

# Řídicí systém pro laboratorní odporník

## Bakalářská práce

*Studijní program:*

B2612 Elektrotechnika a informatika

*Studijní obor:*

Elektronické informační a řídicí systémy

*Autor práce:*

**Jan Březina**

*Vedoucí práce:*

Ing. Martin Černík, Ph.D.

Ústav mechatroniky a technické informatiky





## Zadání bakalářské práce

# Řídicí systém pro laboratorní odporník

*Jméno a příjmení:* **Jan Březina**  
*Osobní číslo:* M17000018  
*Studijní program:* B2612 Elektrotechnika a informatika  
*Studijní obor:* Elektronické informační a řídicí systémy  
*Zadávací katedra:* Ústav mechatroniky a technické informatiky  
*Akademický rok:* **2019/2020**

### Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši realizací odporových zátěží pro laboratorní a průmyslové aplikace.
2. Implementujte navržený řídicí obvod na realizovaný laboratorní odporník.
3. Upravte silové části laboratorního odporníku, aby vyhověl potřebám laboratoře EL1.
4. Vypracujte uživatelský návod.

*Rozsah grafických prací:*  
*Rozsah pracovní zprávy:*  
*Forma zpracování práce:*  
*Jazyk práce:*

dle potřeby dokumentace  
30–40 stran  
tištěná/elektronická  
Čeština



### **Seznam odborné literatury:**

- [1] Syrový, M.: Řízení výkonové pasivní zátěže pomocí PC. Diplomová práce, TUL, 2011.
- [2] Dorf, R.C: The Electrical Engineering Handbook, CRC Press, 2018.

*Vedoucí práce:*

Ing. Martin Černík, Ph.D.  
Ústav mechatroniky a technické informatiky

*Datum zadání práce:*

10. října 2019

*Předpokládaný termín odevzdání:*

18. května 2020

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.  
děkan

L.S.

doc. Ing. Milan Kolář, CSc.  
vedoucí ústavu

V Liberci dne 10. října 2019

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci 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.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

31. května 2020

Jan Březina

## Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Martinu Černíkovi, Ph.D., za jeho cenné rady a ochotný přístup.

## Abstrakt

Cílem bakalářské práce je vypracování rešerše používaných výkonových zátěží s primárním zaměřením na pasivní odporové výkonové zátěže. Dalším úkolem je provést úpravy na laboratorním odporníku, který byl v minulosti vyroben pro potřeby laboratoře EL1. Práce je rozdělena na teoretickou i praktickou část. V teoretické části je zaměřena na popsání výkonových zátěží z hlediska použití, konstrukce, až po možnosti řízení. Dále jsou v práci popsány speciální příklady odporových zátěží z praxe. Úkolem praktické části je úprava silového obvodu, napájecí části a implementace nového řídicího systému, který se bude starat o nastavování požadované hodnoty impedance na výstupu odporníku.

## Klíčová slova

Výkonová zátěž

Řídicí jednotka

I<sup>2</sup>C sběrnice

## Abstract

The aim of the bachelor thesis is to develop a search of used power loads with a primary focus on passive resistive power loads. Another task is to make adjustments to the laboratory resistor, which was manufactured in the past for the needs of the EL1 laboratory. The work is divided into theoretical and practical part. In the theoretical part I focus on the description of power loads in terms of use, design, up to the possibility of control. Furthermore, special examples of resistive loads from practice are described in the work. In the practical part I deal with the task, which concerns the modification of the power circuit, the power supply and the implementation of a new control system, which will take care of setting the desired value of impedance at the output of the resistor.

## Key words

Load bank

Control unit

I<sup>2</sup>C bus

## Obsah

1	Úvod .....	12
2	Přehled výkonových zátěží .....	13
3	Pasivní výkonové zátěže.....	14
3.1	<i>Odporová zátěž</i> .....	14
3.2	<i>Indukční zátěž</i> .....	15
3.3	<i>Kapacitní zátěž</i> .....	15
4	Nejčastější použití výkonových zátěží .....	16
4.1	<i>Servis a údržba</i> .....	16
4.2	<i>Nové zařízení</i> .....	16
4.3	<i>Instituce se zvýšenou potřebou ochrany</i> .....	16
5	Členění odporových zátěží dle konstrukce .....	17
5.1	<i>Přenosné</i> .....	17
5.2	<i>Mobilní a statické</i> .....	17
5.3	<i>Pouze statické</i> .....	17
5.4	<i>Kontejner</i> .....	18
5.5	<i>Vysokonapěťové</i> .....	18
5.6	<i>Využívající chladicí systém generátoru</i> .....	18
5.7	<i>Přívěs</i> .....	18
6	Typy řízení .....	19
6.1	<i>MODBUS</i> .....	19
7	Porovnání tří rozdílných odporových zátěží .....	20
7.1	<i>ASCO Model 2755</i> .....	21
7.2	<i>ASCO Model 3066</i> .....	21
7.3	<i>ASCO Model 8200</i> .....	22
8	Specifické druhy odporníků .....	23
8.1	<i>Brzdové odporníky</i> .....	23
8.2	<i>Zatěžovací odporníky</i> .....	24
8.2.1	<i>Zkušebna dieselelektrických lokomotiv</i> .....	24
8.3	<i>Zemnicí odporníky</i> .....	25
8.4	<i>Olejové odporové spouštěče</i> .....	25
8.5	<i>Odporová (vodní) zátěž firmy JK-WELD</i> .....	26
8.6	<i>Námořní výkonová zátěž</i> .....	27



9	Laboratorní odporník pro laboratoř EL1 .....	28
9.1	Výkonová část obvodu .....	29
9.2	Vnitřní úpravy odporníku .....	31
10	Řídicí jednotka .....	32
10.1	Napájení.....	32
10.2	Vstupy a výstupy.....	33
10.2.1	Deklarace a inicializace .....	33
10.3	I <sup>2</sup> C sběrnice.....	34
10.4	Rotační enkodér.....	35
10.4.1	Realizace funkčnosti enkodéru.....	36
10.4.2	Ukázka kódu pro ovládání enkodéru .....	37
10.5	Tlačítka .....	37
10.6	LCD displej + I <sup>2</sup> C převodník .....	38
10.6.1	Ukázka kódu pro ovládání displeje .....	39
10.7	Výstupy.....	40
10.7.1	Ukázka kódu pro ovládání výstupů .....	40
10.8	Schéma zapojení řídicí jednotky .....	41
10.9	Ověření funkčnosti .....	42
10.10	Implementace řídicí jednotky.....	43
11	Návod.....	44
	Závěr.....	45
	Seznam použité literatury .....	46
	Přílohy.....	49
A	Návod .....	49

## Seznam použitých obrázků

Obrázek 1: Odporová zátěž ASCO Model 2755 .....	21
Obrázek 2: Odporová zátěž firmy ASCO Model 3066 .....	22
Obrázek 3: Odporová zátěž firmy ASCO Model 8200 .....	22
Obrázek 4: Brzdové odporníky firmy Microelettrica Scientifica.....	23
Obrázek 5: Olejový spouštěč 3PA3 firmy GINO ESE .....	25
Obrázek 6: Odporová (vodní) zátěž firmy JK-WELD .....	26
Obrázek 7: Naznačení zapojení výkonových rezistorů.....	28
Obrázek 8: Příklad jednoho segmentu výkonové části.....	30
Obrázek 9: Obvod pro spínání relé.....	31
Obrázek 10: Arduino NANO [25] a popis jeho pinů .....	33
Obrázek 11: Topologie sběrnice I <sup>2</sup> C .....	35
Obrázek 12: Princip zapojení pinů v enkodéru .....	36
Obrázek 13: Schéma rotačního enkodéru .....	36
Obrázek 14: Schéma zapojení tlačítek.....	38
Obrázek 15: I <sup>2</sup> C převodník .....	38
Obrázek 16: LCD displej .....	38
Obrázek 17: Řídicí jednotka .....	41
Obrázek 18: Řídicí jednotka na nepájivém poli.....	42
Obrázek 19: Zapojení Arduina pomocí shieldu NANO V3.....	43

## Seznam symbolů, zkratk a termínů

Arduino NANO	Jednodeskový počítač Arduino ve verzi NANO
DPS	Deska plošného spoje
EL1	Elektronická laboratoř 1 (TUL)
FPGA	Field-Programmable Gate Array (Programovatelné hradlové pole)
I <sup>2</sup> C	Inter-Integrated Circuit
IDE	Integrated Development Environment (Integrované vývojové prostředí)
ISO	International Organisation for Standardisation (Mezinárodní organizace pro normalizaci)
LCD	Liquid Crystal Display (Displej z tekutých krystalů)
LED	Light Emitting Diode (Elektroluminiscenční dioda)
NFPA	National Fire Protection Agency
NN	Nízké napětí
SDA	Serial data (Sériová data)
SCL	Serial clock (Sériový clock)
UPS	Uninterruptible Power Supply (Zdroj nepřerušitelného napájení)
USB	Universal Serial Bus (Univerzální sériová sběrnice)
VN	Vysoké napětí

## 1 Úvod

Cíl práce spočívá v úpravách a opravách některých částí laboratorního odporníku. Jedná se o elektrické zařízení, které podle nastavené hodnoty uživatelem, mění na výstupních svorkách svojí impedanci. Již v minulosti bylo celé zařízení navrženo a také zapojené, ale neosvědčilo se. Docházelo k problémům s řídicí jednotkou a výkonovou částí obvodu. Proto mým úkolem bylo tyto problémy vyřešit a zajistit, aby laboratorní odporník plnil svůj úkol a mohl se používat.

První část práce se věnuje teorii pasivních výkonových zátěží. Jelikož se v průmyslu výkonové zátěže hojně využívají v mnoha možných případech, vypracoval jsem rešerši výkonových zátěží. Rešerše se zabývá obecným popisem výkonových zátěží a také specifickými pasivními odporovými zátěžemi.

Ve druhé části práce pojednávám o již zmíněném laboratorním odporníku, u kterého opravuji zapojení silové části. Úpravy spočívají především v předělání obvodu pro spínání relé a v upravení napájení celého zařízení včetně chladicího systému laboratorního odporníku. Nefunkční řídicí jednotku tvořenou FPGA obvodem bylo nutné nahradit jednodeskovým počítačem Arduino NANO. Jedním z bodů zadání, je i vytvoření uživatelského návodu k obsluze. V něm je pro obsluhu vysvětleno, jak odporník připojit k požadovanému zařízení, a samotné jeho ovládání.

## 2 Přehled výkonových zátěží

Výkonové zátěže jsou elektrická zařízení speciálně navržená tak, aby zabránila potencionálnímu selhání v obvodu. Výkonové zátěže se odlišují od ostatních zařízení (například od elektromotoru) tím, jakým způsobem zacházejí s elektrickou energií [1].

Funkce výkonové zátěže spočívá v absorpci elektrické energie, kterou následně přeměňuje na teplo. Jejich úkolem je testování a ochrana elektrických zařízení. To je zapříčiněno konzistentním elektrickým zatížením, které se může měřit, zaznamenávat a v neposlední řadě také řídit [1].

Výkonové zátěže se dělí do dvou skupin. Do první skupiny patří pasivní zátěže, které se skládají z pasivních součástek (rezistory, cívky a kondenzátory). Vyznačují se jednoduchou strukturou zapojení. Mezi nevýhody patří jejich větší rozměry a celková váha. Mohou být nainstalované permanentně k povrchu. Menší verze už ale disponují zlepšenou mobilitou [1]. Druhou skupinu zastupují aktivní (také elektronické) zátěže. Tuto skupinu charakterizuje složitější vnitřní zapojení, které tvoří aktivní prvky (výkonový tranzistor). Celková jejich konstrukce je tím pádem menších rozměrů a také nižší váhy. Aktivní zátěže se vyznačují vyšší přesností výsledných naměřených dat, ovšem jejich cena se pohybuje ve větších částkách v porovnání s pasivními zátěžemi [2]. Jelikož se má bakalářská práce nevěnuje primárně aktivním zátěžím, tak se od této chvíle budu zabývat pouze pasivními výkonovými zátěžemi.

Jak již je výše zmíněno, výkonové zátěže slouží k řízení a absorpci elektrické energie. Proto se musí hledět na bezpečnost obsluhy a techniky samotné. Výrobci by měli dodržovat dané normy, které udávají světové organizace nebo státy samotné, kde se společnosti pracující s výkonovými zátěžemi nacházejí. Příkladem je Mezinárodní elektrotechnická komise (IEC), nebo normy dané Evropskou Unií, které požadují určitý standard všech elektrických výrobků [1].

### 3 Pasivní výkonové zátěže

Konstrukce pasivních zátěží může být velmi jednoduchá. Lze si ji představit jako jeden rezistor. V praxi se používají složitější realizace výkonových zátěží, které jsou tvořeny společně s reaktivními složkami (indukční a kapacitní složkou). Potom je celé měření komplexnější se zaznamenáváním dat pomocí počítače [3].

Dělí se do dvou hlavních skupin. První jsou odporové zátěže (z angl. resistive load banks). Jedná se o nejčastěji používanou zátěž. V druhé skupině jsou kombinované tzv. reaktivní zátěže (z angl. reactive load banks). Ty jsou odlišné od odporové zátěže tím, že zahrnují rezistory společně s indukčním nebo kapacitním prvkem v jednom zařízení. Celé zařízení je zkonstruováno tak, že je možné nezávisle přepínat mezi danými typy zátěží [3].

#### 3.1 Odporová zátěž

Odporová zátěž, neboli odporník, patří mezi nejběžněji používané výkonové zátěže. Jde o zařízení, které se využívá v laboratořích a zkušebnách, kde se testuje stabilita výkonové elektrotechniky. Odporové zátěže jsou určeny především pro střídavé napětí, ale dělají se i pro stejnosměrné. Funkce odporové zátěže spočívá ve schopnosti pohlcení elektrické energie, která se následně přemění na teplo prostřednictvím výkonových rezistorů. V podstatě lze konstatovat, že odporová zátěž dokáže pohltnout téměř všechnu vstupující elektrickou energii dodávanou z generujícího systému. Existuje celá škála odporových zátěží, které mají také různá následná [3].

Odporová zátěž může být použita k otestování generátoru, který bude vytížen na jeho maximální udávaný výkon [3]. Dále lze využít odporové zátěže například jako spouštěče [4]. K brzdění elektrických motorů slouží brzdové odporníky [5]. Dále se odporové zátěže používají také jako zemnicí odporníky, které zastávají funkci ochrany transformátorů a generátorů [6].

U odporových zátěží se jejich výkon udává v jednotkách watt (W). Dle konstrukce se jedná o výkony na rozmezí od jednotek kW až po jednotky MW [7].

Důležitý poznatek odporové zátěže pracující s harmonickým průběhem je, že simuluje zátěž v ideálních podmínkách. Kvůli absenci indukční nebo kapacitní složky, je fázový posuv mezi proudem a napětím nulový. Z toho vyplývá, že celkový účinník  $\lambda$  je roven jedné [1]. Účinník (z angl. Power factor) je číslo, které udává poměr činného a zdánlivého příkonu zátěže. Dá se vypočítat jako cosinus z rozdílů fází napětí a proudu [8].

$$\lambda = \cos \varphi = \cos(\varphi_U - \varphi_I) \quad (1)$$

### 3.2 Indukční zátěž

Indukční zátěž se používá v kombinaci s odporovou zátěží. Na rozdíl od samostatné odporové zátěže, se kvůli přítomnosti indukční složky nebude fázový rozdíl proudu a napětí rovnat nule. Tím dochází ke zmenšení účinníku (většinou na hodnotu kolem 0,8). Díky tomu se může zatěžovací zařízení otestovat na 100 % udávaného výkonu na štítku od výrobce. Tento druh zátěže dokáže napodobit elektromotory, můžou se jím testovat generátory, zdroje (UPS), transformátory a ostatní zařízení, kde se vyskytuje elektromagnetismus. Jelikož se jedná o reaktivní druh zátěže, tak se jeho výkon udává v kVAR (kilovolt-amper reactive). Výkon u kombinované zátěže se udává v kVA (kilovolt-amper) [1].

### 3.3 Kapacitní zátěž

Obdobně jako u induktivní zátěže se kapacitní zátěž používá společně s odporovou zátěží. Ovšem funkce kapacitní zátěže v porovnání s induktivními zátěžemi je přesně opačná. Při použití kapacitní zátěže dochází ke zpoždění napětí před proudem. Kapacitní zátěže jsou v praxi nejméně zastoupené. V průmyslu mají využití tam, kde se instalují k induktivní zátěži (motoru). Tím se zvyšuje účinník a přiblíží se k hodnotě 1. Kombinované kapacitní zátěže jsou vyjádřeny v kVA [1].

## 4 Nejčastější použití výkonových zátěží

Jak již bylo uvedeno, výkonové zátěže se používají k testování a zjišťování informací o zařízeních. O tom, zda jsou funkční v plném rozsahu udávaného výkonu.

V této kapitole představím možné příklady z praxe, kde se výkonové zátěže využívají.

### 4.1 Servis a údržba

Výkonová zátěž je nezbytný přístroj pro servis a údržbu. Každý elektronický přístroj má svojí omezenou životnost. Pravidelnou údržbou se dá případná porucha zachytit včas a předejít tak nenávratné poruše celého zařízení. Po dokončení údržby nebo oprav se musí pomocí výkonové zátěže ověřit funkčnost celého servisovaného zařízení. Příkladem může být selhání generátoru nebo záložních zdrojů. [1]

### 4.2 Nové zařízení

Po instalaci nového výkonového systému je nutné otestovat, zda odpovídá požadovaným parametrům. Jestliže daný výkonový systém neodpovídá údajům uvedeným od výrobce, pomocí výkonové zátěže se toto odhalí ještě před uvedením systému do plnohodnotného provozu [1].

### 4.3 Instituce se zvýšenou potřebou ochrany

Typickým příkladem využití jsou nemocnice a datová centra, které musejí dodržovat určité bezpečnostní normy. Jednou z norem udává NFPA [1]. NFPA je celosvětová nezisková organizace, která se zabývá ochranou zdraví a financí před škodami způsobenými požárem nebo elektrickou závadou. V těchto institucích se musí provádět zatěžovací testy generátorů [9].



## 5 Členění odporových zátěží dle konstrukce

Podle potřeb aplikace výkonových zátěží se člení podle konstrukce do několika kategorií. Každá z těchto kategorií má své přínosy, ale také omezení, která jsou popsána u konkrétního druhu konstrukce.

### 5.1 Přenosné

Hlavní předností přenosných odporových výkonových zátěží je jejich velikost a snadná manipulace. Menší verze se dělají v řádech jednotek kW (kilowatt), větší až do stovek kW. Jsou navrženy tak, aby je bylo možno přenášet z místnosti do místnosti bez pomoci ostatních osob či podpůrných strojů [1].

### 5.2 Mobilní a statické

Tato skupina výkonových zátěží je víceúčelová. Vyskytují se zde všechny možné druhy výkonových zátěží (odporové i kombinované s reaktivní složkou). Jejich konstrukce jsou složeny z odolných rámu, na kterých se nachází zvedací rám a otvory pro vidlice vysokozdvížného vozíku. Pomocí zvedacího rámu se dá s výkonovou zátěží manipulovat i jeřábem. Jejich manipulace není tedy vyloučena, ale je k tomu potřeba výpomoc ostatních technických prostředků. Pakliže není nutná manipulace, není problém v permanentní instalaci na pevný podklad (většinou beton). Dělají se pro větší výkony, než tomu je u přenosných zátěží. Nevýhodou ale je obtížnější manipulace, která není vyloučena. Pro tento typ konstrukce odpovídají výkony od desítek kW až po 1,5 MW (megawatt) [1].

### 5.3 Pouze statické

Nejčastější použití statických konstrukcí výkonových zátěží je venkovní prostředí. Důležitý je pevný podklad, na který se výkonová zátěž umístí. Bývají neustále připojené k energetickému systému a jsou tak dostupné k pravidelným údržbám a k testování. Jak již z názvu vyplývá, není zde možná jakákoli manipulace. Maximální možné výkony se pohybují v jednotkách MW [1].

## 5.4 Kontejner

Zde je celá výkonová zátěž (odporová nebo kombinovaná) vestavěna do ISO kontejneru. Tento typ konstrukce se využívá primárně u vysokých výkonů, které mohou překročit výkon přes 6 MW. ISO kontejner je také vhodný k dopravě na požadované místo pomocí dopravního prostředku a nevádí mu ani náročné okolní prostředí [1].

## 5.5 Vysokonapěťové

Neobvyklou skupinou jsou vysokonapěťové výkonové zátěže. Skládají se z obvyklé výkonové zátěže s kombinací zahrnující step-down transformátor. Dnešní technologie umožňují i přímé zapojení (bez zahrnutí transformátoru) [10]. K tomu se používají vakuované stykače. Z hlediska výkonu mohou přesahovat hranici 4 MW. Konstrukce (kontejner) má přídatnou izolaci a větší rozestupy mezi vodiči kvůli vysokému napětí [1].

## 5.6 Využívající chladicí systém generátoru

Tento typ výkonové zátěže se většinou vyrábí na zakázku a je určen k stálé instalaci. Jedná se o speciálně navrženou konstrukci výkonové zátěže, která se vyznačuje menšími rozměry. Menší rozměry jsou důsledkem absence chladicího systému výkonové zátěže. Celá výkonová zátěž, je určena k instalaci na chladicí systém generátoru. Hlavní důvod použití je tedy úspora prostoru. Instalovaná výkonová zátěž by neměla přesahovat 70 % výkonu generátoru, protože by mohlo docházet k problémům s jeho chlazením. Pro aplikace, kde je potřeba 100% vytížení generátoru, se doporučuje použít výkonové zátěže volně stojící, které neomezují chlazení [11].

## 5.7 Přívěs

Celá konstrukce odporové zátěže je určena k montáži na přívěs, ze kterého se také používá. Výhodou je snadná mobilita pomocí dopravního prostředku. Vyrábějí se v různých variantách s maximální zátěží od stovek kW, až po varianty do jednotek MW [12].

## 6 Typy řízení

Provedení řízení výkonových zátěží zahrnuje několik možností. Celkové řízení může být zhotoveno od jednoduchých realizací, pomocí relé a přepínačů, až po komplexnější systémy. U komplexních systémů se dají nastavovat typy zátěží, dokáží sbírat data, a dokonce i v některých případech se dají výkonové zátěže propojit navzájem s dalšími. Propojení více výkonových zátěží mezi sebou přináší výhodu v ovládní všech najednou. To vede k zefektivnění daného procesu. Mimo to, propojení má uplatnění v omezených situacích, kdy schopnost jedné výkonové zátěže je nedostatečná. Parametry výkonové zátěže se dají nastavovat přes panel výkonové zátěže, přes připojený počítač nebo dálkově ovládaný terminál. U novějších verzí jsou terminály tvořeny velkým barevným displejem obohaceným o dotykovou vrstvu. Tudíž ovládní je o něco přehlednější a jednodušší. Pomocí počítačového softwaru je možné nastavovat, ukládat a zobrazovat aktuální data a promítnout je na displeji. To vede k jednoduché kontrole nastavených parametrů celého zatěžovaného systému. Řídící jednotky mohou komunikovat přes protokol, který se nazývá MODBUS [1].

### 6.1 MODBUS

MODBUS je komunikační protokol. Umožňuje přenos dat po sběrnici či síti mezi zařízeními jako jsou PLC (Programovatelný logický automat), vstupní/výstupní periferie, displeje apod. Výhradně se používají dva režimy protokolu. První režim MODBUS/TCP komunikuje podle standardu TCP/IP (server-klient). Druhý režim, který se označuje MODBUS/RTU, funguje na principu sériového přenosu dat (master-slave). Výhodou protokolu MODBUS je velmi rychlý přenos dat. Jednotlivé periferie mohou být od různých výrobců a na funkčnost to nemá vliv [13].

## 7 Porovnání tří rozdílných odporových zátěží

Pro alespoň základní porovnání odporových zátěží jsou v této kapitole porovnány tři odporové zátěže z různých kategorií, které vyrábí firma ASCO Power technologies. Jedná se o odporové zátěže různých výkonů, konstrukcí a typu řízení. V tabulce jsou popsány vlastnosti každé odporové zátěže. Pod tabulkou je uveden vždy model společně s obrázkem pro lepší představu.

*Tabulka 1: Porovnání odporových zátěží*

JMÉNO MODELU	TYP KONSTRUKCE	ROZMĚRY [m] D×V×Š	MAX ZÁTĚŽ	ROZSAH NAPĚTÍ	Váha [kg]	TYP ŘÍZENÍ
ASCO 2755 [14]	Přenosná	1,1×0,7×1,2	265 kW	240/480 V	175	Tlačítka na panelu výkonové zátěže
ASCO 3066 [15]	Mobilní/statická	2×1,5×1,5	680 kW	380/690 V	2 100	Ruční, Dekádové spínače, Počítač, MODBUS
ASCO 8200 [16]	Kontejner	6,1×2,6×2,4	6 MW	380-690 V	Neuvedeno	Dálkový ovládací terminál, Dekádové spínače, Počítač, MODBUS

## 7.1 ASCO Model 2755

Jak je z tabulky a obrázku (viz Obrázek 1) patrné, jde se o přenosnou odporovou zátěž, a to i přesto, že její hmotnost přesahuje hodnotu 150 kilogramů. Je určena pro vnitřní prostory, ve kterých se pohybuje pomocí pojízdných koleček. Na předním panelu se nacházejí tlačítka pro nastavování požadované zátěže. Při napájení napětím 480 V, je maximální nastavená hodnota zatížení 265 kW. Nastavování se provádí po krocích, kdy jeden krok je 5 kW. O chlazení se stará šest hlavních ventilátorů v horizontálním směru [14].



*Obrázek 1: Odporová zátěž ASCO Model 2755 [14]*

## 7.2 ASCO Model 3066

Tento model je již určený pro výkony až 680 kW. Tomu odpovídá jeho velikost a také i váha. Celková hmotnost odporové zátěže s pomocným rámem pro manipulaci (viz Obrázek 2) přesahuje 2 tuny. Bez pomocného rámu by nebyla možná manipulace s odporovou zátěží. Nastavování požadované zátěže je možné po krocích s rozlišením 1 kW. Chlazení celé odporové zátěže má na starost jeden velký kovový ventilátor [15].



Obrázek 2: Odporová zátěž firmy ASCO Model 3066 [15]

### 7.3 ASCO Model 8200

Model 8200 je určený pro venkovní používání. K tomu je určena celá jeho konstrukce, ve které je odporová zátěž instalována. Volba požadované zátěže se nastavuje obdobně jako u předchozího modelu 3066 s rozlišením 1 kW. Maximální možné zatížení je až 6 MW. Tomu musí odpovídat i důmyslné chlazení, které z dolní části kontejneru nasává vzduch (viz Obrázek 3), a ze střechy kontejneru je teplý vzduch hnán ven [16].



Obrázek 3: Odporová zátěž firmy ASCO Model 8200 [16]

## 8 Specifické druhy odporníků

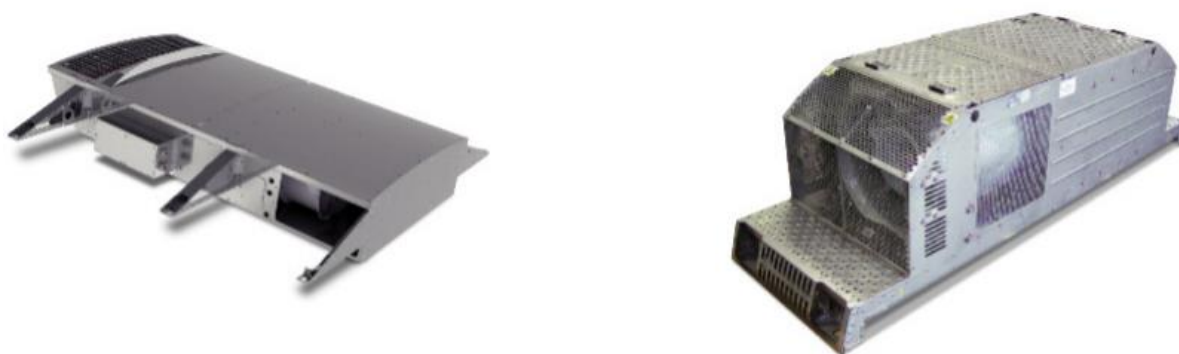
Tato kapitola je věnována již konkrétním verzím odporových zátěží dle využití v praxi.

### 8.1 Brzdové odporníky

Brzdové odporníky se používají v dopravní technice, zejména u tramvaje, lokomotivy a metra. Jejich hlavní vlastností je přeměna kinetické energie dopravního prostředku na teplo pomocí elektrického brždění. Po zastavení vozidla odporník vypouští nahromaděné teplo do okolí. Obvykle se nacházejí na střeše nebo pod vozidlem, kde se chladí pomocí vzduchu proudícího kolem vozidla. U některých případů je nutné použít i aktivní chlazení. Pokud je odporník uvnitř vozidla, ventilátor nasává studený vzduch ze spodní části vozidla a teplý vzduch vychází z vrchní části [5].

Aktivní materiál rezistoru musí mít vysokou teplotní odolnost a být antikorozní. K tomu například slouží slitiny chromu a niklu. Změny hodnot odporu při vzniku tepla odporníku závisí na koncentraci železa obsaženého ve slitině. Tyto slitiny jsou náchylné k magnetizaci, a tudíž mohou být při brždění značně hlasité. Samotný kryt odporníku je vyroben z nerezové oceli, která je odolnější než lakované plechy [5].

Známý celosvětový výrobce odporníků pro kolejová vozidla a ostatní průmyslové aplikace je například společnost Microelettrica Scientifica [5].



Obrázek 4: Brzdové odporníky firmy Microelettrica Scientifica [5]

## 8.2 Zatěžovací odporníky

Pomocí zatížení zkoušeného zařízení odporníkem, se dá plynule nebo skokově měnit zátěž. Tím se zjistí stav a kondice zatěžovaného zařízení. Mohou být i mobilní verze, u kterých je přesun odporníku na požadované místo jednoduché a rychlé. Zatěžovací odporníky se používají například ke kontrole účinnosti zdrojů (UPS) a generátorů. Z hlediska výkonu se vyrábí až po jednotky MW [17].

### 8.2.1 Zkušebna dieselelektrických lokomotiv

Jedním z příkladů využití zatěžovacího odporníku je zkušebna dieselelektrických lokomotiv. Zkušebna je tvořena dvěma odporníky. Odporníky se používají k zátěžovým zkouškám hlavního a topného generátoru lokomotiv. U trakčního odporníku může být požadovaný výkon až v řádech MW. Maximální zatěžovací výkon odporníku topného generátoru je až 500 kW. Zkušebna se nachází v blízkosti oddělené koleje. Jelikož pracovní teplota odporového materiálu se pohybuje v rozmezí od 600 °C až po 1000 °C, musí být chlazen proudem vzduchu, který nasává svazek ventilátorů ze spodní části zařízení. Teplý vzduch se odvádí vzhůru přes celý odporník. Pakliže by došlo k poruše ventilátorů, velmi rychle by došlo k poškození celého odporníku. Proto u ventilátorů bývá umístěn snímač, který indikuje případnou závadu chlazení [18].



### 8.3 Zemní odporníky

Zemní odporníky jsou instalovány ve venkovním prostředí v blízkosti transformátoru. Omezují poruchový proud, který vzniká v důsledku zkratu v síti. Dokáží tak ochránit zařízení, které je připojené k porušené síti po dobu, než zareaguje ochrana sítě [6]. Jmenovitý čas zatížení, kdy odporníkem prochází poruchový proud, bývá podle normy 5, 10, nebo 30 sekund. Ve specifických případech se ale může lišit. Z toho vyplývá, že jsou dělané jen pro krátkodobou zátěž, kdy se nahromaděná tepelná energie začne uvolňovat do okolí až po zareagování ochrany sítě. Maximální povolená teplota odporového materiálu je podle normy IEEE 32:1972 760 °C [19]. Zapojují se mezi uzel napájecího zařízení a zem. Zemní odporníky se vyrábí pro sítě nízkého napětí, až po sítě vysokého napětí. Tedy v řádech jednotek a desítek kV a pro poruchové proudy v rozmezí 30 A až po více jak 1 kA [6].

### 8.4 Olejové odporové spouštěče

Olejové spouštěče se používají pro rozběhy pohonů s velkým výkonem. Spouštěče jsou rozběhové odporníky se stykači. Odporové články jsou umístěné v nádobě s olejem. Při rozběhu olej slouží k pohlcení vzniklého tepla, které se poté odvádí do okolního prostředí odporníku. Příklad olejového spouštěče je spouštěč 3PA3 (viz Obrázek 5) od firmy GINO, který se používá pro NN a VN pohony až do 12,8 kW [4].



Obrázek 5: Olejový spouštěč 3PA3 firmy GINO ESE [4]

## 8.5 Odporová (vodní) zátěž firmy JK-WELD

Odporová (vodní) zátěž (viz Obrázek 6) je určena pro opravy nabíječek, zdrojů a v neposlední řadě svářeček. Vyrobita si ji firma JK-WELD, která se zabývá prodejem a opravami svářecích zařízení. Funguje na principu ponořování nerezových desek, které jsou uspořádány do jednoho segmentu. V celém tomto segmentu jsou nerezové desky rozděleny na sudé a liché části. Sudé desky jsou propojeny s jednou nerezovou tyčí, kterou prochází proud. Liché desky jsou propojeny obdobně s druhou tyčí. Celý tento segment je držen odizolovanými čtyřmi držáky. Pro nastavení žádané hodnoty odporu na svorkách se ponořuje segment do elektrolytu. Elektrolyt tvoří voda a příměs [20].



Obrázek 6: Odporová (vodní) zátěž firmy JK-WELD

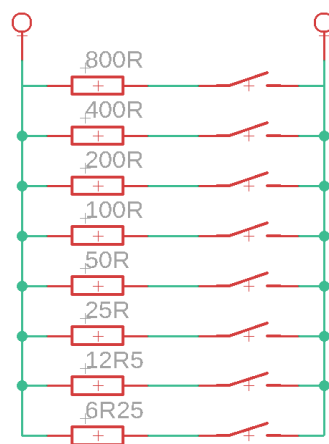
## 8.6 Námořní výkonová zátěž

Jak z názvu vyplývá, jedná se o odporovou zátěž vyrobenou pro používání na lodích. Její velikou výhodou je skladnost a způsob chlazení. Nechladí se totiž svazkem ventilátorů, které odvádějí teplo z odporníku do okolí, ale chladí se vodou, kterou čerpadla čerpají z pod hladiny moře. Protože se ohřátá voda opět vypouští zpět do moře, nedochází tolik k uvolňování tepla do okolního prostoru odporníku. Tento typ odporové zátěže vyrábí americká společnost Quorum Marine & Electronics, Inc [21].

## 9 Laboratorní odporník pro laboratoř EL1

Odporník vznikl v laboratoři elektrických pohonů na Ústavu mechatroniky a technické informatiky Technické univerzity v Liberci. Laboratorní odporník dokáže měnit svojí vnitřní impedanci dle požadavků obsluhy pomocí předního panelu. Na předním panelu se nacházejí dvě tlačítka pro nastavování maximální a minimální hodnoty požadované impedance. Pro nastavování impedance po krocích slouží rotační enkodér. Aktuální hodnota zvolené impedance se zobrazuje na LCD displeji, který se nachází také na předním panelu. Návrhem algoritmu řídicí jednotky jsem se zabýval v mém bakalářském projektu.

Konstrukce laboratorního odporníku není nijak složitá. Je tvořena z osmi výkonových rezistorů s nízkou teplotní závislostí odporů v paralelním zapojení. Tyto rezistory jsou vyrobeny pro jmenovitý výkon až 2500 W [2]. Nízká teplotní závislost odporů je velmi důležitá, protože i při větších změnách teploty si zachovávají svůj odpor na stejné hodnotě. Aby nedocházelo k výrazným změnám hodnot teplot v odporníku, jsou z přední strany konstrukce nainstalovány tři ventilátory, které napomáhají ke chlazení. K řízení těchto rezistorů slouží osm relé. Každé relé spíná svůj daný rezistor. Tím se stará o spínání výsledné nastavené hodnoty odporu, která bude na výstupních svorkách odporníku. Díky tomu může uživatel nastavit 256 hodnot impedance. Osm spínačů na obrázku (viz Obrázek 7) symbolizují spínací kontakty relé [2].



Obrázek 7: Naznačení zapojení výkonových rezistorů

Vzorec pro výpočet výsledného odporu na výstupních svorkách je následující:

$$G = B_1 \cdot \frac{1}{800} + B_2 \cdot \frac{1}{400} + B_3 \cdot \frac{1}{200} + \dots + B_8 \cdot \frac{1}{6,25} \quad (2)$$

$$R = \frac{1}{G} \quad (3)$$

Kde  $B_1$  až  $B_8$  nabývají hodnot 1 nebo 0.

### 9.1 Výkonová část obvodu

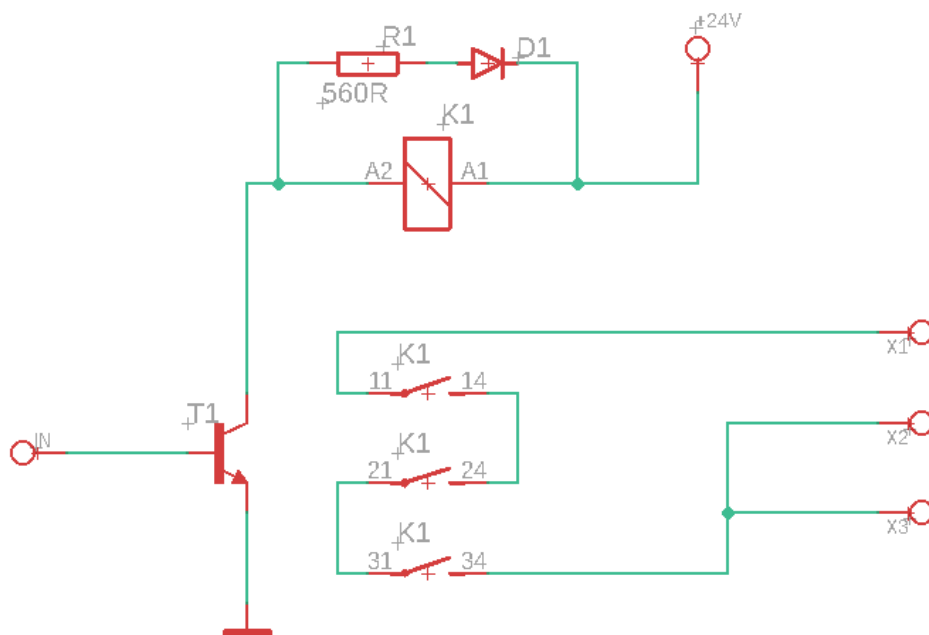
O ovládání výkonové části obvodu se stará osmice identických segmentů. Každý segment spíná svůj přiřazený odpor. Podle zvolené kombinace sepnutých segmentů se nastaví požadovaná hodnota na výstupu odporníku. Celková konstrukce výkonové části je navržena na maximální napětí 250 V a maximální střídavý proud 16 A [2].

Do každého segmentu je připojen vodič z řídicí jednotky, který je veden na bázi tranzistoru. Tranzistor slouží ke spínání indukční zátěže. V tomto případě relé. Po přivedení signálu na bázi tranzistoru dojde k sepnutí relé. Kvůli přítomnosti indukčnosti dochází při rozpojení kontaktů relé k napěťové špičce. Aby nedošlo k přepětí na tranzistoru, je k relé antiparalelně připojena nulovací dioda [22]. Aby na spínacích tranzistorech nedošlo k tomu, že bude napětí větší než 100 V, je k diodě navíc připojen do série rezistor.

Výslednou hodnotu odporu lze vypočítat podle vzorce:

$$R = \frac{(U_{S0} - U_0)}{I_0} = \frac{(U_{S0} - U_0) \cdot R_1}{U_0} = \frac{(100 - 24) \cdot 192}{24} = 608 \, \Omega \quad (4)$$

Aby bylo zaručeno menší napětí na tranzistoru, byl použit rezistor z řady E24 o hodnotě 560R.



Obrázek 8: Příklad jednoho segmentu výkonové části

Pro spínání relé je použit bipolární NPN tranzistor MJE340. Maximální povolené napětí  $U_{CE0}$  (napětí mezi kolektorem a emitorem) je až 300 voltů [23]. V tomto případě se do tohoto intervalu dostáváme s rezervou. Jelikož tranzistor funguje jako spínač, je důležitá hodnota statického proudového zesilovacího činitele  $h_{FE}$  (také se někdy označuje pod řeckým písmenem  $\beta$ ). Statický zesilovací činitel je bezrozměrná veličina, která udává poměr proudu kolektorem k proudu báze [22].

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \quad (5)$$

Protože tranzistor ve vypnutém stavu odolá jen určitému napětí mezi vývody kolektoru a emitoru, musí se počítat s jevy, které se nazývají „první průraz“ a „druhý průraz“ tranzistoru. Vzhledem k tomu, že tranzistorem je ovládána indukční zátěž, může dojít při vypnutí tranzistoru k těmto jevům. Důsledkem toho mohou být vzniklé přepětové špičky. Ty by mohly vést až ke zničení celého tranzistoru [22].



Obrázek 9: Obvod pro spínání relé

## 9.2 Vnitřní úpravy odporníku

Při provádění reverzního inženýrství, se objevilo několik nedostatků předchozí realizace. Bylo nutné opravit hned několik problémů. V první řadě se jednalo o přeinstalování napájecích kabelů. Většinu těchto kabelů jsem odstranil a nahradil je novými. Jelikož předešlé napájecí kabely byly připájené k síťové zásuvce, bylo potřeba je nejprve odpájet a předělat na konektory pomocí fastonů. Celé zapojení napájecího obvodu je zjednodušeno použitím svorkovnice. Další nedostatek se týkal ovládání ventilátorů. Ty se zapínaly okamžitě po připojení odporové zátěže do sítě (nezávisle na sepnutí nebo vypnutí spínače). Napájení ventilátorů je předěláno na zapínání pomocí spínače na předním panelu odporníku, který slouží i k zapínání celého zařízení. Další úpravou bylo připevnění DPS se zdrojem požadovaných napětí. Zdroj dokáže poskytovat 230 voltů na napájení celého odporníku a také ventilátorů, 24 voltů na napájení osmi relé a ještě poskytuje 5 voltů k napájení řídicí jednotky, která se stará o spínání relé. DPS byla přidělána ke kostře odporové zátěže pomocí šroubů. Jelikož DPS nebyla pevně usazena, bylo nutné i její usazení celé předělat. Celková úprava zahrnovala opravu starých závitů a důsledné nové namontování DPS včetně připevnění ventilátoru starajícího se o chlazení zdroje.

## 10 Řídicí jednotka

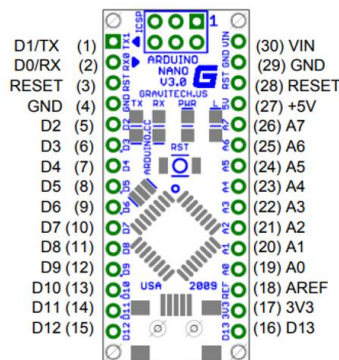
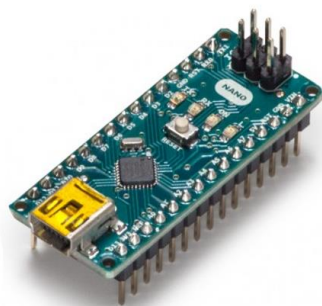
Byl použit jednodeskový počítač Arduino NANO, protože jeho specifikace zcela postačují na zvolenou úlohu. Existuje plno periférií, se kterými dokáže komunikovat, ať už bezdrátově nebo po sběrnici. Výhodou jsou i přijatelné finanční náklady a možnost vše si nejprve otestovat na nepájivém poli.

Program řídicího systému je realizován ve vývojovém prostředí Arduino IDE. Nejprve je nutné si v programu nastavit všechny potřebné piny Arduina, určit si jaký pin bude ovládat jakou periferii, a jestli je vstupní nebo výstupní. Po zapojení všech komponent k daným pinům, lze již začít řešit hlavní program. Podle zaktivovaného tlačítka, nebo nastaveného stavu enkodérem (jeho pootočením), se pomocí funkce switch provede příkaz v case, který na displej vypíše hodnotu nastavené hodnoty odporu. Výstup, kterým se ovládá spínání relé, je řešen pomocí porovnávání binárního váhového kódu. Přesnější popis programu je řešen u každé periferie zvlášť.

### 10.1 Napájení

Arduino se připojuje k počítači přes rozhraní Mini-B USB konektor. Tento konektor neslouží pouze k napájení Arduina, ale také k nahrávání programu. Další možností napájení jednodeskového počítače je pomocí přivedení napětí na piny k tomu určené (VIN a GND). Jelikož je na pinu VIN step-down regulátor, je možno Arduino napájet 5 až 20 V. Vzhledem k tomu, že napájecí obvod odporníku má regulovaný zdroj napětí, je Arduino napájeno napětím 5 V [24].





Obrázek 10: Arduino NANO [25] a popis jeho pinů [26]

## 10.2 Vstupy a výstupy

Arduino obsahuje celkem 30 pinů. Největší prostor je věnován 14 digitálním a 8 analogovým pinům. Ty jsou používány k propojování všech periférií. Zda se jedná o vstupní nebo výstupní pin, je určeno funkcemi v programu. Piny pracují při napětí 5 V. Každý pin může poskytovat nebo přijímat maximálně 40 mA. Obsahují také interní pull-up rezistory, které jsou defaultně vypnuté (mohou se aktivovat v programu). 6 analogových pinů lze nastavit také jako digitální. V tomto případě jsou využity všechny digitální piny a pouze 2 analogové. Velmi důležitou vlastností je podpora I<sup>2</sup>C sběrnice, která je zvolena u zapojení displeje.

### 10.2.1 Deklarace a inicializace

Na kódu dole je vidět ukázka nastavení pinů. Jedná se o dva digitální vstupní piny, které slouží pro indikaci stavu tlačítka na panelu řídicí jednotky.

```
int buttonPin1 = 2;
int buttonPin2 = 13;
pinMode(buttonPin1, INPUT);
pinMode(buttonPin2, INPUT);
buttonState1 = digitalRead(buttonPin1);
buttonState2 = digitalRead(buttonPin2);
```

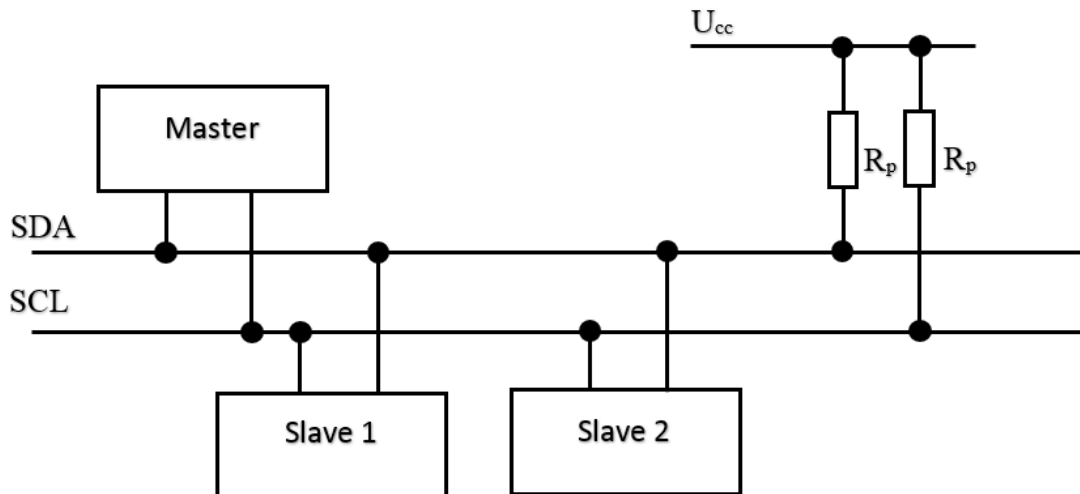
### 10.3 I<sup>2</sup>C sběrnice

I<sup>2</sup>C sběrnice (angl. I<sup>2</sup>C bus) je světově známá a používaná sběrnice. První její představení bylo v 80. letech dvacátého století firmou Philips Semiconductors [27].

V elektronických systémech, ve kterých se obvykle vyskytují jednočipové mikrokontrolery, ledky, LCD displej apod, je nutné zařídit správnou komunikaci po sběrnici a maximalizovat efektivitu a zároveň jednoduchost celého obvodu. To vedlo k vývoji sériové obousměrné dvou vodičové sběrnice s názvem Inter-IC neboli I<sup>2</sup>C-sběrnice. Jeden vodič se označuje jako SDA (serial data line) a druhý SCL (serial clock line). Každé zařízení připojené ke sběrnici má svojí unikátní softwarovou adresu [27].

Sběrnice používá topologii Master/Slave kde Master může fungovat jako vysílač (vysílá data na sběrnici), tak i přijímač (přijímá data ze sběrnice). Počet připojených zařízení ke sběrnici je limitovaný. Maximální počet připojených adres je 128. Slave dokáže pouze vysílat data, která přijímá Master [27].

Dané vodiče jsou připojeny na pinu A4 (SDA) a A5 (SCL). Úlohu master má na starost Arduino. Slave je připojený LCD displej. Na každé z linek je připojen „pull-up“ rezistor, který slouží k indikaci logických úrovní.



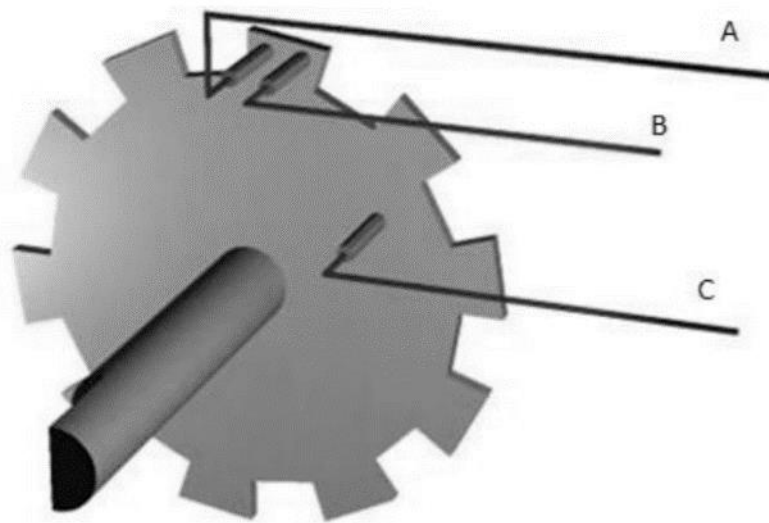
Obrázek 11: Topologie sběrnice I<sup>2</sup>C

## 10.4 Rotační enkodér

Rotační enkodér je vstupní periferie, která zaznamenává o kolik impulsů došlo k pootočení, ale také i jakým směrem se otáčí.

Zvolen je rotační enkodér KY-040, který má 20 pulzů na jedno otočení (360°), 5 konektorů (clock, data, +5 V, GND, a pin SW pro tlačítko). Jsou použity pouze 4 konektory, jelikož konektor SW slouží k ovládání tlačítka na enkodéru, který momentálně pro tuto práci není potřeba [28].

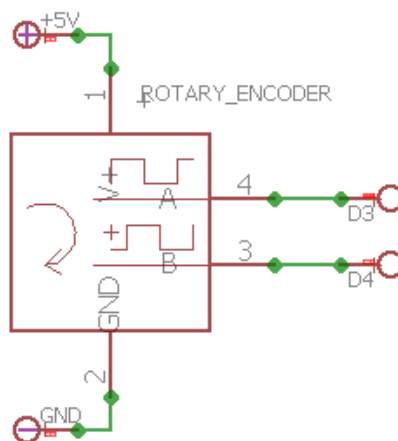
Enkodér (viz Obrázek 12) má na jedné straně vyvedeny 3 piny, které jsou označeny jako A, B a C. Uvnitř enkodéru jsou piny zapojené opět dle obrázku. Z toho vyplývá, jak záleží na vzájemné poloze pinu A s pinem B. Při otáčení po směru hodinových ručiček se nejdříve spojí A s C. Naopak při otáčení proti směru hodinových ručiček se nejdříve propojí B a C [24].



Obrázek 12: Princip zapojení pinů v enkodéru [28]

#### 10.4.1 Realizace funkčnosti enkodéru

Zapojení enkodéru k pinům Arduino je vcelku jednoduché. Kromě pinů, které se starají o napájení enkodéru, je potřeba připojení ještě dvou digitálních pinů. Konektor CLK, je zapojen na digitální pin D3 (pinCLK). Druhý konektor DT je zapojen na pin D4 (pinDT) [24].



Obrázek 13: Schéma rotačního enkodéru

Rozlišení změny stavu je řešeno v programu následujícím způsobem:

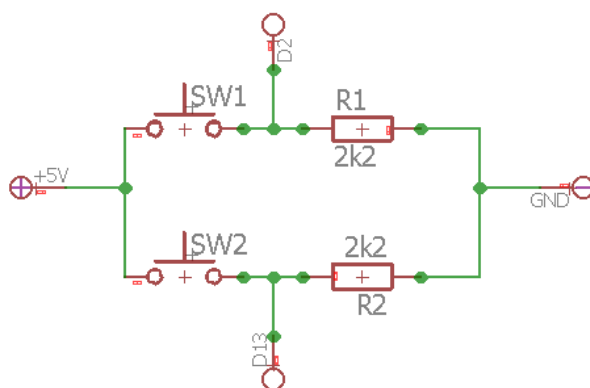
Nejdříve se vždy načte stav na pinu D3 (pinCLK), kde se porovnává, jestli odpovídá minulému stavu. Pokud minulému stavu odpovídá, je na řadě zkontrolovat stav na pinu D4 (pinDT). Jestliže se pin D4 nachází v jiném stavu než D3, tak se přičte hodnota 1 do proměnné „poziceEnkod“, která udává hodnotu enkodéru. V opačném případě, kdy stav na pinu D4 je změněn dříve než na D3, se odečte hodnota 1 z proměnné „poziceEnkod“ [24].

#### 10.4.2 Ukázka kódu pro ovládání enkodéru

```
stavCLK = digitalRead(pinCLK);
if (stavCLK != stavPred) {
    if (digitalRead(pinDT) != stavCLK) {
        poziceEnkod++;
        lcdI2C.setCursor(0, 1);
        lcdI2C.print("          ");
    }
    else {
        poziceEnkod--;
        lcdI2C.setCursor(0, 1);
        lcdI2C.print("          ");
    }
}
stavPred = stavCLK;
```

#### 10.5 Tlačítka

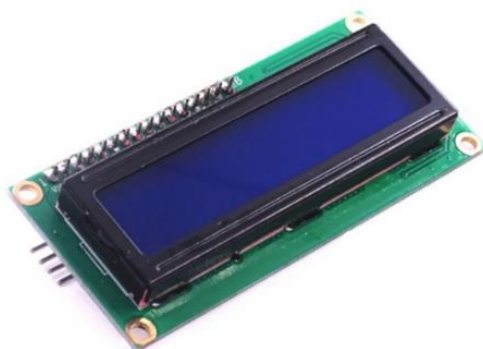
K rychlému nastavení maximální a minimální hodnoty odporu jsou použita dvě tlačítka. Tlačítka jsou zapojená v tzv. pull-down zapojení. To znamená, že při nestlačeném tlačítku je na vstupu log. 0 a při stlačení log. 1. Musí zde být rezistor, aby nedocházelo k náhodným změnám logických úrovní. Například kvůli parazitním účinkům okolí (elektro magnetický šum). Pro každé tlačítko je přiveden jeden digitální vstup, po kterém se přenášejí změny stavu do Arduina [24].



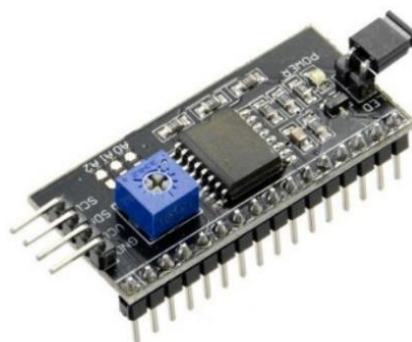
Obrázek 14: Schéma zapojení tlačítek

## 10.6 LCD displej + I<sup>2</sup>C převodník

Je zvoleno připojení LCD displeje přes I<sup>2</sup>C převodník. Hlavní důvod tohoto řešení je úspora pinů. Použitím převodníku zabere zapojení displeje dohromady pouze 2 datové konektory a 2 konektory pro napájení. Na převodníku se nachází trimr, který je možno vidět na obrázku (Obrázek 15), sloužící pro regulaci jasu displeje. Pomocí převodníku není zjednodušeno pouze zapojení, ale také i samotné programování. Programování LCD displeje připojeného k Arduino přes I<sup>2</sup>C převodník je díky existující knihovně mnohem jednodušší a přehlednější [24].



Obrázek 16: LCD displej [30]



Obrázek 15: I<sup>2</sup>C převodník [31]

Samotný LCD displej umožňuje zobrazovat 16 znaků na jednom řádku. Tento typ má 2 řádky, takže dohromady se jedná o 32 znaků, které naprosto postačují k zobrazování nastavené hodnoty odporu. Vyskytují se na něm rovnou 4 otvory pro případné přidělení displeje do výřezu na předním panelu odporníku [24].

Předchozí řešení zobrazovacího modulu, které bylo tvořeno třemi sedmi segmentovými displeji, umožňovalo zobrazovat pouze čísla od 0 do 255. Podle zobrazeného čísla na sedmi segmentovém displeji se muselo nahlížet do vytvořené tabulky. Ta musela být ve vytisknuté formě k nahlédnutí. Ke každé hodnotě (0-255) v ní byla přiřazena odpovídající hodnota odporu na výstupu odporníku. Současné řešení je značně jednodušší, jelikož se přímo na displeji zobrazují hodnoty nastaveného odporu. Tedy již není zapotřebí žádné tabulky s hodnotami.

### 10.6.1 Ukázka kódu pro ovládání displeje

Jak bylo uvedeno, tak u programování je použita knihovna určená pro připojený LCD displej přes I<sup>2</sup>C převodník. Proto je nejprve nutné si danou knihovnu definovat.

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>
```

Dále je nastavena adresa I<sup>2</sup>C převodníku a rozlišení použitého displeje. V tomto případě se jedná o adresu 0x27. Pro případ zapojení více zařízení se dá adresa změnit v rozmezí od 0x20 až po 0x27 tak, aby každé zařízení mělo svoji adresu. Poté už jen stačí určit rozlišení připojeného displeje. Zde jsou to 2 řádky a 16 znaků na jeden řádek [29].

```
LiquidCrystal_I2C lcdI2C(0x27, 16, 2);
```

Zobrazování znaků se uskutečňuje pomocí příkazu `lcdI2C.print()`. U zápisu jednotky „Ohm“ je ještě použit příkaz `lcdI2C.setCursor(11, 1)`, kterým se posouvá kurzor na požadované místo, na kterém se vypíše jednotka „Ohm“. Číselné hodnoty odporů se mohou přepisovat a jednotka „Ohm“ tak zůstane nepřepsaná.

```
lcdI2C.print(" HODNOTA ODPORU ");
lcdI2C.setCursor(11, 1);
lcdI2C.print("Ohm");
```

## 10.7 Výstupy

Osmice výstupů z Arduina je vyvedena k jednotlivým segmentům, které mají na starost spínání nebo rozpínání příslušného relé. K tomu jsou použity digitální piny D5 – D12. V každém segmentu je realizována ochrana proti přepětí při rozepnutí kontaktů relé.

Kombinace aktivních výstupů, které ovládají výslednou hodnotu odporu odporníku, je řešena v programu pomocí funkce `bitRead`. Pomocí této funkce je možné zjistit, jaké bity nabývají hodnot osmibitového čísla (1 nebo 0). Pokud je hodnota 1, tak se aktivuje výstupní pin Arduina, který odpovídá příslušnému bitu. U ukázky kódu (viz kapitola 10.7.1) je vidět ukázka kódu, kde se z proměnné „`poziceEnkod`“ zjišťuje hodnota na příslušném bitu a následné ovládání výstupních pinů.

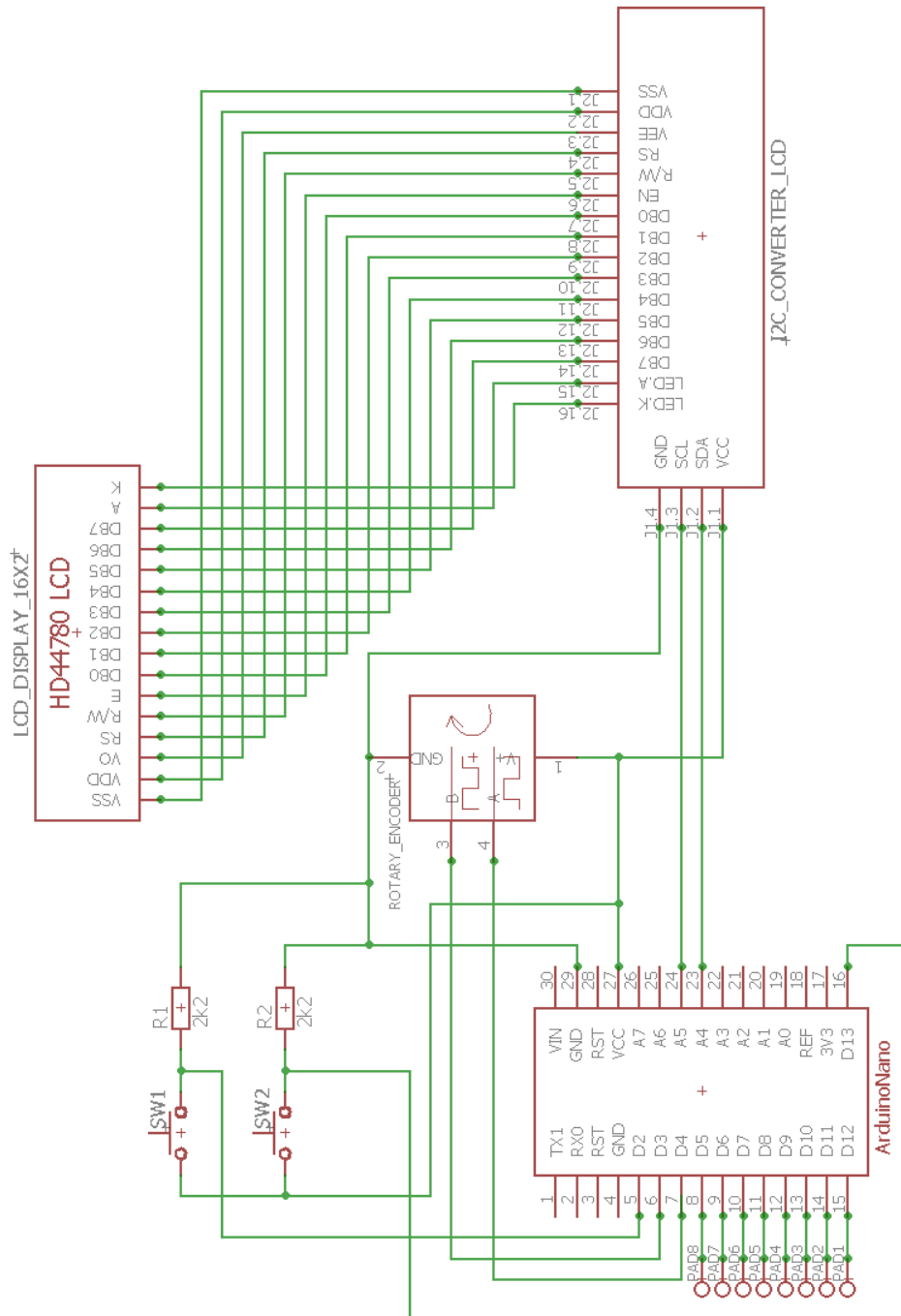
### 10.7.1 Ukázka kódu pro ovládání výstupů

```
if(bitRead(poziceEnkod,5)==1) {  
    digitalWrite(7, LOW);}  
else digitalWrite(7, HIGH);  
if(bitRead(poziceEnkod,4)==1) {  
    digitalWrite(8, LOW);}  
else digitalWrite(8, HIGH);  
if(bitRead(poziceEnkod,3)==1) {  
    digitalWrite(9, LOW);}  
else digitalWrite(9, HIGH);
```



## 10.8 Schéma zapojení řídicí jednotky

Na obrázku (viz Obrázek 17) je celkové schéma zapojené řídicí jednotky s ostatními periferiemi, které se nacházejí na předním panelu odporové zátěže.

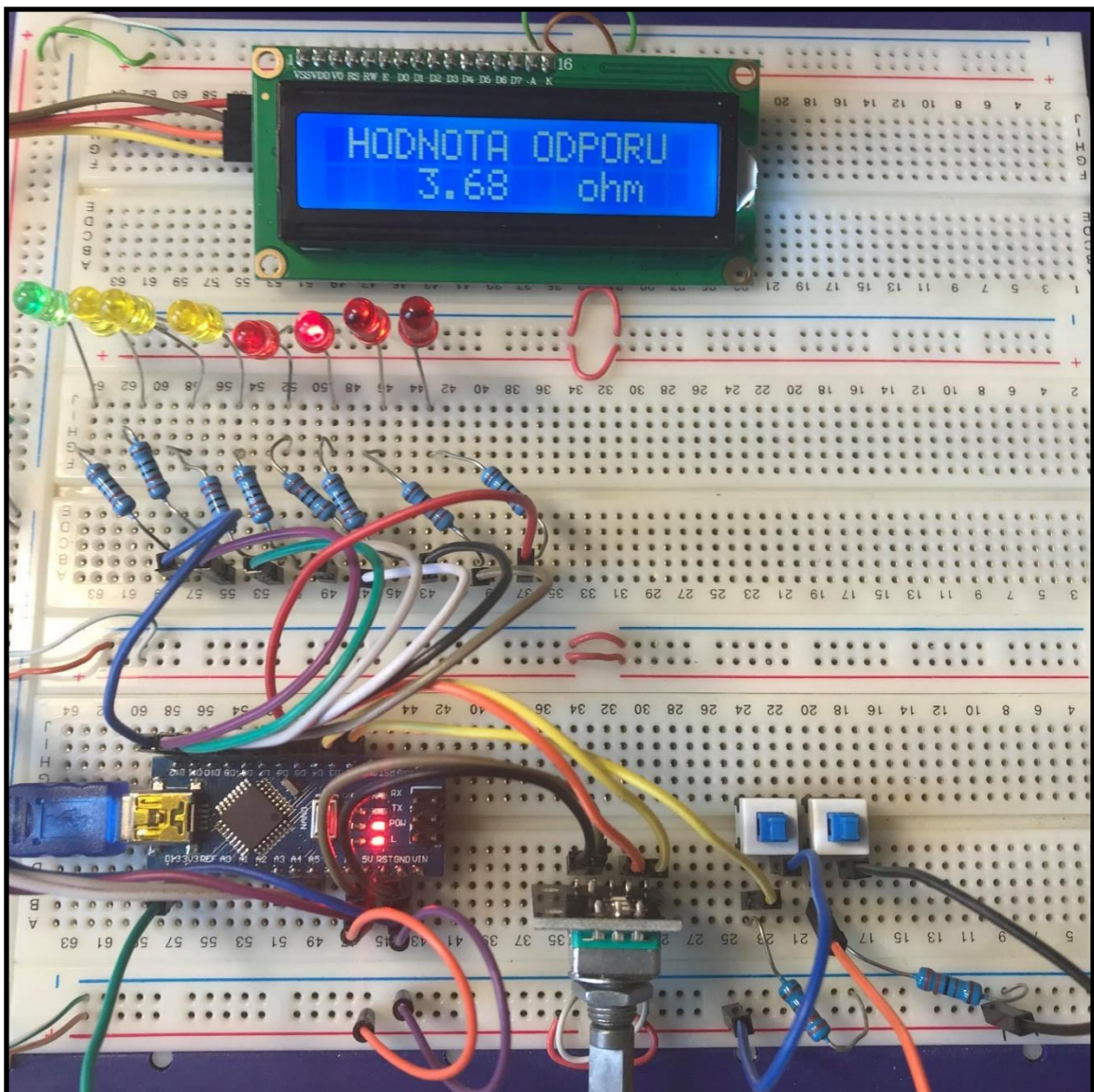


Obrázek 17: Řídicí jednotka [24]

## 10.9 Ověření funkčnosti

Před finální implementací řídicí jednotky do konstrukce odporníku je dobré ověřit její funkčnost na nepájivém poli. Pomocí rotačního enkodéru s tlačítky se nastavuje výsledná hodnota na displeji a kombinace aktivních výstupů, které na nepájivém poli zobrazují pomocí LED diod. Rozsvícené LED diody znázorňují aktivní výstupy, které budou vyvedeny na bázi spínacího tranzistoru.

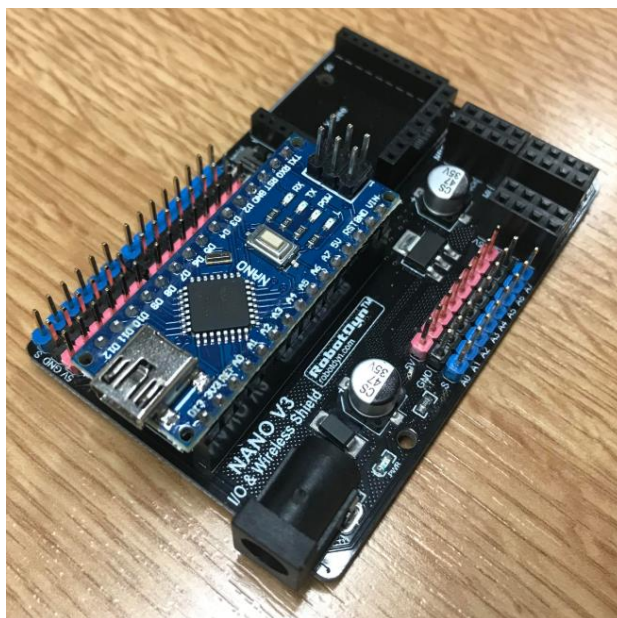
Celkový navržený algoritmus i zapojení proběhlo úspěšně a nenastaly žádné problémy.



Obrázek 18: Řídicí jednotka na nepájivém poli [24]

## 10.10 Implementace řídicí jednotky

Po dokončení veškerých oprav vnitřní konstrukce odporníku s upravenou silovou a síťovou částí, už je možné věnovat se implementaci řídicí jednotky do konstrukce odporníku. Doposud byla řídicí jednotka testována na nepájivém poli. Jako způsob zapojení byl zvolen tzv. Shield (Obrázek 19). Shield si můžeme představit jako DPS, která má vyvedené piny Arduina pro jejich snadnější a přehlednější zapojení. Výhodou je napájecí konektor se stabilizátorem napětí s přítomností dalších pinů k připojení ostatních periférií.



Obrázek 19: Zapojení Arduina pomocí shieldu NANO V3

Použitím Shieldu s univerzálním pájecím plošným spojem, který je použit pouze k ovládání tlačítek pro nastavení maximální a minimální hodnoty, jsem docílil finální realizace řídicí jednotky. Nyní lze laboratorní odporník plně ovládat pomocí předního panelu.

## 11 Návod

Poslední bod zadání se týká vypracování uživatelského návodu k ovládní laboratorního odporníku. Celý tento návod k obsluze se nachází v příloze (viz příloha A).

## Závěr

V bakalářské práci je nejprve vypracována rešerše používaných výkonových zátěží. Jsou zde uvedeny informace o jejich využití a o tom, jakou důležitou úlohu mají na starost při práci s výkonovou elektronikou. Dále je práce věnována speciálně pasivním odporovým zátěžím, které jsou popsány z konstrukčního a výkonového hlediska. Posléze se věnuje specifickým typům odporových zátěží, které jsou určeny pro různé případy.

Následně je řešen laboratorní odporník, který byl již v minulosti realizován, ale neosvědčil se. V průběhu práce bylo zjištěno několik nesrovnalostí. Byly tedy provedeny potřebné opravy jak konstrukčních, tak i elektrických nedostatků s hlavním zaměřením na silovou část. Opravy zahrnovaly také úspěšnou implementaci nové řídicí jednotky.

Finální záležitostí bylo vypracování uživatelského návodu pro práci s laboratorním odporníkem.

Závěrem tedy lze konstatovat, že všechny body zadání bakalářské práce byly splněny. Laboratorní odporník je plně funkční a lze jej začít používat.

## Seznam použité literatury

- [1] *Load Banks for Power System Testing*. Cleveland: ASCO Power Technologies, 2017. Dostupné z: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=White+Paper&p\\_File\\_Name=asc-lb-wp-power-system.pdf&p\\_Doc\\_Ref=LB-WP-LBFPWRSYSTSTNG](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=White+Paper&p_File_Name=asc-lb-wp-power-system.pdf&p_Doc_Ref=LB-WP-LBFPWRSYSTSTNG)
- [2] SYROVÝ, Martin. *Řízení výkonové pasivní zátěže pomocí PC: Diplomová práce*. Liberec: TUL, 2011.
- [3] *Resistive, Inductive, and Capacitive Load Bank Elements: Function, Design, Application*. Cleveland: ASCO Power Technologies, 2019. Dostupné z: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=White+Paper&p\\_File\\_Name=asc-lb-wp-113-lbelements.pdf&p\\_Doc\\_Ref=ASC-LB-WP-113LBELEMENTS](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=White+Paper&p_File_Name=asc-lb-wp-113-lbelements.pdf&p_Doc_Ref=ASC-LB-WP-113LBELEMENTS)
- [4] *Olejové odporové spouštěče*. Třinec: Elpro Drive. Dostupné z: [https://www.elprodrive.cz/download/Rezistory/GINO%20Olejove%20spoustece%20-%20prospekt%20CZE\\_web.pdf](https://www.elprodrive.cz/download/Rezistory/GINO%20Olejove%20spoustece%20-%20prospekt%20CZE_web.pdf)
- [5] *Braking: Data sheet*. Milano: Microelettrica Scientifica, 2012. Dostupné z: [http://www.railcomp.cz/uploads/produkty/324-MS\\_Braking\\_ENG.pdf](http://www.railcomp.cz/uploads/produkty/324-MS_Braking_ENG.pdf)
- [6] *Neutral Grounding Resistors for Limiting Fault Current*. Cleveland: ASCO power technologies, 2018. Dostupné z: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=White+Paper&p\\_File\\_Name=asc-lb-wp-ngrs.pdf&p\\_Doc\\_Ref=LB-WP-NTRLGRFLMTFCRNT](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=White+Paper&p_File_Name=asc-lb-wp-ngrs.pdf&p_Doc_Ref=LB-WP-NTRLGRFLMTFCRNT)
- [7] *Resistive Load Bank* [online]. Shijiazhuang: Kaixiang technology, 2015 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <http://www.load-banks.com/Products/load-banks/3.html>
- [8] Účíník. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2020 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=%C3%9A%C4%8Din%C3%A4&oldid=18553528>
- [9] *NFPA* [online]. Massachusetts: NFPA, 2019 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.nfpa.org/About-NFPA>
- [10] *Medium Voltage Load Banks*. Cleveland: ASCO power technologies, 2018. Dostupné z: <https://download.schneider->

- electric.com/files?p\_enDocType=White+Paper&p\_File\_Name=asc-lb-wp-medium-voltage.pdf&p\_Doc\_Ref=LB-WP-MDMVLTGLB
- [11] *Radiator Mounted Load Banks*. Cleveland: ASCO power technologies, 2017. Dostupné z: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=White+Paper&p\\_File\\_Name=asc-lb-wp-radiator.pdf&p\\_Doc\\_Ref=LB-WP-RDTRMNTDLB](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=White+Paper&p_File_Name=asc-lb-wp-radiator.pdf&p_Doc_Ref=LB-WP-RDTRMNTDLB)
- [12] *ASCO 5000 SERIES: Trailer Mounted Load Banks*. Cleveland: ASCO power technologies, 2019. Dostupné z: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=Brochure&p\\_File\\_Name=asc-lb-br-5000.pdf&p\\_Doc\\_Ref=LB-BR-5000SASCLB](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Brochure&p_File_Name=asc-lb-br-5000.pdf&p_Doc_Ref=LB-BR-5000SASCLB)
- [13] *MODBUS* [online]. Praha: WAGO, 2020 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.wago.com/cz/modbus>
- [14] *Model 2755: Data sheet*. Cleveland: ASCO power technologies, 2019. Dostupné z: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=Technical+leaflet&p\\_File\\_Name=asc-lb-ds-2755.pdf&p\\_Doc\\_Ref=LB-DS-ASC2755MAVTRNLDBNKS](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Technical+leaflet&p_File_Name=asc-lb-ds-2755.pdf&p_Doc_Ref=LB-DS-ASC2755MAVTRNLDBNKS)
- [15] *Model 3066: Data sheet*. Cleveland: ASCO power technologies, 2019. Dostupné z: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=Technical+leaflet&p\\_File\\_Name=asc-lb-ds-3066.pdf&p\\_Doc\\_Ref=LB-DS-ASC3066MFRMNTLDBNK](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Technical+leaflet&p_File_Name=asc-lb-ds-3066.pdf&p_Doc_Ref=LB-DS-ASC3066MFRMNTLDBNK)
- [16] *Model 8200: Data sheet*. Cleveland: ASCO power technologies, 2019. Dostupné z: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=Technical+leaflet&p\\_File\\_Name=asc-lb-ds-8200.pdf&p\\_Doc\\_Ref=LB-DS-ASC8200MFRMNTLDBNK](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Technical+leaflet&p_File_Name=asc-lb-ds-8200.pdf&p_Doc_Ref=LB-DS-ASC8200MFRMNTLDBNK)
- [17] *Load Bank: Data sheet*. Milano: Microelettrica Scientifica, 2012. Dostupné z: [http://www.railcomp.cz/uploads/produkty/327-MS\\_Load\\_Banks\\_ENG.pdf](http://www.railcomp.cz/uploads/produkty/327-MS_Load_Banks_ENG.pdf)
- [18] *Realizace zkušeben dieselelektrických lokomotiv...* [online]. Říčany u Prahy: KARO trading [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <http://www.karotrading.cz/cz/odpornik.html>
- [19] *ZEMNÍ ODPORNÍKY nn, vn*. Postřelmov: MEP POSTŘELMOV. Dostupné z: [http://www.sub.cz/userfiles/spec/sub/files/MEP/odpor\\_zem\\_NNaVN.pdf](http://www.sub.cz/userfiles/spec/sub/files/MEP/odpor_zem_NNaVN.pdf)
- [20] *Umělá (vodní) zátěž JK-WELD* [online]. SVARBAZAR, 2008 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008090201>

- [21] *Compact Marine Load Bank* [online]. Stuart: Quorum Marine & Electronics, 2015 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <http://www.oceanbreezeac.com/loadbank.php>
- [22] CHLEBIŠ, Petr. *Výkonová elektronika I* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008 [cit. 2020-05-15]. ISBN 978-80-248-1485-8. Dostupné z: <https://docplayer.cz/23801680-Vykonova-elektronika-i.html>
- [23] *MJE340G*. Colorado: Semiconductor Components Industries, c1999-2020. Dostupné z: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MJE340-D.PDF>
- [24] BŘEZINA, Jan. *Řídicí systém pro laboratorní odporník: Bakalářský projekt*. Liberec: TUL, 2019.
- [25] *ARDUINO NANO* [online]. Turin, Italy: Arduino, 2020 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/arduino-nano>
- [26] *Arduino Nano (V3.0): User manual*. Mansfield, Texas: Mouser Electronics, 2020. Dostupné z: [https://www.mouser.com/pdfdocs/Gravitech\\_Arduino\\_Nano3\\_0.pdf](https://www.mouser.com/pdfdocs/Gravitech_Arduino_Nano3_0.pdf)
- [27] *UM10204: I2C-bus specification and user manual*. Eindhoven, Netherlands: NXP Semiconductors, 2014. Dostupné z: <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf>
- [28] *Rotary Encoder for Arduino/Raspberry*. Johor, Malaysia: Handson Technology, c2008-2018. Dostupné z: <https://www.handsontec.com/dataspecs/module/Rotary%20Encoder.pdf>
- [29] *LCD Displej* [online]. Havlíčkův Brod: ECLIPSE, 2016 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://navody.arduino-shop.cz/zaciname-s-arduinem/lcd-displej.html>
- [30] *16x2 LCD displej...* [online]. Rychnov nad Kněžnou: laskarduino, 2020 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: [https://www.laskarduino.cz/16x2-lcd-displej-1602-i2c-prevodnik/?gclid=Cj0KCQjw-\\_j1BRDkARIsAJcfmTFeXwXEfPP3n7-\\_T8izo5Wl19gwVPDt1VFBS-QAWwYQrYuKT8Lg2LsaAhoDEALw\\_wcB](https://www.laskarduino.cz/16x2-lcd-displej-1602-i2c-prevodnik/?gclid=Cj0KCQjw-_j1BRDkARIsAJcfmTFeXwXEfPP3n7-_T8izo5Wl19gwVPDt1VFBS-QAWwYQrYuKT8Lg2LsaAhoDEALw_wcB)
- [31] *Převodník I2C - display* [online]. Praha: GM electronic, c1990–2020 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/prevodnik-i2c-display-product-38324>



## VÝKONOVÁ ODPOROVÁ ZÁTĚŽ

### *Návod k ovládání*



## PŘEDNÍ PANEL ODPOROVÉ ZÁTĚŽE

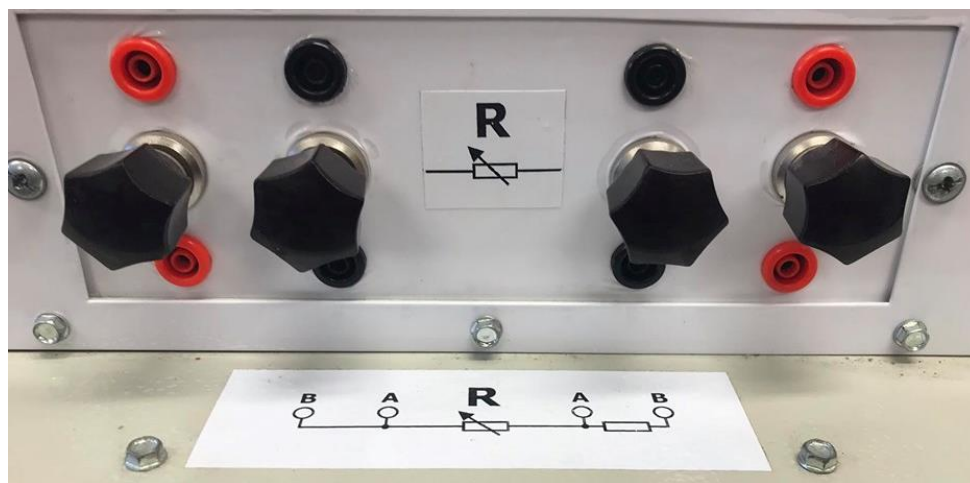
Přední panel slouží k obsluze celého zařízení, k zapínání odporové zátěže, k nastavování požadovaných hodnot odporu a zobrazování nastaveného odporu pomocí LCD displeje.



1. Spínač, kterým se zapíná/vypíná odporová zátěž.
2. Konektor pro případnou změnu programu řídicí jednotky.
3. Displej, který ukazuje nastavenou hodnotu odporu na výstupních svorkách.
4. Rotační enkodér, kterým se při otáčení mění hodnota nastaveného odporu.
5. Tlačítko pro okamžité nastavení maximální hodnoty odporu.
6. Tlačítko pro okamžité nastavení minimální hodnoty odporu.

## ZADNÍ ČÁST ODPOROVÉ ZÁTĚŽE

Na zadní části odporové zátěže se nacházejí svorky, které slouží k připojování zatěžovaného zařízení, ale také k připojení měřicích přístrojů.



- Vývody z odporové zátěže jsou rozděleny na 2 uzly. Každý tento uzel se skládá ze 2 výkonových svorek a 4 svorek pro připojení měřicích přístrojů.