



ZÁPADOČESKÁ
UNIVERZITA
V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Zatěžovací odpory pro dynamo

Autor práce: Jiří Vejvoda

Vedoucí práce: Doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.

Plzeň 2017

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří VEJVODA**
Osobní číslo: **E13B0093P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Název tématu: **Zatěžovací odpory pro dynamo**
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Uveďte výstupní charakteristiky konkrétního dynama.
2. Provedte výpočet zatěžovacích odporů a jejich výkonové dimenzování. Navrhněte jejich vhodnou velikost a řízení spínání.
3. Vytipujte na trhu vhodné odpory.
4. Navrhněte zařízení konstrukčně, realizujte a uveďte do provozu.
5. Shrňte dosažené výsledky.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **Trinkewitz, Z.: Průmyslové zkoušky velkých elektrických strojů točivých. SNTL Praha 1982.**
2. **Bartoš, V., Skala, B. : Měření na elektrických strojích. Skripta ZČU, Plzeň 2002.**
3. **Internet.**

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.**

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: **14. října 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2017**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan



Prof. Ing. Václav Kús, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2016

Abstrakt

Předmětem práce je náhrada plynule nastavitelných odporů pevnými odporovými stupni. Práce řeší i návrh přepínače a skříně rozvaděče. Cílem je navrhnout jednotlivé odporové stupně tak, aby byly pokryty výstupní charakteristiky dynama charakteristickými body. Důležitý je také odvod vzniklého tepla.

Klíčová slova

návrh zařízení, konstrukce, rezistory, spínač, dynamo, nosný rám

Abstract

Vejvoda, Jiří. *Load resistors for dynamo [Zatěžovací odpory pro dynamo]*. Pilsen, 2017. Bachelor thesis (in Czech). University of West Bohemia. Faculty of Electrical Engineering. Department of Electromechanics and Power Electronics. Supervisor: Bohumil Skala

The subject of the thesis is the replacement of continuously adjustable resistances with fixed resistance levels. The work also solves the design of switch and cabinet. The reset is to design individual resistances so that the output characteristics of the dynamo are covered by the characteristic points. It is also important to drain heat.

Keywords

design of equipment, construction, resistors, switch, dynamo, support frame

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem svou závěrečnou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 270 trestního zákona č. 40/2009 Sb.

Také prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 31. května 2017

Jiří Vejvoda

.....

Podpis

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval Doc. Ing. Bohumilu Skalovi Ph.D za cenné odborné rady a připomínky k mé bakalářské práci.

Obsah

Seznam obrázků	viii
Seznam symbolů a zkratek	ix
1 Úvod	1
2 Stejnoseměrné stroje	2
2.1 Základní informace	2
2.2 Rozdělení	2
2.3 Konstrukce	2
2.4 Princip	3
3 Zatěžovací charakteristiky dynam	5
3.1 Vliv buzení stroje na tvar zatěžovacích charakteristik	5
3.2 Schémata zapojení dynamu	7
3.3 Vlastní charakteristiky	8
4 Výpočet odporů, výkon, návrh velikosti a řízení	10
4.1 Výpočet odporů	10
4.2 Spínání	11
4.3 Výkonové zatížení	12
4.4 Řízení	13
5 Výběr vhodných rezistorů	15
6 Konstrukční návrh	18
6.1 Nosný rám	18
6.2 Ampérmetr	19
6.3 Spínač	19
6.4 Montáž	19
6.4.1 Rozložení	19
6.4.2 Upevnění rezistorů	19
6.4.3 Instalace spínače, měřidla a svorek	20
6.4.4 Zapojení	20

6.4.5	Přípevnění ochranného krytu	20
7	Měření spínání kontaktů a zatěžování	23
7.1	Měření proudu při spínání kontaktů	23
7.2	Měření na dynamu	26
8	Závěr	28
	Reference, použitá literatura	29

Seznam obrázků

2.1	Boční řez stejnosměrným strojem. [2]	4
2.2	Čelní řez stejnosměrným strojem. [2]	4
3.1	Cize buzené dynamo. [1]	7
3.2	Derivační kompaundní dynamo. [1]	7
3.3	Protikompaundní dynamo. [1]	8
3.4	Zatěžovací charakteristika dynamo pro cizí buzení, protikompaundní a kompaundní.	9
3.5	Závislost zatěžovacího odporu R_z na proudu.	9
4.1	Návrh hodnot odporů.	10
4.2	Stanovení stupňů spínání.	11
4.3	Reálné zapojení odporů a ampérmetru.	12
4.4	Závislost výkonu na odporu.	13
4.5	Konstrukční zapojení spínače. [5]	14
4.6	Výsledný použitý vačkový spínač VSN 16.	14
4.7	Konečné a reálné schéma zapojení včetně uvážení vnitřního zapojení spínače.	14
5.1	Přehled parametrů použitých rezistorů. [4]	16
5.2	Závislost teploty povrchu na zatížení. [4]	16
5.3	Rezistor s regulační sponou. [4]	17
5.4	Rezistor uchycený držákem H5. [4]	17
5.5	Reálný pohled na použité rezistory.	17
6.1	Finální zapojení.	21
6.2	Konečná podoba výrobku, čelní pohled.	21
6.3	Konečná podoba výrobku, horní pohled.	22
7.1	Zapojení při měření.	23
7.2	Přerušení proudu při změně kombinace z první na druhou.	24
7.3	Bez přerušení proudu při změně kombinace z druhé na třetí.	24
7.4	Přerušení proudu při změně kombinace ze třetí na čtvrtou.	25
7.5	Bez přerušení proudu při změně kombinace ze čtvrté na pátou.	25
7.6	Schéma zapojení derivačního dynamo včetně označení svorek.	26

7.7	Derivační dynamo: Závislost U na I.	27
7.8	Cize buzené dynamo: Závislost U na I.	27

Seznam symbolů a zkratek

U_i	Indukované napětí [V]
B	Magnetická indukce [T]
l	Jednotka délky [m]
n	Rychlost otáčení [ot/min]
U	Napětí [V]
v	Rychlost [m/s]
f	Frekvence [Hz]
I	Proud [A]
I_b	Budící proud [A]
ΛU_k	Úbytek na kartáčích [V]
ΛU_r	Úbytek na odporech všech vinutí, zapojených v sérii s kotvou [V]
$\sum RI$	Úbytek na odporech všech vinutí, zapojených v sérii s kotvou [V]
ΛU	Úbytek napětí [V]
U_0	Úbytek na prázdko [V]
A	Ampérmetr
D	Dynamo
V	Voltmetr
AM	Asynchronní motor
R_z	Regulovatelná zátěž
der p _{kp}	Derivační protikompaundní dynamo
der k _p	Derivační kompaundní dynamo
VSN16	Typová řada spínače
TRR-3xx	Typová řada rezistorů

1

Úvod

Cílem této práce je náhrada plynule nastavitelných odporů pevnými odporovými stupni a vytvoření zařízení, které bude studentům pomáhat při měření na dynamu. Výrobek měření zrychlí, zpřesní a usnadní.

K návrhu velikostí odporů jsem použil matematický výpočtový program MATLAB. Pomocí tohoto programu jsem vypočítal a navrhl co možná nejvhodnější hodnoty rezistorů. Abychom mohli věrně měřit tvar derivačních charakteristik i při stupňovém spínání, je vhodné mít co nejvíce stupňů v rozmezí 7-16 Ohm. Podle tohoto předpokladu bude nastavené finální nelineární dělení (pevně nastavitelných) odporů. Proto některé odpory nebudou mít dvojnásobnou hodnotu předchozího stupně.

Nedílnou součástí práce je část konstrukční. Jako při každé realizaci projektu, bylo nutné najít kompromis mezi kvalitou a cenou. Výrobek se skládá ze tří základních částí - nosného rámu, spínače a rezistorů. Rám, který určuje celkové rozměry bylo nutné přizpůsobit velikostí, tepelnou odolností a tuhostí potřebných rezistorů, které jsou umístěny uvnitř. Rezistory lze považovat za základ celé práce. Jejich vhodnou kombinací pomocí vačkového spínače se snažíme docílit co nejpřesnějšího měření na potřebném dynamu. Spínač, který byl vyroben na zakázku, je přizpůsoben tak, aby spínal 11 různých kombinací rezistorů. Na čelní straně výrobku můžeme dále najít analogový ampérmetr, který slouží k okamžitému odečítání hodnot protékajícího proudu.

Jelikož zařízení bude použité ve školních laboratořích, bylo nutné dbát na bezpečnost a ochranu proti úderu elektrického proudu. Ochrana je docílena robustním krytím celého zařízení s potřebnými otvory pro odvod vzniklého tepla.

V práci lze nalézt popis výroby celého zařízení od matematického návrhu zařízení přes jeho výrobu až k provedení finálních měření ...

2

Stejnoseměrné stroje

2.1 Základní informace

Stejnoseměrné stroje jsou jedny z nejstarších točivých strojů. V počátku byly používány pro výrobu elektrické energie (dynama), v následujících letech našly využití zejména jako motory.

S rozvojem střídavých pohonů s polovodičovým řízením se význam stejnosměrných strojů postupně snižuje. V dnešní době lze najít stejnosměrné stroje v elektrické trakci, pohony menších výkonů a diesel-elektrické trakci.

2.2 Rozdělení

Stejnoseměrné stroje lze rozdělit podle toku energie a to na stejnosměrné generátory (dynama) a stejnosměrné motory. Další dělení je podle způsobu buzení. Jsou stroje s cizím nebo s vlastním buzením. Stroje s vlastním buzením můžeme dále dělit na stroje sériové, derivační, kompaundní a protikompaundní. Poslední dělení je podle způsobu konstrukce a to na komutátorové a bezkomutátorové.

2.3 Konstrukce

Konstrukce motorů a generátorů je stejná. Základní části jsou stator, rotor, sběrací mechanismus nebo systém pro snímání otáček a ventilátor.

Stator je pevná část stroje, která je součástí magnetického obvodu, který může být litý, nebo se jedná o svařovaný magnetický věnec. Na statoru jsou umístěny budící póly s pólovými nástavci s budícím a pomocným vinutím. Pomocné vinutí není podmínkou pro chod stroje, ale zlepšuje jeho parametry. Budící vinutí lze nahradit trvalým magnetem.

Rotor (kotva stroje) je složen ze vzájemně izolovaných plechů s drážkami, ve kterých je umístěno vinutí. Začátky a konce vinutí jsou vyvedeny na lamely komutátoru. Komutátor je tvořený soustavou vzájemně izolovaných lamel, které jsou vyrobeny z tvrdé mědi.

Komutátor může být u menších výkonů lisovaný u větších je zásadně skládaný. Sběrací ústrojí má více částí.

Klusný kontakt mezi pevnou a pohyblivou částí tvoří lamela komutátoru a uhlíkový kartáč. Kartáč je v pouzdře, které je uchyceno v držáku kartáčů. Držáky kartáčů jsou umístěné na nosný kruh (brejle), kterým lze otáčet a nastavit kartáče do optimální pozice. [2]

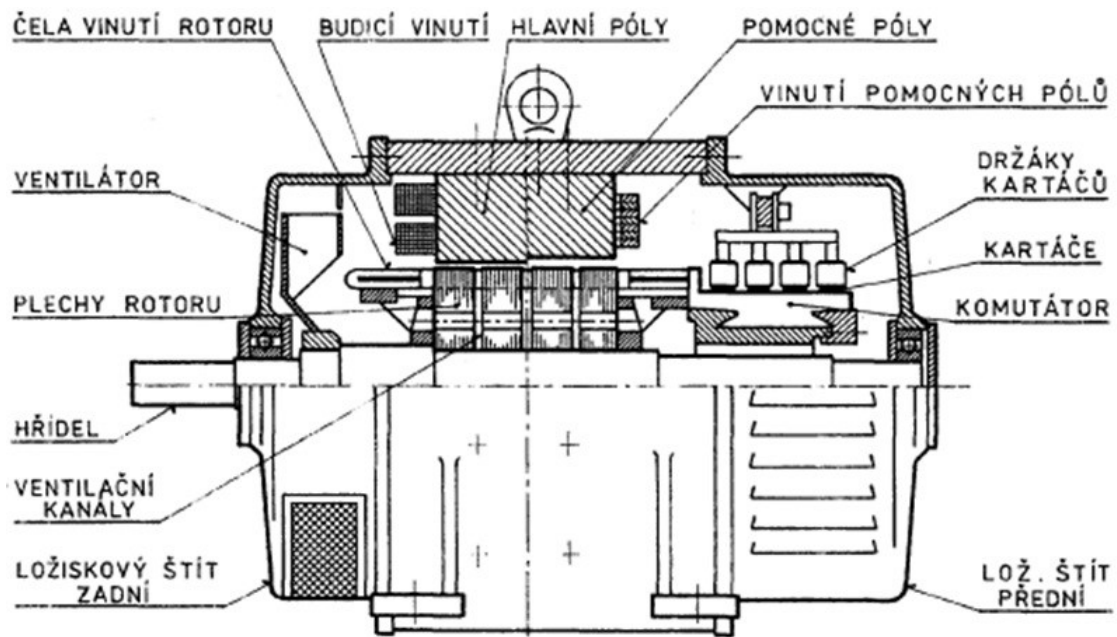
2.4 Princip

Principem činnosti dynamo je, že cívka rotoru se otáčí v budícím magnetickém poli statoru. Podle indukčního zákona se na cívce indukují střídavé napětí:

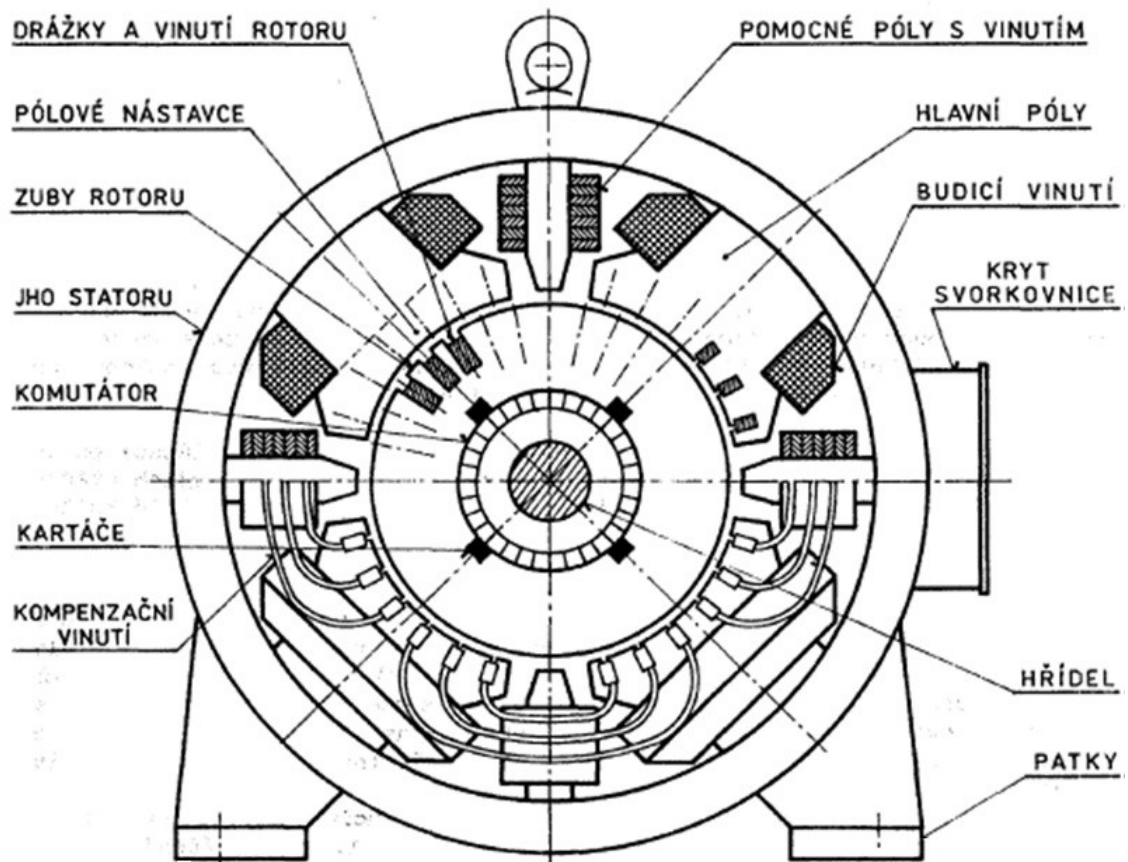
$$U_i = B \cdot l \cdot v \quad (2.1)$$

Komutátor pracuje jako mechanický usměrňovač. Střídavé napětí je usměrněné na napětí stejnosměrné pulsující. Po připojení zátěže začne procházet proud, směr proudu je dán pravidlem pravé ruky. Komutace je změna toku proudu. Komutační napětí lze vytvořit natočením kartáčů z neutrální osy. U dynamo je to ve směru otáčení. Jedná se o nejjednodušší případ, který je ale vhodný pouze pro konstantní zátěž stroje. Složitější, ale účinnější způsob, je vytvoření pomocného magnetického pole pomocí komutačního vinutí. Komutační vinutí vytvoří v komutující cívce komutační indukované napětí, které působí proti reaktančnímu napětí. Velikost reaktančního napětí je dána proudem v kotvě, komutační vinutí je zapojeno sériově s vinutím kotvy, ale s opačným směrem proudu. Reakce kotvy vzniká při zatížení stejnosměrného stroje. Při stavu naprázdno kotvou prochází pouze budící tok udíčího vinutí. Osy kartáčů a stroje jsou totožné. Na komutující cívce není žádné indukované napětí, jedná se o ideální případ. Při zatížení a průchodu proudu vinutím kotvy se vytvoří magnetické pole kotvy. Výsledné magnetické pole je dáno složením obou polí. V důsledku magnetického pole kotvy dojde k deformaci výsledného magnetického toku a k natočení neutrální osy. Osa kartáčů pak neodpovídá neutrální ose a nastává jiskření mezi kartáčem a lamelou. Magnetická indukce pod pólem není konstantní a deformuje se. Důsledkem je přesycení části pólu magnetického obvodu a pokles výsledného budícího toku. U dynamo to má za následek pokles napětí a u motoru pokles momentu. Vše vede ke zvýšení ztrát v železe v magnetickém obvodu kotvy.

Částečnou kompenzaci lze provádět pomocí zvýšení buzení hlavních pólů, využitím komutačního vinutí a natočením kartáčů. Správné natočení kartáčů patří mezi nejdůležitější úkoly při montáži a provádí se přesným měřením. Úplné kompenzace lze dosáhnout pomocí kompenzačního vinutí, které vytváří stejně velký, ale opačný magnetický tok. Vinutí je zapojeno do série s vinutím kotvy. Kompenzační vinutí se používá jen u strojů s velkým výkonem.[2]



Obr. 2.1: Boční řez stejnosměrným strojem. [2]



Obr. 2.2: Čelní řez stejnosměrným strojem. [2]

3

Zatěžovací charakteristiky dynam

Vztah pro zatěžovací charakteristiky dynam:

$$U = f(I) \tag{3.1}$$

I_b =konstantní

n =konstantní

3.1 Vliv buzení stroje na tvar zatěžovacích charakteristik

Za ideální dynamo lze považovat stroj bez činného odporu s plně vykompenzovanou reakcí kotvy, který má napětí nezávislé na zatížení, a proto je jeho zatěžovací charakteristika rovnoběžná s osou proudu. V praxi existuje na strojích úbytek na vnitřních odporech a u nekompenzovaných stojů je další úbytek napětí způsoben vlivem pole reakce kotvy, která způsobuje zeslabení budícího toku. Výsledné svorkové napětí vyjadřuje vztah:

$$U = U_i - (\sum RI + \Delta U_k + \Delta U_r) = U_i - \Delta U, \tag{3.2}$$

kde:

- ΔU_k Úbytek na kartáčích
- ΔU_r Úbytek vlivem reakce kotvy
- $\sum RI$ Úbytek na odporech všech vinutí, zapojených v sérii s kotvou

Zatěžovací charakteristika derivačního a cize buzeného dynam se liší. Vzhledem k tomu, že zatěžováním se snižuje napětí kotvy a tím i budící proud. Tento vliv se obvykle výrazněji projeví až nad jmenovitými proudy. To ve svém důsledku vede k dalšímu poklesu napětí kotvy. Charakteristika cize buzeného dynam bude vykazovat menší pokles napětí, než pokles u derivačního. Při určitém zatížení dochází k ohybu charakteristiky a při dalším

snižování zatěžovacího odporu už proud dále neporoste, ale naopak začne klesat, až do hodnoty proudu nakrátko.

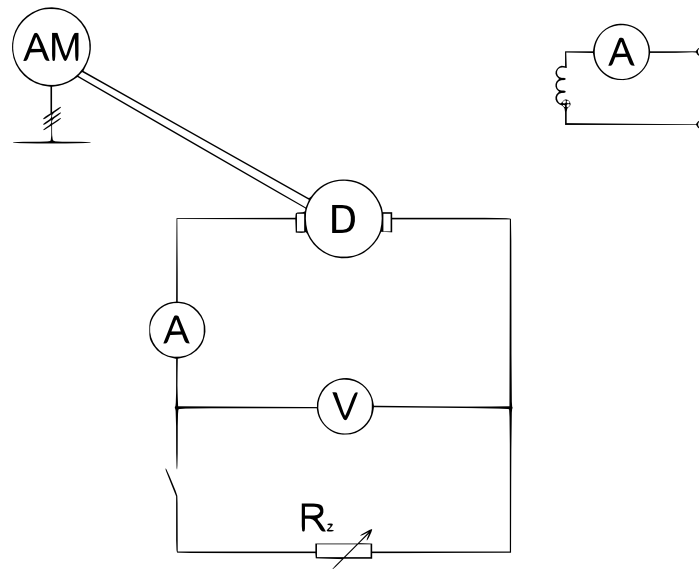
Dynamo se smíšeným buzením mají mimo hlavní buzení ještě další a to buzení sériové, které je protékáno zatěžovacím proudem. Pole sériového buzení může působit dvěma způsoby a to buď ve smyslu hlavního pole, nebo proti němu (taková dynamo se pak nazývají kompaundní nebo protikompaundní). Hlavní buzení může být buď derivační nebo cizí.

Podle velikosti úbytku napětí ΔU je možné posoudit tvrdost napětí stroje. Čím menší úbytek napětí bude, tím více lze stroj považovat za tvrdý. Schopnost chodu na krátko lze posoudit podle proudu nakrátko I_k . Stabilita dynamo při zatížení je dána velikostí a znaménkem derivace zatěžovací charakteristiky.

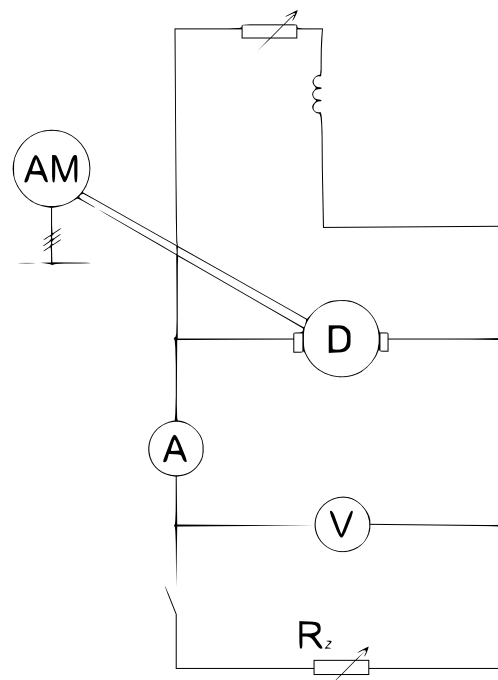
Podle schéma zapojení lze vyčíst, že kotva dynamo je zapojena přes stykač na zatěžovací odpor. Konstantní rychlost je dána podmínkou dostatečně dimenzovaným poháněcím strojem. Dynamo nabudíme na požadované napětí naprázdno U_0 , a poté sepnutím stykače připojíme kotvu na zatěžovací odpor, který je zvolen na svoji maximální hodnotu. Postupným odepínáním odporů dynamo zatěžujeme více a více.

Budící proud cize buzeného dynamo udržujeme na konstantní hodnotě zvyšováním napájecího napětí. Kompenzujeme tak vzrůst odporu budícího vinutí vlivem postupného zahřívání vodiče. [1]

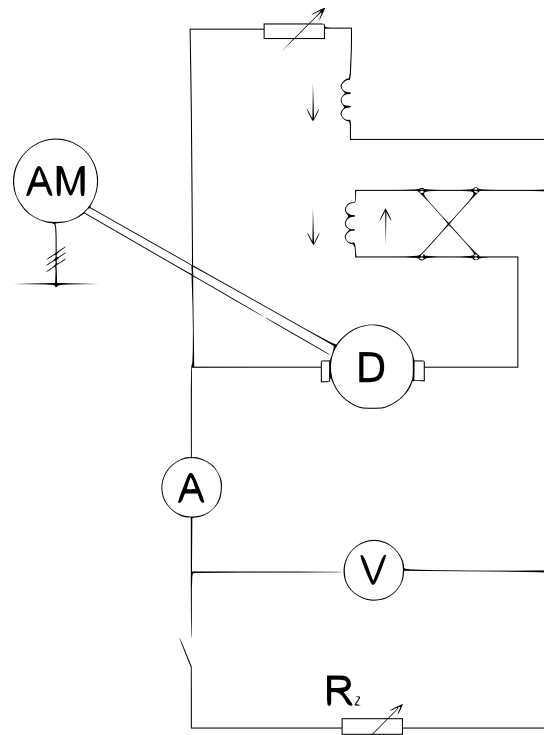
3.2 Schémata zapojení dynama



Obr. 3.1: Cize buzené dynamo. [1]



Obr. 3.2: Derivační kompaundní dynamo. [1]

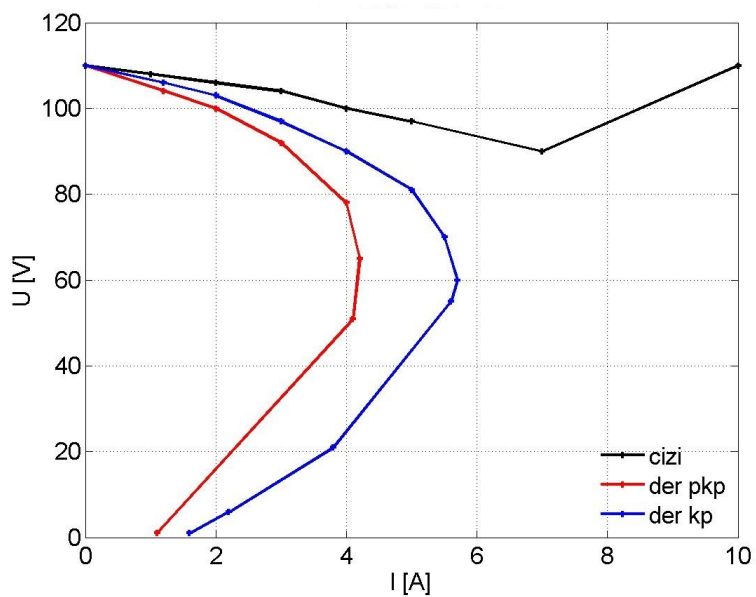


Obr. 3.3: Protikompaundní dynamo. [1]

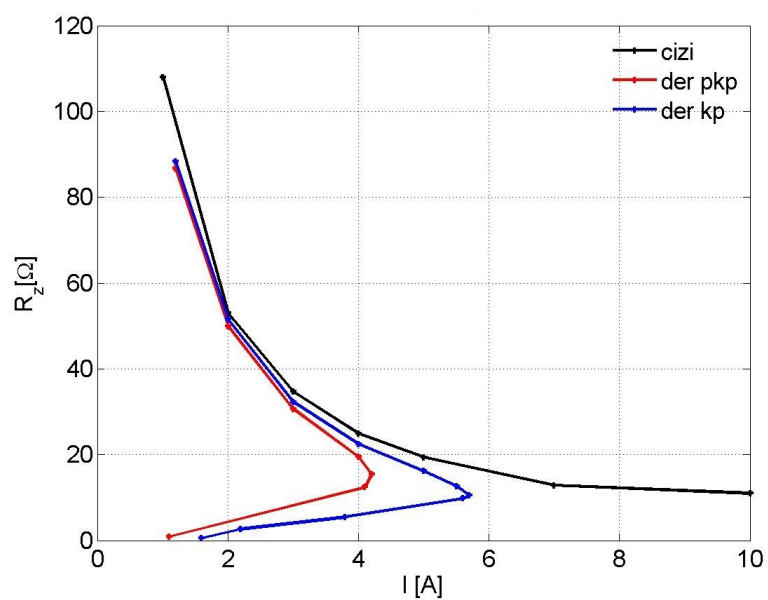
3.3 Vlastní charakteristiky

Zatěžovací charakteristiky jsou měřené na dynamu 110V/10A, ke kterému jsou následně navrženy odpory na zatěžování. Z charakteristik vychází celkový návrh zařízení.

Lze z nich vyčíst potřebné velikosti odporů a také maximální zatížení, na které je nutné odpory dimenzovat. Naším cílem je pohybovat se s hodnotami odporů kolem „kolena“ a zde volit co možná nejvíce stupňů spínání. Vše bylo navrženo s pomocí výpočetního programu MATLAB.



Obr. 3.4: Zatěžovací charakteristika dynamo pro cizí buzení, protikompaundní a kompaundní.



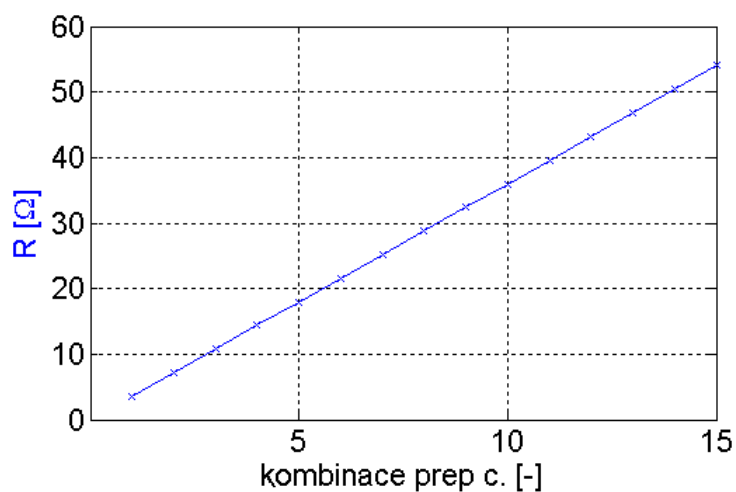
Obr. 3.5: Závislost zatěžovacího odporu R_z na proudu.

4

Výpočet odporů, výkon, návrh velikosti a řízení

4.1 Výpočet odporů

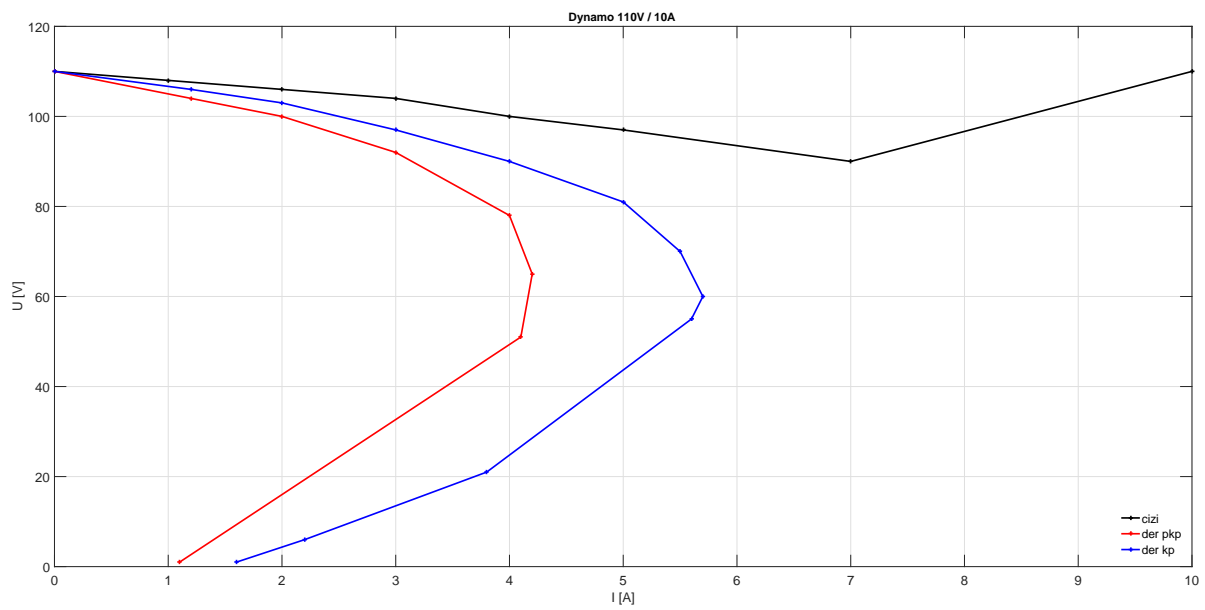
Stanovení velikosti a rozložení odporů vychází z charakteristiky na obr. 4.1, kde jsou uvedené hodnoty odporů a proudů. Snahou je zvolit hodnoty tak, aby odpovídaly konkrétnímu dynamu a byly navrženy na výstupní charakteristiky dynama a zároveň docílit co možná největší linearity. Z křivky zobrazené na obr. 4.1 zvolíme nevhodnějších 11 kombinací přepínače. Poslední dvanáctá označuje vypnutý stav.



Obr. 4.1: Návrh hodnot odporů.

4.2 Spínání

Nejvýhodněji pro potřebné kombinace odporů vychází použít 4ks rezistorů o hodnotách: $3,6\Omega$; $7,2\Omega$; $14,4\Omega$ a $28,8\Omega$. Jednotlivé stupně budou různě kombinované a ovládané pomocí vačkového přepínače s atypickým diagramem spínání. Stupně vycházejí z následujícího grafu (obr. 4.2). Výsledné hodnoty rezistorů se budou pohybovat od 6Ω do 50Ω .

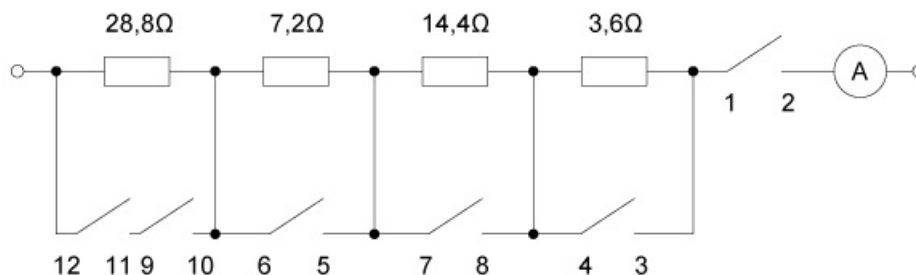


Obr. 4.2: Stanovení stupňů spínání.

Při stanovení jednotlivých stupňů spínání jsem vycházel z binární tabulky. Z původních 16 řádků jsem vybral nejvhodnějších 11 kombinací rezistorů.

R [Ω]	Binární kombinace	Vhodnost
54	1 1 1 1	↑
50,4	1 1 1 0	×
46,8	1 1 0 1	×
43,2	1 1 0 0	↑
39,4	1 0 1 1	↑
36	1 0 1 0	×
32,4	1 0 0 1	↑
28,8	1 0 0 0	×
25,2	0 1 1 1	↑
21,6	0 1 1 0	↑
18	0 1 0 1	↑
14,4	0 1 0 0	↑
10,8	0 0 1 1	↑
7,2	0 0 1 0	↑
3,6	0 0 0 1	↑

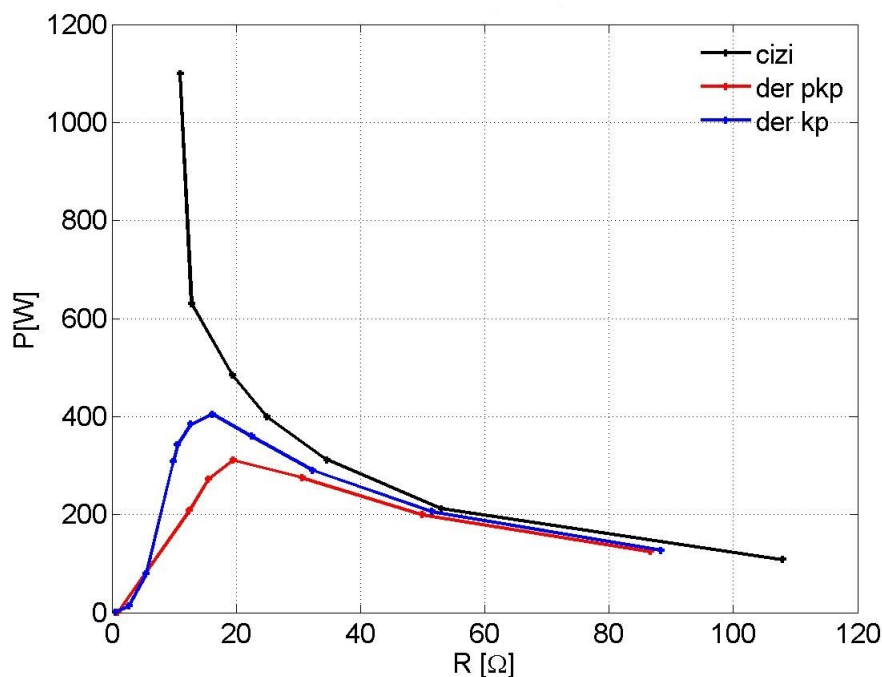
Tab. 4.1: Binární tabulka k stanovení stupňů spínání.



Obr. 4.3: Reálné zapojení odporů a ampérmetru.

4.3 Výkonové zatížení

Při návrhu celého zařízení je velice důležité dostatečně naddimenzovat hodnoty rezistorů jak výkonově, tak tepelně. Z grafu (obr. 4.4) lze vyčíst, že při maximálním zatížení se pohybujeme kolem $1000W$. Zařízení je navrhováno na dlouhodobý provoz, tím pádem je nutné zvolit hodnoty rezistorů tak, aby jejich jmenovité zatížení odpovídalo hodnotám dle grafu (obr. 4.4).



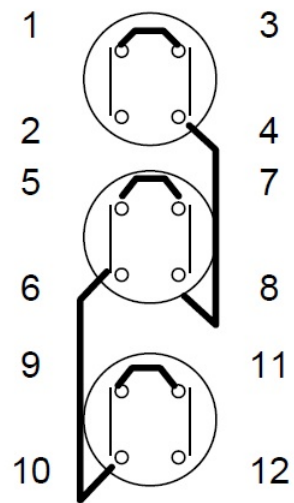
Obr. 4.4: Závislost výkonu na odporu.

4.4 Řízení

K ovládání jednotlivých stupňů slouží vačkový spínač VSN 16 od firmy Obzor, se spínacím úhlem $\alpha_1 = 30^\circ$ s atypickým spínacím diagramem. V přepínači je vhodnou sekvencí a sousledností spínání jednotlivých kontaktů minimalizováno tvoření oblouků při změně pozice přepínače. Při přepínání dojde nejprve k výraznému poklesu proudu (zařazením vyššího odporu) a teprve poté k nastavení nové hodnoty proudu. Tato nová hodnota proudu bude vyšší než předchozí při pohybu k vyšším stupňům přepínače a naopak nižší, při pohybu opačném. Návrh diagramu spínání je řešen v následující tabulce (tab. 4.2).

	1	2	3	4	5	6	7	7	9	10	11
1-2	x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x
3-4		x		x		x				x	
5-6	x			x-	-x			x		x	
7-8	x-	-x-	-x					x-	-x		
9-10	x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x				
11-12	x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x				

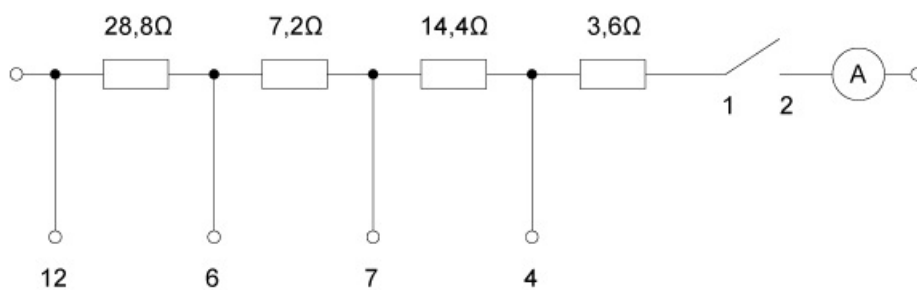
Tab. 4.2: Návrh spínání kontaktů.



Obr. 4.5: Konstrukční zapojení spínače. [5]



Obr. 4.6: Výsledný použitý vačkový spínač VSN 16.



Obr. 4.7: Konečné a reálné schéma zapojení včetně uvážení vnitřního zapojení spínače.

5

Výběr vhodných rezistorů

Volba rezistorů byla ovlivněna více parametry. Velice důležité bylo zvolit odpory tak, aby vyhovovaly výkonovému zatížení. Po průzkumu na trhu přišla nejvhodnější nabídka od firmy Tesla Blatná. Jejich drátové výkonové rezistory tmelené se vyrábějí v dostatečném odporovém i výkonovém rozsahu. Pro naše použití je nejvhodnější řada s označením TRR-3xx. Zde je možné volit výkony od 200-1300W. Pro naši potřebu byly vybrány dva rezistory řady TRR-308 o výkonovém zatížení 500W. Další rezistor byl zvolen s větším zatížením z řady TRR-309 o výkonu 750W. Poslední, čtvrtý s označením TRR-310 a výkonem 1 000W.

Po dodání rezistorů došlo k přesnému nastavení hodnoty odporu pomocí přiložených spon. Z důvodu finanční a prostorové úspory byl jeden z odporů řady TRR-308 rozdělen pomocí spon na dvě části a tyto části zapojené paralelně. Tím pádem jsme dostali dvojnásobný výkon. Místo původních 500W se povedlo výkonové zatížení zvětšit na 1000W. Konkrétně se jedná o rezistor TRR-308 15R který byl donastaven na hodnotu $3,6\Omega$. Následující stupně jsou tvořené a nastavené takto: TRR-310 8R2 ($7,2\Omega$), TRR-309 15R ($14,4\Omega$) a TRR-308 33R ($28,8\Omega$).

Před montáží bylo nutné ještě připevnit držáky s označením H5 u menších rezistorů TRR-308 a H6 v případě řady TRR-309 a 310.

Jmenovité zatížení při 25°C Nominal load at 25°C		Parametry a rozměry			Parameters and dimensions					
Typ	Type	P_N	rozsah hodnot resistance range	max. provozní napětí operating voltage	D_{nisa}	L_1	L_{2max}	/g/	L_3	Držák / holder H6
TR 308	TRR 308	500 W	2R6 - 200K	3 000 V \pm	47	310 \pm 5	50	700	337 \pm 1	(135/ - g)
TR 309	TRR 309	750 W	3R6 - 130K	4 000 V \pm	68	390 \pm 5,5	68	2 200	430 \pm 1	(390 g)
TR 310	TRR 310	1000 W	4R7 - 180K	4 500 V \pm	68	515 \pm 6,8	68	2 800	555 \pm 1	(410 g)

TRR - typy s nastavitelnou odbočkou, tolerance $\pm 5\%$ v řadě E24, tolerance $\pm 10\%$ v řadě E12

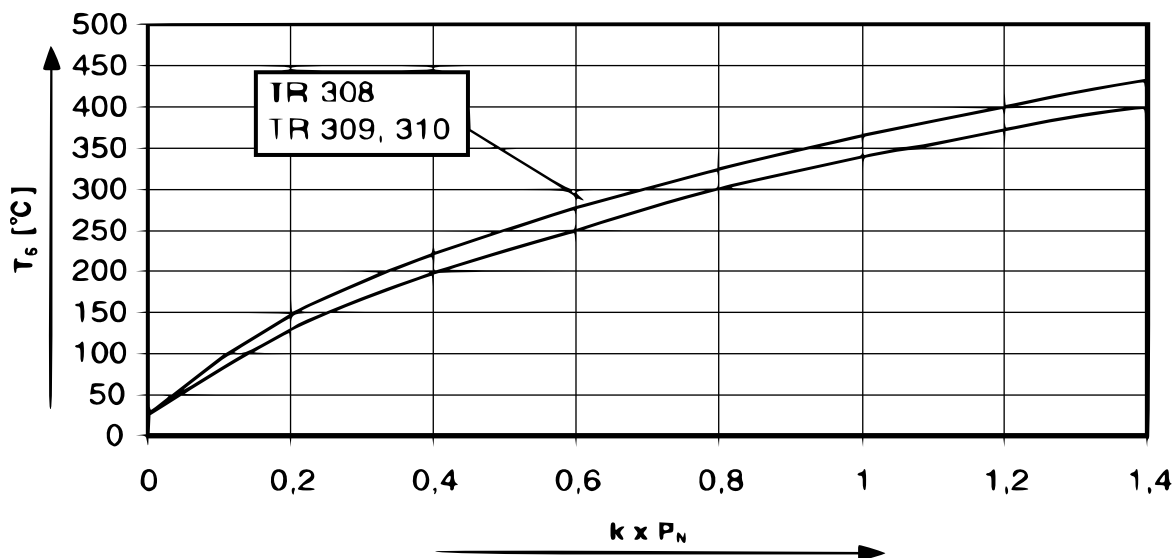
TRR - types with setting cap, tolerance $\pm 5\%$ in serie E24, tolerance $\pm 10\%$ in serie E12

teplotní koeficient TK ($10^{-6}/K$)	$\leq \pm 150$	TCR ($10^{-6}/K$)
stabilita při +25°C a P_N , 1000 hod. přetížení	$\pm 5\%$ 10 x P_N , 5 sec	stability at +25°C and P_N , 1 000 hours pulse overload
izolační zkušební napětí vůči držákům	4 000 V \pm	isolation testing voltage against holders
kategorie klimatické odolnosti	50 / 200 / 56	climatic category
specifikace	TPE57-155/98, ČSN 60115-1/QC400 000/	specification

Obr. 5.1: Přehled parametrů použitých rezistorů. [4]

Závislost teploty povrchu rezistoru na zatížení ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

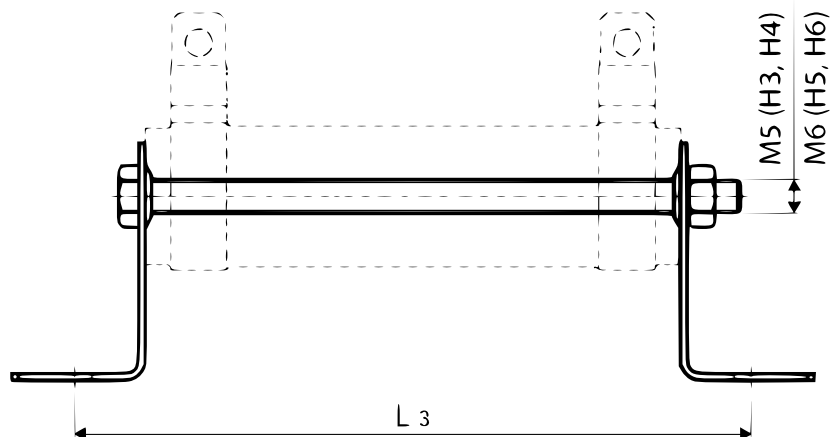
Surface temperature of resistors - power load characteristic ($T_o = 25^\circ\text{C}$)



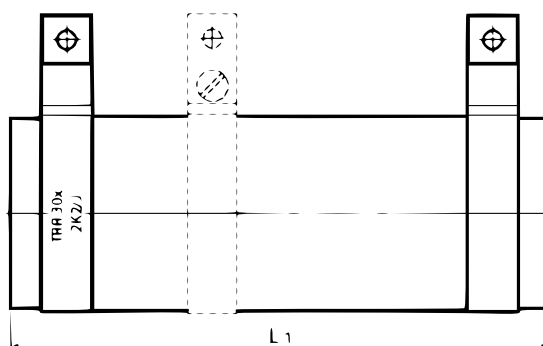
T_s - teplota povrchu rezistoru / surface temperature of resistor

$k \times P_N$ - násobky jmenovitého zatížení / multiple of nominal load

Obr. 5.2: Závislost teploty povrchu na zatížení. [4]



Obr. 5.3: Rezistor s regulační sponou. [4]



Obr. 5.4: Rezistor uchycený držákem H5. [4]



Obr. 5.5: Reálný pohled na použité rezistory.

6

Konstrukční návrh

6.1 Nosný rám

Základní desku celé práce tvoří rám, na kterém jsou veškeré komponenty uchycené. Volba rozměrů a tvar jsou přizpůsobeny především zakoupeným rezistorů. Jelikož největší rezistor měří $57,5\text{cm}$ a včetně držáků váží bezmála 3kg , musí být vše velice pevné a rozměrné. Dalším velice důležitým faktorem při volbě skříně bylo zajistit odvod vzniklého tepla.

První variantou bylo zakoupit a použít téměř hotovou rozvaděčovou skříň potřebných rozměrů. Na čelní stranu pak pouze vyvrtat otvor pro ampérmetr, svorky a spínač. Rezistory jsou dodávány s potřebnými držáky, tím pádem by stačilo jen přišroubovat k rozvaděči jejich nosníky a bylo by téměř hotovo. Jednalo by se o nejpohodlnější a levné řešení. Problém ale nastal při zohlednění vzniklého tepla. Zařízení o celkovém výkonu 3250W by se nadměrně zahřívalo. Jedním z možných řešení bylo odstranění krycích dvířek a použití děrovaného plechu. Bohužel ani to by nebylo dostatečné. Další variantou bylo odstranění spodní část plechu a nahrazení opět děrovaným plechem, ale bohužel tím by se narušila celková tuhost rozvaděčové skříně. Použití externího chladicího zařízení by problém pravděpodobně vyřešilo, ale bylo by složité a nevhodné zapojovat do obvodu přídatné ventilátory. Okruh chlazení by musel mít své vlastní napájení 230V ze střídavé sítě a to by mohlo omezovat rozsah použití zařízení.

Jako řešení jsem navrhl použít ocelový rám o rozměrech $70 \times 40 \times 30\text{cm}$, který je tvořený z hranolů $3 \times 3\text{cm}$. Rám je velice pevný a robustní. Na jeho čelní a zadní straně je navařený plech o tloušťce 2mm . Celý rám jsem nalakoval černou barvou. Ke krytí slouží použitý tahokov s otvory $2 \times 4\text{mm}$, který je také velice pevný a dobře odolává průchodu vzniklého tepla. Tahokov byl důkladně odmaštěn a nabarven na modro. Vše je zalištováno tak, aby nedošlo k poranění. Rám je umístěn na 3cm nožičkách, aby bylo zajištěno dobré proudění vzduchu.

6.2 Ampérmetr

Na čelní straně výrobku je umístěno analogové panelové měřidlo 10A o čelních rozměrech $80 \times 65 \text{ mm}$. Tento ampérmetr slouží k okamžitému odečítání hodnoty protékaného proudu. Montáž měřidla byla i z důvodu bezpečnosti pro zařízení, aby obsluha měla dostupné hodnoty proudu v reálném čase. Pokud by byl překročen rozsah měřidla, obsluha může okamžitě přístroj vypnout, aby nedošlo k jeho poškození.

6.3 Spínač

Spínač, který zajišťuje ovládání celého zařízení, je umístěn hned pod ampérmetrem také na čelní straně. Použil jsem vačkový spínač od firmy Obzor VSN 16. Jeho bližší vlastnosti jsou popsány v kapitole 5. Pod spínačem jsou umístěny izolované svorky, které slouží k připojení celého zařízení k dynamu. Snahou bylo vše umístit na čelní desku pro přehlednost a jednoduchost.

6.4 Montáž

6.4.1 Rozložení

Při návrhu umístění rezistorů bylo důležité uvažovat proudění tepla vzniklého při zatěžování. Tepelně a i konstrukčně vyšel nejlépe návrh, kdy dva velké rezistory (TRR-309 a TRR-310) jsou směřovány ke stranám v dolní části přístroje. Nahoře uprostřed rovnoběžně se spodními odpory je zavěšený rezistor TRR-308 s odporem $28,8 \Omega$. Poslední, čtvrtý rezistor TRR-308, je situován v přední horní části kolmo na ostatní rezistory. Takové umístění bylo velice výhodné, jelikož v přední části už spodní rezistory nemají aktivní část. Zároveň je výš než přepínač a ampérmetr, takže nepůsobí svým teplem na spínací a měřicí přístroj.

6.4.2 Upevnění rezistorů

Rezistory jsou umístěny na železných páskách o tloušťce 2 mm a šířce 30 mm . Vše je přišroubované a upevněné na nosný rám. K uchycení horních pásek jsem použil menší šrouby, které jsou zašroubované do vytvořených závitů pomocí závitníku přímo v rámu. Spodní tři jsou přišroubovány šrouby délky 6 cm , které pronikají skrz rám a slouží zároveň jako nožičky. Rezistory jsou přichycené pomocí držáků řady H5 nebo H6 k železným páskám pomocí šroubů s maticí. Vše je jištěno na více místech z důvodu křehkosti rezistorů, při jejich uvolnění a pádu by hrozilo závažné poškození.

6.4.3 Instalace spínače, měřidla a svorek

Pro spínač bylo nutné vytvořit tři otvory. Dva menší pro samotné uchycení spínače a třetí pro ovládací hřídelku. Po demontáži přední části spínače vlastní tělíčko umístíme k zadní straně přední desky a skrz připravený otvor prostrčíme hřídelku. Skrz dva otvory prostrčíme šroubky a vypínač přišroubujeme. Následně už stačí jen nacvaknout přední část a dotáhnout křížový šroubek umístěný uprostřed ovládacího knoflíku.

Montáž analogového panelového měřidla vyžadovala otvor o průměru 60mm . Otvor jsem vytvořil pomocí vrtačky a následně dobrousil ostré hrany. Následně jsem vyvrtal dva menší otvory pro finální upevnění.

Svorky pro vnější připojení jsou prostrčené do vytvořených otvorů a dotaženy na matičky. Jsou izolované a tím pádem oddělují živé části od rámu. Díky tomu je zajištěna velká bezpečnost proti úrazu elektrickým proudem.

6.4.4 Zapojení

Zapojení bylo provedeno pomocí izolovaného vodiče o průměru $2,5\text{mm}$. Vodiče jsem osadil nalisovanými očky nebo koncovkami pro zapojení do spínače. V zapojení jsem postupoval od červené svorky přes měřidlo, dále na spínač a z něj na rezistory. Důležité bylo vytvořit na rezistoru TRR-308 $3,6\Omega$ paralelní zapojení z důvodu nárůstu maximálního výkonu. Vše je pevně uchyceno pomocí šroubků, podložky a matiček. Zapojení do spínače je již připravené od výrobce a pouze stačí vložit zakončení vodiče a dotáhnout šroubek. Detailní schéma zapojení lze vidět v kapitole 4. Důležité bylo dobře naměřit délky jednotlivých částí tak, aby se zde nenacházely vodičové svazky a nedošlo k dotyku s rezistorem, kde by hrozilo následné porušení izolace.

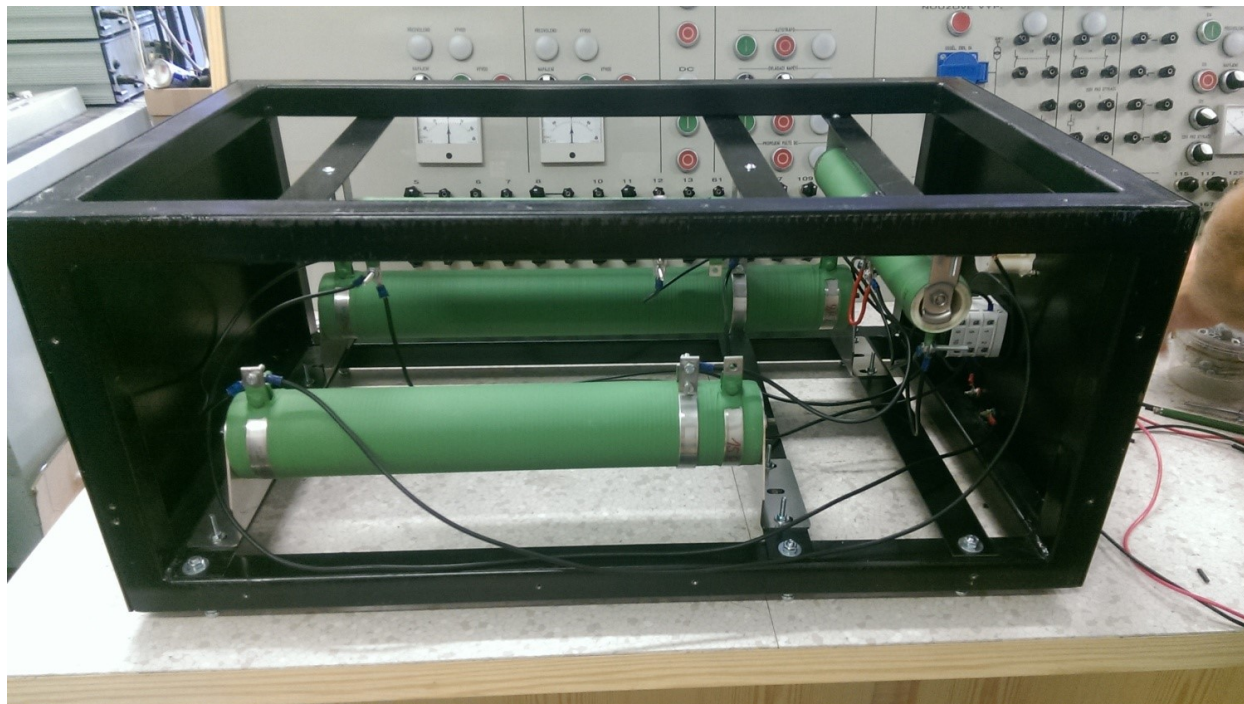
6.4.5 Připevnění ochranného krytu

Při navrhování zařízení bylo důležité myslet na důkladnou ochranu obsluhy. Veškeré živé části jsou umístěné uvnitř a zakryté tahokovem, který byl dodán firmou FERRUM Plzeň.

Zakoupený tahokov bylo třeba upravit na potřebné rozměry. Dodanou tabuli $100 \times 200\text{cm}$ bylo nutné zmenšit na rozměry $100 \times 70\text{cm}$. Už při počátečním návrhu rámu byl uvažovaný rozměr dodávané tabule a vše naměřeno tak, aby došlo na co možná nejlepší využití materiálu a vznikl „odpad“, který bude mít použití pro další zakázku.

Úprava rozměrů proběhla stříháním na velkých metrových nůžkách v dílnách bývalé Fakulty elektrotechnické v Sadech pětatřicátníků. Ještě bylo nutné síto ohnout, k tomu posloužila ohýbačka ve stejných prostorách. Po převezení do laboratoří v nové budově FEL bylo nutné důkladné odmaštění a následné vícevrstvé nanesení barvy.

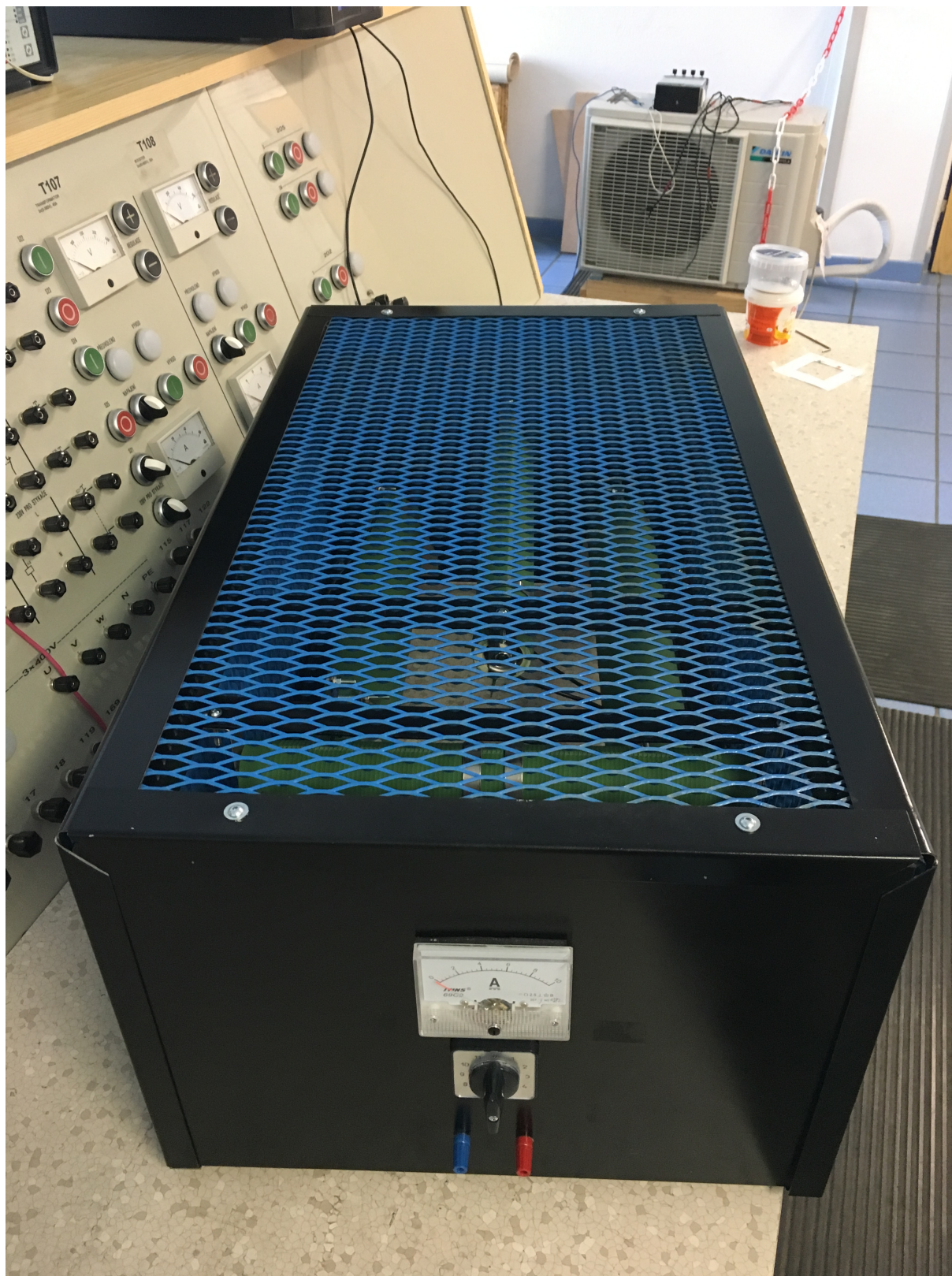
Po finální úpravě bylo nutné ohnutý a ustřižený tahokov připevnit. Do rámu jsem vyvrtal celkem 20 otvorů a pomocí závitníků vyřezal.



Obr. 6.1: Finální zapojení.



Obr. 6.2: Konečná podoba výrobku, čelní pohled.



Obr. 6.3: Konečná podoba výrobku, horní pohled.

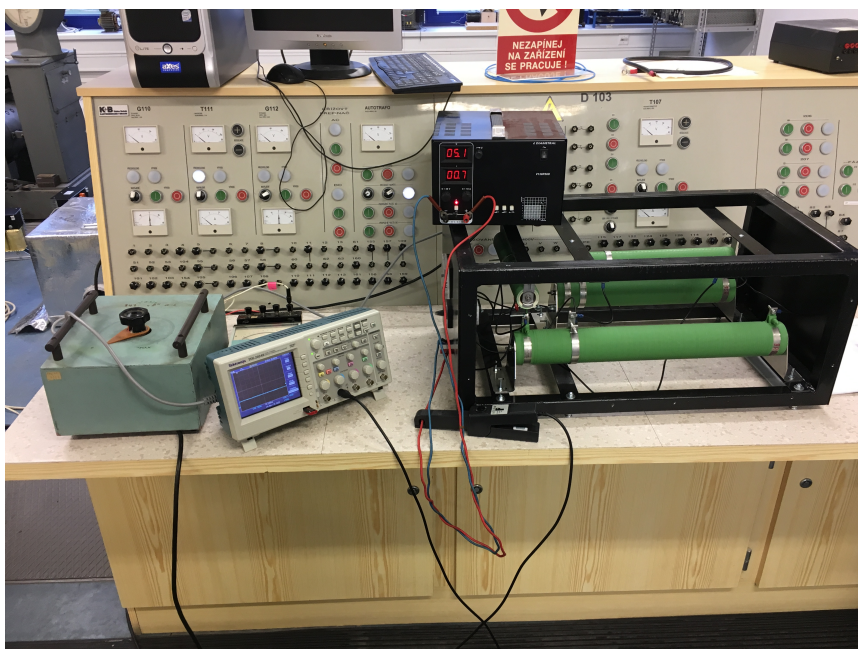
7

Měření spínání kontaktů a zatěžování

7.1 Měření proudu při spínání kontaktů

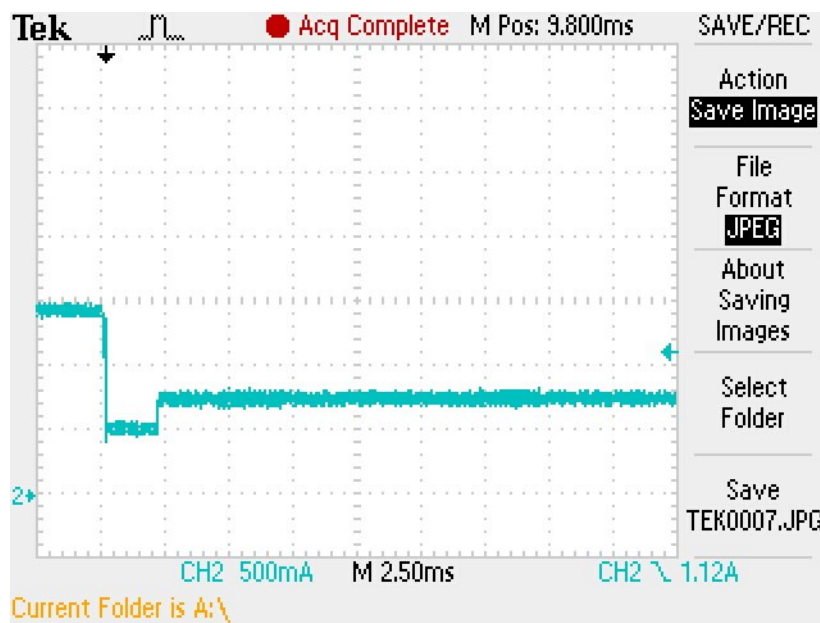
Cílem měření bylo blíže prozkoumat hodnoty proudu při změně kombinace rezistorů. Podle teoretických předpokladů by spínač měl při změně hodnoty odporů zařadit vyšší odpor a až poté nastavit finální hodnotu. Měření probíhalo pomocí digitálního osciloskopu, proudové sondy a stabilizovaného zdroje napětí (obr. 7.1).

Po zapojení bylo nutné regulovat velikost napětí zdroje z důvodu zachování velikosti protékajícího proudu. Pro první dva stupně bylo napětí nastavené na 5,1V. U měření stupně 3 a 4 bylo nutné nastavit hodnotu 10V, stupně 5 až 9 použít 20V a pro poslední dvě hodnoty napětí 29,1V. Čas hoření oblouku je průměrně 2,5ms.

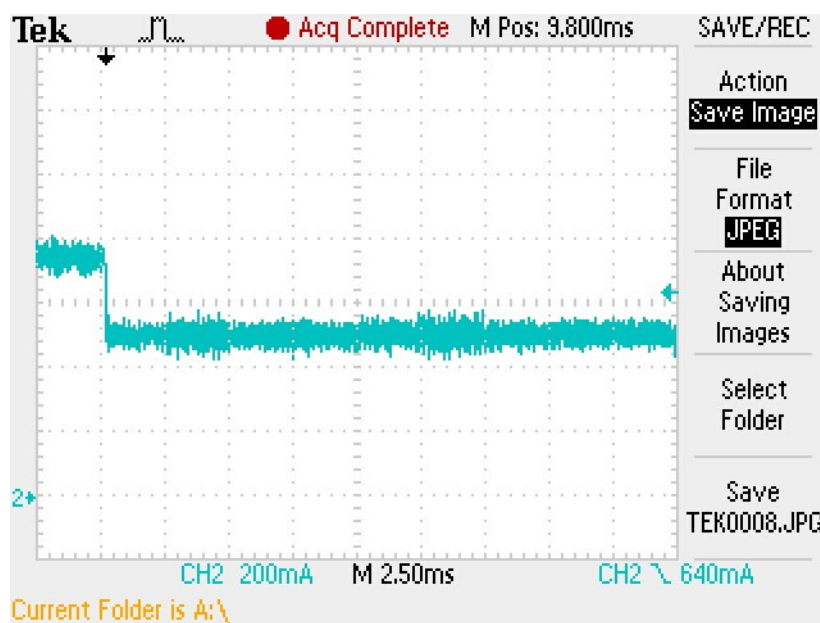


Obr. 7.1: Zapojení při měření.

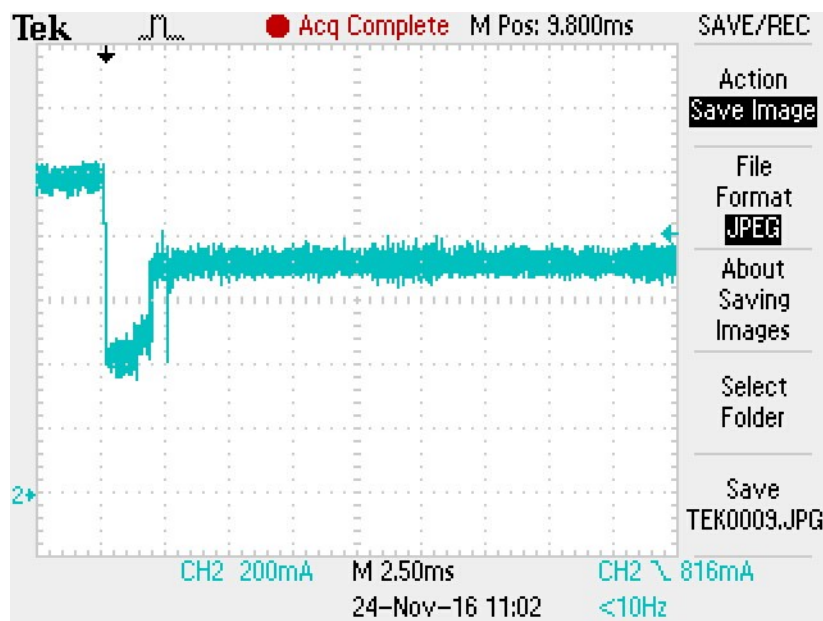
Z přiložených průběhů (obr. 7.2 až 7.5) lze vidět, že spínač svou funkci plní pouze přes jednu kombinaci. K přerušení proudu dochází pouze při změně z polohy 1 → 2 , 3 → 4, 5 → 6, 7 → 8, 9 → 10. Ostatní změny proběhnou, ale nedojde k zařazení vyšší hodnoty odporu. Tím pádem vzniká ve spínači oblouk, který má negativní vliv na kontakty uvnitř spínače.



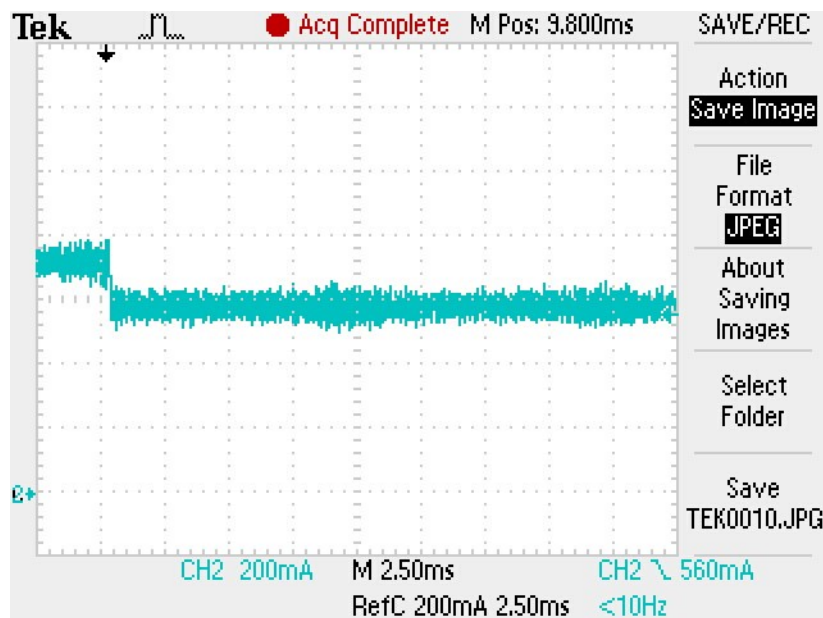
Obr. 7.2: Přerušení proudu při změně kombinace z první na druhou.



Obr. 7.3: Bez přerušení proudu při změně kombinace z druhé na třetí.



Obr. 7.4: Přerušení proudu při změně kombinace ze třetí na čtvrtou.



Obr. 7.5: Bez přerušení proudu při změně kombinace ze čtvrté na pátou.

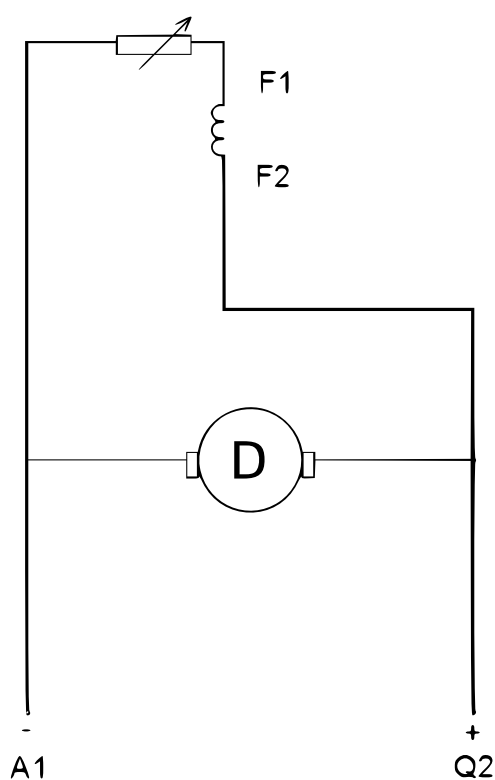
7.2 Měření na dynamu

Zařízení bylo použito pro měření zatěžovacích charakteristik (závislosti $U = f(I)$ pro $I_b = konst.$ a $n = konst.$) dynamu cize buzeného a derivačního. Poté následovalo měření obou strojů v zapojení jako kompaundní a protikompaundní (kapitola 2).

Měření bylo totožné s měřením, které se provádí v předmětu TES1. Studenti budou moci zařízení využívat k zatěžování dynamu pevně danými stupni a nebudou muset, jako doposud jednotlivé stupně vytvářet pomocí původních rezistorů, které nejsou na takové zatížení optimalizované. Měření to velice usnadní, zpřesní a zrychlí.

Parametry měřeného stroje jsou:

- 110V/10A při 14000ot/min

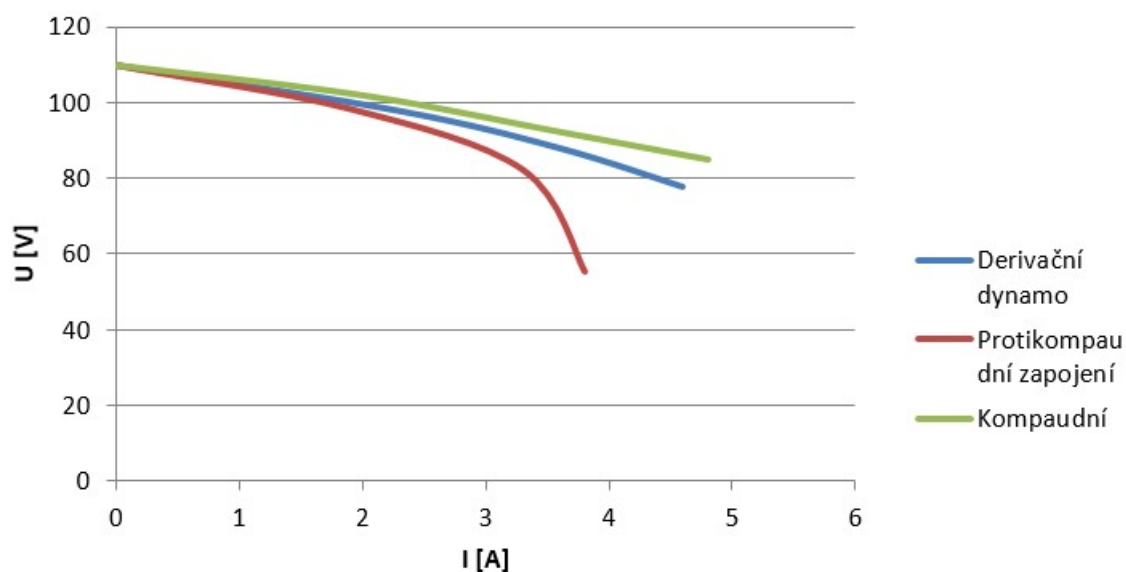


Obr. 7.6: Schéma zapojení derivačního dynamu včetně označení svorek.

<i>Derivační dynamo</i>	U [V]	110	97,8	87,9	77,6
	I [A]	0	2,3	3,6	4,6
<i>Protikompaundní</i>	U [V]	110	102	92,3	85
	I [A]	0	2	3,6	4,8
<i>Kompaundní</i>	U [V]	110	98,4	82,3	55,4
	I [A]	0	1,9	3,3	3,8

Tab. 7.1: Zatěžování derivačního dynamu.

Derivační dynamo

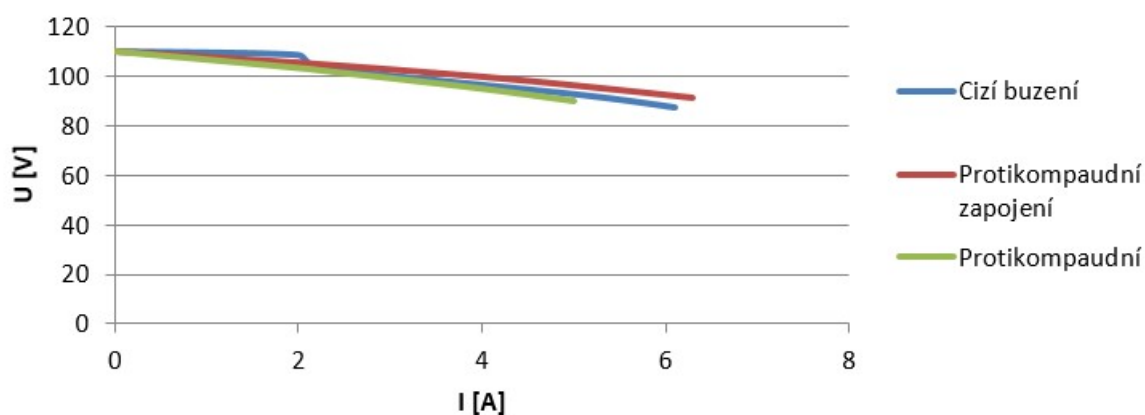


Obr. 7.7: Derivační dynamo: Závislost U na I.

<i>Cize buzené dynamo</i>	U [V]	110	108,5	103,6	92,4	87,5
	I [A]	0	2	2,2	5,1	6,1
<i>Protikompaudní</i>	U [V]	110	103,2	101,5	95,2	89,7
	I [A]	0	2	2,4	3,9	5
<i>Kompaudní</i>	U [V]	110	105,3	99,5	94,8	90,8
	I [A]	0	2	4	5,3	6,3

Tab. 7.2: Zatěžování cize buzeného dynama.

Cize buzené dynamo



Obr. 7.8: Cize buzené dynamo: Závislost U na I.

8

Závěr

Předmětem práce byla náhrada plynule nastavitelných odporů pevnými odporovými stupni. Takové zařízení se povedlo úspěšně navrhnout, zkonstruovat a odzkoušet. Výsledkem je přístroj, který velice usnadní, zpřesní a zrychlí měření na dynamu 110V/10A.

Při konstrukci jsem narazil na několik problémů, které se ale povedlo úspěšně vyřešit. Ať už se jednalo o umístění rezistorů, řešení odvodu vzniklého tepla nebo celkové ovládní. Odpory jsou navrženy přesně tak, aby pokrývaly jednotlivé výstupní charakteristiky dynamy charakteristickými body.

Konstrukcí zařízení jsem se zdokonalil hned v několika odvětví. Počínaje programování v Matlabu, kde proběhl počáteční návrh zařízení. Následně bylo nutné vyrobit a svařit rám z jednotlivých úhelníků, který jsem osobně nevařil, ale byl přítomný při sestavování. Následně návrh a výběr rezistorů, při kterém jsem musel na trhu najít vhodné řady, popsat cenu a následně vybrat kompromis mezi cenou, kvalitou a vhodností pro můj výrobek. Další část, samotný spínač bylo také nutné navrhnout přesně podle mojí potřeby. Snahou bylo mít co nejvíce stupňů spínání. Nejlépe vyšel spínač od firmy OBZOR, kde na jejich webových stránkách je možné si vlastní spínač navrhnout podle potřeb. Jako vhodný spínač byl nakonec vybrán a navrhnout vačkový spínač VSN 16, spínací úhel A1 30° s atypickým spínacím diagramem.

Zapojení proběhlo podle schématu (kap. 4) a následným měřením jsme ověřili správnou funkčnost zařízení. Hodnoty odporů jednotlivých stupňů odpovídají teoretickým předpokladům. Menší komplikací by v budoucnu mohl být navrhnutý spínač, kdy při spínání k zařazení vyššího odporu, a tím pádem poklesu proudu, dochází pouze ob jednu kombinaci. Hrozí zde následné opalování kontaktů spínače a možné jejich možné slepení. Při měření bude vhodné snížit hodnotu protékajícího proudu, změnit kombinaci a poté znovu proud zvýšit. Do budoucna plánuji navrhnout RC můstek, který bude oblouky dokonale zhasínat a tím se prodlouží životnost spínače.

Literatura

- [1] BARTOŠ, Václav a SKALA, Bohumil. *Měření na elektrických strojích. 2. vyd.* Plzeň: Západočeská univerzita, 2006.
- [2] Kocman, Karel. *Elektrické stroje a přístroje I. 1. vyd.* Praha: SNTL, 1990.
- [3] BARTOŠ, Václav. *Teorie elektrických strojů. 1. vyd.* Plzeň: Západočeská univerzita, 2006.
- [4] Katalogový list společnosti Tesla-Blatná dostupný na stránkách: <http://www.tesla-blatna.cz/cs/vyrobky-rezistory.php/dratove-rezistory-vykonove-tmelene2>
- [5] Webové stránky společnosti Obzor: <https://www.obzor.cz/vyrobky/prumyslova-elektroinstalace/vackove-spinace-vsn/tabType=vsnandrootId=308>