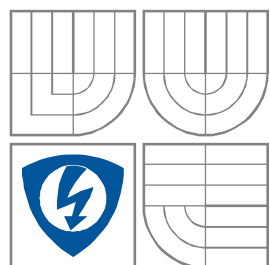


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNologiÍ**

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY
A ELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC
ENGINEERING

Identifikace parametrů motorů pro laboratorní stand

MOTOR PARAMETER IDENTIFICATION FOR LABORATORY STAND

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Lidmila

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Dalibor Červinka, Ph.D.

BRNO, 2014

Abstrakt

Cílem této práce je proměření motorů zakoupených pro výukový laboratorní stand do předmětu elektrické pohony. Z důvodu chybějícího vhodného měřicího pracoviště byla práce soustředěna především na modernizaci staršího dynamometru, který bude dále využíván studenty. Dynamometr byl vybaven elektrickým měřením otáček a momentu, obě tyto hodnoty jsou přehledně a velmi přesně vyhodnocovány a zobrazovány na digitálních přístrojích. Změření parametrů motorů pro laboratorní stand mělo v práci jen okrajový význam.

Abstract

The goal of introduced thesis is to provide measurement of the engines used as a tutorial laboratory stand in the course “Electric drives”. Due to the absence of appropriate measurement centre, the main emphasis is laid on the modernization of older dynymometer, which is going to be used by the students. Dynymometer has been equipped with the electric speed and torque vbmeasurement, data from these measurements are displayed and evaluated by the digital devices very clearly and precisely. Engines parameters measurements has only marginal importance in this thesis.

Klíčová slova

Dynamometr; asynchronní motor; stejnosměrný motor s permanentními magnety; siloměr; infračervená závora.

Keywords

The dynamometer; induction motor, a DC motor with permanent magnets, force transducer, infrared bar.

Bibliografická citace

LIDMILA, P. *Identifikace parametrů motorů pro laboratorní stand*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 45 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Dalibor Červinka, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Identifikace parametrů motorů pro laboratorní stand jsem 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 bakalářské 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Daliboru Červinkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

Podpis autora



Obsah

ÚVOD.....	8
1 MĚŘÍCÍ PRACOVISTĚ	9
1.1 DYNAMOMETR	9
1.2 PŘÍSTROJE PRO MODERNIZACI DYNAMOMETRU	9
1.2.1 SILOMĚR S2M.....	10
1.2.2 MĚŘIČ SCOUT 55.....	12
1.2.3 INFRAČERVENÁ ZÁVORA HOA0961-N51	14
1.2.4 LCD DISPLAY OMRON K3MA-F	16
1.3 UMÍSTĚNÍ A UCHYCENÍ PŘÍSTROJŮ	17
2 NÁVOD NA NASTAVENÍ A KALIBRACI PŘÍSTROJŮ PRO MĚŘENÍ NA DYNAMOMETRU	19
2.1 MĚŘENÍ OTÁČEK.....	19
2.1.1 NASTAVENÍ PŘÍSTROJE.....	19
2.2 MĚŘENÍ MOMENTU	22
2.2.1 VÝZNAM JEDNOTLIVÝCH TLAČÍTEK NA ČELNÍM PANELU PŘÍSTROJE	22
2.2.2 ZÁKLADNÍ NASTAVENÍ PŘÍSTROJE	23
2.2.3 KALIBRACE PŘÍSTROJE.....	25
2.2.4 POUŽITÍ MĚŘICÍHO PRACOVISTĚ.....	26
3 MĚŘENÉ MOTORY	27
3.1 ASYNCHRONNÍ MOTOR	27
3.2 STEJNOSMĚRNÝ MOTOR	28
4 MĚŘENÍ NA MOTORECH.....	29
4.1 PŘESNOST MĚŘENÍ.....	29
4.2 MĚŘENÍ ASYNCHRONNÍHO MOTORU	29
4.2.1 MĚŘENÍ JMENOVITÝCH PARAMETRŮ STROJE	29
4.3 MĚŘENÍ STEJNOSMĚRNÉHO MOTORU	31
4.3.1 MĚŘENÍ ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKY MOTORU	31
4.3.2 MĚŘENÍ MOTORU NAPRÁZDNO.....	34
5 MATEMATICKÝ MODEL A SIMULACE DYNAMICKÉHO CHOVÁNÍ STEJNOSMĚRNÉHO MOTORU	36
5.1 MATEMATICKÝ MODEL	36
5.2 SIMULACE DYNAMICKÉHO CHOVÁNÍ	38
6 ZÁVĚR	41
LITERATURA	41
PŘÍLOHY	43



Seznam obrázků

<i>Obrázek 1- Měřicí pracoviště.....</i>	<i>10</i>
<i>Obrázek 2 - Wheatsonův můstek</i>	<i>11</i>
<i>Obrázek 3- Siloměr S2M s vyznačenými tenzometry.....</i>	<i>11</i>
<i>Obrázek 4- Příchytné oko siloměru.....</i>	<i>12</i>
<i>Obrázek 5- Zapojení konektoru.....</i>	<i>13</i>
<i>Obrázek 6- Měřič Scout 55.....</i>	<i>13</i>
<i>Obrázek 7. Optický senzor HOA096X/097X</i>	<i>14</i>
<i>Obrázek 8- Schéma senzoru otáček.....</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 9- IR závora se segmentovým kotoučkem</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 10- Display Omron K3MA-F</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 11- Umístění přístrojů.....</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 12- Detail uchycení siloměru.....</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 13- Schéma zapojení plošného spoje s IR závorou a displeje.....</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 14- Závislost vstupních signálů na zobrazované hodnotě</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 15- Grafické zobrazení postupu uložení parametrů</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 16- Asynchronní motor Siemens 1LA7063-4AA10[4]</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 17- Stejnosměrný motor MP80/S2.[4]</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 18 - Schéma zapojení pro ověření jmenovitých parametrů</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 19 - Schéma zapojení pracoviště pro měření zatěžovací charakteristiky</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 20- Schéma zapojení pracoviště pro měření motoru naprázdno</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 21. Náhradní model ss motoru s permanentními magnety [3]</i>	<i>36</i>
<i>Obrázek 22 - Matematický model stejnosměrného motoru [3].....</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek 23- Blokové schéma stejnosměrného motoru v programu Simulink.....</i>	<i>38</i>
<i>Obrázek 24- Průběh proudu a úhlové rychlosti nezatíženého motoru</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 25- Průběh proudu a úhlové rychlosti motoru se jmenovitým zatížením.....</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 26- Průběh proudu a úhlové rychlosti motoru zatíženého po rozběhu.....</i>	<i>40</i>



SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1- Parametry Dynamometru Atas K4UX 260</i>	<i>9</i>
<i>Tabulka 2- Parametry asynchronního motoru 1LA7063-4AA10[4]</i>	<i>27</i>
<i>Tabulka 3- Parametry synchronního motoru MO80/2[4]</i>	<i>28</i>
<i>Tabulka 4- Jmenovité hodnoty asynchronního motoru</i>	<i>30</i>
<i>Tabulka 5- Naměřené hodnoty zatěžovací charakteristiky.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabulka 6- Zatěžovací hodnoty a vypočítaná konstanta motoru.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabulka 7- Parametry motoru</i>	<i>38</i>
<i>Tabulka 8- Parametry zátěže.....</i>	<i>38</i>

SEZNAM GRAFŮ

<i>Graf 1 - Zatěžovací charakteristika DC motoru</i>	<i>32</i>
<i>Graf 2- Ztráty naprázdno</i>	<i>35</i>



ÚVOD

Cílem práce je proměřit základní parametry asynchronního a stejnosměrného motoru, které byly zakoupeny do laboratoří elektrických pohonů. Z důvodů chybějícího měřicího pracoviště bylo mým úkolem připravit vhodného pracoviště, které by se dále využívalo studenty pro měření pohonů k různým projektům. Toto pracoviště tvoří modernizovaný dynamometr, který je schopen měřit nejen točivý moment, ale také otáčky hřídele dynamometru. Obě tyto hodnoty jsou zobrazovány na digitálních přístrojích, což znamená zpřesnění a zrychlení vyhodnocování měření.

V první části práce se zabývám seznámením s přístroji a senzory, které jsou použity na modernizaci dynamometru, jejich umístěním a přípravou pro správné a přesné měření.

Dalším bodem práce je správné nastavení a kalibrace přístrojů. Popis nastavení jednotlivých přístrojů a jejich propojení se senzory a následná kalibrace je popsána ve stručném návodu, podle kterého je možné dodatečně znovu správně nastavit a kalibrovat tyto přístroje pouze se základními znalostmi ovládání přístrojů.

Ve druhé části práce je již samotné měření motorů a vyhodnocení naměřených parametrů. Sestavení matematického modelu a provedení simulací pro rozběh stejnosměrného motoru bez a se zátěží.



1 MĚŘÍCÍ PRACOVISTĚ

1.1 Dynamometr

Pro měření charakteristik a parametrů motorů bude využit dynamometr, který byl nejprve modernizován. Jedná se o dynamometr firmy Atas jehož parametry jsou uvedeny v tabulce:

Typ	K4UX 260		
Síla	F	1,8	N
Výkon	P	0,55	kW
Budící proud	I_b	2	A
Proud kotvy	I_a	5	A
Otáčky	n	3000	ot/min

Tabulka 1- Parametry Dynamometru Atas K4UX 260

1.2 Přístroje pro modernizaci dynamometru

Na dynamometr bylo potřeba vybrat vhodné přístroje, které by kvalitně a přesně zobrazovali měřené hodnoty. S výběrem senzoru pro měření momentu a přístroje pro vyhodnocení signálu jsme po doporučení firmy spolupracující se školou vybrali siloměr S2M a pro vyhodnocení signálu měřicí zesilovač Scout 55 oboje od firmy HBM. Siloměr je pro naše účely záměrně předimenzován, jeho jmenovitá zatížitelnost je až 50N, jeho odolnost vůči neodborné manipulaci je díky tomu vysoká. I přes předimenzování je přístroj velmi přesný díky své vysoké citlivosti.

K měření otáček byla zvolena nejlevnější varianta a to displej Omron K3MA-F, který vyhodnocuje počet pulzů za sekundu. Pro vstupní signál pro displej je použita infračervená závora HOA0961-N51 od firmy Honeywell. Podrobnější popis přístrojů je uveden v následující kapitole.

Pro realizaci osazení dynamometru přístroji bylo potřeba vyrobit na stávající stůl dynamometru držák, na kterém je umístěn displej Omron a měřič Scout 55. Dále bylo potřeba vyrobit úchyt pro spodní oko siloměru a upravit kryt dynamometru pro přichycení vrchního oka siloměru. Podrobnější popis těchto komponentů je v kapitole 1.2.



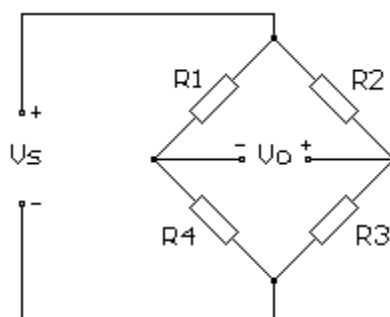
Obrázek 1- Měřicí pracoviště

1.2.1 Siloměr S2M

Pro měření momentu bude použit snímač síly S2M od firmy HBM, který je schopný měřit statické a dynamické tahové a tlakové síly v rozsahu 0-50N. Jedná se o snímač s hliníkovým tělem, který je osazen čtyřmi tenzometry zapojenými do Wheatstonova můstku.

Wheatsonův můstek se skládá ze dvou napěťových děličů (R1-R4 a R2-R3) přičemž výstupní napětí snímače je tvořeno rozdílem jednotlivých děličů (větví můstku), nezávislé na jejich absolutní hodnotě. To znamená, že souhlasná změna napětí se na výstupním napětí neprojeví. Pouze nesouhlasná velikost napětí jednotlivých můstků dá na výstupu napětí o velikosti jejich rozdílu. Pokud budou napětí na obou větvích můstku stejné (bude platit podmínka

$R2 \cdot R4 = R1 \cdot R3$), bude můstek tzv. vyvážený a na jeho výstupu bude nulové napětí. Rozvážení můstku ovlivní jakýkoliv odpor a napětí na výstupu bude úměrné této změně. V tomto zapojení jsou vždy dva tenzometry namáhané v tahu ($R1$ a $R3$) a další dva namáhané v tlaku ($R2$ a $R4$). Toto zapojení tenzometrů je také výhodné v dodatečné teplotní kompenzaci, protože při působení tepla na tenzometry bude toto teplo působit na všechny čtyři tenzometry takže změna odporu tenzometrů bude souhlasná.



Obrázek 2 - Wheatsonův můstek



Obrázek 3- Siloměr S2M s vyznačenými tenzometry

Uchycení siloměru k dynamometru a stolu je provedeno pomocí originálních úchytných ok s označením 1-U1R/200KG/ZGW. Vrchní oko je pevně spojeno s dynamometrem a spodní oko je spojeno s vyrobeným držákem, který je přidělaný na stole dynamometru.



Výkresová dokumentace znázorňující uchycení tenzometru oky a správnou orientaci siloměru je uvedena jako příloha 1.



Obrázek 4- Přichytné oko siloměru

Tenzometr je propojen s měřičem od firmy HBM s označením SCOUT 55 pomocí šestivodičového kabelu který je na konci připojen na 15-ti pinový konektor.

1.2.2 Měřič SCOUT 55

Pro vyhodnocování výstupních parametrů tenzometru je použit měřicí zesilovač od firmy HBM s označením SCOUT 55. Tento přístroj je vhodný pro záznam a zpracování dat z pasivních snímačů.

Základní vlastnosti:

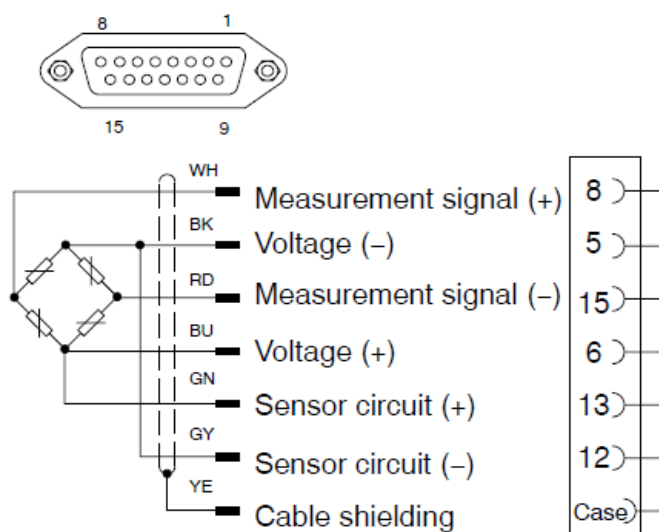
- Přístroj pracuje s frekvencí 4,8kHz pro všechny připojitelné snímače.
- Nastavitelný analogový výstup (+/- 10V, +/- 20mA, 4...20mA)
- Sériové rozhraní RS232 pro připojení počítače nebo tiskárny
- Digitální vzorkovací frekvence až 50 měření/s.
- 10-ti místný alfanumerický displej.
- Jednoduché ovládání a nastavování parametrů pomocí čelního panelu
- Paměť na dvě vrcholové hodnoty (max./ min., okamžitá hodnota)
- Řídící vstupy a výstupy (galvanicky oddělené pomocí optických vazebních členů)

Připojitelnými snímači jsou:

- Tenzometrické poloviční a plné můstky
- Indukční poloviční a plné můstky
- Piezodporové a potenciometrické snímače
- LVDT snímače polohy



Pro připojení senzorů k měřicímu přístroji je použit 15-ti pinový konektor



Obrázek 5- Zapojení konektoru



Obrázek 6- Měřič Scout 55



Pro správné vyhodnocování bude potřeba zjistit velikost ramene (vzdálenost mezi osou dynamometru a osou siloměru), kterou použijeme pro přepočet síly na moment podle vzorce

$$\vec{M} = \vec{r} * \vec{F} \quad (1.0)$$

kde M – moment

r – velikost ramene

F – síla působící na siloměru

Podrobný popis nastavení a kalibrace přístroje je uveden v kapitole 2.2 .

1.2.3 Infračervená závora HOA0961-N51

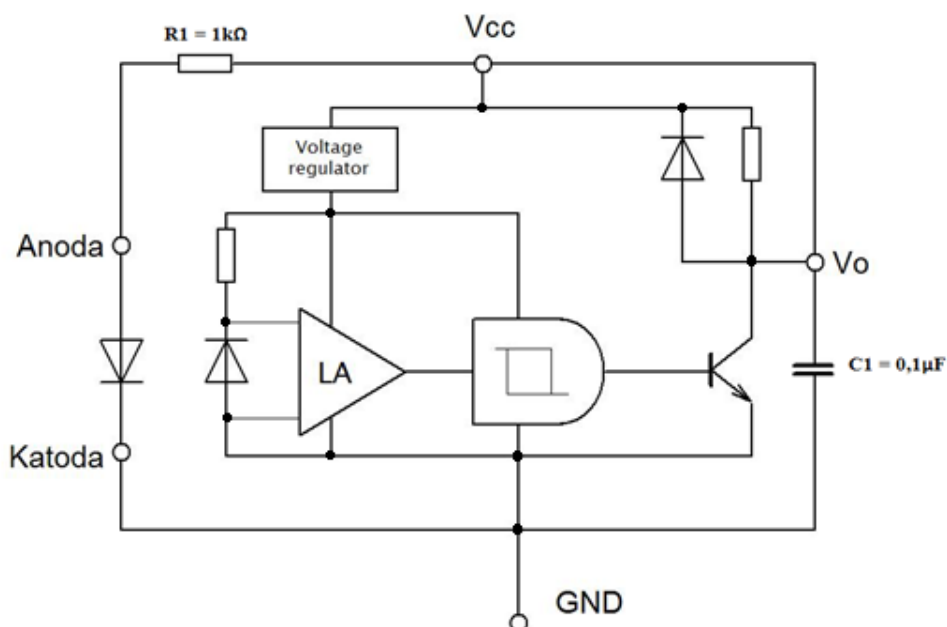
Pro snímání otáček byl na dynamometr instalován snímač od firmy Honeywell HOA0961-N51. Snímač je složen z vysílače (infračervená dioda) a detektoru, mezi kterými prochází střídavě průhledný a neprůhledný objekt. V našem případě je pro snímání použit černý kruhový plastový výlisek s 15-ti průhlednými segmenty po obvodě. Detektor senzoru je složen z fotodiody, zesilovače, regulátoru napětí a výstupního tranzistoru NPN.

Tento snímač je konstruován, že při zablokovaném průchodu mezi IR diodou a detektorem (v mezeře je černý - pro světlo - neprůchodný objekt) je napětí na výstupu minimální (max. 0.4V). V opačném případě je na výstupu napětí maximální (min. 2.4 V).



Obrázek 7. Optický senzor HOA096X/097X

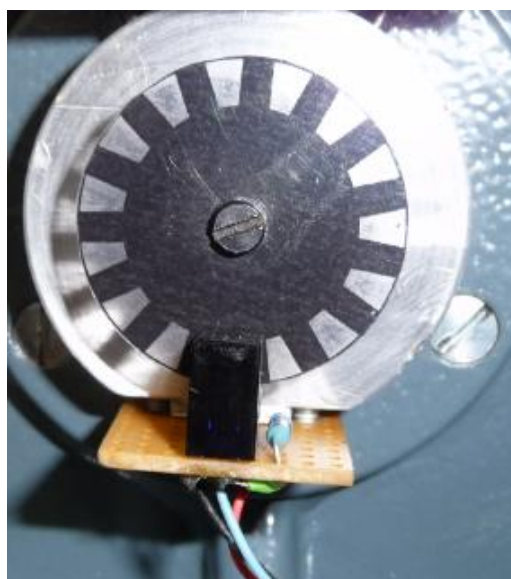
Senzor je zapojen na plošném spoji a je k němu mezi vývody V_{cc} a GND zapojen kondenzátor o hodnotě 0.1 μF stabilizující napájecí napětí. Dále je před IR diodu připojen do série rezistor o hodnotě 1k Ω . Schéma zapojení je následujícím obrázkem.



Obrázek 8- Schéma senzoru otáček

Snímač otáček je připojen k digitálnímu LCD displeji Omron K3MA-F, který vyhodnocuje výstupní signál a zároveň je použit jako napájení tohoto prvku.

Následující obrázek zobrazuje uchycení IR závory se segmentovým kotoučkem na hřídeli dynamometru.



Obrázek 9- IR závora se segmentovým kotoučkem

Podrobný postup zapojení a nastavení přístroje je uveden v kapitole 2.1.



1.2.4 LCD display Omron K3MA-F

Jedná se o 2 barevný (červená, zelená) LED LCD display.

Vlastnosti přístroje:

- Vestavěný externí napájení (12VDC, 40mA)
- Kontakt, NPN, PNP nebo napěťové pulzy vstupu.
- Tlačítko min/max.
- Výstupní hodnota přímo zobrazená v požadované veličině



Obrázek 10- Display Omron K3MA-F

Vstupní signál ze senzoru otáček přístroj zaznamenává v podobě počtu pulzů za vteřinu a přepočítává je na otáčky. Je možné nastavit dva rozsah vstupních frekvencí a to buď 0-30Hz pro malý počet vstupních pulzů (například počítání rychlosti dopravníkového pásu) a pro 30Hz - 5 kHz. Popis nastavení přístroje je probráno a podrobně popsáno v kapitole 2.1.



1.3 Umístění a uchycení přístrojů

Pro přístroje bylo potřeba vymyslet vhodné umístění na stávajícím stole dynamometru. Dynamometr je umístěn na litinovém stole, na kterém je původní držák rozsahu. Tento držák jsme použili pro umístění měřiče SCOUT55 a displeje Omron. Pro umístění byla z plechu vyrobena konstrukce, která je pevně připevněna ke konstrukci dynamometru. Konečné umístění přístrojů na vyrobeném držáku je na obrázku a jeho výkresová dokumentace je přiložena jako příloha.



Obrázek 11- Umístění přístrojů



K uchycení siloměru k dynamometru jsou využita již dříve zmíněná úchytná oka. Tato oka bylo potřeba pevně uchytit k dynamometru a ke stolu. Pro uchycení ke stolu byl vyroben držák, který je pevně přidělaný ke stolu dynamometru. Na krytu dynamometru je pro uchycení oka použita konstrukce, která dříve sloužila jako doraz dynamometru. Bylo potřeba jí poupravit a to vyvrtáním většího závitu než byl dříve použit uprostřed pro uchycení oka šroubem. Celková úprava a konečné uchycení siloměru je zobrazena na následujícím obrázku

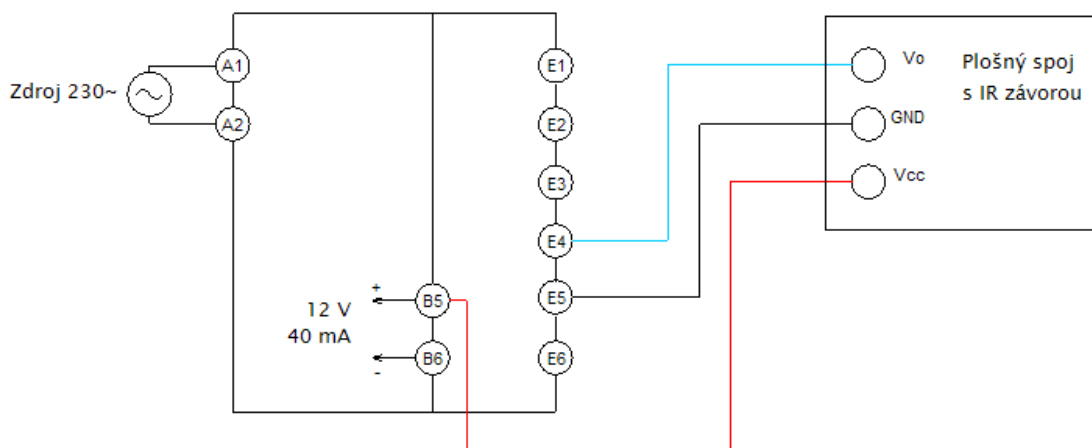


Obrázek 12- Detail uchycení siloměru

2 NÁVOD NA NASTAVENÍ A KALIBRACI PŘÍSTROJŮ PRO MĚŘENÍ NA DYNAMOMETRU

2.1 Měření otáček

Pro měření otáček je použit měřicí systém sestávající s IR závorou a displeje. Tyto přístroje jsou popsány v předchozích kapitolách a zde jsou popsány postupy jejich nastavení, připravení pro měření a samotného ovládání při měření.



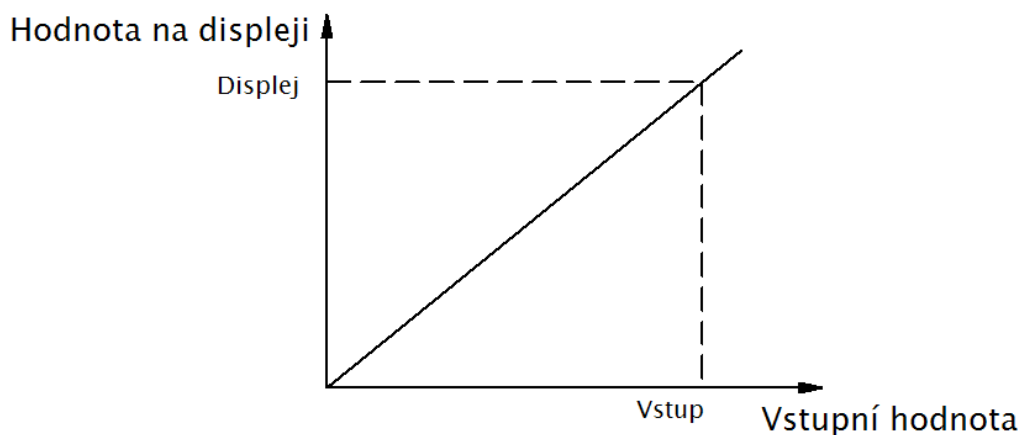
Obrázek 13- Schéma zapojení plošného spoje s IR závorou a displeje

2.1.1 Nastavení přístroje

Přístroj je určen pro zobrazování otáček hřídele dynamometru pomocí 15-ti segmentového kotoučku. Pokud kotouček nahradíme za kotouček s jiným počtem segmentů, bude nutné provést nový výpočet parametrů pro zobrazování a přednastavení hodnot.

Princip počítání a způsob výpočtu nastavení

Přístroj počítá počet pulzů za vteřinu a má lineární závislost zobrazované hodnoty na hodnotě vstupního signálu.



Obrázek 14- Závislost vstupních signálů na zobrazované hodnotě



V původním nastavení se počítá se 15-ti segmentovým kotoučkem. Pro výpočet potřebných hodnot k nastavení platí tento vzorec

$$\text{počet pulzů} = \frac{\text{Počet segmentů} * \text{maximální měřené otáčky}}{60}$$

Maximální možná měřená hodnota otáček je nastavena na 5000 otáček/min. Pro tuto hodnotu je výpočet potřebných hodnot přístroje pro správné převádění signálu následovné

$$\frac{15 * 5000}{60} = 1250 \text{ pulzů/sec}$$

Hodnoty potřebné pro zadání do přístroje jsou tedy

dSP – 5000 - maximální zobrazovaná hodnota otáček

CnP – 1250 - počet pulzů za vteřinu odpovídající maximální hodnotě otáček

Zadání hodnot do přístroje

Zadání hodnot je graficky vyobrazeno na následující stránce.

Pro pohyb v nastavení přístroje se používají tlačítka na čelním panelu.

Význam jednotlivých tlačítek je:

MAX/MIN – slouží k zobrazení hodnot MAX a MIN při měření.

Level – slouží ke změně úrovně (ke vstupu do nastavení)

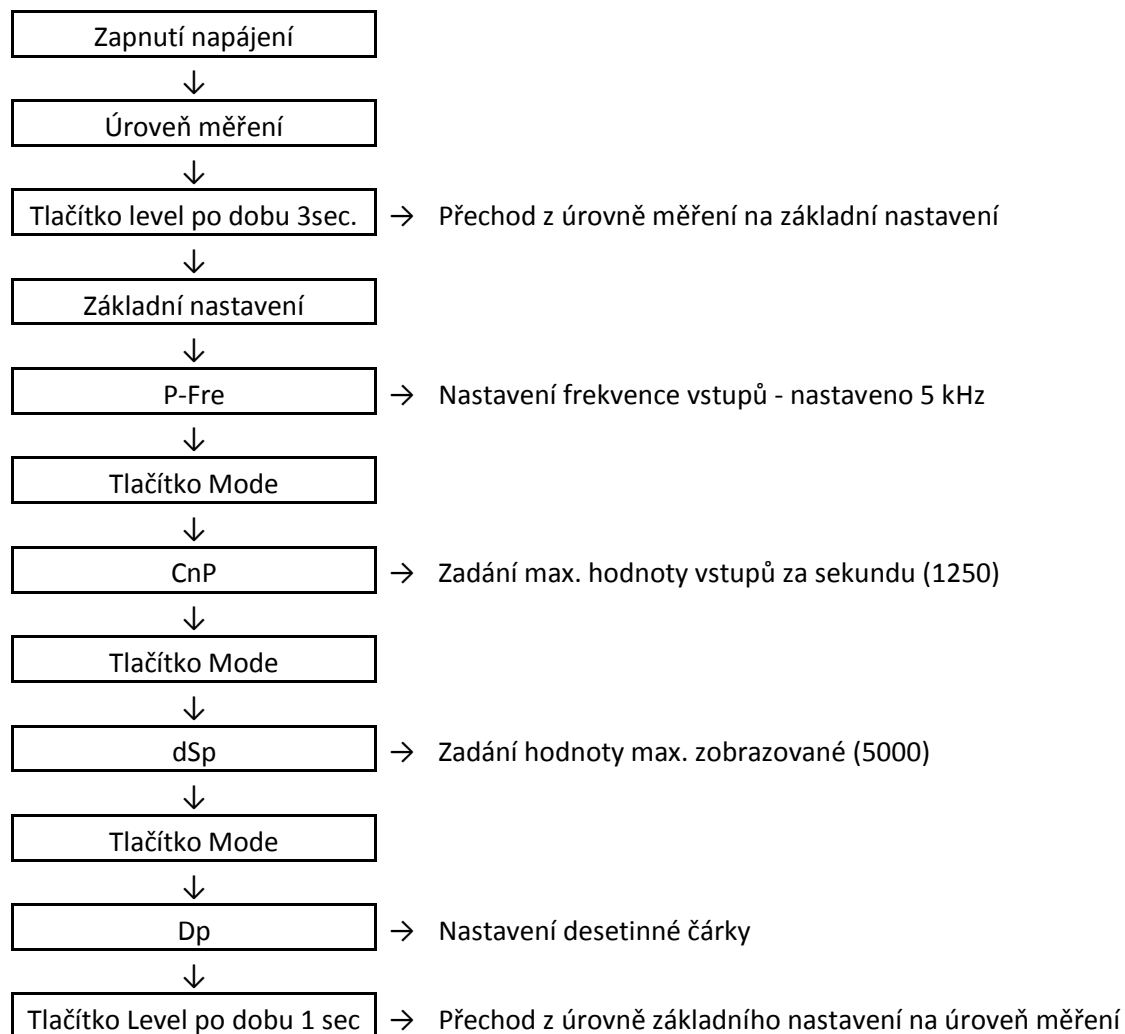
Mode – slouží k přepínání parametrů v nastavení a k potvrzení změn v nastavení

Shift – slouží ke změnám hodnot v nastavení přístroje

Up – slouží ke změně hodnot v nastavení.



Nastavení hodnot pro správné zobrazování otáček



Tímto postupem je dokončeno základní nastavení pro správnou funkci zobrazení otáček a je možno zahájit měření na přístroji.



2.2 Měření momentu

Pro měření momentu je použit siloměr propojený s měřícím zesilovačem. Popis přístrojů byl proveden v předchozí kapitole a zde je popsáno jejich nastavení, kalibrace a samotný postup při měření.

2.2.1 Význam jednotlivých tlačítek na čelním panelu přístroje

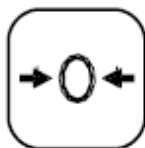
V režimu měření



Slouží pro přechod z režimu měření do režimu nastavování a naopak.
Pro přechod stiskněte po dobu 2 vteřiny.



Slouží pro nastavení limitních hodnot koncových spínačů jako je hystereze, směr atd.



Slouží pro nulování. Vstupní signál ze siloměru je po vynulování považován jako nulový.



Tárování měřené hodnoty. Aktuální hodnota je použita jako hodnota táry.



Slouží k vymazání špičkových hodnot získaných měřením (MAX, MIN, Peak-to-Peak)



Výstup naměřeným parametrů přes rozhraní RS-232.



Slouží pro přepínání naměřených hodnot:

Právě měřená hodnota zobrazená na displeji

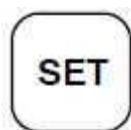
Hodnota NET (hodnota právě zobrazená – tára)

Minimální hodnota (MIN)

Maximální hodnota (MAX) Hodnota Peak-to-peak (MAX/MIN)



Význam tlačítek v režimu nastavování



Změna režimu (stisknout na 2 vteřiny), přechod mezi skupinami.

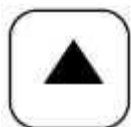


Přechod mezi parametry.



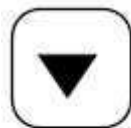
Zobrazí nastavenou hodnotu a slouží k výběru požadovaného čísla.

Vstup do vybraného parametru.



Změna čísla směrem vzhůru.

Šipka nahoru.

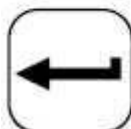


Změna čísla směrem dolů.

Šipka dolů.



Použít aktuální hodnotu.



Potvrdit vstup/ změnu.

2.2.2 Základní nastavení přístroje

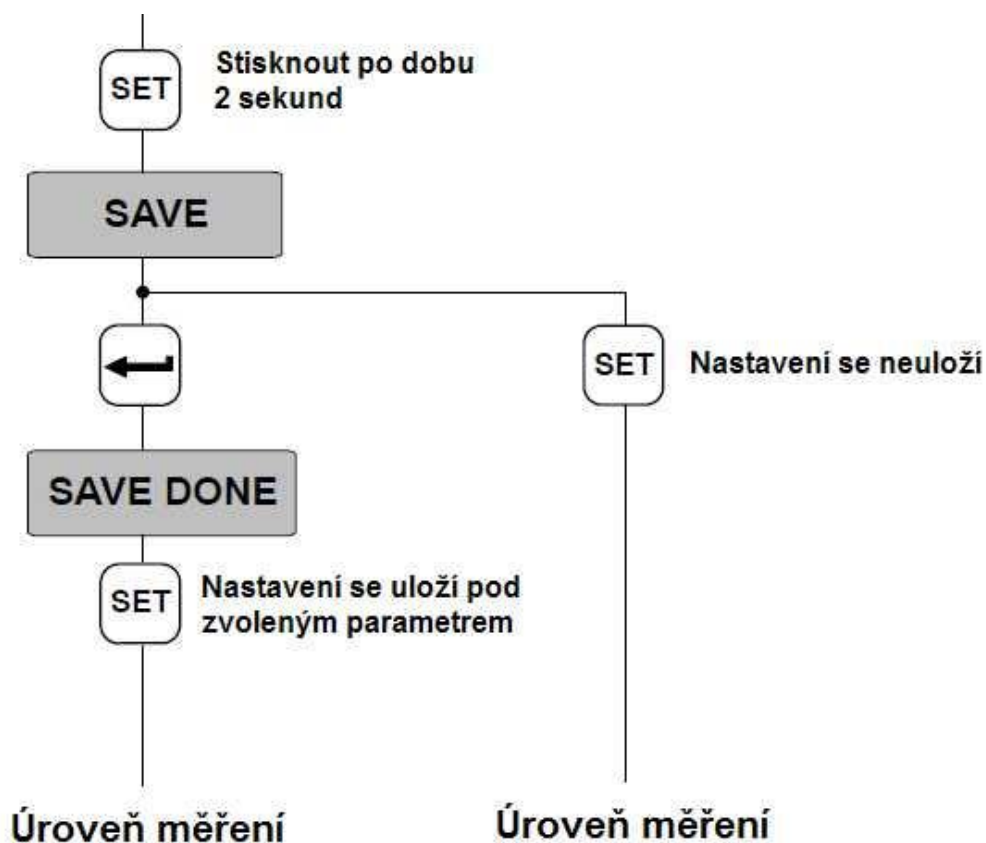
Nastavování přístroje se provádí pomocí tlačítek na hlavním panelu. Jejich význam a funkce jsou popsány výše a zde je popsáno nastavení jednotlivých parametrů přístroje ve skupinách přístroje.

Skupina		Parametr		Nastavená hodnota
Dialog	→	Language	→	English
Adaptation	→	Transducer	→	Full bridge
		Excitation	→	2.5 Volt
		Input	→	4 mV/V
		Filter	→	0,2 Hz



Calibration	→	Unit	→	Nm
		Nom. Value	→	50 000
		Dec. Point	→	.0000
		Step	→	000001

Po dokončení nastavení hodnot je potřeba tyto nové hodnoty uložit. Uložení se provádí následovně.



Obrázek 15- Grafické zobrazení postupu uložení parametrů

Tím je dokončeno základní nastavení pro měření momentu na přístroji. Dále je nutno provést kalibraci senzoru. Podrobnější informace o nastavení přístroje dostupné v datasheetu dostupného na stránkách výrobce [2].



2.2.3 Kalibrace přístroje

Siloměr měří hodnotu působící síly. K tomu aby měřící zesilovač ukazoval hodnotu přímo v hodnotě pro moment (Nm) je zapotřebí, aby přístroj přepočítával vstupní signál podle následující vzorce pro působení páky

$$\vec{M} = \vec{r} * \vec{F} * g \quad (1.0)$$

kde

M – moment [Nm]

r – velikost ramene [mm]

F – síla působící na siloměru [N]

g – gravitační zrychlení [m/s²]

k vypočítání hodnoty potřebné pro správné zobrazení přístroje byla velikost ramene (vzdálenost mezi osou dynamometru a siloměru stanovena měřením na hodnotu

$$r = 77,91 \text{ mm}$$

gravitační zrychlení

$$g = 9,81275 \text{ m/s}^2$$

pro kalibraci bylo dále použito závaží o hmotnosti 5 kilogramů.

$$F = 5 \text{ kg}$$

Hodnota potřebná pro kalibraci přístroje bude tedy po dosazení do rovnice 1.0

$$M = 77,91 * 10^{-3} * 5 * 9,81275 = 3,82256 \text{ Nm}$$

Postup kalibrace je následovný

1. Vstupte do nastavení přístroje a přejděte do skupiny *Calibration*.
2. Nastavte jednotky (Nm), nominální hodnotu (50000), desetinnou tečku (0,0000).
3. Nyní je na řadě zjištění nulové hodnoty signálu. Nulová hodnota se nejlépe zjistí volným zavěšením siloměru. Odmontuje 2 šrouby držící siloměr na stole a těle dynamometru (Při manipulaci s přístrojem pozor na jeho pád!) a zavěste jej volně do prostoru. Na spodní oko siloměru zavěste také např. drát, na který bude později pověšeno závaží.
4. Zvolte na přístroji parametr *Zero Value* a nechte změřit volně visící přístroj.
5. Na připravený drát zavěste závaží (např. 5kg) a odečtěte zobrazovanou hodnotu.
6. Siloměr upevněte zpět na dynamometr. Přístroj musí být zavěšen ve správné orientaci vůči zemi. Pro správné umístění je přiložena příloha 1. Kde je zobrazeno správné umístění. Opět dávejte pozor na pár přístroje.
7. Zvolte parametr *Taro value*. Zde zadejte naměřenou hodnotu.
8. Nastavení uložte.

Tím je dokončena kalibrace je možné měřící pracoviště používat.



2.2.4 Použití měřícího pracoviště

Pro měření momentu na dynamometru postupujte podle následných instrukcí.

1. Zapněte napájení
2. Před počátkem měření stiskněte na přístroji tlačítko nulování a vyčkejte do zobrazení hodnoty +0,00000 Nm.
3. Přístroj má nastavenou nulovou hodnotu a je možné začít s měřením. Po skončení každého měření (zastavení motoru/ dynamometru) je nutné provést opět nulování z důvodu velké citlivosti silového senzoru.



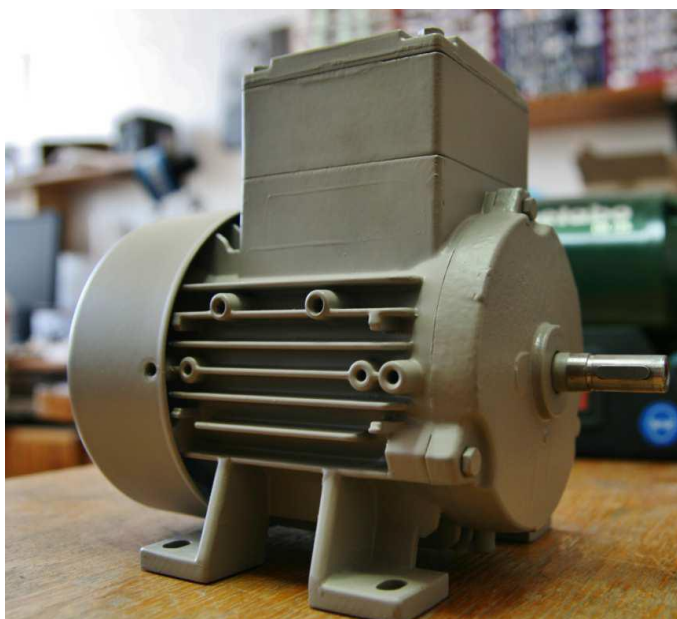
3 MĚŘENÉ MOTORY

3.1 Asynchronní motor

Měřeným motorem je motor od společnosti Siemens Mohelnice s typovým označením 1LA7063-4AA10 v patkovém provedení B3. Motor je převinut z napájení 3x400V na 3x24V efektivní hodnoty sdruženého napětí. Frekvence jmenovitého bodu byla zachována to znamená, že výkon a moment zůstal stejný jako u původního motoru, ale jmenovitý proud motorem se zvýšil 16,67krát. Technické parametry motoru jsou uvedeny v tabulce a jsou získané z diplomové práce Ing. Ondřeje Hudáka [4], který provedl návrh motorů pro tento laboratorní stand.

Počet pólů	2p [-]	4
Jmenovitý výkon	P_n [kW]	0,18
Osová velikost	[mm]	63
Jmenovité otáčky	n_n [min ⁻¹]	1350
Účinnost	η [%]	60
Účíník	$\cos\phi$ [-]	0,77
Jmenovitý proud	I_n [A]	9,37
Jmenovitý moment	M_n [Nm]	1,3
Poměrný záběrný moment	M_z/M_n [-]	1,9
Poměrný záběrný proud	I_k/I_n [-]	3
Poměrný moment zvratu	$M_{\max}/M_n$ [-]	2
Momentová setrvačnost	J [kg m ²]	0,0004

Tabulka 2- Parametry asynchronního motoru 1LA7063-4AA10[4]



Obrázek 16- Asynchronní motor Siemens 1LA7063-4AA10[4]

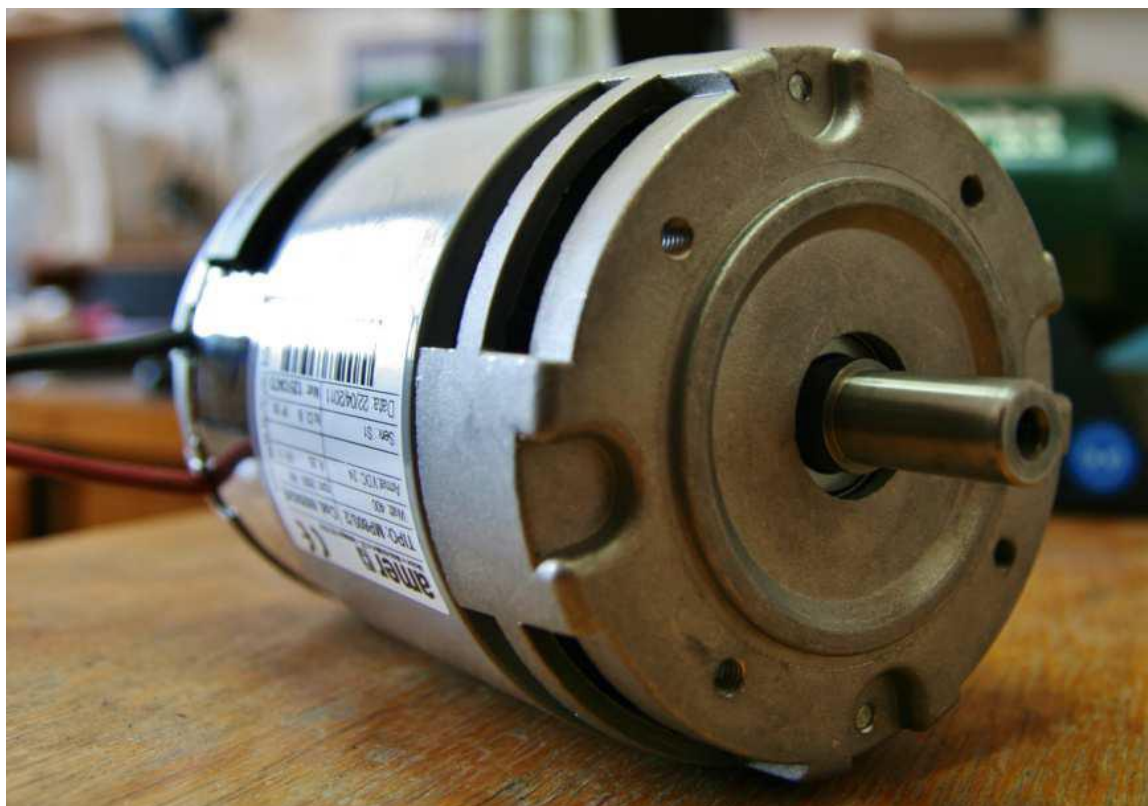


3.2 Stejnosměrný motor

Druhým měřeným motorem je stejnosměrný motor s permanentními magnety od firmy Amer, s typovým označením MP80/S2. Jeho technické parametry jsou uvedeny v tabulce a jsou získané z diplomové práce Ing. Ondřeje Hudáka [4].

Jmenovité napětí	U_n	24	[V]
Jmenovitý výkon	P_n	413,98	[W]
Jmenovitý moment	M_n	1,33	[Nm]
Jmenovitá proud	I_n	23,04	[A]
Jmenovité otáčky	n_n	2966	$[\text{min}^{-1}]$
Otáčky na prázdkno	n_0	3449	$[\text{min}^{-1}]$
Účinnost	η	74,87	[%]

Tabulka 3- Parametry synchronního motoru MO80/2[4]



Obrázek 17- Stejnosměrný motor MP80/S2.[4]



4 MĚŘENÍ NA MOTORECH

4.1 Přesnost měření

Díky modernizaci dynamometru došlo ke zlepšení přesnosti měření momentu, a dále přibyla možnost měřit rychlost otáčení hřídele měřených motorů přímo na dynamometru. Díky digitálnímu zobrazení momentu bude také minimalizována chyba při odečítání hodnoty z rozsahu dynamometru.

Přesnost měření momentu působícího na siloměr je závislá hlavně na správném změření velikosti ramena mezi siloměrem a osou dynamometru. Měření ramene jsem z důvodu minimalizace chyby způsobené špatným změřením několikrát opakoval a následně ze všech měření udělal průměr.

Měření otáček pomocí IR závory a čítače k ní připojeného je při jmenovitých otáčkách velmi přesná. K největším nepřesnostem při měření otáček dochází na snímači otáček a to na kotoučku, přes který probíhá získávání signálu. Je to dáno hlavně nedokonalým provedením kotoučku kde nejsou jednotlivé světlé a tmavé hrany dokonale symetrické a tím nejsou symetrické ani hrany signálu.

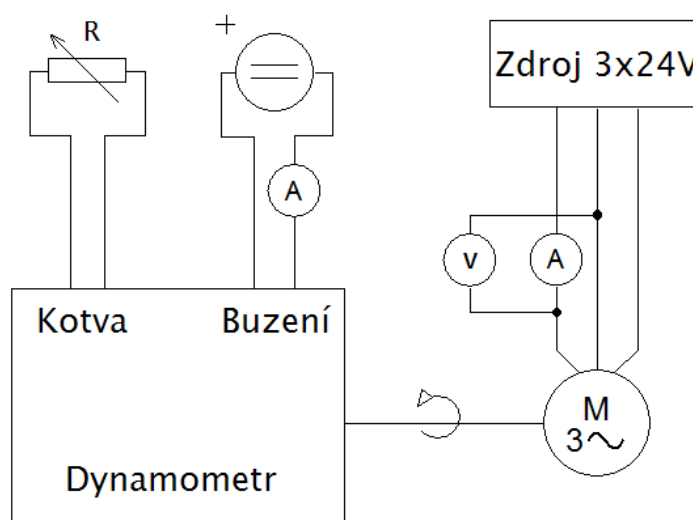
Celkově je nepřesnost měření na tomto stroji maximálně kolem 5% a to při nízkých otáčkách. Se zvyšujícími se otáčkami přesnost stoupá.

4.2 Měření asynchronního motoru

Hlavním úkolem měření asynchronního motoru je ověřit jmenovité parametry motoru. Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, byl motor převinut z napětí 3x400V na hodnotu pro použití v laboratořích elektrických pohonů 3x24V při zachování výkonu a momentu motoru.

4.2.1 Měření jmenovitých parametrů stroje

Schéma zapojení



Obrázek 18 - Schéma zapojení pro ověření jmenovitých parametrů



Měření jmenovitých hodnot asynchronního motoru bylo provedeno podle schématu na obrázku 18. Motor byl roztočen na jmenovité otáčky a při konstantním napájení zatížen jmenovitým momentem 1,3 Nm. V následující tabulce jsou uvedeny naměřené hodnoty a hodnoty udávané na štítku motoru.

	Měřené	Štítkové
U_s [V]	23,4	23,4
I [A]	9,8	9,37
M [Nm]	1,305	1,3
n [ot/min ⁻¹]	1340	1350

Tabulka 4- Jmenovité hodnoty asynchronního motoru



4.3 Měření stejnosměrného motoru

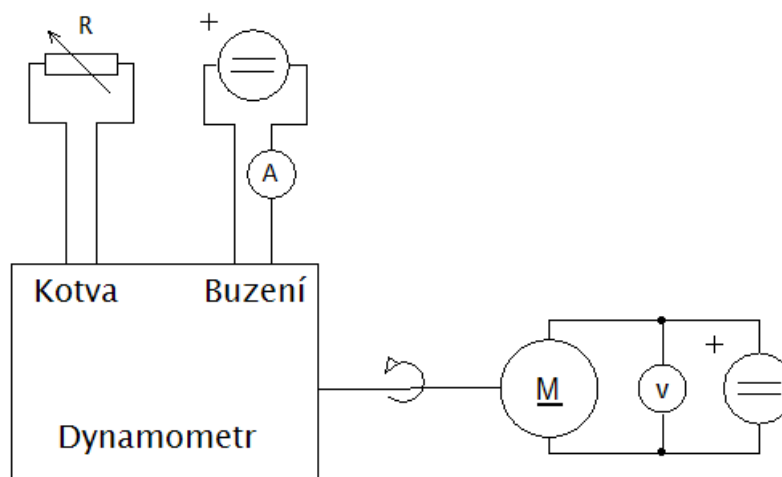
Na stejnosměrném motoru byly provedeny následující měření

1. Měření zatěžovací charakteristiky
2. Měření naprázdno

4.3.1 Měření zatěžovací charakteristiky motoru

Měření bylo prováděno podle schématu na obrázku 19., kdy byl motor napájen z laboratorního zdroje konstantním napětím $U=12V$ a postupně zatěžován odporem R zapojeným na kotvu dynamometru. Odečítané hodnoty byly otáčky a moment. Naměřené hodnoty jsou zaznamenány v tabulce. Hodnota otáček byla přepočítána na úhlovou rychlost, která je v tabulce a vynesena do grafu 1. v závislosti na zatížení. Dále byl motor zatížen na 2 hodnoty momentu pro zjištění konstanty motoru $C\Phi$.

Schéma zapojení



Obrázek 19 - Schéma zapojení pracoviště pro měření zatěžovací charakteristiky

Naměřené hodnoty

U [V]	n [ot * min ⁻¹]	M [Nm]	ω [rad*s ⁻¹]
12	1676	0,097	175,510
12	1520	0,634	159,174
12	1487	0,724	155,718
12	1456	0,834	152,472
12	1420	0,966	148,702
12	1390	1,096	145,560
12	1353	1,22	141,686
12	1300	1,344	136,136

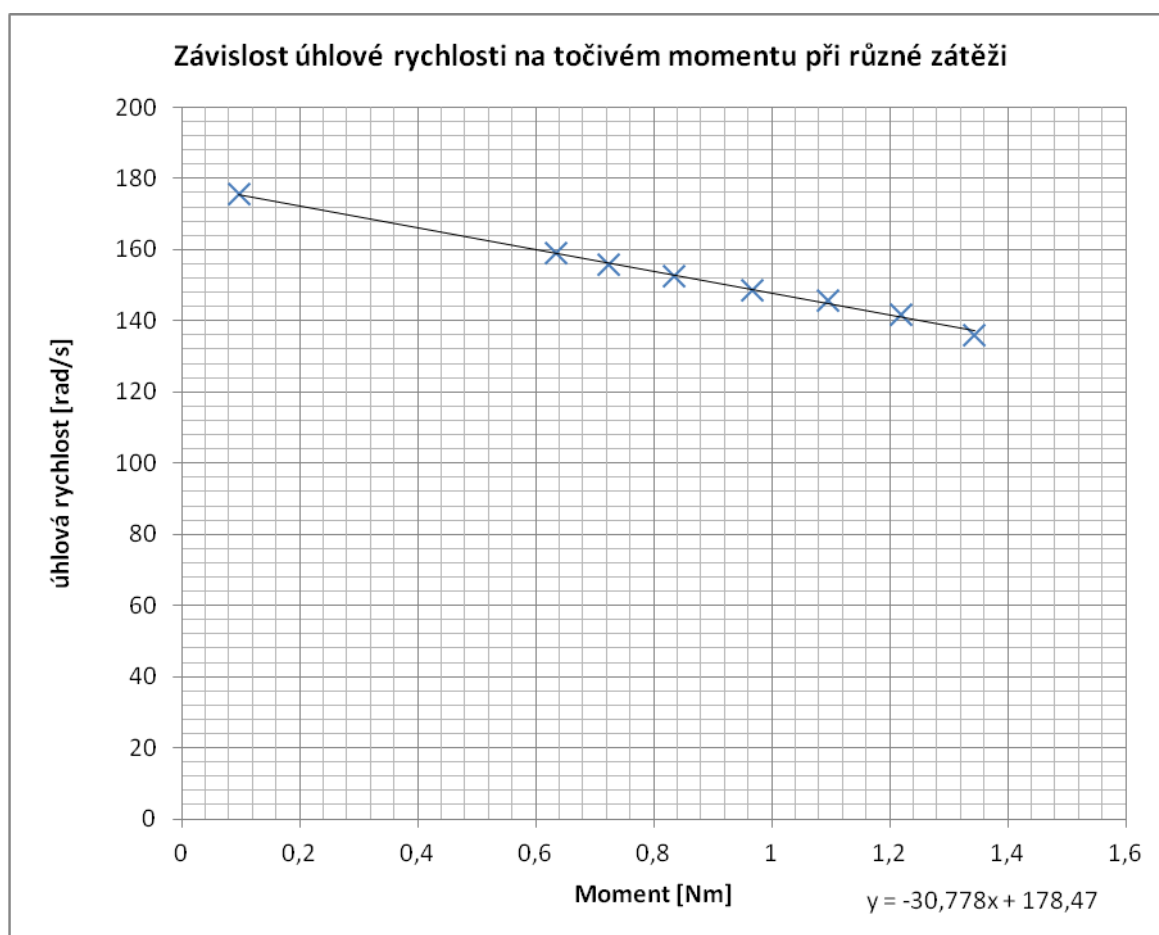
Tabulka 5- Naměřené hodnoty zatěžovací charakteristiky



M [Nm]	A [l]	C Φ
1	16,8	0,060
1,2	20	0,060

U _i [V]	n	C Φ
21,9	3198	0,062

Tabulka 6- Zatěžovací hodnoty a vypočítaná konstanta motoru



Graf 1 - Zatěžovací charakteristika DC motoru



Vypracování

Pro výpočet vnitřního odporu motoru R_a budeme potřebovat znát konstantu $C\Phi$. Ze znalosti stejnosměrných motorů víme, že platí tyto základní rovnice - při otáčení úhlovou rychlostí ω se ve vinutí kotvy indukuje napětí

$$U_i = C\Phi\omega \quad 1.1$$

Působením proudu a magnetického toku se vytváří moment

$$M = C\Phi I \quad 1.2$$

C je konstanta motoru (napěťová, momentová), Φ je magnetický tok a I je proud kotvy.

Při měření zatěžovací charakteristiky jsme si změřili při určitém zatížení protékající proud a také jsme si při otáčkách blízkých jmenovitým odečetli napětí indukované motorem U_i . Upravením rovnic 1.1 a 1.2 získáme vztahy pro konstantu motoru

$$C\Phi = \frac{U_i}{\omega} \quad 1.3$$

a vzorec

$$C\Phi = \frac{I}{M} \quad 1.4$$

Po dosazení naměřených hodnot do těchto rovnic je výsledná hodnota konstanty $C\Phi = 0,06$. Pokud známe hodnotu konstanty motoru, můžeme vyjádřit hodnotu R_a .

Pro výpočet této hodnoty použijeme vztah pro statickou zatěžovací charakteristiku

$$\omega = \frac{U}{C\Phi} - \frac{R_a}{(C\Phi)^2} M \quad 1.5$$

kde můžeme psát že

$$\frac{U}{C\Phi} = \omega_0 \quad 1.6$$

a

$$\frac{R_a}{C\Phi^2} = k \quad 1.7$$

po dosazení do vztahu 1.5 dostaneme

$$\omega = \omega_0 - kM \quad 1.8$$

kde ω_0 jsou otáčky naprázdno, k je směrnice zatěžovací charakteristiky určující její „tvrdost“ tj. pokles otáček se zatížením. Hodnotu otáček naprázdno jsme určili z grafu zatěžovací charakteristiky přes rovnici přímky, která je

$$y = -30,77x + 178,47 \quad 1.9$$

pro otáčky naprázdno je nutné dosadit nulový moment, to znamená $x=0$. Po dosazení rovnice 1.9 vyjde hodnota otáček naprázdno

$$\omega_0 = -30,77 * 0 + 178,47 = 178,47$$



nyní již známé všechny potřebné veličiny pro výpočet hodnoty k . Pro jednotlivé body měření jsem provedl výpočet hodnoty k podle vzorce 1.8 a následně udělal průměr, který vychází

$$k = 30,754$$

upravením vzorce 1.7 lze vyjádřit vztah pro R_a

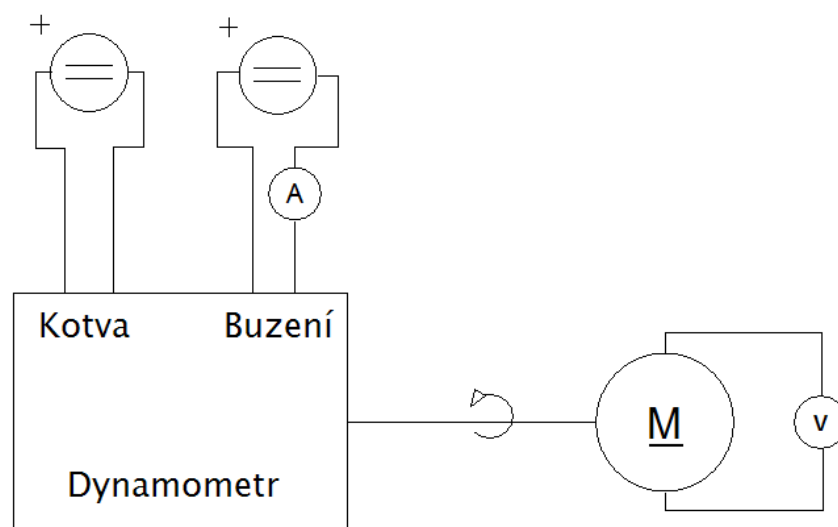
$$R_a = k * C\Phi^2 \quad 2.0$$

dosazením do vzorce 2.0 vyjde hodnota odporu R_a

$$R_a = 30,754 * 0,06^2 = 0,11 \, \Omega$$

4.3.2 Měření motoru naprázdno

Schéma zapojení



Obrázek 20- Schéma zapojení pracoviště pro měření motoru naprázdno

Měření naprázdno bylo provedeno pro zjištění ztrát naprázdno. Dynamometr roztáčel motor a zaznamenávaly se hodnoty momentu, otáček a indukované napětí. Z naměřených hodnot jsem vypočítal ztráty naprázdno podle vzorce 2.1. a vynesl graf v závislosti na otáčkách.



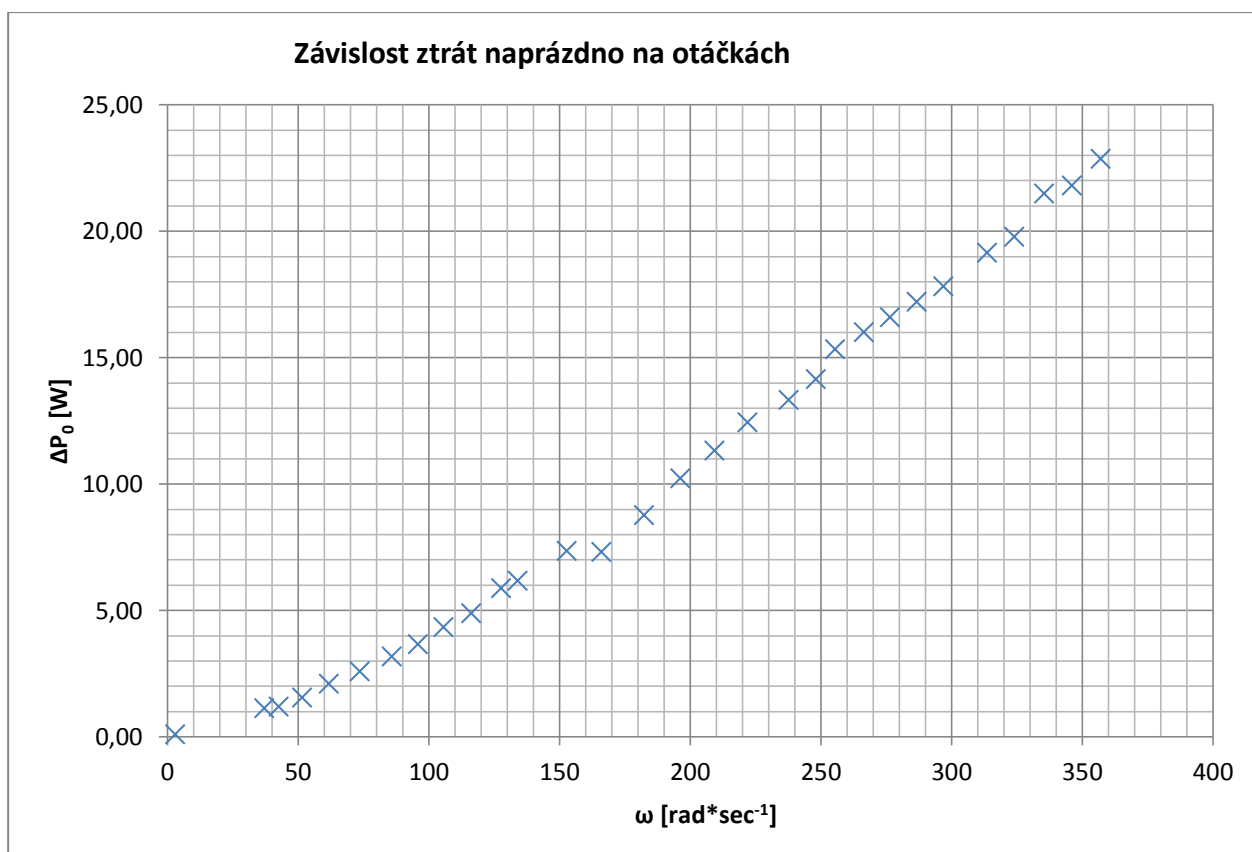
Vypracování

Ztráty naprázdno jsem vypočítal podle vzorce

$$\Delta P_0 = M * \omega \quad 2.1$$

Při jmenovitých otáčkách naprázdno (3400 ot/min) byl naměřen moment 0,064 Nm a úhlová rychlost 357,09. Po dosazení do vzorce 2.1 jsou výsledné ztráty

$$\Delta P_0 = 0,064 * 357,09 = 22,85 \text{ W}$$

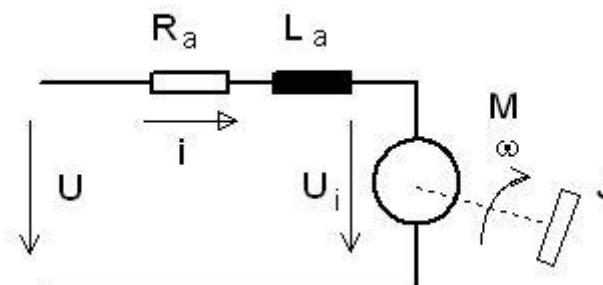


Graf 2- Ztráty naprázdno

5 MATEMATICKÝ MODEL A SIMULACE DYNAMICKÉHO CHOVÁNÍ STEJNOSMĚRNÉHO MOTORU

5.1 Matematický model

Při vytváření matematického modelu stejnosměrného motoru s permanentními magnety vycházíme z náhradního schématu tohoto stroje. Náhradní schéma stroje je na obrázku 21.



Obrázek 21. Náhradní model ss motoru s permanentními magnety [3]

Z náhradního schématu lze odvodit diferenciální rovnice, které popisují dynamické chování motoru. První diferenciální rovnicí, kterou lze z náhradního modelu odvodit je rovnice rovnováhy napětí v obvodu kotvy.

$$u_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + C\Phi\omega \quad (2.2)$$

Druhou diferenciální rovnicí je rovnice rovnováhy momentů na hřídeli rotoru.

$$C\Phi i_a = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + M_0 \quad (2.3)$$

Pro vytvoření matematického modelu motoru je nutné zjistit přenosovou funkci motoru. Přenosovou funkci stejnosměrného motoru lze odvodit z diferenciálních rovnic použitím Laplaceovy transformace. Po dosazení $C\Phi\omega = u_i$ je rovnice rovnováhy napětí v operátorovém tvaru

$$U_a(p) = R_a I_a(p) + pL_a I_a(p) + U_i \quad (2.4)$$

Přenos $F_1(p)$ je poměr výstupu ke vstupu: výstupem je proud I_a , vstupem rozdíl přiváděného napětí na kotvu U_a a napětí indukovaného U_i . První část modelu motoru má tvar

$$F_1(p) = \frac{I_a(p)}{U_a(p) - U_i} = \frac{1}{R_a + pL_a} = \frac{1/R_a}{1 + p\tau_a} \quad \tau_a = \frac{L_a}{R_a}$$

Dalším členem modelu je proporcionální člen, vyjadřující závislost momentu motoru na proudu kotvy $m = C\Phi i_a$; v operátorovém tvaru $M = C\Phi I_a$. Přenos tohoto členu je

$$F_2(p) = \frac{M}{I_a} = C\Phi$$



Rovnice rovnováhy momentů, po zanedbání viskosního tření B , je v operátorovém tvaru

$$M = pJ\omega + M_0 \quad (2.5)$$

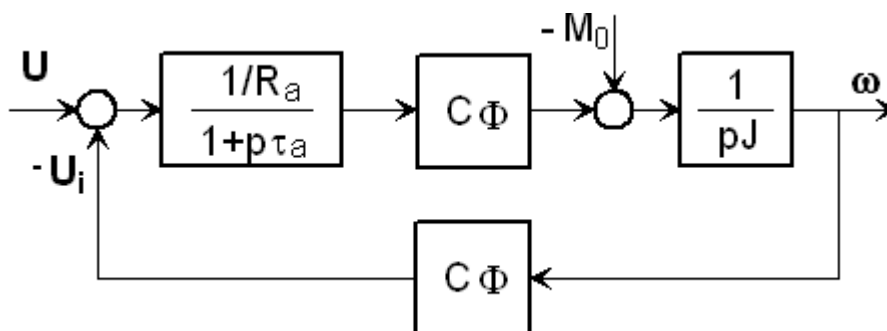
Přenos členu s momentem setrvačnosti J má integrační charakter

$$F_3(p) = \frac{\omega}{M - M_0}$$

Závislost mezi indukovaným napětím v kotvě a úhlovou rychlostí je lineární, přenos tohoto členu je tedy proporcionální

$$F_4(p) = \frac{U_i}{\omega} = C\Phi$$

Přenosové funkce $F_1(p)$, $F_2(p)$, $F_3(p)$, $F_4(p)$ tvoří matematický model stejnosměrného motoru s permanentním magnetem (konstantním magnetickým tokem), jehož blokové schéma je na obr. 22.

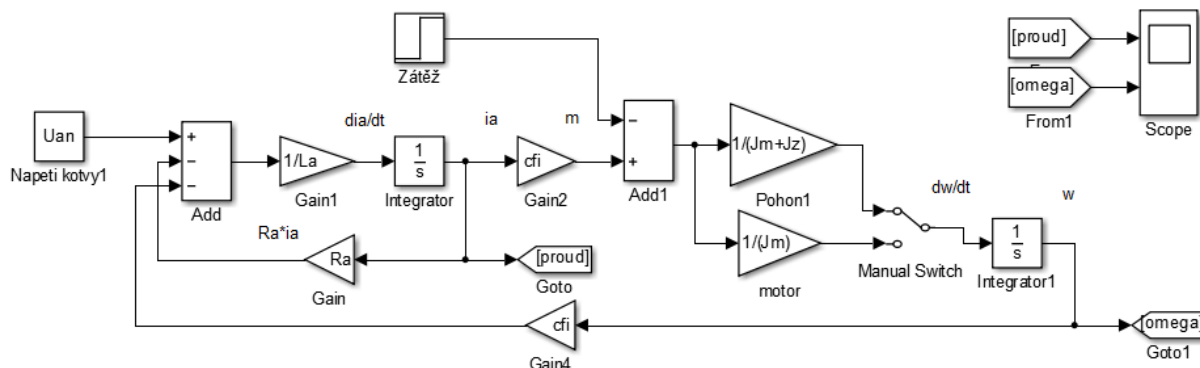


Obrázek 22 - Matematický model stejnosměrného motoru [3]



5.2 Simulace dynamického chování

Podle matematického modelu stejnosměrného motoru byl vytvořen v programu Matlab-Simulink model



Obrázek 23- Blokové schéma stejnosměrného motoru v programu Simulink

Parametry tohoto modelu jsou v následující tabulce

Název	Označení	Hodnota	Jednotka
Jmenovitý příkon	Pn	560	W
Jmenovité napětí kotvy	Uan	24	V
Jmenovitý proud kotvy	Ian	23.33	A
Indukčnost vinutí	La	250	μH
Odpor kotvy	Ra	0.11	Ω
Moment setrvačnosti kotvy	Jm	0.0190	$\text{Kg}\cdot\text{m}^2$
Jmenovité otáčky	n0	2966	$\text{ot}\cdot\text{min}^{-1}$
Jmenovité úhlová rychlost	w0	310.59	$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$
Konstanta motoru	cfi	0.06	$\text{T}\cdot\text{m}^2$
Elmag. časová konstanta	Ta	2.27	ms

Tabulka 7- Parametry motoru

Název	Označení	Hodnota	Jednotka
Moment setrvačnosti zátěže	Jz	0.1	$\text{Kg}\cdot\text{m}^2$
Statický zatěžovací moment	Mzs	1.3	Nm

Tabulka 8- Parametry zátěže

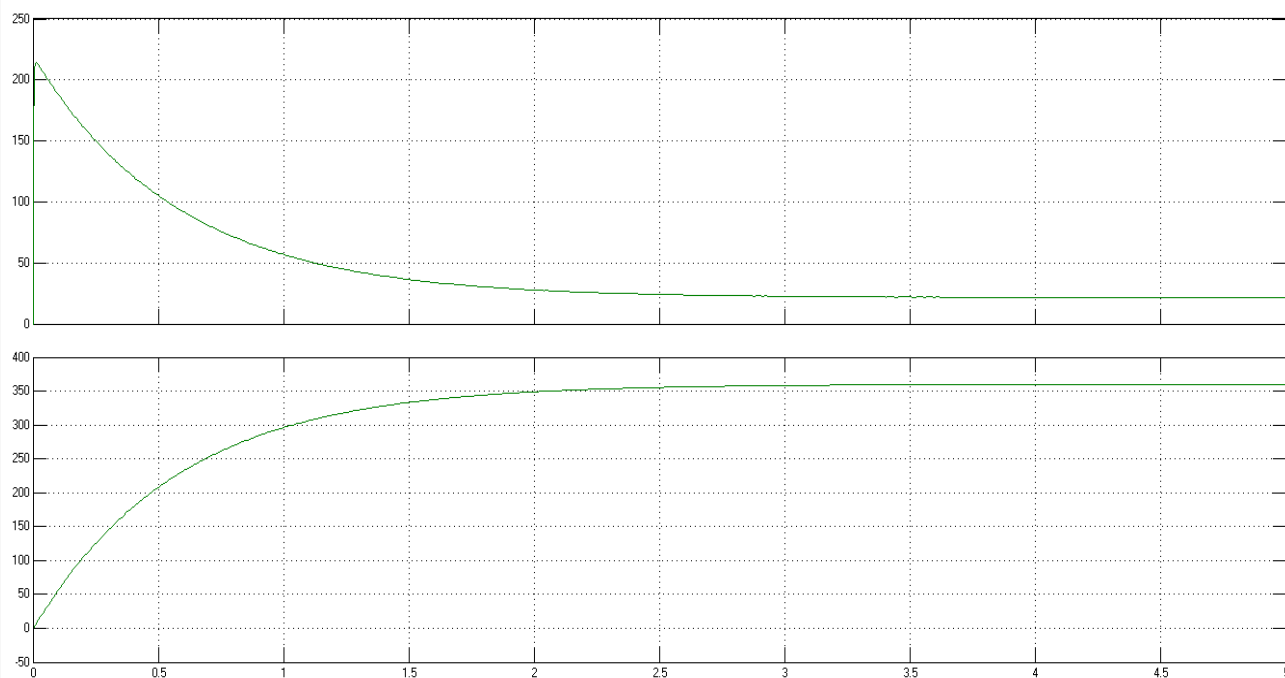
Hodnota setrvačnosti kotvy byla přibližně vypočítána z rozměrů rotoru motoru a hodnota setrvačnosti zátěže byla zvolena.

Na tomto modelu byly následně provedeny následující simulace:

1. Rozběh motoru bez zátěže.
2. Rozběh motoru bez zátěže a po rozběhnutí zatížen na 1,3 Nm.
3. Rozběh se zátěží 1,3 Nm

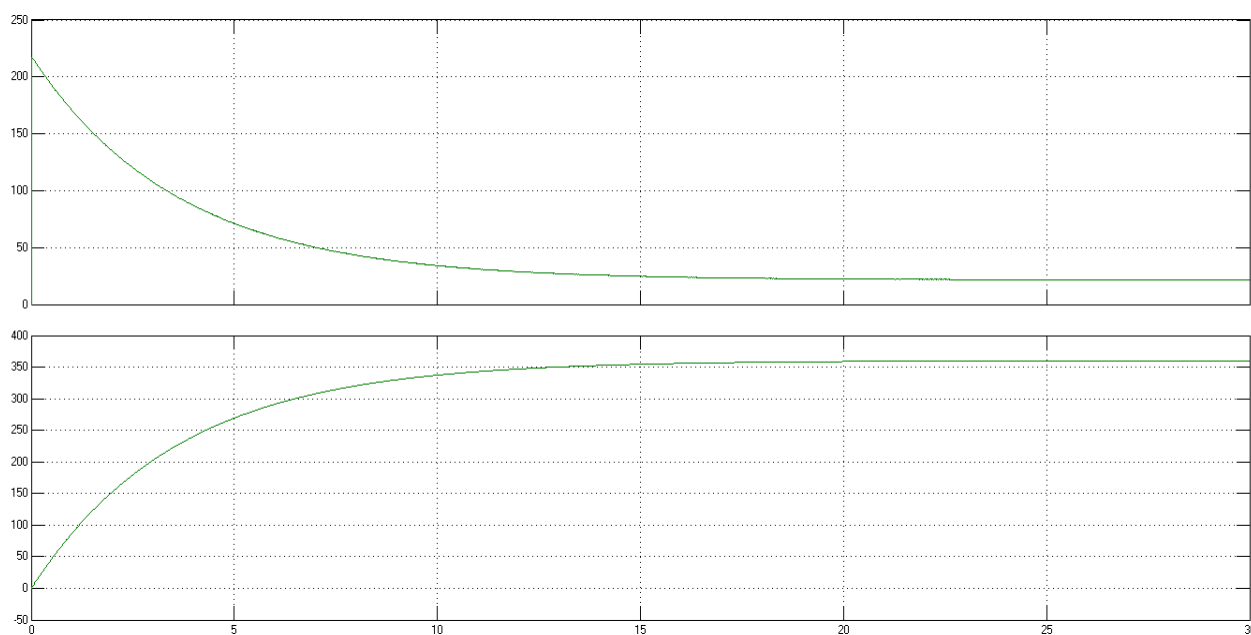


První simulace byla provedena na motoru, který je bez zátěže. Průběh proudu i_a a úhlové rychlosti ω je na následujícím obrázku 24.



Obrázek 24- Průběh proudu a úhlové rychlosti nezatíženého motoru

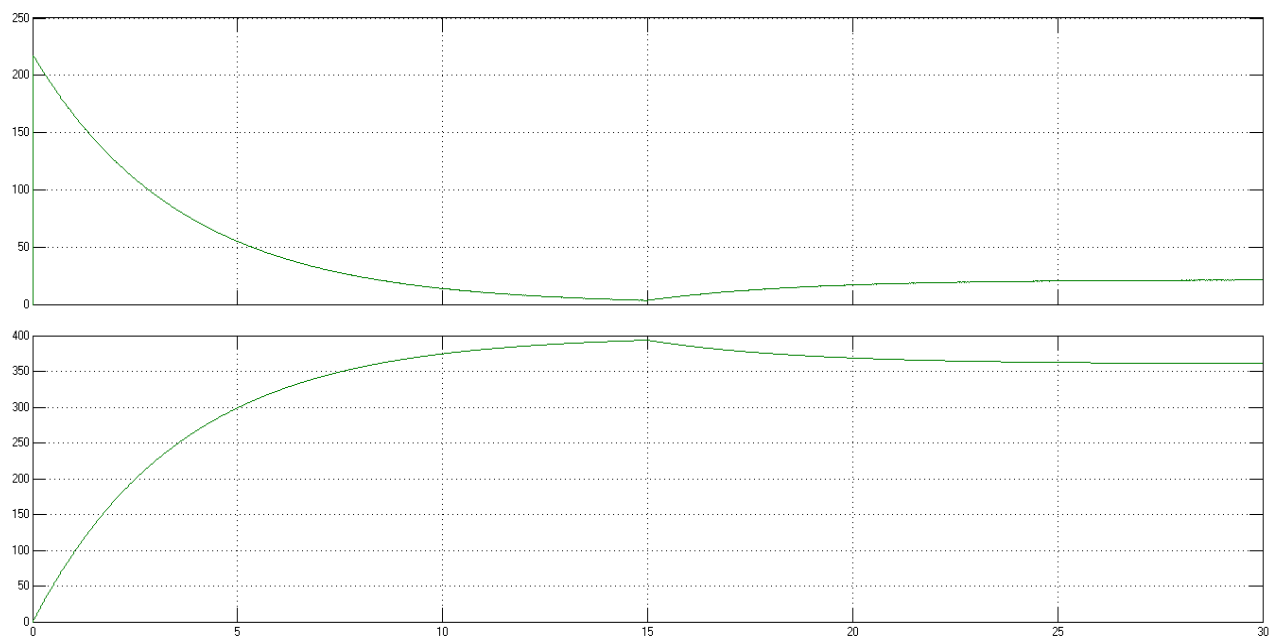
Druhá simulace byla provedena na modelu se jmenovitým zátěžným momentem 1,3 Nm. Průběh proudu a úhlové rychlosti je na obrázku 25.



Obrázek 25- Průběh proudu a úhlové rychlosti motoru se jmenovitým zatížením



Třetí provedená simulace zobrazuje rozběh bez zatížení a následné zatížení motoru při jmenovitých otáčkách jmenovitým momentem 1,3 Nm. Průběh simulace je na obrázku 26.



Obrázek 26- Průběh proudu a úhlové rychlosti motoru zatíženého po rozběhu



6 ZÁVĚR

Úkolem této práce bylo ověřit parametry motorů určených pro laboratoře elektrických pohonů a vynést jejich charakteristiky. Z důvodu chybějícího měřicího pracoviště byl hlavní úkol soustředěn na modernizaci staršího dynamometru od firmy Atas, který bude dále využíván studenty při potřebách měření pohonů k různým projektům. Pro provedení modernizace dynamometru jsme vybrali po poradě s firmou spolupracující se školou přesné senzory pro snímání síly a otáček a přístroje, které budou vyhodnocovat signály z těchto senzorů. Dynamometr byl osazen elektronickými senzory a to siloměrem SM2 od firmy HBM a snímačem otáček, kterým je IR závora od firmy Honeywell. O vyhodnocování signálů z těchto senzorů se stará měřicí zesilovač Scout 55 firmy HBM a Displej Omron. Pro přístroje bylo potřeba vybrat vhodné místo na stole dynamometru, kde by bylo odečítání z přístrojů přehledné i při regulaci napětí nebo zátěže. Proto byl pro tyto přístroje zhotoven držák, který je umístěn na konstrukci, kde byl dříve umístěn rozsah. Dále byl vyroben držák a upraveno tělo dynamometru pro uchycení siloměru. Poslední mechanickou úpravou na stole dynamometru bylo zhotovení čelního panelu na, který jsou vyvedeny vodiče kotvy a buzení dynamometru pro snadné připojení.

Po dokončení mechanických úprav byly propojeny přístroje se senzory a provedeno jejich nastavení a kalibrace. Základní postup nastavení a kalibrace přístrojů je zaznamenán v jednoduchém návodu, který je součástí této práce a poskytuje čtenáři základní informace potřebné pro správné nastavení přístrojů při jejich případném rozladění. Po nastavení přístrojů se objevil problém v měření otáček, které při nízkých otáčkách velmi kolísaly a to v rozsahu ± 50 otáček/min. Prozkoumáním senzoru snímání otáček jsme našli problém, který byl v segmentovém kotoučku. Původní kotouček pro měření otáček byl vyroben z nekvalitní fólie, která se při točení vlnila, a nebyla přesně vystředěná, což způsobilo velmi nepřesné měření otáček. Z toho důvodu jsem se zaměřil na výrobu rozměrově přesnějšího kotoučku, který je lépe vystředěný, jeho segmenty jsou pravidelnější a je vyroben z pevnějšího materiálu. Po osazení senzoru novým kotoučkem se kolísání hodnoty otáček ustálilo na ± 5 otáček/min

Měřením na stejnosměrném motoru byla sestrojena jeho zatěžovací charakteristika, z které byla určena konstanta motoru na hodnotu $C\Phi = 0,06$. Ze znalosti konstanty motoru jsem vypočítal vnitřní odpor kotvy motoru $R_a = 0,11\Omega$, dále byla změřena hodnota indukčnosti vinutí kotvy $L_a = 250\mu H$. Měřením naprázdno jsem stanovil hodnotu ztrát motoru při jmenovitých otáčkách a chodu naprázdno $\Delta P_0 = 22,85W$.

Na asynchronním motoru byly ověřeny jeho jmenovité parametry udávané na štítku motoru. Hodnoty jsou zaznamenány v tabulce 4. Hodnoty naměřené a udávané výrobcem se liší jen minimálně.

Změřením základních hodnot stejnosměrného motoru bylo možno vytvořit matematický model tohoto motoru a provést jednoduché simulace rozběhu motoru s různými zátěžemi v programu Matlab – Simulink.

Z důvodu delší doby věnované kvalitnímu provedení modernizace, zhotovení všechno potřebných úchytných zařízení pro senzory a přístroje a problémům se snímáním otáček, již nezbylo příliš času na důkladné proměření motorů a splnění všech bodů práce.



LITERATURA

- [1] *S2M - The Reliable S-type Force Transducer Offering High Precision and Outstanding Performance* [online]. © 2002-2013 [cit. 2013-12-17]. Dostupné z: <http://www.hbm.com/en/menu/products/transducers-sensors/force/s2m/#c82307>
- [2] *HBM SCOUT55 - 4.8kHz Measuring Carrier-frequency Amplifier* [online]. © 2002-2013 © 2002-2013 [cit. 2013-12-17]. Dostupné z: <http://www.hbm.com/en/menu/products/industrial-amplifiers/scout55/>
- [3] ČERVINKA, Dalibor. *Tranzistorové stejnosměrné pohony* [online]. Brno, 2011 [cit. 2014-08-19]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/elearning/mod/resource/view.php?id=238635>. Školní výukový text. Vysoké učení technické Brno.
- [4] Hudák, O. *Laboratorního soustrojí s asynchronním a stejnosměrným motorem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 59 s. Vedoucí semestrální práce Ing. Dalibor Červinka, Ph.D.
- [5] OMRON. *CSM_K3MA-F_DS_E_7_1.*., 2013. Dostupné z: http://www.ia.omron.com/data_pdf/data_sheet/k3ma-f_ds_csm265.pdf
- [6] *Product page* [online]. 2013 [cit. 2013-12-17]. Dostupné z: http://www.honeywellscportal.com//product%20page?pr_id=39377



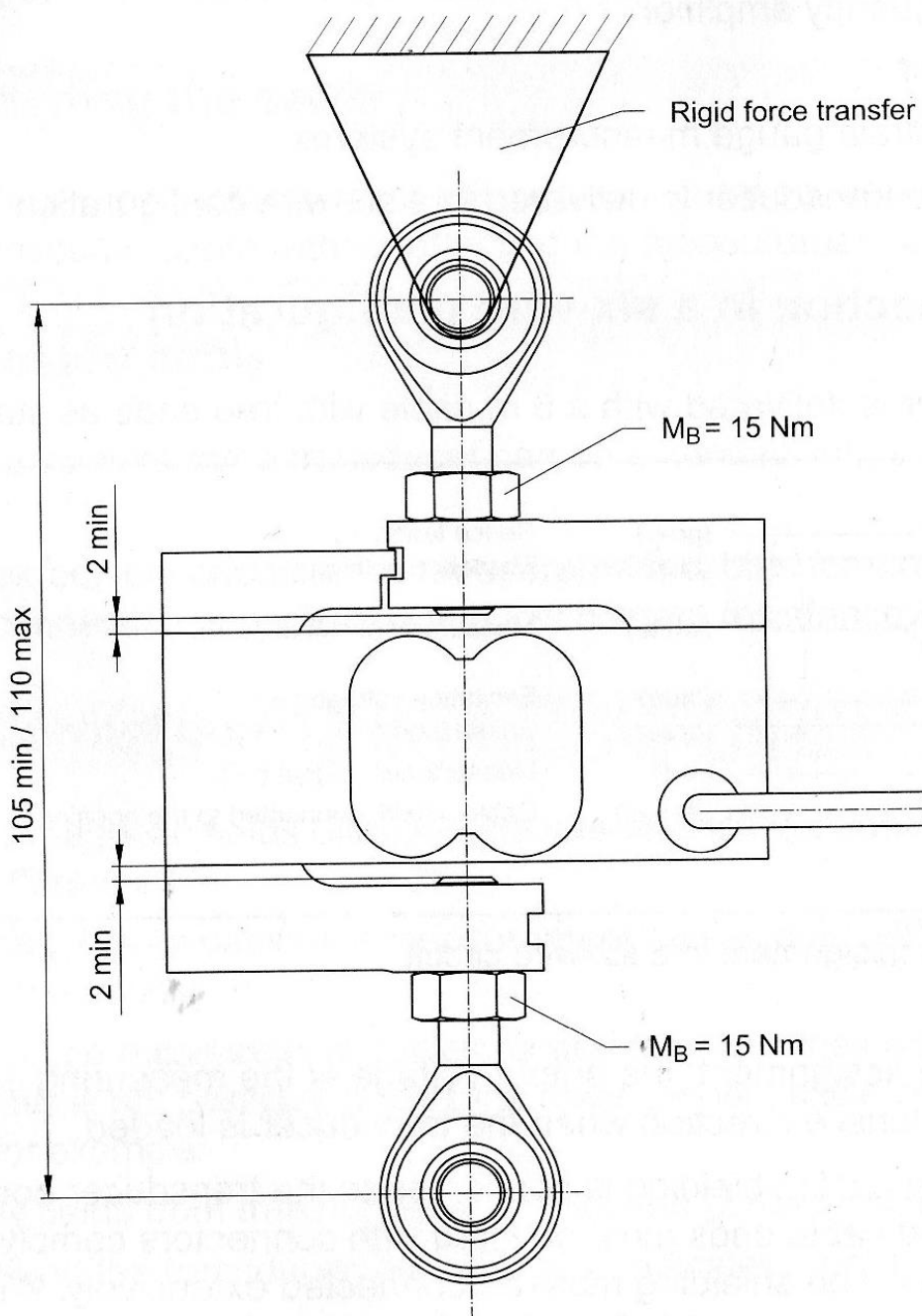
PŘÍLOHY

Seznam příloh

1. Výkres siloměru s úchytnými oky
2. Výkres držáku na přístroje



1. Výkres siloměru s úchytnými oky





2. Schéma držáku na přístroje

