a disfunkci zařízení. Další chybou může být zkrat vzniklý při pájení. Tento zkrat se projevuje jako slití cínu dohromady a je častější u součástek s menšími vývody, např. u mikrokontroléru.

Pro odhalení vad se bude testovat funkčnost jednotlivých bloků testované DPS. Dále se bude testovat osazení napěťových děličů. To se provádí naměřením hodnot na vstupu a výstupu napěťových děličů. Ze známých hodnot odporů a vstupního napětí se vypočítá výstupní napětí odporového děliče, které se porovná s referenční hodnotou.



Obr. 5.8. – Schéma napěťového děliče.

Napětí na výstupu děliče se spočítá dle rovnice:

$$V_{OUT} = V_{IN} * \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$V_{OUT}$  = výstupní napětí [V]

$V_{IN}$  = vstupní napětí [V]

$R_1, R_2$  = odpor rezistorů [Ω]

## 5.7 Test nabíjení baterie

Test nabíjení baterie je rozdělen do dvou částí. V první části testu se měří nabíjecí proud do baterie. Test probíhá na vybité baterii a měří se, zda je nabíjecí obvod schopný dodávat určité množství proudu pro správné nabíjení baterie.

V druhé části se testuje funkce nabíjecího obvodu. Použité baterie jsou typu Li-Ion/IMR. Jedná se o tvrdý zdroj proudu, který je oproti klasickým Li-Ion teplotně odolnější a nevýbušný. Je důležité při nabíjení baterií zajistit jejich správnou teplotu. K tomuto účelu zde slouží teplotní čidlo ve formě NTC termistoru. Čidlo je připojené k nabíjecímu obvodu, jehož funkcí je sledování teploty a odpojení nabíjení při překročení kritické teploty baterie. Teplotní interval nabíjení je 5–50 °C. Testování nabíjecího obvodu se provádí bez připojeného termistoru, ten je simulován pomocí digitálně-analogového výstupu.

Pro simulaci termistoru je nejprve přepočítána provozní teplota čidla na jeho odpor pomocí rovnice:

$$R_{(T)} = R_{ref} * e^{\left(A + \frac{B}{T} + \frac{C}{T^2} + \frac{D}{T^3}\right)}$$

$R_{(T)}$  = odpor termistoru při provozní teplotě [ $\Omega$ ]

$T$  = provozní teplota termistoru [K]

$R_{ref}$  = referenční hodnota odporu termistoru při teplotě 25 °C

$A, B, C, D$  = materiálové konstanty termistoru [–]

Teplotní čidlo je standardně napájeno z nabíjecího obvodu zdrojem konstantního proudu o hodnotě  $I_s = 50 \mu A$ . Pro simulaci přítomnosti termistoru je nutné na nabíjecí obvod přivést napětí o velikosti:

$$U_{DAC} = R_{(T)} * I_s$$

$U_{DAC}$  = napětí simulované pomocí DAC převodníku [V]

$R_{(T)}$  = odpor termistoru při provozní teplotě [ $\Omega$ ]

$I_s$  = proudu nabíjecího obvodu [A]

Nabíjecí obvod obsahuje dva logické výstupy informující o stavu nabíjení. Pomocí programu je zjišťován stav nabíjení při změně simulované teploty. Nejprve se přepočítá z rozsahu testovaných teplot teplota na napětí. Poté se po malých změnách mění napětí v požadovaném rozsahu, a když dojde k přerušení nabíjení, přepočítá se zpět napětí na teplotu, při které čip zareaguje.

K přepočítání napětí zpět na teplotu nejprve spočítáme odpor čidla:

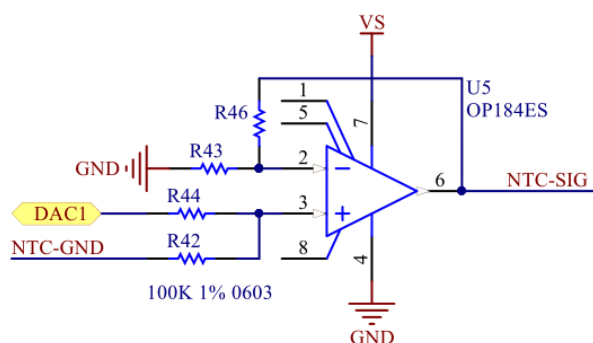
$$R_{(T)} = \frac{U_{DAC}}{I_s}$$

Poté ze známého odporu počítáme teplotu čidla:

$$T_{(R)} = \left( A_1 + B_1 * \ln \frac{R_{(T)}}{R_{ref}} + C_1 * \ln^2 \frac{R_{(T)}}{R_{ref}} + D_1 * \ln^3 \frac{R_{(T)}}{R_{ref}} \right)^{-1}$$

$T_{(R)}$  = teplota termistoru při provozním odporu [K]

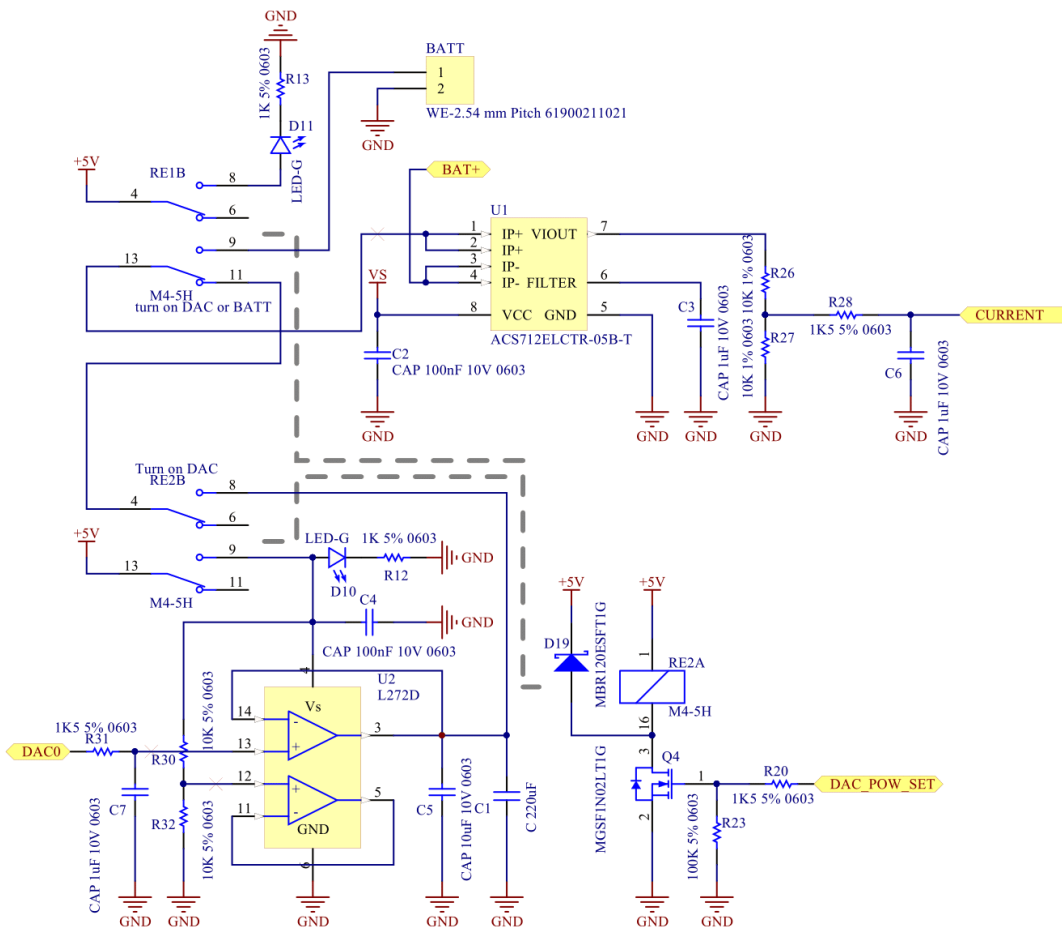
$A_1, B_1, C_1, D_1$  = materiálové konstanty termistoru [-]



Obr. 5.9. – Sumační zesilovač.

Pro přesné simulování nabíjecího obvodu je nutné zajistit signál referencovaný vůči zemi na DUT. Jelikož jsou obě země spojené pomocí pojistky, na které se vytváří napěťový úbytek, je nutné přidat do obvodu sumační zesilovač dle Obr. 5.9. Ten sčítá jejich napěťový rozdíl a přidává ho do výstupního signálu tak, aby byl referencovaný vůči zemi na DUT.

Ve spodní části schématu na Obr. 5.10. je vidět zapojení neinvertujícího operačního zesilovače s jednotkovým zesílením, sloužící pro proudové posílení DAC výstupu. Schéma dále obsahuje proudový senzor ACS712 pro měření nabíjecího proudu a dvojici reléových spínačů pro volbu napájení baterií, nebo DAC výstupem.



Obr. 5.10. – Schéma pro obsluhu testování nabíjení baterie.

## 5.8 Ověření funkčnosti firmwaru

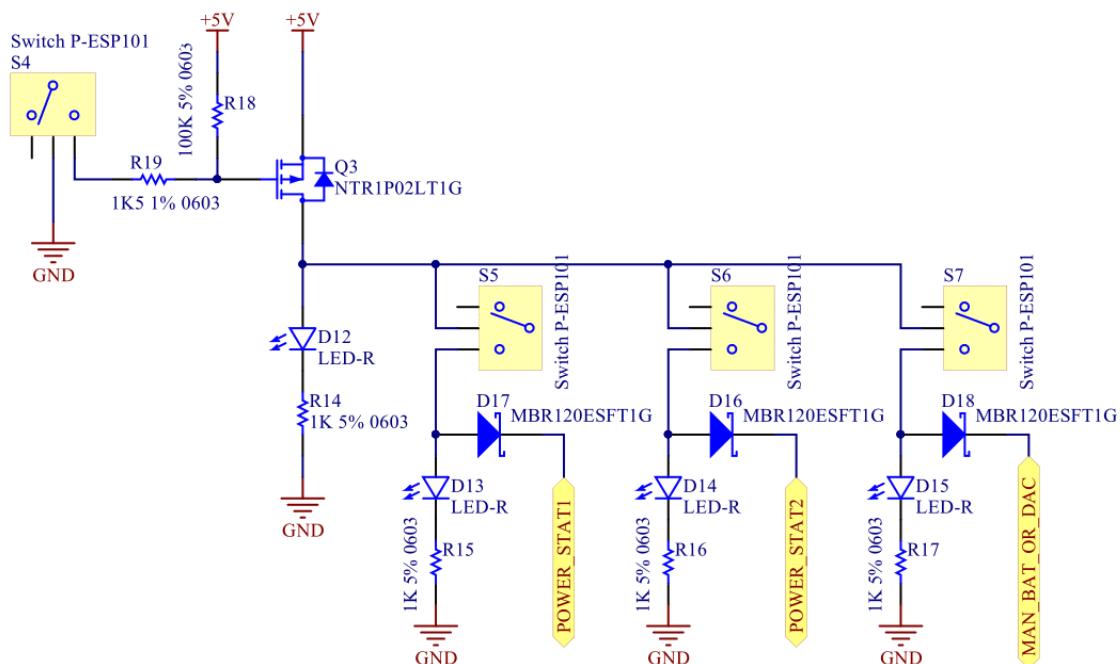
Ověření funkčnosti firmwaru spočívá v testování schopnosti aktivace a deaktivace produktu a v kontrole ovládání nastavitelných režimů. Proces testování aktivace a deaktivace je popsán v kapitolách 6.2. a 6.7.

Testované zařízení obsahuje dvě tlačítka pro ovládání. Krátkým stisknutím tlačítka se mění intenzita vibrování, dlouhým stisknutím tlačítka se volí režim vibrací. K přidání intenzity vibrací slouží pravé tlačítko, levým se vibrace snižují. Na stejném principu funguje i procházení režimů, s rozdílem délky stisku tlačítka.

Kontrola ovládání nastavitelných režimů spočívá ve výběru režimu a následném postupném změření střídy motorových výstupů. Po aktivaci se vibrátor zapne s přednastaveným lineárním režimem vibrací. Testovací skript nastaví nejmenší intenzitu vibrací a postupně prochází celý rozsah vibrací. V každém kroku změří střídu a uloží ji do seznamu hodnot. Po průchodu celým rozsahem skript vyhodnocuje podle referenčních hodnot, jestli daný režim funguje správně.

## 5.9 Manuální ovládání testovací elektroniky

Při odladování testovacího programu a firmwaru testovaného zařízení je vhodné mít off-line kontrolu nad vykonáváním určitých činností, které po odladění vykonává testovací skript. Z tohoto důvodu bylo navrženo následující schéma, které znázorňuje Obr. 2.1. Zapojení umožňuje ovládání všech napájecích prvků testovací jednotky.



Obr. 5.11. – Schéma zapojení manuálního ovládání.

Schéma obsahuje čtyři manuální přepínače, z nichž každý obsahuje LED diodu pro signalizaci jeho zapnutí. První přepínač je na DPS označen nápisem „OVERRIDE“ a slouží k přechodu do manuálního režimu ovládání. Další spínač nese označení „BATT ON“ a je určen pro manuální připojení baterie k DUT. Poslední přepínače s nápisem „PSEL1“ a „PSEL2“ slouží k nastavení napájecího napětí, které se pomocí pogo pinů přivádí na magnetické kontakty DUT. Kombinací zapnutí a vypnutí těchto přepínačů lze navolit tyto hodnoty napětí“ 0 V, +5 V, -5 V a +12 V.

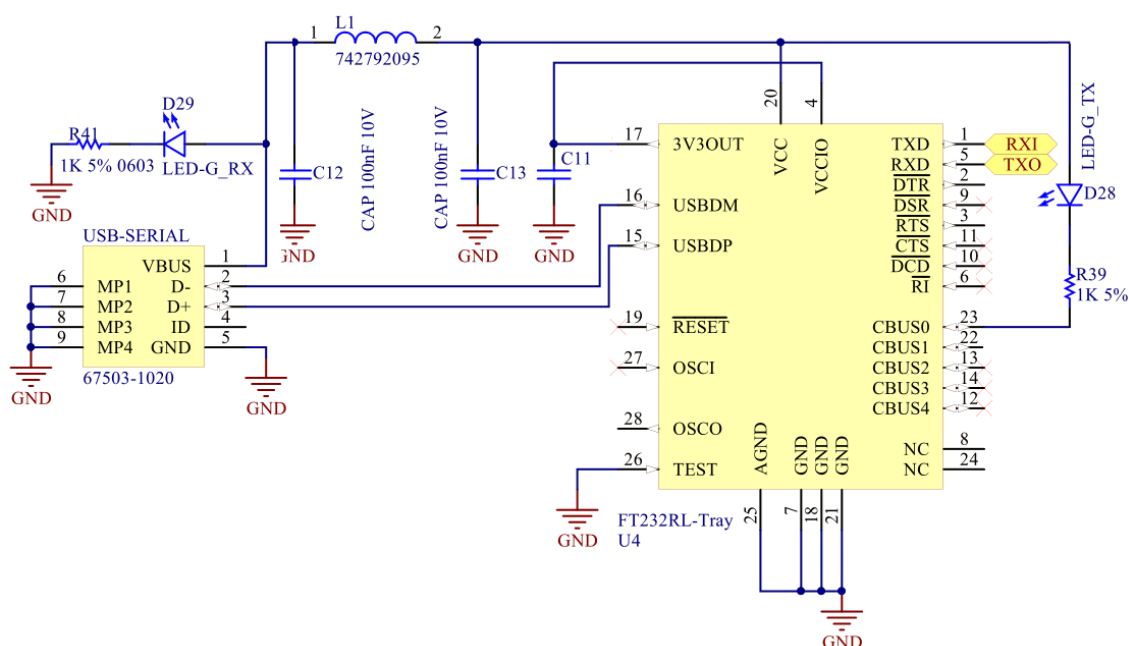
DUT obsahuje dvě vstupní ovládací tlačítka. Pro lepší přístup k jejich ovládání jsou na testovací jednotce vyvedeny dva mikrosřínáče, které umožňují simulaci řízení DUT. Vyvedení těchto spínačů předchází nechtěnému pohybu DUT v mechanickém loži a následnému přerušení kontaktu. Třetí mikrosřínáč umístěný na DPS testovací jednotky slouží pro resetování mikrokontroléru umístěného na DUT. Použité mikrosřínáče a přepínací tlačítka můžeme vidět na Obr. 5.12



Obr. 5.12. – Příklady použitých tlačítek a přepínačů.

## 5.10 Připojení mikrokontroléru k počítači

Testovací jednotka obsahuje převodník FT232RL převádějící rozhraní UART na USB. Tento obvod slouží pro vypisování informací o událostech probíhajících přímo na DUT a je určen pro ladící a servisní účely.

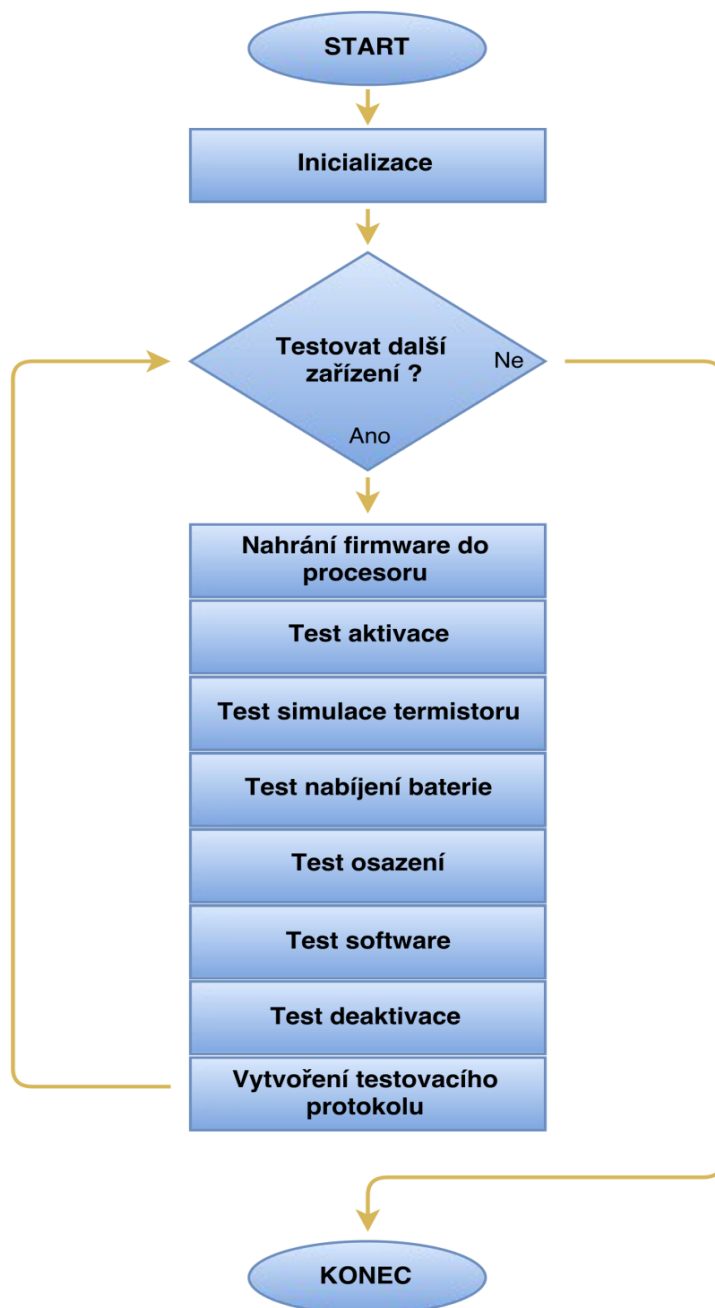


Obr. 5.13. – Schéma zapojení převodníku FT232RL k aplikaci.

Obr. 5.13. ukazuje schéma zapojení převodníku, který se propojuje s PC pomocí USB kabelu přes který je i napájen. Parazitní střídavá složka napětí je utlumena odrušovací tlumivkou. Obvod obsahuje LED diody pro signalizaci napájení a probíhající komunikace.

## 6 NÁVRH SOFTWARE PRO TESTOVACÍ PLATFORMU

Software obsluhující testování je vytvořen v jazyce Python z důvodu rychlosti vývoje a dostupnosti knihoven pro veškeré nástroje (LabJack, tiskárna, programátor). V následujících kapitolách jsou popsány jednotlivé testovací procedury přeepsané do pseudokódu. Podrobný průběh všech procedur je při testování logován do souboru.



Obr. 6.1. – Algoritmus testování produktů.

Blokové schéma testovacího algoritmu je vidět na obrázku Obr. 6.1. Ovládání testů a jejich výstupy jsou zobrazovány v příkazovém řádku. Po spuštění testů proběhne

inicializace. Připojí se testovací platforma, programátor a tiskárna, také se nastaví logování výstupů do souboru. Po úspěšné inicializaci se v příkazovém řádku zobrazí výzva pro spuštění testů. Po odsouhlasení se spustí automatická série testů. Jak jdou jednotlivé testy po sobě je patrné z Obr. 6.1. Po ukončení posledního testu se vytvoří testovací protokol a uloží se výsledek do souboru. Výsledný protokol je navíc vytištěn a putuje se zkompletovanou elektronikou dále výrobním procesem. Následně se celý proces opakuje s výzvou pro nové testování elektroniky. Před potvrzením musíme vždy vložit novou elektroniku do testovacího přípravku. V případě negativní odpovědi na výzvu se celý testovací proces ukončí. [20]

## 6.1 Nahrání firmwaru do procesoru

Pro programování mikrokontroléru na testované DPS byla vytvořena třída s názvem „Flasher“. Ta obsluhuje i automatické vybírání nejnovějšího firmware pro programování. V následující ukázce lze vidět pseudokód funkce „*flashing( )*“ pro nahrání firmwaru do procesoru.

1. ***Nahrání firmwaru do procesoru()***
- 2.
3.     *připojení baterie,*
4.     *zapnutí externího napájení,*
- 5.
6.     *zápis firmwaru do procesoru,*
- 7.
8.     *odepnutí baterie,*
9.     *vypnutí externího napájení,*

Funkce na počátku zapne napájení mikrokontroléru a připojí k němu baterii. Poté je spuštěno programování, po jehož úspěšném ukončení je vše uvedeno do původního stavu.

## 6.2 Test aktivace

1. ***Testování aktivace DUT***
- 2.
3.     *připojení baterie,*
4.     *zkouška zapnutí deaktivovaného zařízení,*
5.     *vyhodnocení*
- 6.
7.     *aktivace zařízení,*
8.     *zkouška zapnutí aktivovaného zařízení,*
9.     *vyhodnocení,*
- 10.
11.     *odepnutí baterie,*
12.     *vypnutí externího napájení,*

Mikrokontrolér je po naprogramování v deaktivovaném stavu. Test aktivace začíná zkouškou, při níž se ověřuje, zda zařízení nelze zapnout. Po potvrzení správné funkcionality se provádí samotná aktivace, která spočívá v přivedení napětí +5 V na napájecí vstup DUT. Zařízení se zapne a začne nabíjet, po skončení testu se vše uvede do původního stavu. Následující pseudokód nahrazuje funkci „*activation()*“.

### 6.3 Test simulace termistoru

Při nabíjení se může baterie přehřívat, což může způsobit nenávratné poškození. Pro její ochranu je nutné zamezit nabíjení při příliš vysokých teplotách. K tomuto účelu má DUT osazený nabíjecí obvod s termistorem, který měří teplotu. Nabíjecí obvod reaguje na přesně dané úrovně napětí naměřené na termistoru. V našem případě chceme, aby obvod nabíjel baterii v rozsahu teplot od 5 °C do 50 °C. Pro funkci v daném rozsahu hodnot musí být osazený správný termistor. Ten při testování funkce obvodu není přítomný. Je nahrazen simulovanou hodnotou napětí z DAC výstupu.

Na začátku testů se připojí baterie a zapne externí napájení. Skript si interně vytvoří množinu testovaných hodnot pro testování termistoru. Jde o dvě množiny, první je pro překročení horní hranice teploty a obsahuje hodnoty v rozsahu 35 – 80 °C a druhou pro překročení spodní hranice teploty v rozsahu -15 – 16 °C. Funkce „*set\_v\_on\_termistor()*“ prochází dané seznamy hodnot a přepočítává hodnoty teplot na napětí, které je simulováno na měřicích ploškách nabíjecího obvodu. Při průchodu seznamem se sleduje výstup nabíjecího obvodu, který signalizuje nabíjení. Poslední hodnota z každého seznamu, při které bylo ještě signalizováno nabíjení, se zaznamená a přepočítá se zpět na teplotu. Na konci testu se vytiskne výstup v podobě intervalu, ve kterém nabíjecí obvod funguje správně. Následující pseudokód odpovídá funkci „*termistor()*“.

1. **Simulování termistoru**
- 2.
3. *připojení baterie,*
4. *zapnutí externího napájení,*
- 5.
6. *výpočet požadovaného napětí pro simulaci termistoru,*
7. *kontrola nabíjení baterie při simulování teplot v rozsahu: 15 – 80 °C,*
8. *vyhodnocení,*
- 9.
10. *odepnutí baterie,*
11. *vypnutí externího napájení,*

## 6.4 Test nabíjení baterie

Dalším testem nabíjecího obvodu je měření nabíjecího proudu. Ten by neměl klesnout pod minimální hodnotu proudu. Prvním krokem je připnutí baterie k zařízení. Dále se simuluje teplota termistoru na hodnotu 25 °C, aby nabíjecí obvod neblokoval nabíjení. Poté se změří proud, který odebírá testované zařízení z baterie. Dále se připojí napětí +5 V pro nabíjení a opětovně se změří velikost proudu, který teče do zařízení. Hodnoty proudu se odečtou. Nakonec se kontroluje, jestli je výsledný nabíjecí proud ve správném rozmezí.

1. **Test nabíjení baterie**
- 2.
3. *připojení baterie,*
4. *simulace 25°C teploty termistoru,*
- 5.
6. *měření proudu naprázdno,*
7. *zapnutí externího napájení,*
8. *vyhodnocení,*
- 9.
10. *odepnutí baterie,*
11. *vypnutí externího napájení,*

## 6.5 Test osazení

Tento test pomáhá odhalit špatně osazené komponenty. Zaměřujeme se na napět'ové děliče. Při testování měříme vstupní napětí a výstupní napětí na dvou napět'ových děličích. Dále pomocí známých odporů a vstupního napětí vypočteme hodnotu na výstupu. Porovnáním vypočtené a naměřené hodnoty s uvažováním 5% chyby zjišťujeme správnost testu.

1. **Test osazení napět'ových děličů**
- 2.
3. *zapojení externího napájení,*
4. *měření napětí na vstupu a výstupu napět'ových děličů,*
- 5.
6. *výpočet napětí na výstupu napět'ových děličů,*
7. *porovnání vypočítaných a naměřených hodnot,*
8. *vyhodnocení,*
- 9.
10. *vypnutí externího napájení,*

## 6.6 Test softwaru

Nejprve se připojí baterie a zapne se zařízení. První kontrolou softwaru je zapnutí. K tomu stačí zmáčknout obě tlačítka zároveň. Zařízení se zapne, signalizační led dioda začne svítit zeleně a spustí se vibrační motorčky. Je možné ovládat tři vibrační režimy,

každý v pěti intenzitách. Procházení a nastavení intenzity vibrací umožňují dvě tlačítka. Další ověření softwaru je založeno na kontrole funkčnosti procházení režimy a měření odezvy motorů. Testovací jednotka nastaví zařízení na lineární režim vibrací a intenzitu zmenší na minimum. Dále se změří odezva motorů a zvětší se intenzita vibrací. Tento postup se opakuje až do nejvyšší nastavitelné intenzity. Z těchto hodnot se vyhodnocuje správné nastavení režimu a funkce motorů.

#### **11. Test softwaru**

- 12.
13. *připojení baterie,*
14. *zkouška zapnutí zařízení,*
- 15.
16. *nastavení testovacího režimu,*
17. *nastavení nejnižších intenzity vibrací,*
18. *postupné měření celého rozsahu,*
19. *vyhodnocení,*
- 20.
21. *vypnutí testovaného zařízení,*
22. *vypnutí zařízení,*
23. *odepnutí baterie,*

## **6.7 Test deaktivace**

Zařízení je nutné deaktivovat z důvodů pozdějších výrobních operací. V další výrobní fázi dochází k jeho zastříknutí do silikonu. Zapnutí zařízení během zastříkávání by bylo destruktivní. Zejména vibrující motorky by mohly způsobit špatné usazení výrobku ve formě.

Na začátku deaktivace se opět připojí baterie k zařízení. Poté se zapne zařízení. Následně se po dobu nejméně tří sekund připojí na napájecí plošky napětí 12 V. To vyvolá v zařízení podnět pro deaktivaci. Po ní se ještě testuje, jestli jde zařízení zapnout, aby se ověřila funkčnost deaktivace. Na konec se ukládají výsledky testu do souboru.

#### **24. Testování deaktivace DUT**

- 25.
26. *připojení baterie,*
27. *zkouška zapnutí zařízení,*
28. *vyhodnocení*
- 29.
30. *deaktivace zařízení,*
31. *zkouška zapnutí deaktivovaného zařízení,*
32. *vyhodnocení,*
- 33.
34. *odepnutí baterie,*
35. *vypnutí externího napájení,*

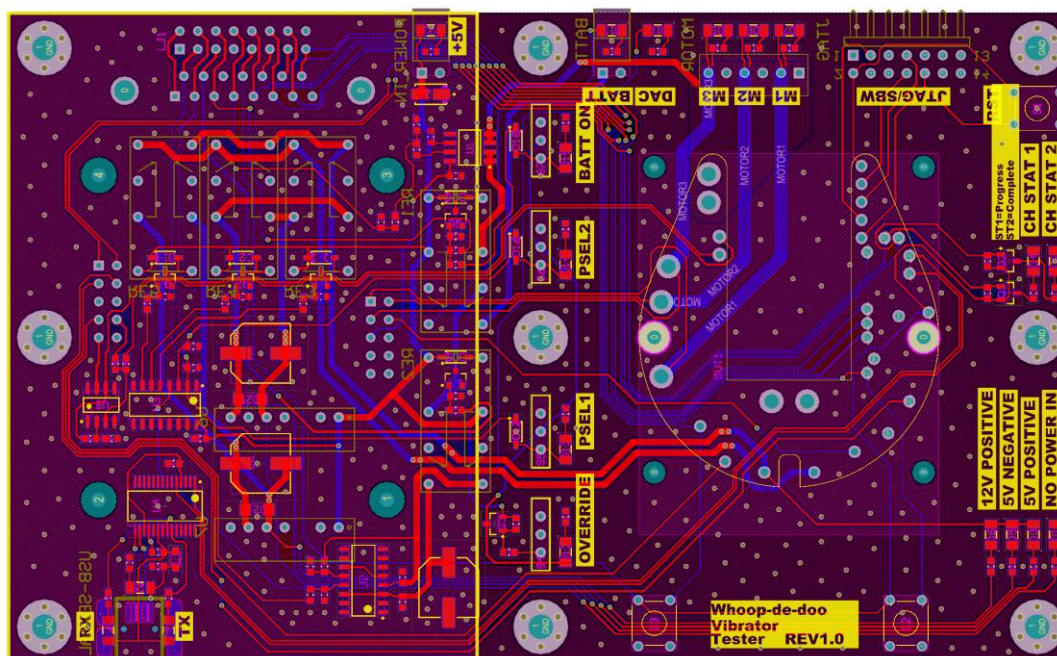


## 7 REALIZACE TESTOVACÍ JEDNOTKY

Tato kapitola popisuje realizaci testovací jednotky. Na úvod bude vysvětlen návrh její DPS, poté bude popsána tvorba konstrukčních prvků a nakonec si představíme koncovou podobu testovací jednotky.

### 7.1 Návrh a realizace DPS

Na Obr. 7.1 je zobrazena DPS navržené testovací jednotky. Levá část je uzpůsobena pro připevnění nadřazené řídicí platformy. Ta se připojuje pomocí konektorů vyvedených zespodu a pomocí patnácti pinového konektoru typu D-sub15, který je umístěn vepředu. Propojení předního konektoru je nutné provést krátkým kabelem. V této části můžeme nalézt dva napěťové měniče a reléové spínače. Nakonec je zde umístěn převodník rozhraní UART-USB pro komunikaci s mikrokontrolérem na DUT. Většinu druhé části navrhované DPS zabírá místo pro testovanou elektroniku, jejíž obrys je naznačen tenkou čarou. Dále zde najdeme veškeré konektory pro připojení napájení, baterie, programátoru a také je zde konektor pro externí motory. V této části nalezneme veškeré přepínače pro režim manuálního ovládání a LED diody pro signalizaci aktivních stavů. Důmyslné rozmístění součástek doplňují vysvětlující popisky.



Obr. 7.1. – DPS testovací jednotky.

Deska elektroniky byla navrhována jako oboustranná. Pro návrh byl použit program Altium Designer. Výhoda tohoto programu je ve výborné podpoře 3D návrhu.

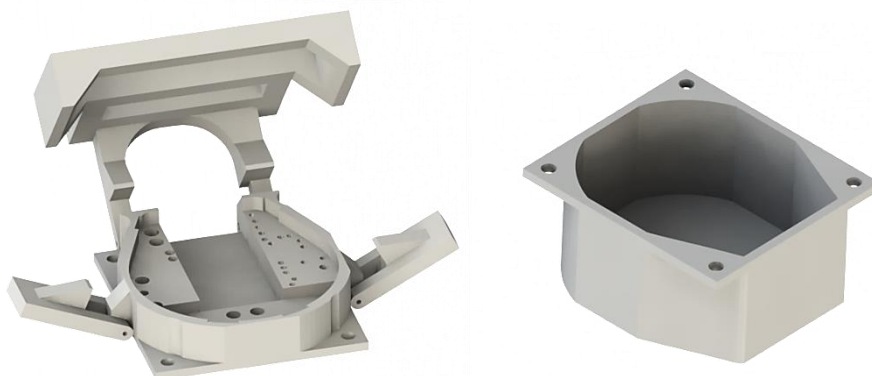
Součástky na elektronickou desku budou pájeny technologií přetavením cínu (tzv. Reflow soldering), proto byla pouzdra součástek volena s ohledem na možnost povrchové montáže (SMT). Velikost pasivních komponent, jako jsou rezistory a kondenzátory, byla zvolena 0603.

## 7.2 Návrh konstrukčních prvků

Mechanické spojení mezi testovací jednotkou a DUT je pomocí pogo pinů. S tímto provedením elektrického spoje jsme se seznámili v kapitole 3.2.3. Pro správnou funkčnost spoje byly definovány požadavky na vytvoření podpurných mechanických prvků. Jde o následující:

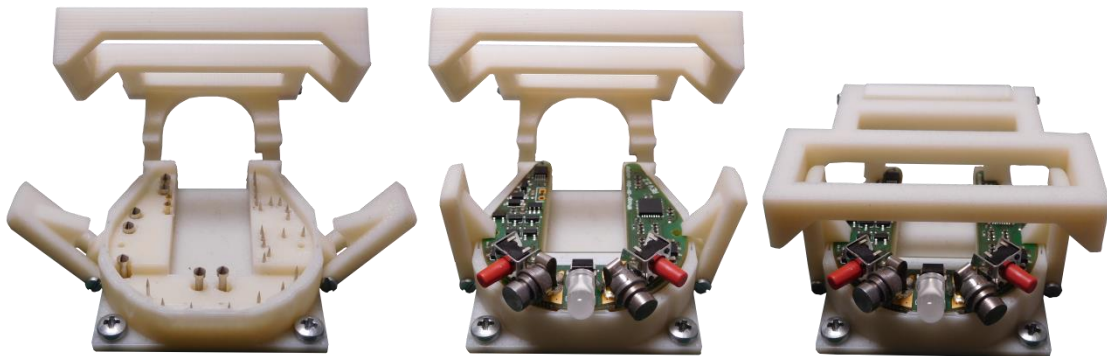
1. zajištění testované elektroniky v definované poloze,
2. zajištění stálého elektrického kontaktu,
3. možnost rychlé výměny testované elektroniky za novou,
4. mechanická odolnost,
5. jednoduchost a opakovatelnost použití.

Jelikož jsou testovací plošky značně drobné, je nutné zajistit minimální vůli mezi elektronikou a podpurným lůžkem. Prvním krokem bylo exportování tvarů elektroniky z modelu. Tento tvar bylo nutné trochu změnit v závislosti na technologii výroby elektronických desek. V případě sériové výroby s osazením součástkami bylo nutné navíc přichystat v podpurném lůžku místo pro zbytky můstků, kterými elektronické desky držely pohromadě v rámci panelu. Dalším krokem byl export souřadnic testovacích plošek pro rozmístění děr v návrhu. Nakonec se navrhoval způsob upevnění elektronické desky na určeném místě.



Obr. 7.2. – Mechanická podpora výrobku (vlevo) a ochrana proti poškození (vpravo).

Na Obr. 7.2 vlevo můžeme vidět finální návrh podpůrného lůžka. Jelikož pogo piny vystupují na spodní straně DPS přibližně 3cm pod okraj, je nutné zajistit je proti případnému poškození. Piny jsou dlouhé a nevynikají velkou tuhostí a mechanickou odolností, což při nechtěné manipulaci může snadno vést k jejich vychýlení či nalomení a následnému přerušení elektrického spoje nebo zkratu. Tato vada se těžce odhaluje a ještě hůře opravuje. K předcházení tomuto problému byla vytvořena kapsa zabezpečující ochranu pogo pinů. Kapsa je umístěna na spodní straně testovací jednotky a můžeme ji vidět na Obr. 7.2 vpravo.

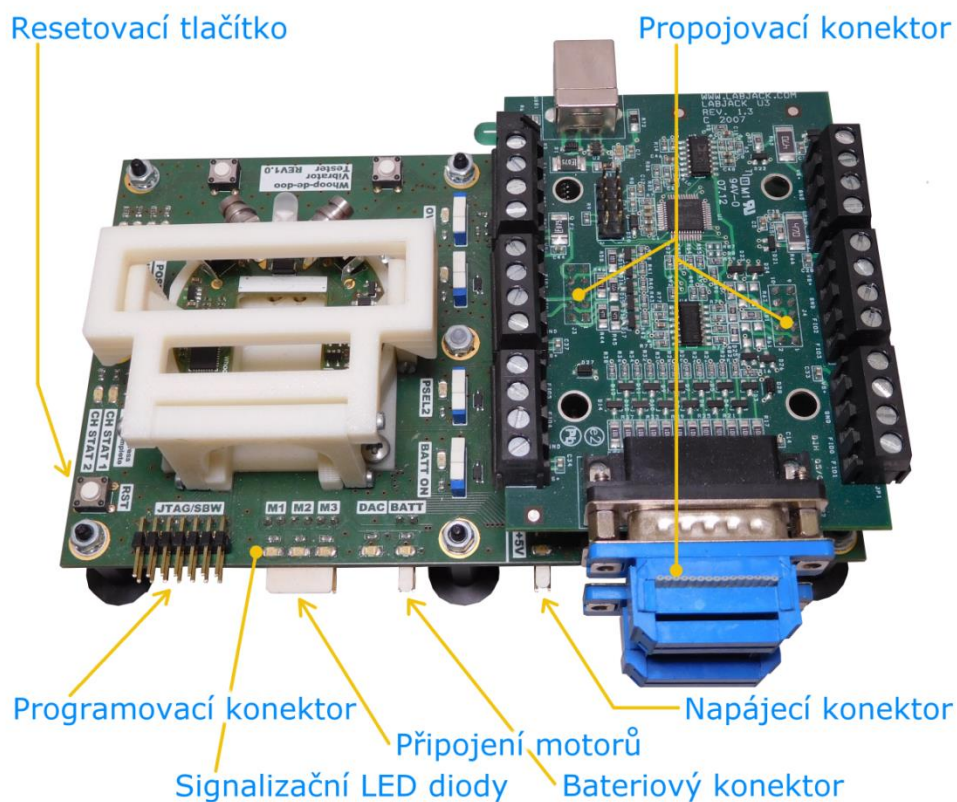


*Obr. 7.3. – Příklad upínání výrobku do platformy při testování.*

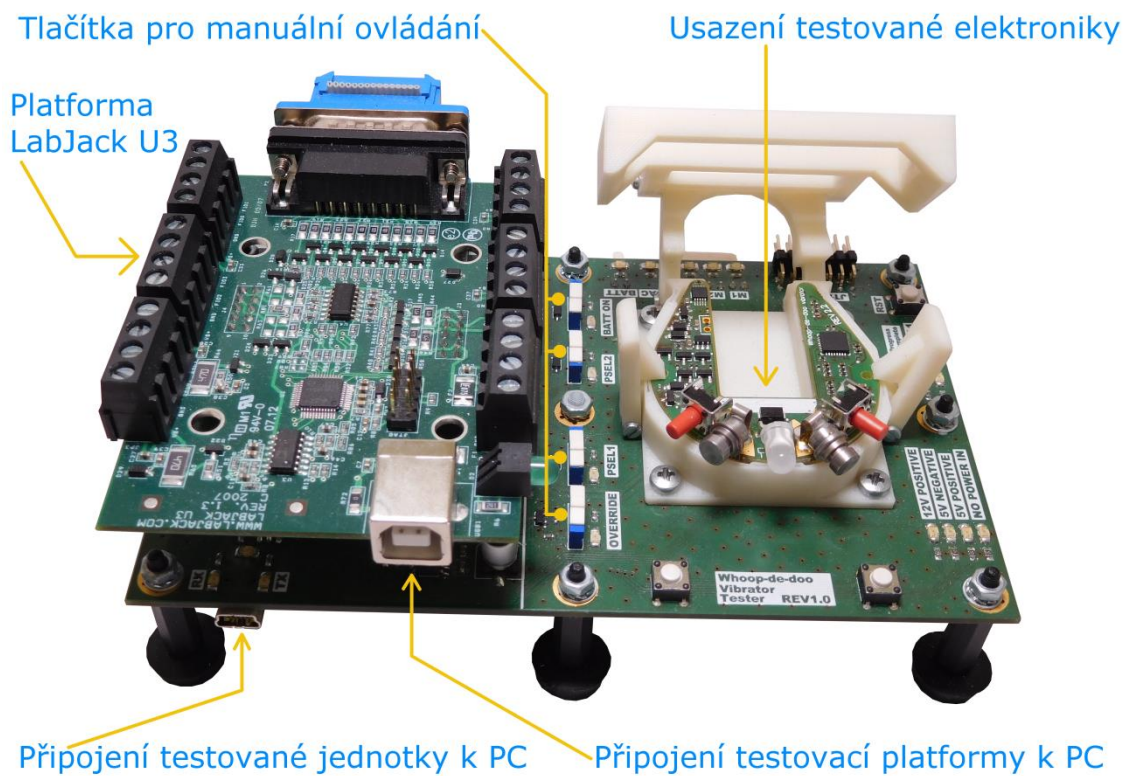
Na obrázku Obr. 7.3. je vidět celkový způsob upevnění a zavírání testované elektroniky v přípravku. Vlevo je vidět vyrobená mechanická podpora s osazenými pogo piny. Prostřední obrázek znázorňuje vložení DUT do přípravku a na posledním obrázku vidíme celkové zajištění testované elektroniky na místě. Všechny mechanické prvky byly konstruovány v prostředí SolidWorks pro technologii výroby 3D tiskem.

### **7.3 Finální testovací jednotka**

Obr. 7.4 a Obr. 7.5 znázorňují finální podobu testovací jednotky s kompletním osazením mechanických a elektronických prvků. Řídicí platforma LabJack je usazena v testovací jednotce pomocí spojovacích konektorů vyvedených ze spodu. DPS testovaného zařízení je vloženo do podpůrného lůžka, které obklopují signalizační LED diody pro zobrazení pracovních stavů. Manuální ovládací tlačítka jsou umístěny uprostřed testovací jednotky, aby nepřekážely při běžném používání. Veškeré konektory jsou rozmístěny ergonomicky s ohledem na jejich funkci.



Obr. 7.4. – Finální testovací jednotka – pohled zezadu.



Obr. 7.5. – Finální testovací jednotka – pohled zepředu.

## 7.4 Testovací pracoviště

Automatické testovací pracoviště můžeme vidět na Obr. 7.6. Pracoviště se skládá z testovací jednotky, počítače a tiskárny.



Obr. 7.6. – Realizované testovací pracoviště.

### 7.4.1 Popis testovacího pracoviště

Automatický způsob testování má zajistit zrychlení funkčních a výstupních testů. Testovací pracoviště je popsáno v následujících bodech:

- Testovací pracoviště je řízeno z PC.
- Testovací software je implementován v jazyku Python.
- Pro ladící účely je možné testovací platformu ovládat manuálně.
- Testovací pracoviště zajišťuje ukládání výsledků do databáze.
- Elektronická deska je vkládána do testovacího přípravku a v němž je upevněna pomocí mechanických prvků. Ty zajistí přesnou polohu testované elektroniky pro správné elektrické propojení s testovací jednotkou.
- Součástí testovacího pracoviště je tiskárna pro tisknutí testovacích protokolů.

## 7.5 Ovládání testovací jednotky

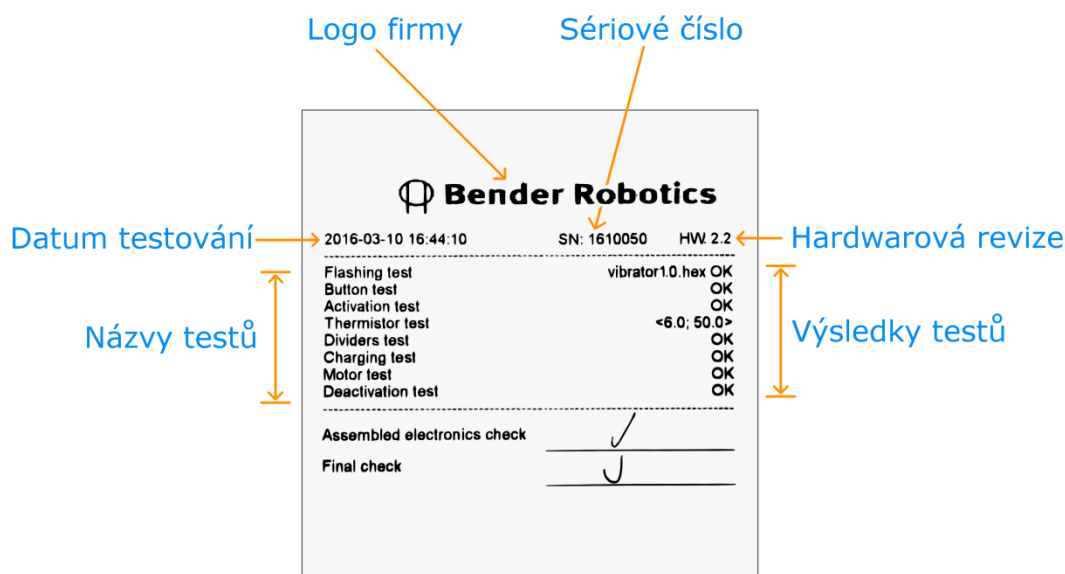
Testovací platformu lze ovládat dvěma způsoby. Prvním způsobem je automatické ovládání. Zařízení je při něm ovládáno pomocí počítače, na kterém běží řídicí program. Řídicí program byl popsán v 6. kapitole. Tento způsob je určen pro běžné testování. Druhým způsobem je manuální ovládání. Manuální ovládání je popsáno v kapitole 5.9., a je určeno pouze pro ladící účely.

## 7.6 Tvorba sériového čísla

Každému zařízení je po úspěšném otestování přiděleno unikátní sériové číslo. To může být například: „1602001“. První dvojčíslí, v našem případě 16, určuje rok výroby (2016). Druhé dvojčíslí označuje číslo kalendářního týdne výroby. Poslední tři čísla jsou určena pro zaznamenání pořadí výrobku, přičemž první testovaný produkt nese číslo 001. Toto sériové číslo umožňuje zaznamenat maximálně 999 testovaných produktů za týden, což je dostatečný počet.

## 7.7 Tisknutí výsledků

Průběh testování je zaznamenáván programem a po dokončení testů je vytištěn testovací protokol. Příklad takového protokolu můžeme vidět na Obr. 7.7. V záhlaví protokolu najdeme logo firmy Bender Robotics, pod ním je vidět čas a datum testování, dále sériové číslo a revize hardwaru. V další části jsou jednotlivé testy. Vlevo vždy název testu, vpravo je výsledek. Testy jsou seřazeny dle pořadí, v jakém probíhají. Po otestování produktu se ještě provádí dokončovací montážní práce na produktu a vizuální kontrola. Právě kvůli tomu jsou zde dvě volná políčka. Ty vyplní pracovník po dokončení prací na produktu. Poté se připravený produkt s testovacím protokolem zabalí a odešle k zastříknutí silikonem.



Obr. 7.7. – Testovací protokol.

Pro automatické tisknutí protokolů je použita tiskárna Zebra TTP 7030. Tuto tiskárnu můžeme vidět na Obr. 7.8. Jde o tiskárnu pracující na principu termotisku (tisk na teplotlivý materiál). Tiskárna je ideální pro tisknutí čárového kódu, potisk etiket

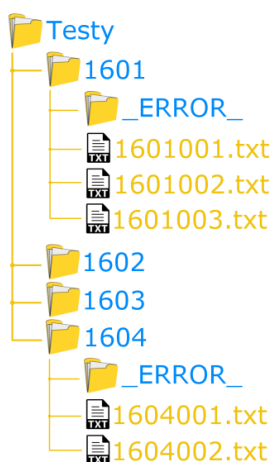
nebo jiného spotřebního materiálů grafikou či jinými údaji. Je navržena pro náročné tiskové aplikace v průmyslovém prostředí. Pro tisknutí protokolů a ovládní tiskárny byl napsán modul v jazyce Python. [21]



Obr. 7.8. – Termotiskárna Zebra TTP 7030. [21]

## 7.8 Ukládání výsledků do databáze

Byl vytvořen skript, který zajišťuje automatické vytváření složek a podsložek tak, aby byly výsledky testů snadno dohledatelné a přehledné. Na Obr. 7.9 je vidět názorná ukázka struktury databáze. Složka „Testy“ obsahuje veškeré informace o ukončených testech (úspěšných i neúspěšných). Skládá se ze složek, které jsou pojmenovány podle prvních číslic sériového čísla. Jde z nich snadno přečíst rok a kalendářní týden testování. Každá z těchto složek obsahuje textové soubory pojmenované konkrétním sériovým číslem. Textové soubory obsahují kompletní záznam z testování. Složky dále obsahují podsložku „\_ERROR\_“, která obsahuje veškeré informace o produktech, které neprošly testem. Těmto produktům dosud nebylo přiřazeno sériové číslo a čekají na opravu, nebo vyřazení z výroby. Díky této struktuře je možné snadno dohledat informace o testovaném produktu.

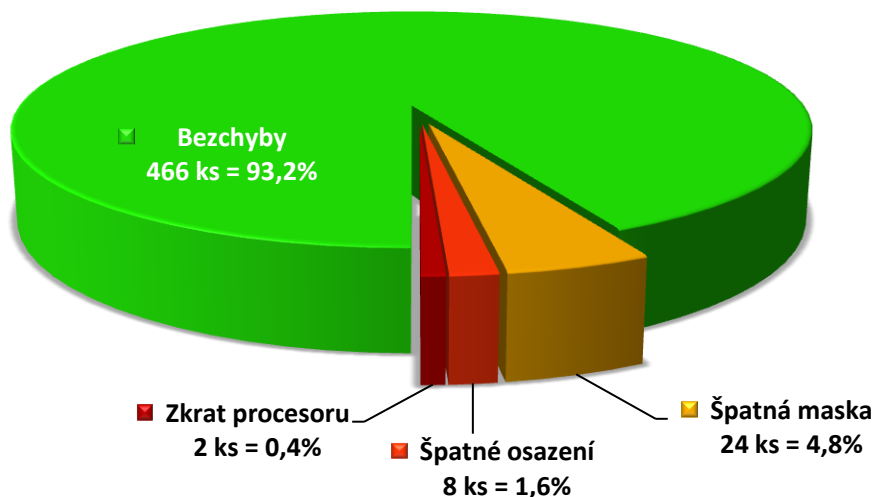


Obr. 7.9. – Struktura ukládání výsledků do souborů.

## 7.9 Výskyt chyb

Testovací procedura pomohla odhalit několik různých vad, které budou popsány v následujících podkapitolách. Z testovaného množství 500 ks bylo nalezeny přibližně dvě procenta kritických vad ovlivňujících funkci testovaného zařízení. Z těchto vad bylo častější špatné osazení elektronických součástek, méně frekventovanou závadou byl zkratovaný mikrokontrolér. V obou případech šlo o odstranitelné závady. Dále byla přibližně u pěti procent testovaných elektronik objevena neodstranitelná závada nepájivé masky. Tato závada nebrání funkčnosti zařízení, nicméně vyžaduje specifickou pozornost při pájení a testování. Následující obrázek znázorňuje četnost nalezených vad.

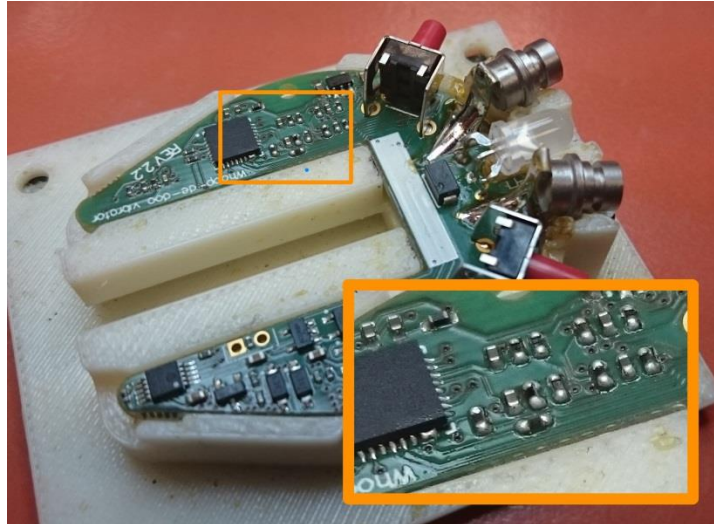
### Graf četnosti nalezených vad



Obr. 7.10. – Graf četnosti nalezených vad.

### 7.9.1 Zkratovaný mikrokontrolér

Pouze u dvou kusů DUT (0,4 %) byla shledána závada zkratovaného mikrokontroléru. Závada je pro funkčnost kritická a vznikla pravděpodobně při nanášení pájecí pasty na DPS, která se dávkuje pomocí přiložení speciálního filmu o určité tloušťce. Při dávkování pasty došlo zřejmě k nadzvednutí filmu, díky čemuž se na DPS dostalo větší množství pájecí pasty. Díky přítomnosti většího množství pasty došlo při jejím přetavení ke slítí cínu a vytvoření zkratů. Tento jev je pravděpodobnější u součástek s menšími mezerami mezi vývody například u integrovaných obvodů, jak můžeme vidět na Obr. 7.11. Větší množství pájecí pasty také ovlivňuje při pájení tzv. „plavání“ součástek. Následkem může být jejich špatné usazení nebo úplné nadzvednutí. Tato závada byla odstraněna odsátím cínu z postihnutých míst.

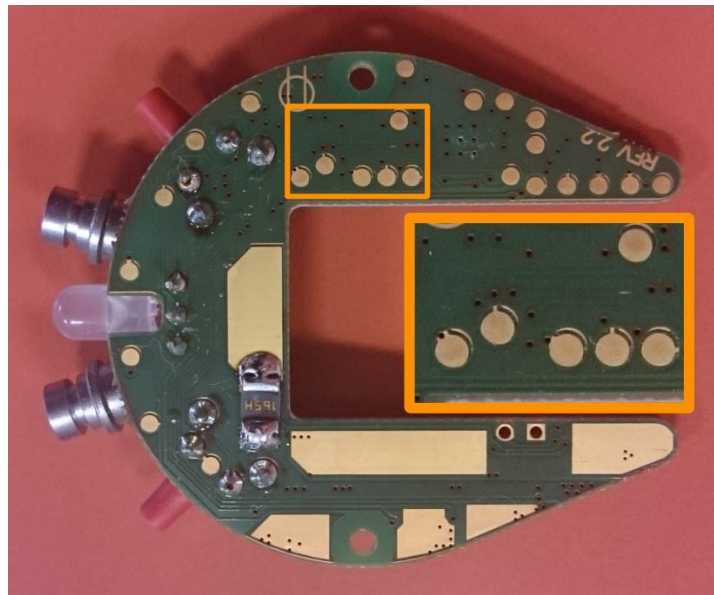


*Obr. 7.11. – Ukázka chyby*

### **7.9.2 Nepřesné nanesení nepájivé masky**

Bylo nalezeno 24 ks elektronických desek se špatně nanesenou nepájivou maskou. Z Obr. 7.12. je patrné, že nepájivá maska odhalila u každého testovacího bodu a pájecí plošky část rozlité mědi vyvedené na společnou zem. Přestože tato neopravitelná závada není kritická, může ovlivnit jak testování, tak i pájení. Při obou procesech může dojít ke zkratu libovolného vodiče se zemí.

Jelikož nalezené množství zmetků odpovídá počtu zařízení v jednom panelu, je zřejmé, že byl špatně vyroben pouze jeden panel.



*Obr. 7.12. – Ukázka nepřesně nanesené nepájivé masky.*

### **7.9.3 Záměna elektronických součástek**

Během testování bylo odhaleno osm kusů (1,6 %) DUT se špatně osazenými některými elektronickými součástkami. Ve většině případů šlo o záměnu rezistoru s kondenzátorem nebo špatně osazené hodnoty rezistorů u dvoubarevné LED diody. Vadné elektroniky šly jednoduše opravit. Příčina této závady není známá, jelikož osazování elektronických desek probíhalo plně automaticky.

## 8 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout testovací jednotku pro malosériovou výrobu. Veškeré úkoly stanovené v zadání se mi podařilo v plné míře splnit. Realizované testovací pracoviště splňuje veškeré požadavky na něj kladené.

Jelikož testování probíhá automaticky, byly v rešeršní části této diplomové práce popsány vybrané metody automatického testování elektroniky, jejich výhody, nevýhody a uplatnění v jednotlivých fázích výrobního procesu. Teoretická část se dále zabývá volbou řídicí platformy a provedením připojení testovaného zařízení k testovací jednotce.

V praktické části popisují koncepci a realizaci testovací jednotky. Testovací pracoviště se skládá z testovací jednotky, notebooku a tiskárny. Základem testovací jednotky je zařízení LabJack, které obsahuje veškeré analogové i digitální periferie potřebné pro její realizaci. Další důležitou komponentou testovacího pracoviště je osobní počítač, který slouží pro spouštění testovacího programu, ukládání výsledků do databáze a generování testovacích protokolů. Testovací program byl implementován ve skriptovacím jazyce Python, stejně tak i komunikace s perifériemi. Výhodou použití Pythonu je dostupnost ovladačů ke všem použitým komponentům (LabJack, tiskárna, programátor).

Testovací jednotka byla ověřena během testování 500 kusů elektronických desek. Z testovaného množství vykazovaly dvě procenta testovaných elektronik kritickou závadu. Šlo o chyby špatně osazených elektronických komponent nebo zkratovaného mikrokontroléru. Dále bylo objeveno u přibližně pěti procent testovaných zařízení nepřesné nanesení nepájivé masky. Tato vada nebrání funkčnosti zařízení, nicméně vyžaduje specifickou pozornost při pájení a testování. Veškeré nalezené závady prokazují funkčnost testovací jednotky.

Navržené testovací pracoviště bude nadále využito ve společnosti Bender Robotics, s.r.o. pro testování dalších sérií testovaného zařízení. Díky zautomatizování procedur došlo k výraznému snížení času potřebného pro vykonání výstupních testů.

Význam této práce pro mě nespočívá pouze v rovině splnění požadavků na vývoj testovací jednotky. Nezanedbatelný přínos pro mne rovněž znamená získání zkušeností s návrhem testovacího pracoviště. Tato práce mi umožnila prakticky využít a dále prohloubit znalosti základních principů návrhu elektronických systémů získané dosavadním studiem.



## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. **SCHEIBER, STEPHEN F.** *Building a successful board-test strategy*. s.l. : Butterworth-Heinmann, 2001. 0-7506-7280-3.
2. **JORGENSEN, Paul.** *Software testing*. Boca Raton : Auerbach, 2008. ISBN 0-8193-7475-8.
3. **ZEMEK, Petr.** *petrzemek.net*. [Online] January 17, 2010. [Cited: May 10, 2016.] <http://cs-blog.petrzemek.net/node/65>.
4. **HLAVA, Tomáš.** Testování softwaru. *testovanisoftware.cz*. [Online] 8. 21., 2011. [Cited: May 10, 2016.] <http://testovanisoftware.cz/tag/urovne-testovani/#system>.
5. **POOLE, I.** Automatic optical inspection (AOI). *www.radio-electronics.co*. [Online] [Cited: April 22, 2016.] [http://www.radio-electronics.com/info/t\\_and\\_m/ate/aoi-automatic-automated-optical-inspection.php](http://www.radio-electronics.com/info/t_and_m/ate/aoi-automatic-automated-optical-inspection.php).
6. **I., POOLE.** Automated X-Ray Inspection AXI for PCB & BGA. *www.radio-electronics.com*. [Online] [Cited: April 20, 2016.] [http://www.radio-electronics.com/info/t\\_and\\_m/ate/automated-x-ray-inspection-pcb-bga.php](http://www.radio-electronics.com/info/t_and_m/ate/automated-x-ray-inspection-pcb-bga.php).
7. **BRINDLEY, K.** *Automatic test equipment*. Boston : Newnes, 1991. ISBN 07-506-0130-2.
8. In-Circuit method of testing electronic device. *www.spea.com*. [Online] [Cited: April 19, 2016.] <http://www.spea.com/Portals/0/SPEANewsTemplates/Generic.aspx?pItemId=89&pModuleId=844&pViewType=AllPress>.
9. Testování pomocí Boundary scan. *www.automatizace.hw.cz*. [Online] [Cited: April 26, 2016.] <http://automatizace.hw.cz/clanek/2006110501>.
10. Diagnostika a testování elektronických systémů. *www.umel.feec.vutbr.cz*. [Online] [Cited: April 23, 2016.] <http://www.umel.feec.vutbr.cz/bdts/index.php/embedded-systemy/pristupy-k-testovani>.
11. **SZENDIUCH, I.** Optická inspekce. *www.umel.feec.vutbr.cz*. [Online] [Cited: April 23, 2016.] [http://www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/vyuka/bmts/10a\\_opticka\\_inspekce.pdf](http://www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/vyuka/bmts/10a_opticka_inspekce.pdf).
12. **Cnx-software.** Řídicí jednotka. *www.cnx-software.com*. [Online] August 6, 2013. [Cited: 4 16, 2016.] <http://www.cnx-software.com/2013/08/06/ni-myrio-is-an-education-platform-powered-by-xilinx-zynq-z7010/>.
13. **Redakce HW.** Platforma Labjack. *www.vyvoj.hw.cz*. [Online] May 15, 2006. [Cited: April 5, 2016.] <http://vyvoj.hw.cz/produkty/usb-merici-karta-labjack-u3.html>.
14. **LabJack corporation.** LabJack U3-HV. *www.labjack.com*. [Online] [Cited: April 5, 2016.] <https://labjack.com/support/datasheets/u3>.
15. **JONES, David L.** PCB Production Testing. *www.eevblog.com*. [Online] March 10, 2014. [Cited: April 18, 2016.] <https://www.eevblog.com/2014/03/10/eevblog-588-how-to-do-pcb-production-testing/>.
16. **Bentec Components.** Testing unit. *www.bentec.com*. [Online] [Cited: March 22, 2016.] <http://bentec.com/Products.aspx?type=M>.

17. **Bender Robotics.** *www.benderrobotics.com.* [Online] [Cited: April 2, 2016.] <http://www.benderrobotics.com/index.html>.
18. **Různí autoři.** Pogo pin. *www.en.wikipedia.org.* [Online] March 17, 2016. [Cited: April 12, 2016.] [https://en.wikipedia.org/wiki/Pogo\\_pin](https://en.wikipedia.org/wiki/Pogo_pin).
19. **Texas Instruments.** MSP430 programmer and debugger. *www.ti.com.* [Online] February 22, 2016. [Cited: March 3, 2016.] <http://www.ti.com/tool/msp430-flasher#descriptionArea>.
20. Unit testing framework. *www.docs.python.org.* [Online] [Cited: February 2, 2016.] <https://docs.python.org/2/library/unittest.html>.
21. **Zebra Technologies.** Zebra TTP 7030 printer. *www.zebra.com.* [Online] [Cited: April 2, 2016.] <https://www.zebra.com/content/dam/zebra/manuals/en-us/printer/ttp7030-tm-en.pdf>.
22. **MORRIS, ALAN S.** *Measurement and instrumentation: Theory and application.* United Kingdom : Elsevier Science & Technology, 2011. 0123819601.
23. **AUSTIN.** Platforma myRIO. *www.ni.com.* [Online] National Instruments, August 8, 2013. [Cited: April 19, 2016.] <http://www.ni.com/newsroom/release/students-can-now-design-sophisticated-systems-in-one-semester-with-ni-myrio/cs/>.
24. **SAMIHA Mourad, YERVANT Zorian.** *Principles of testing electronic systems.* New Delhi, India : Wiley india Pvt. Ltd, 2000. 978-0-471-31931-3.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

<b>A/D, ADC</b>	Analog to digital converter – analogově digitální převodník
<b>AOI</b>	Automated optical inspection – automatická optická inspekce
<b>AXI</b>	Automated X-ray inspection – automatická rentgenová inspekce
<b>BGA</b>	Ball grid array – typ pouzdra integrovaného obvodu pro SMT montáž
<b>CPU</b>	Central processing unit – centrální procesorová jednotka
<b>D/A, DAC</b>	Digital to analog converter – digitálně analogový převodník
<b>DPS</b>	Deska plošných spojů
<b>DUT</b>	Device Under Test – testované zařízení
<b>EIO, FIO, CIO</b>	Názvy vstupně výstupních portů platformy LabJack
<b>FPGA</b>	Field Programmable Gate Array – Programovatelné hradlové pole
<b>HW</b>	Hardware
<b>I/O</b>	Input, output – vstup, výstup
<b>ICT</b>	In-circuit test – metoda testování elektroniky
<b>LED</b>	Light Emitting Diode – dioda emitující světlo
<b>LV-TTL</b>	Low voltage transistor-transistor logic – nízko napěťová tranzistorově tranzistorová logika
<b>MOSFET</b>	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor – polem řízený tranzistor se strukturou kov-oxid-polovodič
<b>NTC</b>	Negative temperature coefficient – negativní teplotní koeficient
<b>PWM</b>	Pulse Width Modulation – pulzně šířková modulace
<b>SMD</b>	Surface Mount Device – součástka pro povrchovou montáž
<b>SMT</b>	Surface Mount Technology – technologie povrchové montáže
<b>SoC</b>	Systém on Chip – systém integrující veškeré elektronické komponenty do jednoho čipu
<b>SW</b>	Software
<b>UART</b>	Universal Asynchronous serial Receiver and Transmitter – univerzální asynchronní přijímač a vysílač
<b>USB</b>	Universal Serial Bus – univerzální sériová sběrnice
<b>VB</b>	Visual Basic



## SEZNAM OBRÁZKŮ

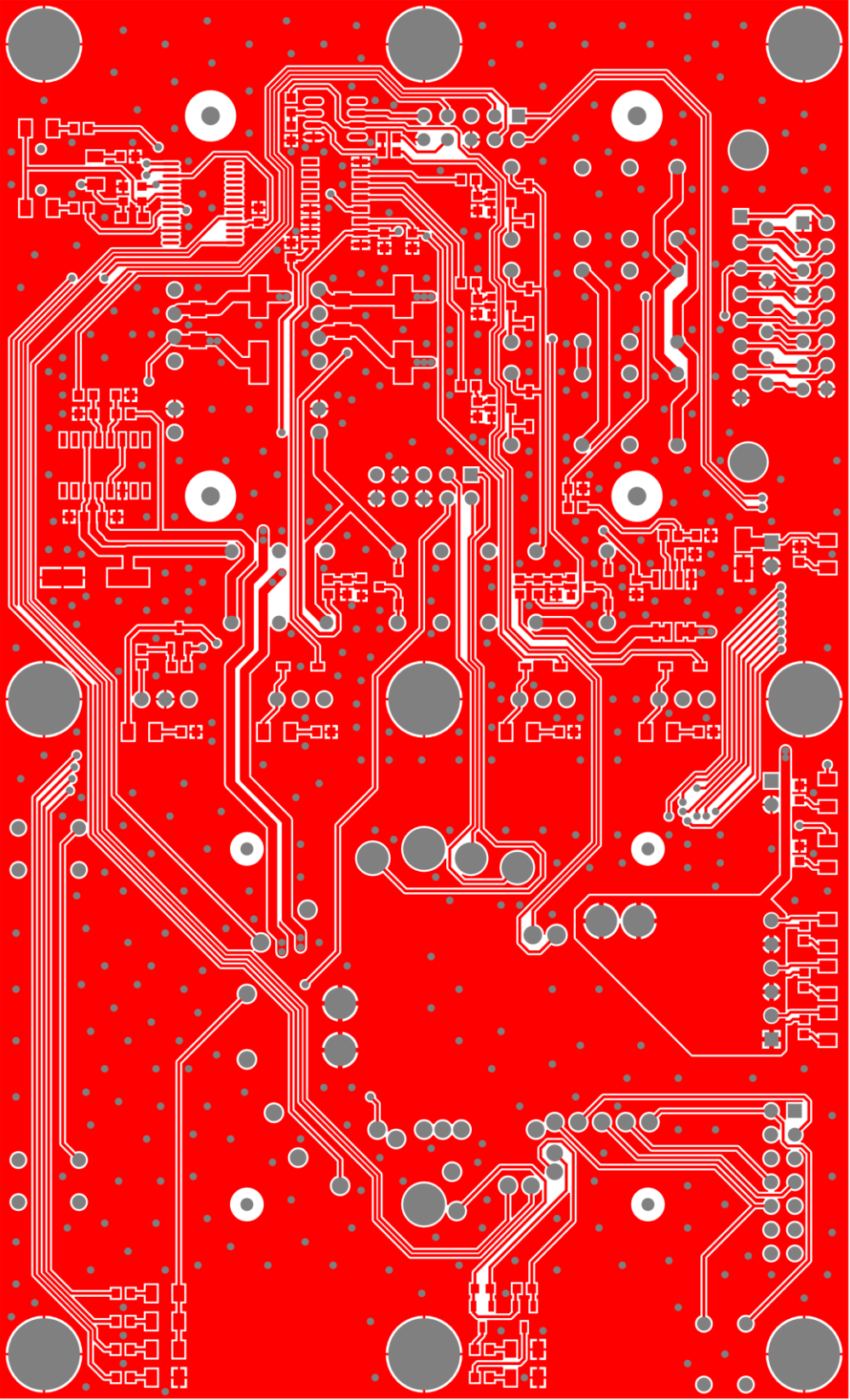
Obr. 2.1. – In-Circuit metoda testování elektronických desek. [8].....	19
Obr. 2.2. – Uplatnění zmíněných metod testování elektroniky ve výrobě DPS. [11] ....	20
Obr. 3.1. – Platforma myRIO. [12].....	22
Obr. 3.2. – LabJack U3 s krytem (vpravo) a bez krytu (vlevo). [14] .....	23
Obr. 3.3. – Testování pomocí kolektivního konektoru. [15] .....	24
Obr. 3.4. – Bed of nails testovací přípravek. [16].....	25
Obr. 4.1. – DPS testovaného zařízení. ....	27
Obr. 4.2. – Řez produktem s testovanou elektronickou deskou. ....	28
Obr. 5.1. – Grafické uživatelské rozhraní pro ovládání LabJack - Control Panel. ....	31
Obr. 5.2. – Ukázka nejběžnějších pogo pinů. [18] .....	31
Obr. 5.3. – Programátor MPS-FET430UIF. ....	32
Obr. 5.4. – Schéma zapojení napájecího obvodu.....	33
Obr. 5.5. – Zapojení pro ovládání reléových spínačů. ....	34
Obr. 5.6. – Schéma zapojení dvoukanalového dekodér CD4555. ....	34
Obr. 5.7. – Tabulka závislosti výstupu na vstupních signálech dekodéru CD4555. ....	35
Obr. 5.8. – Schéma napěťového děliče. ....	35
Obr. 5.9. – Sumační zesilovač. ....	37
Obr. 5.10. – Schéma pro obsluhu testování nabíjení baterie. ....	38
Obr. 5.11. – Schéma zapojení manuálního ovládání. ....	39
Obr. 5.12. – Příklady použitých tlačítek a přepínačů.....	40
Obr. 5.13. – Schéma zapojení převodníku FT232RL k aplikaci. ....	40
Obr. 6.1. – Algoritmus testování produktů. ....	41
Obr. 7.1. – DPS testovací jednotky. ....	47
Obr. 7.2. – Mechanická podpora výrobku (vlevo) a ochrana proti poškození (vpravo). 48	
Obr. 7.3. – Příklad upínání výrobku do platformy při testování. ....	49
Obr. 7.4. – Finální testovací jednotka – pohled zezadu. ....	50
Obr. 7.5. – Finální testovací jednotka – pohled zepředu. ....	50
Obr. 7.6. – Realizované testovací pracoviště. ....	51
Obr. 7.7. – Testovací protokol. ....	52
Obr. 7.8. – Termotiskárna Zebra TTP 7030. [21].....	53
Obr. 7.9. – Struktura ukládání výsledků do souborů. ....	53
Obr. 7.10. – Graf četnosti nalezených vad.....	54
Obr. 7.11. – Ukázka chyby .....	55
Obr. 7.12. – Ukázka nepřesně nanesené nepájivé masky. ....	55



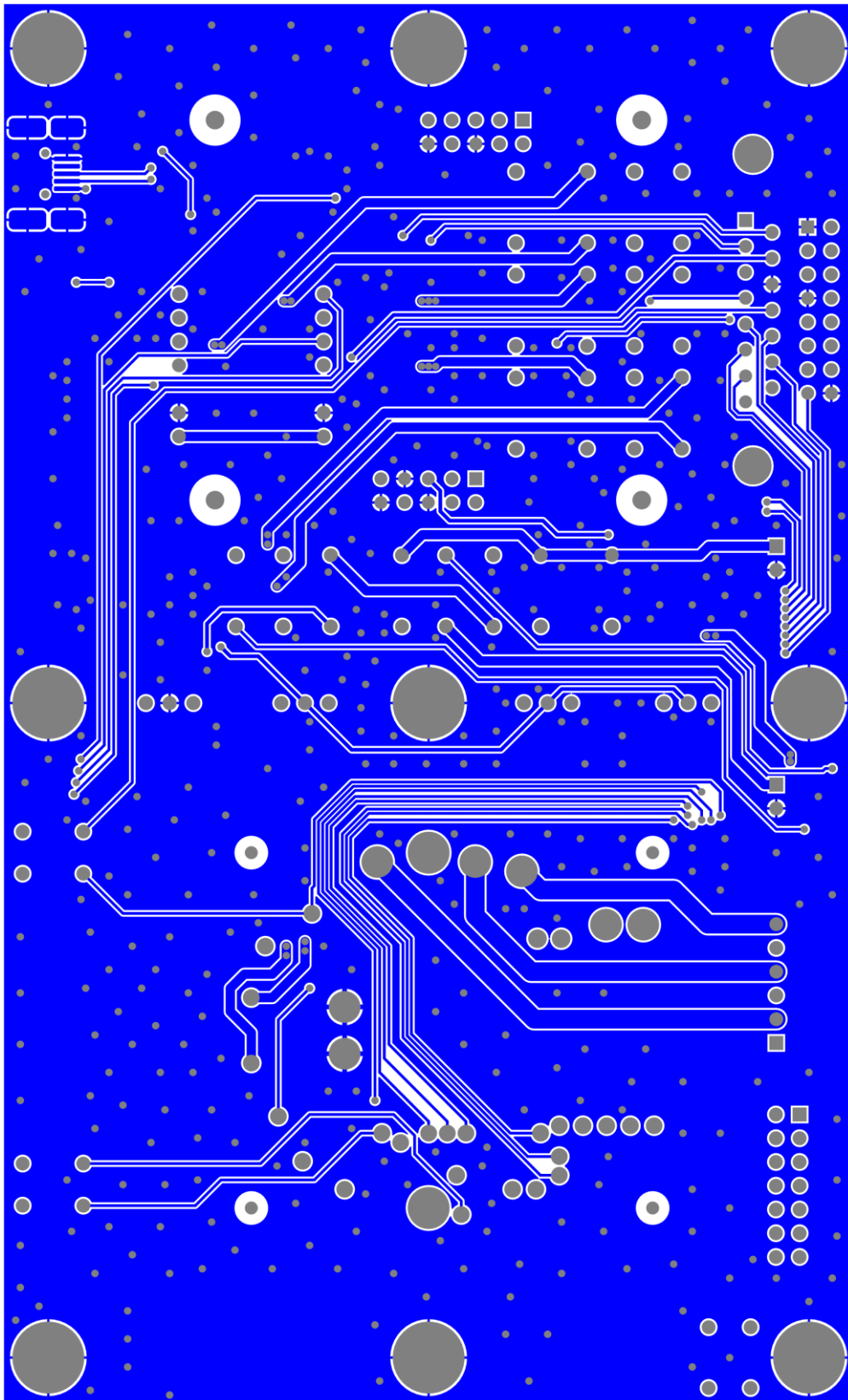
## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1: *Plošný spoj testovací jednotky strana Top.*
- Příloha č. 2: *Plošný spoj testovací jednotky strana Bottom.*
- Příloha č. 3: *Schéma zapojení periférií k platformě LabJack.*
- Příloha č. 4: *Schéma zapojení napájecích obvodů.*
- Příloha č. 5: *Schéma zapojení měření baterie a manuálního ovládání.*
- Příloha č. 6: *Schéma zapojení FT232RL obvodu.*

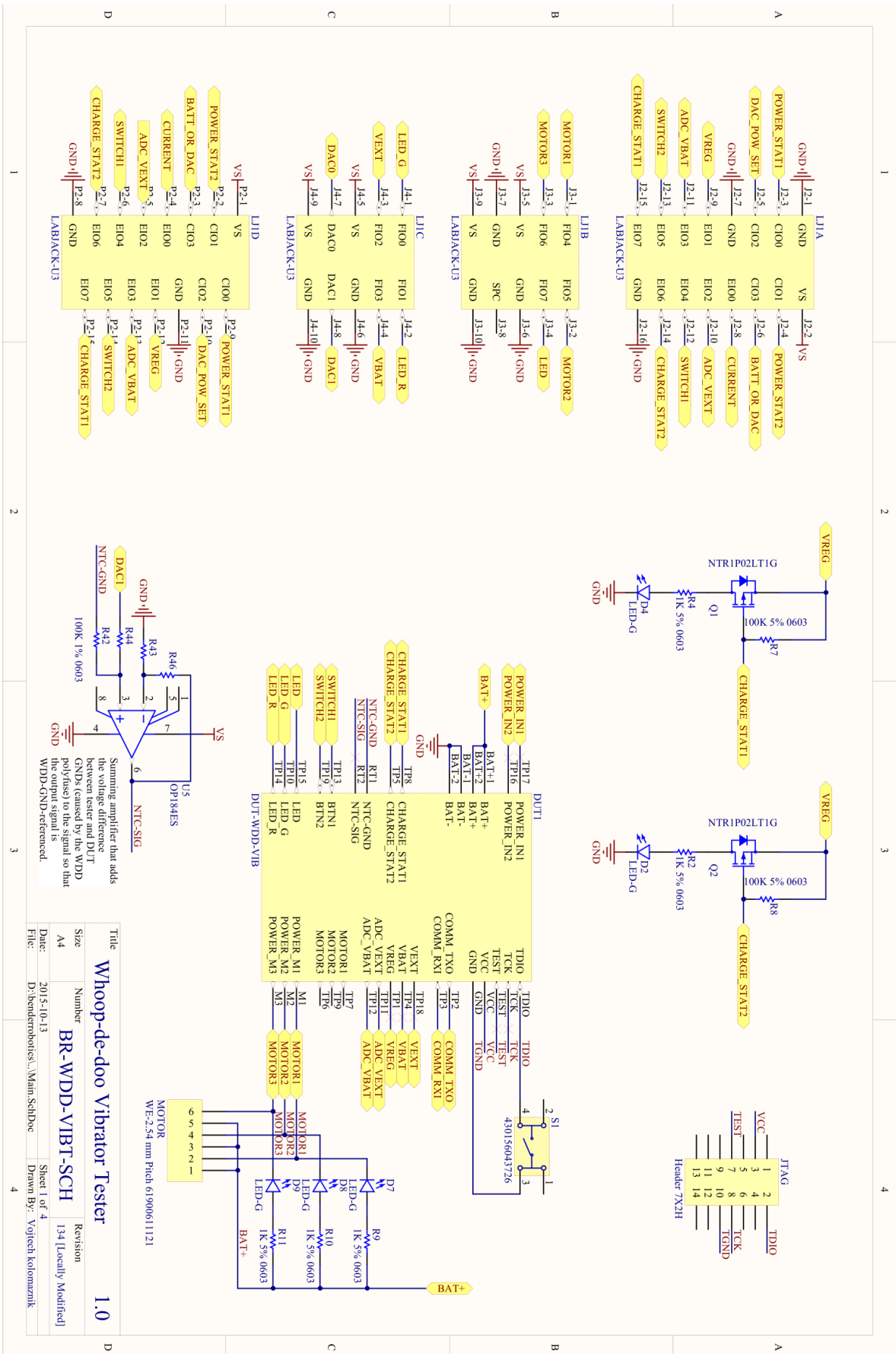
**Příloha 1:** *Plošný spoj testovací jednotky strana Top.*



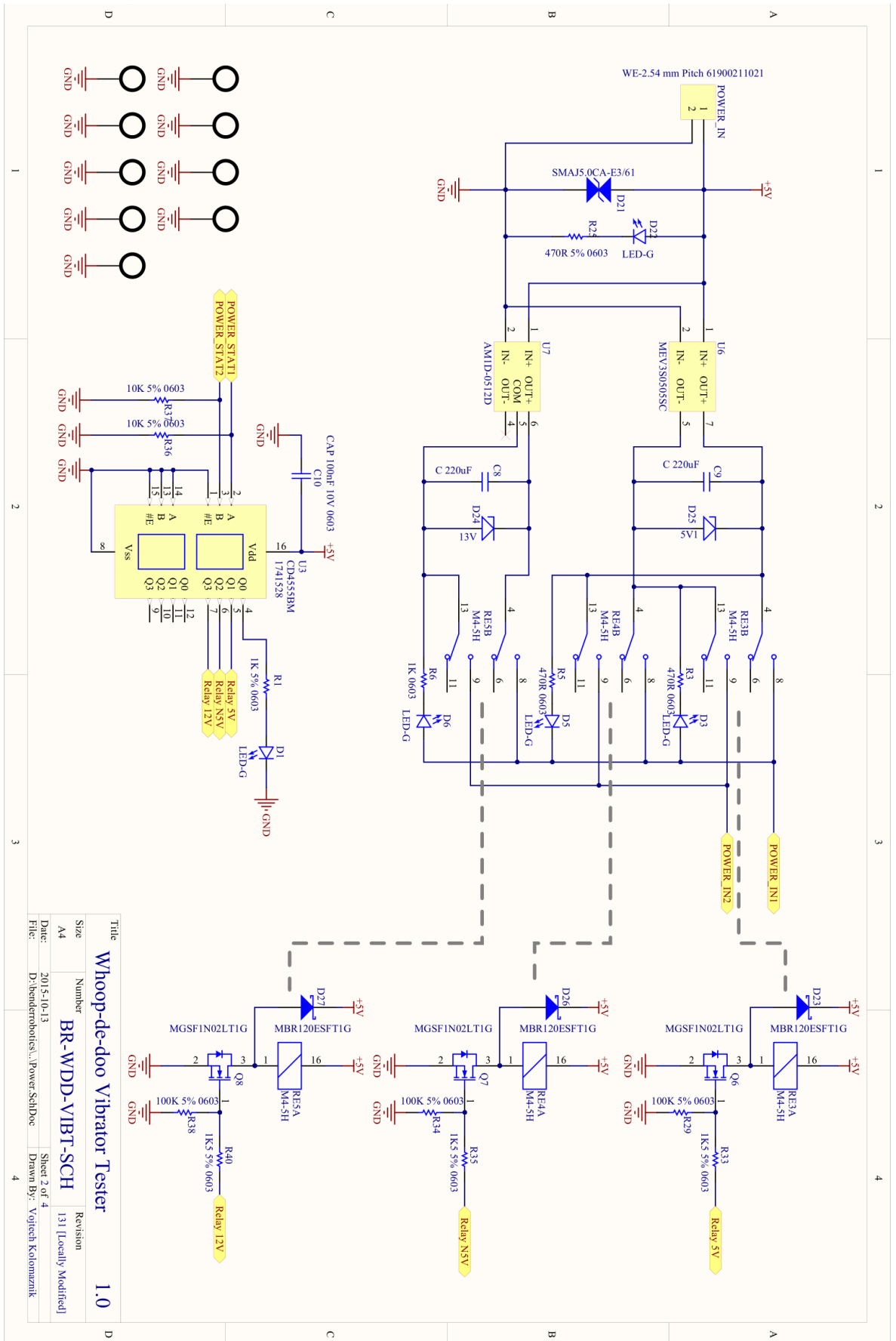
**Příloha 2:** *Plošný spoj testovací jednotky strana Bottom.*



# Příloha 3: Schéma zapojení periférií k platformě LabJack



**Příloha 4: Schéma zapojení napájecích obvodů.**



Title	Whoop-de-doo Vibrator Tester		Revision	1.0
Size	A4	Number	BR-WDD-VIBT-SCH	131 [Locally Modified]
Date:	2015-10-13	Sheet 2 of 4		
File:	D:\bender\robotics\PowerSchDoc		Drawn By:	Vojtěch Kolomanzík

**Příloha 5: Schéma zapojení měření baterie a manuálního ovládání.**

