

# 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

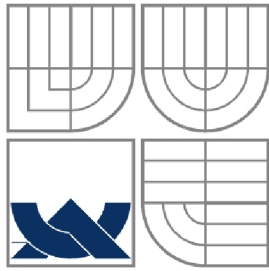
## **ZPŮSOBY MĚŘENÍ OTÁČEK A KROUTICÍHO MOMENTU V AUTOMATIZOVANÝCH SYSTÉMECH**

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA'S THESIS

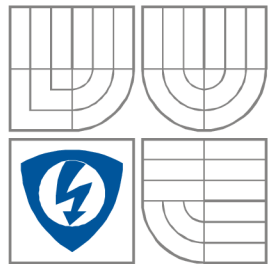
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. Josef Vávra

BRNO 2009



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLÓGIÍ**  
**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY  
A ELEKTRONIKY**  
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC  
ENGINEERING

# **ZPŮSOBY MĚŘENÍ OTÁČEK A KROUTICÍHO MOMENTU V AUTOMATIZOVANÝCH SYSTÉMECH**

**THE METHODS OF MEASUREMENT ROTATION SPEED AND TORQUE IN AUTOMATED SYSTEMS**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
DIPLOMA'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

Bc. Josef Vávra

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.

BRNO, 2009



## **Abstrakt**

Cílem této diplomové práce, je seznámit se způsoby snímání otáček a krouticího momentu u automatizovaných systémů a aplikovat vybrané přístroje na skutečnou laboratorní úlohu, která by mohla sloužit pro výuku v laboratoři pohonů.

## **Abstract**

The objective of this thesis is acquaint with ways of speed sensing and torque moment sensing in automated systems and apply to chosen instruments to the real laboratory work, which could be instrumental for education in laboratory of drives.



## **Klíčová slova**

kroučící moment; otáčky; LabVIEW; asynchronní motor; virtuální měřicí přístroj.

## **Keywords**

torque moment; speed; LabVIEW; induction motor; virtual measuring instrument.

## **Bibliografická citace**

Vávra, J. Způsoby měření otáček a krouticího momentu v automatizovaných systémech, Brno: FEKT VUT v Brně, 2009. 68 s.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Způsoby měření otáček a krouticího momentu v automatizovaných systémech jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové 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 prof. Ing. Vítězslavovi Hájkovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Rovněž děkuji Ing. Ondřejovi Vítkovi za odborné rady a zapůjčení měřících přístrojů.

V Brně dne .....

Podpis autora .....



## OBSAH

<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 ANALÝZA.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 ANALÝZA VÝVOJOVÝCH TRENDŮ V MĚŘENÍ MOMENTŮ.....</b>	<b>14</b>
1.2.1 SNÍMAČE KROUTICÍHO MOMENTU MAGTROL SA .....	15
1.2.2 SNÍMAČE KROUTICÍHO MOMENTU HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GMBH .....	16
<b>1.3 ANALÝZA VÝVOJOVÝCH TRENDŮ V MĚŘENÍ OTÁČEK .....</b>	<b>17</b>
1.3.1 RUČNÍ SNÍMAČE OTÁČEK .....	17
1.3.2 INKREMENTÁLNÍ SNÍMAČE OTÁČEK.....	18
<b>1.4 ZPŮSOBY MĚŘENÍ KROUTICÍHO MOMENTU.....</b>	<b>19</b>
1.4.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ .....	19
1.4.2 ZPŮSOBY MĚŘENÍ MOMENTU .....	19
1.4.3 NEPŘÍMÉ MĚŘENÍ MOMENTU SÍLY .....	20
1.4.4 ODPOROVÉ MĚŘIČE .....	21
1.4.5 INDUKČNÍ MĚŘIČE .....	23
1.4.6 MAGNETOELASTICKÉ MĚŘIČE.....	24
1.4.1 MĚŘIČE VYUŽÍVAJÍCÍ INVERZE WIEDEMANNOVA JEVU.....	24
1.4.2 MAGNETOANIZOTROPNÍ MĚŘIČE.....	25
1.4.3 KAPACITNÍ SNÍMAČE .....	26
1.4.4 OSTATNÍ METODY .....	26
<b>2 NÁVRH LABORATORNÍ ÚLOHY.....</b>	<b>27</b>
<b>2.1 AUTOMATIZOVANÉ LABORATORNÍ PRACOVÍŠTĚ.....</b>	<b>28</b>
<b>2.2 VÝBĚR PŘÍSTROJŮ PRO AUTOMATIZOVANÉ LABORATORNÍ PRACOVÍŠTĚ.....</b>	<b>29</b>
2.2.1 NATIONAL INSTRUMENTS USB-6251 (DAQ) .....	29
2.2.2 UNIDRIVE STD.....	30
2.2.3 PC.....	32
2.2.4 ASYNCHRONNÍ MOTOR SANDBLOM AND STOHNE .....	32
2.2.5 ASYNCHRONNÍ MOTOR EMP.....	32
2.2.6 INKREMENTÁLNÍ ČIDLO IRC120 .....	32
2.2.7 SPOJKA .....	32
2.2.8 PRUŽNÁ SPOJKA .....	33
<b>2.3 NÁVRH BLOKOVÉHO SCHÉMA PRACOVÍŠTĚ A JEHO DIMENZOVÁNÍ .....</b>	<b>33</b>
2.3.1 NÁVRH BLOKOVÉHO SCHÉMA .....	33
2.3.2 DIMENZOVÁNÍ AUTOMATIZOVANÉHO SYSTÉMU .....	35
<b>3 REALIZOVÁNÍ AUTOMATIZOVANÉHO PRACOVÍŠTĚ A UVEDENÍ DO PROVOZU.....</b>	<b>37</b>
<b>3.1 UPEVNĚNÍ MECHANICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>37</b>
<b>3.2 ZAJIŠTĚNÍ EMC .....</b>	<b>37</b>
<b>3.3 OŽIVENÍ PRACOVÍŠTĚ .....</b>	<b>38</b>
3.3.1 MĚNIČ UNIDRIVE .....	38
3.3.2 NATIONAL INSTRUMENTS USB-6251 (DAQ) .....	54
3.3.3 LABVIEW .....	56
3.3.4 POPIS PROGRAMU – VIRTUÁLNÍHO MĚŘICÍHO PŘÍSTROJE .....	57
3.3.5 POPIS PROGRAMU – BLOKOVÉ SCHÉMA .....	59



<b>3.4 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI PRACOVÍŠTĚ MĚŘENÍM .....</b>	<b>61</b>
3.4.1 MOMENT NAPRÁZDNO .....	61
3.4.2 TESTOVÁNÍ AUTOMATIZOVANÉHO PRACOVÍŠTĚ.....	63
3.4.3 ROZBĚH MOTORU EMP SLAVKOV U BRNA PŘÍMÍM PŘIPOJENÍM NA SÍŤ .....	64
3.4.4 ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKA ASYNCHRONNÍHO MOTORU EMP SLAVKOV U BRNA .....	64
<b>4 ZÁVĚR .....</b>	<b>66</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>67</b>



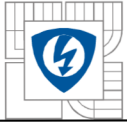
## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1.2.1 Snímače krouticího momentu Magtrol SA.....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 1.2.2 Spojka a vyhodnocovací zařízení Magtrol SA.....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 1.2.3 T5 Torque transducer.....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 1.2.4 T10F Torque transducer .....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 1.3.1 Digitální ruční otáčkoměr s laserem RPM10.....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 1.3.2 Inkrementální snímač otáček LARM .....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 1.3.3 Schéma výstupního obvodu z čidel LARM.....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 1.4.1 Snímače pracují na tenzometrickém principu od firmy ESA.....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 1.4.2 Snímač firmy HBP .....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 1.4.3. Princip snímače momentu síly s odporovými tenzometry .....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 1.4.4. Zapojení snímače do můstku .....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 1.4.5. Ukázka kroužkových sběračů firmy HBM .....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 1.4.6. Uspořádání snímače s využitím běžného indukčního snímače polohy.....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 1.4.7. Indukční snímač momentu.....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 1.4.8. Magnetoelastický snímač momentu síly, cívka nasunuta na hřídeli .....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 1.4.9 Změna permeability mezi body 1-2 nebo 3-4 .....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 1.4.10 Princip snímače síly využívající inverze Wiedemannova jevu .....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 1.4.11. Magnetoanizotropní snímač krouticího momentu.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 1.4.12. Kapacitní snímač momentu síly.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 1.4.13. Dynamometr .....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 2.2.1 National Instruments USB-6251 (DAQ) .....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 2.2.2 Unidrive STD.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 2.2.3 spojka .....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 2.2.4 Pružná spojka.....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 2.3.1 Struktura regulovatelného elektrického pohonu .....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 2.3.2 Blokové schéma automatizovaného pracoviště .....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 3.3.2 Blokové schéma měniče.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 3.3.2 Ochranný obvod pro brzdný odpor .....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 3.3.4 Typické připojení měniče (základní zapojení negativní logiky).....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 3.3.5 Ovládací panel .....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 3.3.6 Práce s parametry .....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 3.3.7 Schéma zapojení ovládacího obvodu .....</i>	<i>55</i>



<i>Obr. 3.3.8 Panel pro ovládání dynamometru</i> .....	58
<i>Obr. 3.3.9 Panel pro nastavování otáček a vizualizace hodnot</i> .....	58
<i>Obr. 3.3.10 Panel pro zaznamenávání hodnot</i> .....	58
<i>Obr. 3.3.11 Schéma START/STOP</i> .....	59
<i>Obr. 3.3.12 Schéma pro nastavování otáček dynamometru</i> .....	60
<i>Obr. 3.3.13 Snímání vstupních hodnot</i> .....	60
<i>Obr. 3.3.14 Zaznamenávání naměřených-odečtených hodnot</i> .....	61
<i>Obr. 3.4.1 Graf průběhu momentu naprázdno</i> .....	62
<i>Obr. 3.4.1 Rozběh asynchronního motoru EMP Slavkov u Brna</i> .....	64
<i>Obr. 3.4.1 Zatěžovací zkouška asynchronního motoru EMP Slavkov u Brna</i> .....	65





## SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 2.3.1 Dimenzování přístrojů</i> .....	36
<i>Tab. 2.3.2 Tabulka průřezů přívodního kabelu Unidrive</i> .....	43
<i>Tab. 2.3.2 Výrobce přednastavené konfigurace měniče Unidrive</i> .....	45
<i>Tab. 3.4.1 Naměřené hodnoty momentu naprázdno</i> .....	63



## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

$v$	[m/s]	obvodová rychlost kotvy
$\omega$	[rad/s]	úhlová rychlost kotvy
$p$	[-]	počet pólových dvojic
$N$	[-]	počet vodičů vinutí kotvy
$N_z$	[-]	počet závitů vinutí kotvy
$2a$	[-]	počet paralelních větví vinutí kotvy
$M$	[Nm]	zatěžovací moment
$M_i$	[Nm]	vnitřní moment pro ustálený stav ss. motoru
$U_a, u_a$	[V]	napájecí napětí kotvy
$U_i, u_i$	[V]	vnitřní indukované napětí
$I_a, i_a$	[A]	proud kotvy
$L_a$	[H]	indukčnost vinutí kotvy
$R_a$	[ $\Omega$ ]	odpor obvodu kotvy
$c$	[-]	konstanta ss stroje
$\Phi$	[Wb]	magnetický tok statoru
$n$	[ot/min]	otáčky rotoru
$\tau_p$	[m]	pólová rozteč
$B_{stř}$	[T]	střední hodnota magnetické indukce pod hlavními póly statoru



# 1 ÚVOD

Tato diplomová práce navazuje na semestrální práci 1 a na semestrální práci 2, kde jsem se zabýval analýzou vývojových trendů v oblasti měření neelektrických veličin, se zaměřením na otáčky a krouticí moment u elektrických točivých strojů, včetně přehledu různých druhů měření (snímání) otáček, krouticího momentu a posouzení přesnosti měření u jednotlivých druhů přístrojů.

V diplomové práci navrhuji blokové schéma pracoviště a jeho dimenzování, ve kterém se převážně zabývám návrhem laboratorní úlohy, která bude určena k výuce v laboratoři pohonů a výběru přístrojů pro automatizované laboratorní pracoviště, měření otáček a krouticího momentu.

V závěru práce bude provedeno oživení navrhnutého pracoviště, měření točivého momentu elektrického stroje při chodu naprázdno a následné ověření hodnot s dalšími způsoby měření.

## 1.1 Analýza

Před zahájením samotného sestavování automatizované laboratorní úlohy pro měření krouticího momentu a otáček je důležité vytvořit si přehled dostupných přístrojů a zařízení, vhodných pro danou úlohu. Je nezbytně nutné analyzovat vývojové trendy, neboť vývoj jde stále kupředu a zařízení, které se využívalo před rokem již nemusí vhodně spolupracovat s novými prvky, které se mohou vyskytnout v sestavě.

Je také nutné vzít v úvahu požadovanou přesnost měření a této přesnosti přizpůsobit výběr přístrojů, včetně ceny, která se zvyšuje s rostoucí přesností přístrojů.

## 1.2 Analýza vývojových trendů v měření momentů

Na trhu se nalézá nepřeberné množství výrobců zabývajících se vývojem a výrobou přístrojů určených pro měření krouticího momentu. Mezi nejznámější patří Magtrol SA, Hottinger Baldwin.

Při měření krouticího momentu je možné si vybrat z celé řady typů. Firmy nabízejí přístroje upravené pro různé druhy připojení. Můžeme si vybrat z několika druhů přírub, svěrného spojení a čtyřhranu. Snímače pro měření krouticích momentů jsou užívány v mnoha odvětvích průmyslu a výzkumu např.: trvalý monitoring výrobních procesů, pohonů, manipulátorů, testovací sestavy, ověřování pracovních nástrojů, vývoj a ověřování točivých strojů. Pro zpracování signálu momentu síly a otáček je k dispozici řada měřících zesilovačů i software.

### 1.2.1 Snímače krouticího momentu Magtrol SA

Snímače krouticího momentu firmy Magtrol SA, které se využívají k měření krouticího momentu, otáček a výkonu, jsou konstruovány na torzním bezkontaktním principu a jsou vhodné jak pro statická, tak i pro dynamická měření. Přesnost měření je menší než 0,1% z celého rozsahu. Měřicí rozsah je od 0 – 25 000 Nm a otáčky od 1 do 50 000 ot/min. Snímače jsou opatřeny integrovanou elektronikou, což znamená, že výstupní napětí je lineární 0 – 5V (0 - 10V) při obousměrném otáčení. Vyhodnocení lze provádět přes měřicí kartu přímo do počítače bez dalšího elektronického mezičlenu nebo přes elektronickou jednotku, která na displeji zobrazuje krouticí moment, otáčky a sama vypočítává výkon. Přenos do počítače je umožněn přes oddělené rozhraní RS 232. Tyto snímače mohou být upevněny na základní desce, případně mohou být volně zavěšeny mezi stroji. Vždy se používají vhodné spojky.



*Obr. 1.2.1 Snímače krouticího momentu Magtrol SA*



*Obr. 1.2.2 Spojka a vyhodnocovací zařízení Magtrol SA*

## 1.2.2 Snímače kroučícího momentu Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH

Paleta snímačů momentu síly firmy HBM zahrnuje snímače jak pro měření na otáčející se sestavě, tak i pro aplikace pevné. Snímače spadající do první skupiny užívají pro přenos z rotující části kroužkové sběrače, nebo bezkontaktní telemetrii. Pro zpracování signálu momentu síly a otáček je k dispozici řada měřících zesilovačů i software.

### Snímač kroučícího momentu: T5

Tento snímač slouží k měření momentu a to ve všech směrech rotace. Jmenovitý moment: 10Nm, 20Nm, 50Nm, 100Nm a 200Nm. Přístroj je zhotoven ve válcovitém uložení bez třecích kloubů. Jeho výhodou je praktičnost díky malým rozměrům.



Obr. 1.2.3 T5 Torque transducer

### Snímač kroučícího momentu: T10F

Přístroj T10F se vyznačuje extrémně úzkým designem. Jsou přípustné vysoké dynamické zatížení, smykové síly a ohýbací momenty. Velmi vysoká torzní tuhost. Snímač je v provedení bezdotykovém. Je možné si volit kalibrační signál. Nechybí i integrované měření rychlosti.



Obr. 1.2.4 T10F Torque transducer

## 1.3 Analýza vývojových trendů v měření otáček

### 1.3.1 Ruční snímače otáček

Mezi nejrozšířenější přístroje pro snímání otáček patří převážně digitální otáčkoměry. Jsou to přístroje s bezdotykovým i kontaktním snímáním otáček. Tyto přístroje, oproti analogovým, potřebují zdroj energie, povětšinou dvě AAA baterie. Výhodou oproti analogovým přístrojům je převážně komfort a přehlednost při měření. Měření otáček může být prováděno bezdotykově pomocí optické jednotky nebo také mechanicky přes kontaktní přítlačné adaptéry. Ke kontaktnímu měření otáček jsou k dispozici rozdílné adaptéry pro různé měřicí podmínky. Měřicí paprsek umožňuje změření otáček bez zkreslení, které může vzniknout při prokluzu u kontaktního měření. Výsledek měření může zobrazovat přehledný 5místný LCD display, jako je tomu u měřicího přístroje P420. Funkce ukládání MIN/MAX/AVG hodnot je již standart. Podstatnou vlastností je možnost připojení otáčkoměru k PC. Otáčkoměr lze využít jak pro měření otáček, tak pro měření rychlosti pohybu pásů nebo pásových dopravníků, ale také pro počítání kusů (výrobků) na dopravníku apod.

Ruční měřicí přístroje lze využít k automatizovanému snímání otáček, ale své hlavní uplatnění nacházejí především ve velmi snadném ověření, zda otáčky motoru opravdu odpovídají nastaveným hodnotám v námi vytvořeném programu, který ovládá celou sestavu zařízení.

Jako příklad ručního snímače otáček uvádím digitální ruční otáčkoměr s laserem RPM10. Jedná se o velmi přesný příruční otáčkoměr v rozsahu od 0,5 až 99 999 otáček/min. Měření otáček s tímto přístrojem lze provádět jak bezkontaktním způsobem pomocí laserové jednotky, která je zabudována v pouzdru přístroje, tak i mechanicky pomocí hnaného dotykového kolečka. Tento otáčkoměr dále disponuje schopností měřit teplotu za pomoci infračerveného paprsku.



Obr. 1.3.1 Digitální ruční otáčkoměr s laserem RPM10



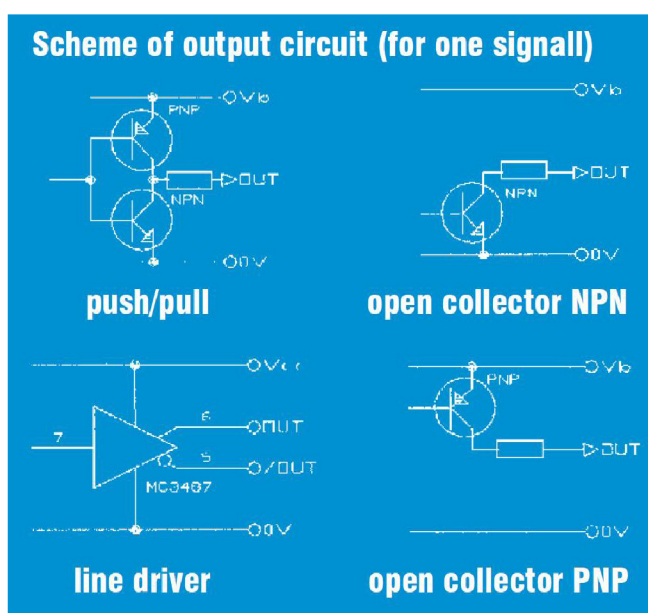
### 1.3.2 Inkrementální snímače otáček.

Inkrementální rotační snímače typu IRC s miniaturní žárovkou v osvětlovači a ve standardním průmyslovém provedení převádí rotační pohyb na elektrické signály pomocí fotoelektrického snímání rastrů dvou skleněných prvků (statoru a rotoru). Jsou určeny pro zprostředkování elektrické informace o vzájemné poloze dvou mechanických celků, úhlovém natočení, nebo rotačních pohybech. Typické použití pro snímače typu IRC je ve spojení s číslicovými indikacemi nebo řídicími systémy. S výhodou je lze použít i v jiných zařízeních, kde je potřebná vysoká přesnost a spolehlivost odměřování.



Obr. 1.3.2 Inkrementální snímač otáček LARM

Při výběru vhodného inkrementálního čidla je především důležité zvolit vhodné provedení výstupního obvodu čidla, aby byla zabezpečena správná komunikace s dekodérem signálu a bylo zabezpečeno správné měření odečítání otáček. Pokud má inkrementální čidlo posloužit jako zpětná vazba pro vektorové řízení asynchronního motoru za pomoci měniče napětí Unidrive, je nutné pro zabezpečení správné komunikace zvolit čidlo s výstupním obvodem line driver.



Obr. 1.3.3 Schéma výstupního obvodu z čidel LARM



## 1.4 Způsoby měření krouticího momentu

### 1.4.1 Základní rozdělení

Podle typu snímacího ústrojí můžeme měřiče momentu síly rozdělit na:

- a) mechanické
- b) optické
- c) elektrické

Mechanické a optické měřicí přístroje mají omezené uplatnění, mechanické umožňují převod odporovým potenciometrem na elektrický signál.

Jako měřicího deformačního členu snímače se využívá:

- a) deformaci hřídele
  - měření poměrného prodloužení na povrchu hřídele
  - měření výchylky.
- b) změny magnetických vlastností hřídele.

Podle použitého hřídele lze snímače rozdělit na:

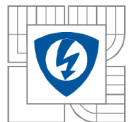
- a) snímače obsahující měřicí hřídel – snímače se vkládají k měřenému objektu,
- b) snímače s cizím hřídelem – neobsahují měřicí hřídel a připojují se k hřídeli měřeného stroje. Je to řešení jednodušší, ale s nižší přesností měření oproti a).

### 1.4.2 Způsoby měření momentu

Měřiče momentu síly můžeme z fyzikálního hlediska rozdělit do následujících skupin:

- a) měřiče pro nepřímé měření momentu síly
- b) odporový snímač
- c) indukčnostní snímač
- d) kapacitní snímač
- e) fotoelektrický snímač
- f) magnetoelastický snímač
- g) snímač s využitím Wiedemannova jevu





### 1.4.3 Nepřímé měření momentu síly

Moment síly můžeme v některých případech určit z naměřených hodnot poháněného elektromotoru a to z proudu, napětí, a rychlosti otáčení. Pro motor o výkonu  $P$  (W) a otáčkách za minutu  $n$  je moment motoru  $M_m$  (N.m)

$$M_m = 60 \cdot \frac{P}{n} \quad [3.1]$$

Z velikosti momentu elektromotoru lze přibližně určit tvářecí moment síly  $M_v$  podle rovnice

$$M_m = M_v + M_d (+ M_p + M_i) \quad [3.2]$$

Pro otáčivý setrvačný moment  $M_d$  platí

$$M_d = l \frac{d\omega}{dt} = mr^2 \frac{d\omega}{dt} = \frac{\pi}{2} md^2 \frac{dn}{dt} \quad [3.3]$$

Kde:  $l$  - moment setrvačnosti,  
 $d$  - průměr hřídele,  
 $m$  - hmotnost rotoru.

Moment při chodu naprázdno  $M_p$  je dán vztahem

$$M_p = 60 \cdot \frac{P}{n} \quad [3.4]$$

Pro moment tření platí vztah

$$M_t = \frac{Fd\mu}{i_c\eta} + \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) \frac{M_v}{i_c} \quad [3.5]$$

Kde:  $F$  - síla působící na hřídel,  
 $d$  - průměr kružnice  
 $\mu$  - součinitel tření v ložiskách hřídelů,  
 $i_c$  - celkový převod,  
 $\eta$  - účinnost převodu od motoru až k zátěži.

Určení jednotlivých momentů z naměřených parametrů motoru není přesné a vhodné, neboť je nutno měřit několik veličin a určení účinnosti bývá velmi obtížné.

### 1.4.4 Odporové měřiče

Tyto měřiče bývají nejvíce rozšířené. Deformaci měřicího členu (hřídele) můžeme měřit dvěma způsoby, a to:

#### Odporovým potenciometrem

Pracuje na principu snímání úhlové výchylky. Tento způsob vyžaduje velké deformace měřicího členu. Jedná se o málo využívaný typ snímače. Používá se jako převodník k mechanickým snímačům momentu síly. Potom vytváří výstupní elektrický signál.

#### Odporovým tenzometrem

Pracuje jako snímač smykového napětí. Použití tenzometrů je velmi časté a je vhodné pro dynamická měření. Jako deformačního prvku se užívá většinou hřídele. Na jejím povrchu jsou ve směru maximálních smykových napětí, tj. pod úhlem  $45^\circ$  vzhledem k ose hřídele, nalepeny odporové tenzometry, které vytvářejí celý můstek. Je nutno vyloučit vliv ohybových a tahových napětí.

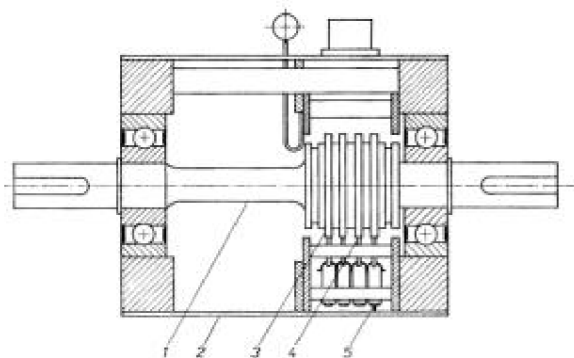


*Obr. 1.4.1 Snímače pracují na tenzometrickém principu od firmy ESA*

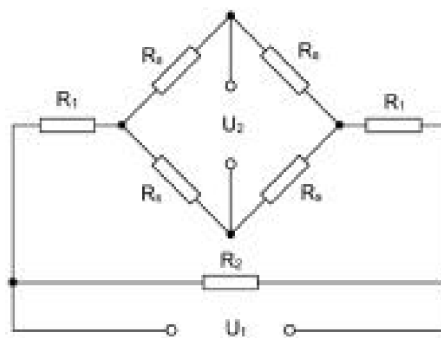


*Obr. 1.4.2 Snímač firmy HBP*

Na (Obr. 1.4.3.) je zobrazen princip snímače momentu síly s odporovými tenzometry. Na měřicí části hřídele 1 jsou do můstku nalepeny odporové tenzometry. Signál z měřicích a napájecích bodů měřicího můstku je veden přes sběrací kroužky 3 a sběrače 4 na svorkovnici 5 na statorové části. Celý snímač je uzavřen krytem 2. Aby nedocházelo k opotřebení sběračů (Obr. 1.4.5.) v době, kdy se neměří, je možno sběrače od kroužků pákovým mechanismem odklonit. Na (Obr. 1.4.4.) je schéma elektrického zapojení snímače do můstku.



Obr. 1.4.3. Princip snímače momentu síly s odporovými tenzometry



Obr. 1.4.4. Zapojení snímače do můstku

Rozsah měřených hodnot je 10 N.m až 100 kN.m, dosahují přesnosti až 0,1 %. Výstupní napětí je 1 až 2 mV na 1 volt napájecího napětí. Teplotní rozsah snímače je 0 až 70°C. Nejvyšší otáčky 7000 až 15000 min<sup>-1</sup>. Při dynamických měřeních je nezbytné napájení můstku stejnosměrným napětím nebo střídavým napětím o vyšším kmitočtu.

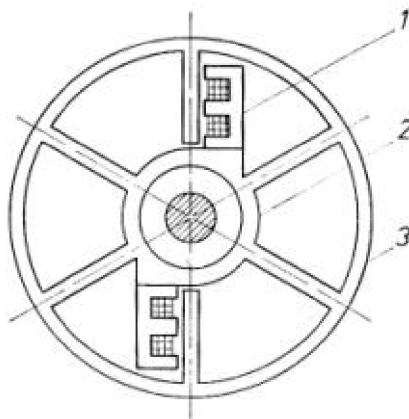


Obr. 1.4.5. Ukázka kroužkových sběračů firmy HBM

### 1.4.5 Indukční měřiče

Jako snímače momentu síly se používají především typy s malou vzduchovou mezerou. Úhlová výchylka dvou průřezů hřídele se převede na změnu vzduchové mezery. Speciální konstrukce umožňují umístění vinutí na statorovou část hřídele. Tím jsou odstraněny komplikace s přenosem signálu z rotujícího hřídele. Takové řešení je velmi složité.

Na (Obr. 1.4.6.) je zobrazeno uspořádání snímače s využitím běžného indukčního snímače polohy. Ohybová deformace ramen řemenice se měří dvěma shodnými snímači polohy, jejichž cívky jsou zapojeny do můstku.



Obr. 1.4.6. Uspořádání snímače s využitím běžného indukčního snímače polohy

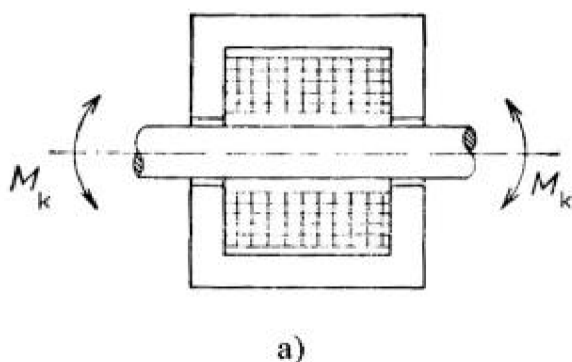
Jiné řešení je, kdy na hřídeli jsou v určitém rozestupu umístěny tři prstence z nemagnetického materiálu. Na dvou krajních jsou pak umístěny ploché prstence z feromagnetického materiálu, opatřené zuby, které jsou na straně ke středu. Mezi těmito prstenci je umístěn třetí prstenec, také z feromagnetického materiálu, se zuby na obou stranách. Zuby krajních a středního prstence do sebe zapadají s vůlí, která je v celém obvodu konstantní a tvoří vzduchové mezery  $d_1$ ,  $d_2$ . Okolo tohoto systému je umístěna cívka nebo systém cívek. Zkroucením hřídele dojde ke změně vzduchových mezer  $d_1$ ,  $d_2$  a tím ke změně indukčnosti nebo vzájemné indukčnosti snímače. Tato změna odpovídá momentu síly. Takovéto snímače se vyrábějí pro použití do 4000 ot/min. Jejich hlavní nevýhodou je, že mají vývody pouze ve statorové části.



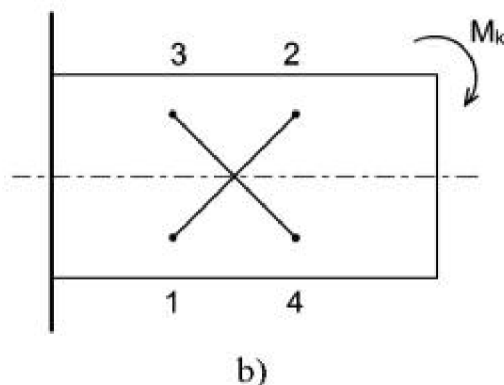
Obr. 1.4.7. Indukční snímač momentu

### 1.4.6 Magnetoelastické měřiče

Měření je možné dvěma způsoby. Nejjednodušší uspořádání magnetoelastického snímače je na (Obr. 1.4.8.) Na hřídeli namáhané momentem síly je nasunuta cívka a hřídel je součástí elektrického obvodu. Její deformací dochází ke změně permeability a tím i ke změně indukčnosti cívky. Tento způsob není příliš rozšířen z důvodu chyb, které způsobují vůle v ložiscích a odchylka od kruhového profilu hřídele. Na (Obr. 1.4.9.) se měří změna permeability mezi body 1-2 nebo 3-4 pomocí přiloženého indukčnostního snímače tvaru U. Řešení krouticího momentu těmito metodami je dosti výjimečné, protože je provázeno mnoha parazitními vlivy, jejichž kompenzace je obtížná.



Obr. 1.4.8. Magnetoelastický snímač momentu síly, cívka nasunuta na hřídeli



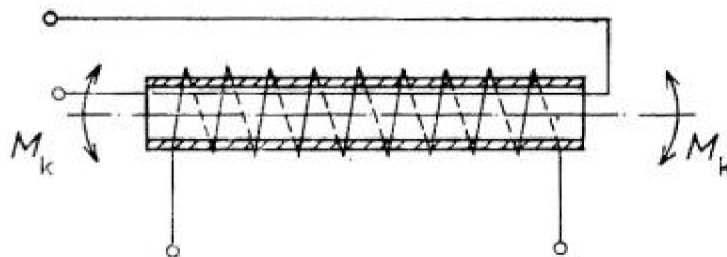
Obr. 1.4.9. Změna permeability mezi body 1-2 nebo 3-4

### 1.4.1 Měřiče využívající inverze Wiedemannova jevu

Sám princip tohoto snímače se nabízí pro měření krouticího momentu, jelikož jeho výstupní napětí odpovídá úhlu zkroucení trubky snímače. Je tedy pouze nutné zařadit tuto trubku mezi hřídel hnací a hnanou.

Princip snímače je na (Obr. 1.4.10). Obsahuje dvě vinutí, jedno s velkým počtem závitů je navinuto na torzně namáhané tyči, druhé (budicí) vinutí je protaženo ve směru osy trubky. U plného hřídele prochází budicí proud přímo hřídelem. Při namáhání trubky nebo hřídele momentem síly se v sekundární cívce indukuje napětí úměrné momentu síly.

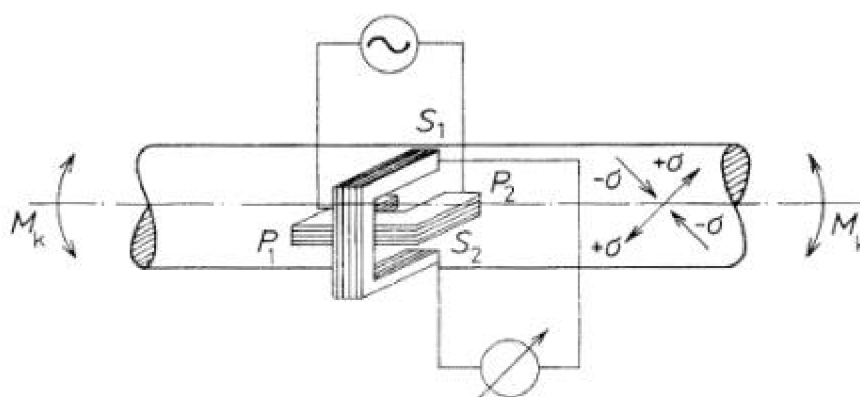
Při měření torze otáčející se měrné části (hřídele), vzniká problém přenosu budicího proudu do rotujícího vinutí. Vzhledem k tomu, že se jedná o přenos poměrně velkých proudů, je řešení velmi obtížné a proto se pro tuto aplikaci uvedený princip málo používá.



Obr. 1.4.10 Princip snímače síly využívající inverze Wiedemannova jevu

### 1.4.2 Magnetoanizotropní měřiče

Snímač je složen ze dvou magnetických obvodů. Budicí vinutí je napojeno na zdroj střídavého proudu konstantního kmitočtu a amplitudy. Tím je vytvořeno symetrické magnetické pole na povrchu hřídele. Jádra jsou umístěna otevřenou částí blízko hřídele tak, že budicí magnetický obvod je rovnoběžný s osou hřídele (Obr. 1.4.11). Budicí magnetické pole je souměrné, proto neprochází sekundárním obvodem, umístěným kolmo k budicímu. Je-li však hřídel zatížen krouticím momentem, deformuje se také magnetické pole obvodu a tak dojde k průchodu magnetického toku sekundárním magnetickým obvodem. Tím je na něm indukováno napětí, úměrné velikosti deformace magnetického pole a tím i působícímu momentu síly. Takto konstruovaný snímač je velmi citlivý na nehomogenitu hřídele.



Obr. 1.4.11. Magnetoanizotropní snímač krouticího momentu

Tyto nežádoucí vlivy odstraňuje tzv. prstencový snímač. Ten se skládá ze tří stejných prstenců, které mají vyčnívající póly  $S_1$ ,  $P$ ,  $S_2$  a mohou být pro rychlou a snadnou montáž složeny ze dvou polovin. Vinutí cívek na jednotlivých pólových nástavcích jsou zapojena tak, že mají střídavě opačný smysl. Střední prsteneček je proti oběma vnějším prstencům posunut o polovinu pólové rozteče, přičemž vzdálenost mezi prstenci je rovněž rovna polovině pólové rozteče.

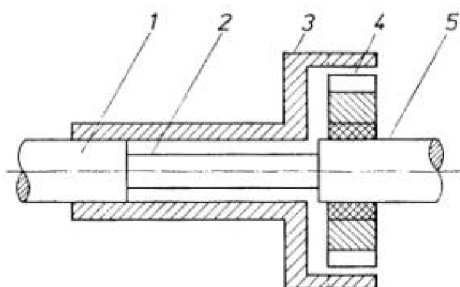


Střední prstavec slouží jako budící magnetický obvod. Oba vnější prstence jako sekundární (měřicí), jejich snímací cívky jsou zapojeny v sérii s opačným smyslem vinutí. Při zatížení hřídele momentem síly vznikají v povrchových vláknech hřídele tečná napětí. Tato napětí mají tahovou složku  $+\sigma$  a tlakovou  $-\sigma$ . Obě působí k ose hřídele pod úhlem  $45^\circ$ . Tím dochází ke změně permeability.

Tento typ snímače má malé rozměry, především měřicí délku. Výstupní signál se snímá ze statorové části, není citlivý na prach, vlhkost chvění apod. Vyrábí se pro rozsah 50 Nm až 1 kNm, pro rozsah otáček 0 až 100 000 ot/min.

### 1.4.3 Kapacitní snímače

Na (Obr. 1.4.12.) je znázorněn kapacitní snímač momentu síly. Je tvořen dvěma elektrodami 3, 4 zubového tvaru, uchycenými pevně na hřídeli. Elektroda 4 je izolována od hřídele 5. Působením momentu síly na měřicí část hřídele 2 dojde k natočení elektrod a tím ke změně kapacity. Výstupní signál je z rotujícího hřídele vyveden na statorovou část.



Obr. 1.4.12. Kapacitní snímač momentu síly

### 1.4.4 Ostatní metody

V praxi se lze setkat rovněž s dalšími principy měření momentu síly, což jsou např.

- fázové měřiče
- brzdy
- dynamometry



Obr. 1.4.13. Dynamometr



## 2 NÁVRH LABORATORNÍ ÚLOHY

Postup návrhu automatizovaného pracoviště lze rozložit do tří po sobě následujících etap:

**První etapou je zadání.** Tato etapa je velmi důležitá, neboť za chyby a nepřesnosti, případně i za neúplné údaje, se zpravidla platí dodatečnými rekonstrukcemi a technickými změnami, až při uvádění do provozu, což je velmi drahé a převážně časově zdlouhavé.

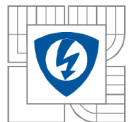
**Druhou etapou je návrh,** ve kterém projektant volí koncepci pohonu, provádí dimenzování motorů a dalších výkonových částí, navrhuje regulační struktury a optimalizuje jak výkonovou, tak regulační část.

**Ve třetí etapě zpracovává kompletní projekční a konstrukční dokumentaci,** podle níž se pak pohon realizuje. Úplné zadání má obsahovat: technickou charakteristiku pracovního stroje, požadavky na regulaci, požadavky na diagnostiku a zpětná hlášení, údaje o pracovním prostředí, speciální požadavky na konstrukční uspořádání a požadované spolehlivostní parametry. Do technické charakteristiky pracovního stroje patří statické charakteristiky (např. závislost momentu na rychlosti), momenty setrvačnosti a setrvačné hmoty, zatěžovací diagram (technologický cyklus) a převody.

Z požadavků na regulaci je třeba nejprve zjistit, které veličiny je třeba regulovat (moment nebo sílu, rychlost, polohu, případně i některou veličinu technologického procesu, jako je např. konstantní řezná rychlost při soustružení s narůstajícím poloměrem nebo konstantní tah při navíjení svitků), dále požadovanou statickou a dynamickou přesnost regulace a to absolutní i relativní a při jakých změnách poruchových veličin, kterými jsou zpravidla zatěžovací moment, změna teploty okolí a změna napětí sítě je tato přesnost požadována. Statická přesnost se vztahuje k ustálenému stavu, dynamická přesnost představuje maximální odchylku v průběhu vyregulování přechodného děje při zadané změně poruchové veličiny (např. při skokové změně zatěžovacího momentu z 10% na 100%). Při požadavku na regulaci polohy je nutné vědět, požaduje-li se tzv. nastavování polohy (např. pro polohování u tvářecích strojů a pro manipulační roboty) nebo jde o tzv. sledování (souvislé polohové řízení technologických robotů, posuvů obráběcích strojů či polohování antén).

Moderní pohony bývají často používány pro automatizované bezobslužné pracovní stroje a technologické linky řízené nadřazeným počítačem, který pro bezchybné rozhodování a řízení potřebuje informace o stavu a případných poruchách v sestavě. Z těchto důvodů je důležitou informací zadání i souhrn požadavků na diagnostiku pohonů. Diagnostika je zpravidla dvojího typu, tzv. testovací, která zjišťuje bezporuchovost před spuštěním celého zařízení a diagnostika provozní, která hlídá nejdůležitější hodnoty trvale za chodu. Účelem diagnostiky je identifikace a hlášení poruch a dále i hlášení některých dalších provozních stavů (např. klidového stavu, přetížení, nesouhlas žádaných a skutečných hodnot). Důležitou zadávací informací jsou údaje o napájecí síti, jako jsou počet fází, jmenovité napětí a kmitočet a dovolené tolerance těchto hodnot, u větších výkonů pak i proudová zatížitelnost a reaktance sítě, případně jde-li o jiné napájení, např. z akumulátorových baterií nebo z autonomní sítě. Konstrukční provedení pohonů musí odpovídat předpokládanému pracovnímu prostředí, charakterizovanému teplotou okolí, vlhkostí vzduchu, chvěním a vibracemi (při umístění na pohyblivých zařízeních), případně i prostředím s nebezpečím požáru nebo výbuchu. Nezanedbatelným požadavkem je stupeň





odrušení, zejména pro neprůmyslová zařízení v obytných budovách, v nemocničním prostředí, kde jsou kladeny vysoké požadavky na EMC.

Ke zbývajícím požadavkům mohou patřit speciální požadavky na konstrukční provedení zejména motorů a napájecích výkonových měničů (stupeň krytí a konstrukční provedení rozvaděčů), a dále i spolehlivostní parametry, jako jsou např. střední doba do poruchy, doba technického života atd. Návrh pohonů sestává z návrhu koncepce pohonu, tj. volby typu pohonu, jeho dimenzování, návrhu koncepce a struktury regulačních obvodů a z volby jistění a ochran. Pro volbu typu pohonu je v současné době k dispozici celá řada pohonů: pohon se stejnosměrným motorem, zejména s buzením permanentními magnety, pohon s elektronicky komutovaným motorem, pohon se synchronním motorem s permanentními magnety na rotoru, pohon s asynchronním motorem a pohony s krokovými motory různého konstrukčního provedení. Všechny tyto vyjmenované motory jsou napájeny z výkonových tranzistorových měničů, pouze stejnosměrné motory bývají napájeny i z měničů tyristorových. Dimenzování vychází z výpočtu statických a dynamických zatěžovacích momentů a jeho cílem je určit typovou velikost motorů a přiřadit k nim příslušné měniče, zpravidla podle požadavku proudové přetížitelnosti. Návrh koncepce a struktury regulačních obvodů obsahuje volbu snímačů a čidel (polohy, rychlosti, případně i dalších technologických veličin), rozhodnutí o tom bude-li regulace analogová, digitální, případně hybridní, dále návrh regulačních smyček a jejich syntézu, tj. návrh přenosových funkcí jednotlivých regulátorů. Volba jistění a ochran je důležitá z hlediska bezpečnosti, musí zahrnovat jistění proti zkratu a jistění proti nadproudu, někdy i ochranu proti přepětí, případně podpětí. Proti přetížení se používají teplotní ochrany, což jsou termistory nebo bimetalová relé, zabudovaná přímo do vinutí elektromotorů a do chladičů výkonových polovodičových prvků.

## 2.1 Automatizované laboratorní pracoviště

Hlavním požadavkem na sestavení automatizovaného pracoviště je vytvoření laboratorní úlohy, při které se snímají otáčky a moment. Vycházíme-li ze skutečnosti, že tato aplikace je především určena pro výuku v laboratoři pohonů, není zde třeba upřednostňovat kompromis mezi cenou a přesností měřících přístrojů s přihlédnutím na předpokládané zařízení, které by bylo touto sestavou následně měřeno. Nýbrž je zapotřebí vycházet z technické vybavenosti laboratoře a využít převážně ty přístroje, které jsou k dispozici.

## 2.2 Výběr přístrojů pro automatizované laboratorní pracoviště

### 2.2.1 National Instruments USB-6251 (DAQ)

National Instruments USB-6251 DAQ je vysokorychlostní multifunkční zařízení určené pro získávání informací. Tato měřicí jednotka je optimalizována přednostně pro přesnost v rychlých vzorkovacích kmitočtech, je ideální pro aplikace, kde dochází k dynamické změně signálu a pro senzorová měření.

Toto zařízení je navrženo pro aplikace, u kterých se vyžaduje velká mobilita a náročnost na prostor a není zde možné využít zařízení větších rozměrů.

Zařízení se připojuje k PC za pomoci USB rozhraní, po nainstalování software a po proběhnutí Plug-and-play instalace, která minimalizuje přípravný čas, je zařízení připraveno k provozu.

USB-6251 DAQ je vybaveno přímou šroubovou svorkovnicí, která umožňuje snadné a rychlé připojení požadovaných vstupů a výstupů.



Obr. 2.2.1 National Instruments USB-6251 (DAQ)



### 2.2.2 Unidrive STD

Jedná se o standardní provedení měniče kmitočtu pro systémovou integraci i samostatné aplikace. Snadno se instaluje a uvádí do provozu. Lze jej použít v široké řadě aplikací. Měnič je mimořádně flexibilní a umožňuje nastavovat přímo z ovládacího panelu režimy provozu, které lze měnit při běhu měniče. Měniče Unidrive jsou vyráběny ve čtyřech typových velikostech. Měnič Unidrive může pracovat v jedné ze čtyř základních kategorií, které jsou volitelné uživatelem. Tím je dána univerzálnost měničů řady Unidrive.

Vlastnosti měniče lze rozšířit pomocí volitelných modulů. Měniče Unidrive umožňují volbu jedné z několika možností přednastavených konfigurací řídicí svorkovnice (tzv. Makra), což výrazně zjednodušuje nastavení měniče pro danou aplikaci. Většina svorek řídicí svorkovnice je programovatelná a jejich funkce v dané konfiguraci může být uživatelem změněna.

#### Princip činnosti měniče:

##### Výkonová část

Vstupní síťové napětí je usměrněno pomocí diodového můstku a je vedeno do stejnosměrného meziobvodu. Konstantní stejnosměrné napětí meziobvodu je potom v tranzistorovém mostu střídače (tranzistory IGBT) pomocí pulzní šířkové modulace (P.M) přeměněno na třífázové napětí požadovaného kmitočtu a velikosti.

##### Řídicí část

Základem řídicí elektroniky je mikroprocesor. Tvorba pulzní šířkové modulace je prováděna pomocí integrovaného zákaznického obvodu (ASIC), který také umožňuje diagnostiku měniče s hlášením a indikací provozních stavů včetně poruch.

#### Kategorie měniče:

Unidrive může pracovat s většinou typů třífázových střídavých motorů (asynchronních i synchronních), protože uživatel může měnič nakonfigurovat do několika kategorií.

##### Open loop:

Jedná se v podstatě o skalární režim (s definovaným  $U/f$ ), pro použití se standardními asynchronními motory bez otáčkové zpětné vazby (lze připojit více motorů paralelně)

Je možné využít pseudovektorový režim, pro použití se standardními asynchronními motory bez otáčkové zpětné vazby (lze připojit pouze jeden motor). V tomto režimu není výstupní napětí dáno poměrem  $U/f$ , ale je závislé na zátěži a je určeno matematicky pomocí náhradního schématu motoru s ohledem na optimální tok motoru. Pro tento režim je nezbytné určit hodnotu odporu statoru a hodnotu jmenovitého účinníku. Obě hodnoty mohou být automaticky změřeny během uvádění do provozu.

### **Vektor:**

Pro použití se standardními asynchronními motory s otáčkovou zpětnou vazbou realizovanou např. pomocí enkodéru. Skutečná hodnota otáček (daná enkodérem) je porovnávána s žádanou hodnotou po aplikaci ramp. Výsledkem je žádaná hodnota momentové smyčky proudu. Regulátory proudu paralelně zpracovávají obě složky proudu (magnetizační a momentovou), z nichž se v souřadnicovém transformátoru vytváří potřebná hodnota výstupního proudu (a tím i napětí) měniče.

### **Servo:**

Pro použití s bezkomutátorovými střídavými servomotory s permanentními magnety a zpětnou vazbou realizovanou např. pomocí enkodéru s komutačními signály. Rekuperační jednotka umožňuje vracet energii do sítě, když motor pracuje v generátorickém režimu. Tato kategorie vyžaduje použití speciálních střídavých synchronních servomotorů (s permanentními magnety na rotoru). Kategorie Servo je podobná kategorii Vektor. Není však požadován regulátor toku. Pro potřebu regulace je nutné čidlo otáček (např. enkodér) dávající informaci o absolutní poloze rotoru motoru.



*Obr. 2.2.2 Unidrive STD*



### 2.2.3 PC

Pro vyhodnocení a zpracování informací poslouží počítač, který bude vybaven USB konektorem pro připojení měřicí karty National Instruments USB-6251 (DAQ) a vývojovým prostředím LabVIEW verze 8.6.

### 2.2.4 Asynchronní motor Sandblom and Stohne

Jedná se o asynchronní motor o výkonu 550W a jmenovitých otáček 2800 ot/min. Tento motor disponuje hřídelí, která vystupuje po obou stranách motoru. Díky této vlastnosti je tento motor výhodně použit jako malý asynchronní dynamometr a to díky výhodné možnosti umístění inkrementálního čidla na jednu stranu hřídele.

Na druhou stranu hřídele je tedy možno připojit za pomoci vhodné spojky (*obr. 2.2.3*), snímač krouticího momentu.

### 2.2.5 Asynchronní motor EMP

Jako měřený motor zde poslouží asynchronní motor EMP Slavkov u Brna. Tento motor disponuje výkonem 750W a jeho jmenovité otáčky jsou 2810 ot/min.

### 2.2.6 Inkrementální čidlo IRC120

Inkrementální rotační snímač typu IRC, slouží k měření otáček. Tento snímač můžeme využít jako zpětnou otáčkovou vazbu pro měnič Unidrive a to v případě, když měnič bude pracovat ve vektorovém řízení.

### 2.2.7 Spojka

Vzhledem k neobvyklé spojce, která byla nalisována na hřídeli motoru Sandblom and Stohne, bylo nutné nechat zhotovit redukci (*Obr. 2.2.3*), aby bylo možné motor bezpečně připojit k Torquemastru.



*Obr. 2.2.3 spojka*

### 2.2.8 Pružná spojka

Propojení snímače Torquemastra a měřeného motoru EMP Slavkov u Brna bylo realizováno za pomoci pružné spojky (*Obr. 2.2.4*).



*Obr. 2.2.4 Pružná spojka*

## 2.3 Návrh blokového schéma pracoviště a jeho dimenzování

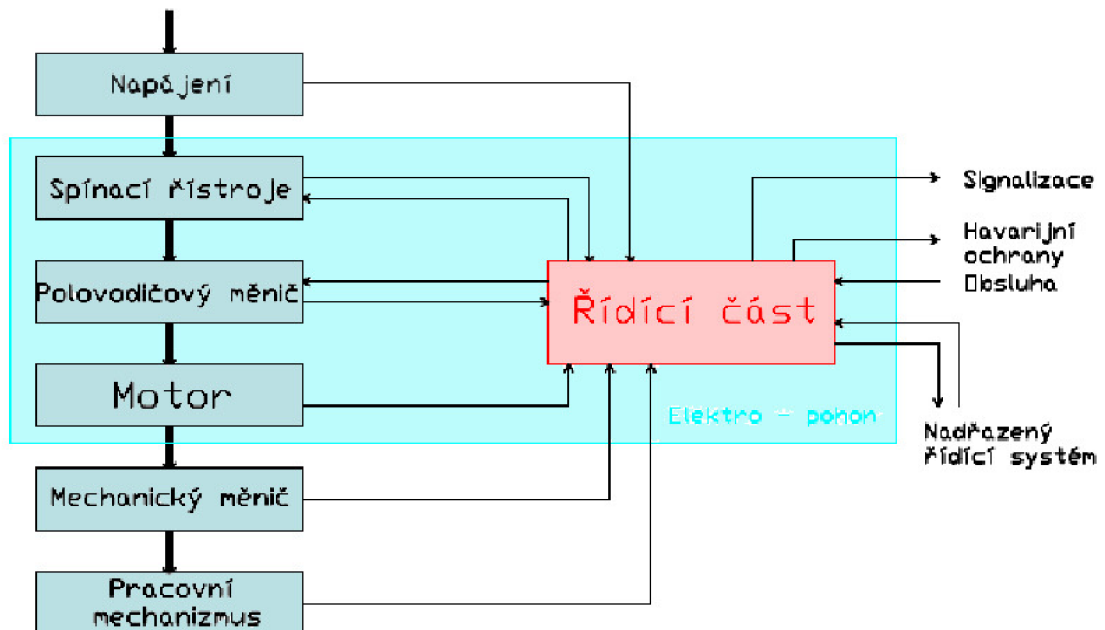
### 2.3.1 Návrh blokového schéma

Elektrický pohon jako soustava je tvořena vhodnou kombinací elektrotechnických zařízení pro elektromechanickou přeměnu energie a pro vytváření, přenos a zpracování signálů řídicích tuto přeměnu. Vstupní řídicí signály jsou určovány obsluhou nebo nadřazeným řídicím, regulačním nebo automatizačním členem. Výstupní veličiny jsou parametry mechanického pohybu.

V literatuře nebo na internetu se můžeme setkat i s jinými definicemi, které se mohou mírně lišit v souvislosti s vnímanou šířkou a hloubkou pojetí funkce pohonu v konkrétních aplikacích. Například mechatronika je synergetickou kombinací přesné mechaniky a strojního inženýrství, elektroniky, řízení a počítačových věd, jež sjednocuje výsledný užitný a efektivní design.

Většina elektrických motorů je provozována s konstantní rychlostí, které nepotřebují být regulovány, mimo případů rozběhu, zastavení, reverzace a poruchy. Existuje menší skupina pohonů, kde se moment a rychlost spolehlivě přizpůsobují požadavkům poháněcího zařízení, avšak ve speciálním uspořádání, které nazýváme regulovaný pohon.



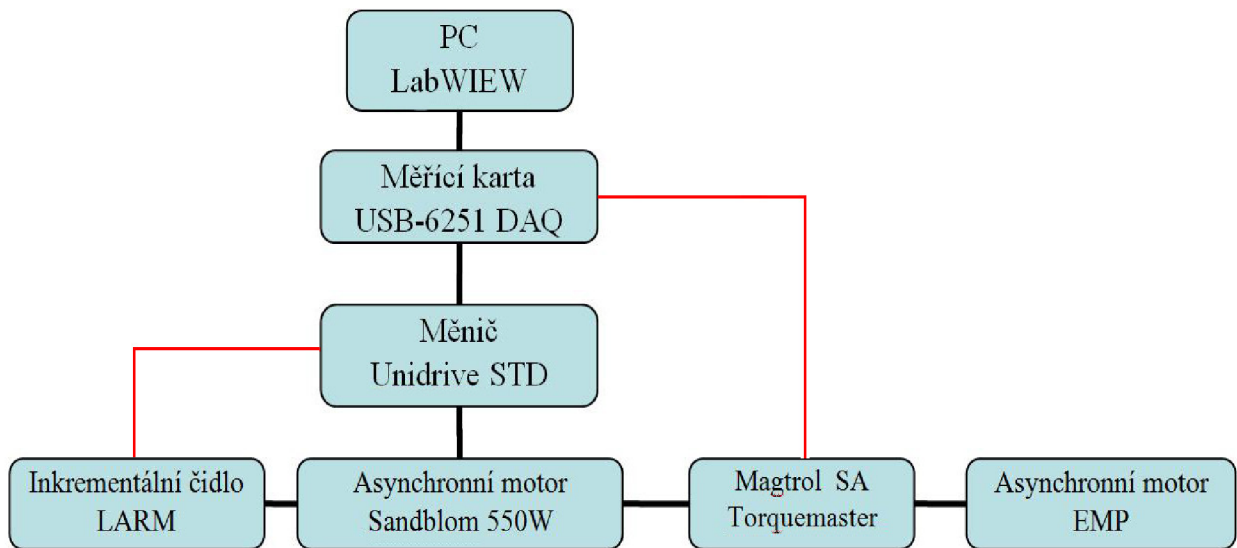


Obr. 2.3.1 Struktura regulovatelného elektrického pohonu

Blokové schéma automatizovaného pracoviště (Obr. 2.3.2) pro měření otáček a momentu se skládá z vybraných přístrojů, které jsou uvedeny v kapitole 2.2. Z blokového schématu vyplývá, že celá sestava bude ovládána za pomoci PC.

Automatizovanost pracoviště tedy závisí na vývojovém prostředí LabVIEW a námi vhodně vytvořeném programu. Měřicí karta USB – 6251 DAQ je plně kompatibilní s vývojovým prostředím LabVIEW, je propojena s PC za pomoci USB kabelu. Tato karta disponuje digitálními a analogovými výstupy/vstupy, díky tomu můžeme ovládat provozní stavy měniče Unidrive a snímat hodnoty otáček a krouticího momentu z Torquemastru.

Inkrementální čidlo LARM vytváří zpětnou vazbu pro vektorové řízení, je připojeno za pomoci příslušného kabelu s patnáctipinovým konektorem Canon, který je připojen do dekodéru měniče Unidrive, tuto hodnu otáček je možno snímat měřicí kartou, ale v této úloze bude využit ke snímání otáček Torquemaster. Asynchronní motor Sandblom 550W se tedy bude chovat jako malý dynamometr, který bude řízen měničem a bude možné přesně řídit jeho otáčky. Bude-li na měniči nastaveno vektorové řízení, bude zajištěna konstantní rychlost i při dynamické zátěži dynamometru.



Obr. 2.3.2 Blokové schéma automatizovaného pracoviště

### 2.3.2 Dimenzování automatizovaného systému

Při dimenzování automatizovaného systému je nutné brát ohled na všechny komponenty v systému a navrhnout je tak, aby se některá část nestala poddimenzovaná a nemohlo dojít k jejímu poškození. Při měření krouticího momentu je možné si vybrat z celé řady typů přístrojů. Firmy nabízejí přístroje upravené pro různé druhy připojení. Můžeme vybrat z několika druhů přírub, svěrného spojení, čtyřhranu. Snímače pro měření krouticího momentu jsou užívány v mnoha odvětvích průmyslu a výzkumu např.: trvalý monitoring výrobních procesů, pohonů, manipulátorů, testovací stavy, ověřování pracovních nástrojů, vývoj a ověřování točivých strojů atd. Pro zpracování signálu momentu síly a otáček je k dispozici řada měřicích zesilovačů i software.

Při měření točivého momentu, za pomoci tenzometrických snímačů nebo rotačních snímačů je nezbytné zabezpečit, aby snímač, motor a zátěž ležely v ose hřídele motoru a byly náležitě upevněny. Případná nesouosost hřídelí by při otáčivém pohybu způsobovala nežádoucí rezonance. Vlivem těchto rezonancí by docházelo ke zkreslování měření a následným chybám měření. Rezonance způsobená nesouosostí by při vyšších rychlostech mohla trvale zničit snímač momentu. Dále je důležité zvolit vhodnou spojku. Spojka musí vytvořit pevné spojení hřídele motoru a snímače momentu, spojka nesmí být zhotovena z pružného nebo měkkého materiálu, neboť by při měření dynamického momentu docházelo ke zkreslování naměřených hodnot vlivem setrvačnosti. Pokud se chceme vyvarovat případným komplikacím ohledně připojení snímače momentu k hřídeli pohonu, nabízí se možnost při koupi snímače využít nabídek výrobců snímačů, kteří nabízejí možnost k snímači přimontovat a nechat dynamicky vyvážit spojky a vyhnout se tak nežádoucím rezonancím.





	Maximální otáčky sestavy	Maximální výkon	Jmenovitý proud
Měnič Unidrive STD TYP: UNI 2401		5,5kW	12A
Asynchronní motor EMP Slavkov u Brna TYP: TM80-2S B3	2810 ot/min	750W	Y/D 2,0/3,4A
Asynchronní motor Sandblom and Stohne TYP: BF4 71 M42	2810 ot/min	550W	Y/D 1,5/2,6A
Torquemaster Typ: TM 310/011 Rated torque 50Nm	10 000 ot/min		
Inkrementální čidlo LARM TYP: IRC 120	10 000 ot/min		

*Tab. 2.3.1 Dimenzování přístrojů*

Z tabulky 1 vyplývá, že sestava se bude otáčet maximálními otáčkami 2810 ot/min a to v případě, že bude napájen motor EMP Slavkov u Brna. Asynchronní motor Sandblom and Stohne bude připojen k měniči a jeho otáčky budou tedy záviset na hodnotě  $U/f$ , která bude nastavena na měniči Unidrive.

Měnič Unidrive nabízí velký rozsah parametrů, který můžeme nastavit. V našem případě bude na měniči nastavena maximální frekvence 50Hz, aby bylo možno dosáhnout jmenovitých otáček motoru Sandblom and Stohne a dále bude nastaveno proudové omezení na 2A.

Pokud budeme využívat motor EMP Slavkov u Brna jako zátěž, bude tento motor napájen z autotransformátoru maximálním napětím 100V.



## **3 REALIZOVÁNÍ AUTOMATIZOVANÉHO PRACOVÍŠTĚ A UVEDENÍ DO PROVOZU**

### **3.1 Upevnění mechanické části**

Při měření momentu je nezbytné, aby snímač i brzda ležely v ose hřídele motoru a byly náležitě upevněny. Pokud by tomu tak nebylo, docházelo by k rezonancím a následnému zničení snímače. Při koupi snímače je možné si nechat k snímači přimontovat dynamicky vyvážené spojky a vyhnout se tak nežádoucím rezonancím.

Pokud nemůžeme využít možnosti zakoupení celé sestavy, která už bude vyvážená z výroby a budeme pracoviště sestavovat sami, musíme zabezpečit stejnou osovou výšku všech přístrojů. To provedeme vhodným podložením. Přístroje musí být náležitě upevněny i s ohledem na podložení, aby nedošlo k jejich uvolnění vlivem dynamické změny zátěže a následného ohrožení obsluhy.

Drobné nesouososti je možné utlumit pružnými spojkami (*obr. 2.2.4*).

### **3.2 Zajištění EMC**

Pro spojení motoru s měničem je třeba použít čtyřžilový kabel. Zemnicí vodič tohoto kabelu musí být připojen pouze k zemnicí svorce měniče a motoru. Nesmí být připojen přímo na výkonovou zemnicí sběrnici.

Jsou-li paralelně s nestíněným napájecím nebo motorovým kabelem vedeny vodiče se signály citlivými na rušení v délce delší než 1m, potom je nutno zajistit, aby jejich vzájemná vzdálenost byla nejméně 0,3m.

Pro spojení motoru s měničem je tedy výhodné použít stíněný nebo armovaný kabel. Stínění musí být pevně připevněno k zadnímu montážnímu kovovému panelu použitím kovové příchytky. Tato příchytka nesmí být umístěna dále než 100 mm od měniče. Připojení stínění na straně motoru nesmí být delší než 50 mm.

Zajistit, aby napájecí vodiče nebyly blíže k měniči než 100 mm.

Pro připojení externího brzděného odporu může být použit nestíněný kabel za předpokladu, že externí brzděný odpor je součástí téhož rozvaděče. Externí brzděný odpor instalovaný mimo rozvaděč, musí být chráněn a stíněn kovovou mříží.

Má-li být 0V řídicích obvodů uzemněna, potom toto uzemnění má být provedeno na straně řídicího systému, nikoli na straně měniče. Tím se zamezí vzniku rušivých proudů v propojení 0V.

Zajistit přímé uzemnění chladiče na zadní kovový montážní panel. U typové velikosti 3 a 4 užitím kovových montážních příchytok se samořeznými šrouby. U typové velikosti 1 a 2 mohou být tyto příchytky plastové. V tom případě se pro zajištění přímého uzemnění chladiče používá pružný plechový pásek přichycený k zadnímu montážnímu kovovému panelu.

Odrušovací filtr instalovat vedle měniče (dodržet min. vzdálenost 5 mm). Minimalizovat délku kabelů mezi měničem a filtrem. Šasi filtru uzemnit přímo na zadní kovový montážní panel pomocí šroubů.



### 3.3 Oživení pracoviště

Automatizované pracoviště pro snímání momentu a otáček obsahuje velké množství přístrojů, které je nutné před zahájením měření vhodně nastavit, aby sestava vhodně fungovala a nedošlo k poškození některé části.

#### 3.3.1 Měnič Unidrive

Verze Unidrive SP je standardní provedení měničů kmitočtu pro systémovou integraci i samostatné aplikace. Snadno se instalují a uvádějí do provozu. Lze je použít v široké řadě aplikací. Měniče jsou mimořádně flexibilní a umožňují nastavovat přímo z ovládacího panelu režimy provozu.

#### Základní vlastnosti:

Měnič Unidrive může pracovat v jedné ze čtyř základních kategorií, které jsou volitelné uživatelem. Tím je dána univerzálnost měničů řady Unidrive. Vlastnosti měniče můžeme dále rozšiřovat za pomoci volitelných modulů.

Měnič Unidrive umožňuje volbu jedné z několika možností přednastavených konfigurací řídicí svorkovnice. Konfigurace se nazývají Makra. Tato možnost nám výrazně zjednodušuje nastavení měniče pro danou aplikaci. Přednastavené konfigurace řídicí svorkovnice jsou:

1. Makro 0 - Základní nastavení
2. Makro 1 - Všeobecný režim
3. Makro 2 - Motorpotenciometr
4. Makro 3 - Přednastavené kmitočty
5. Makro 4 - Řízení momentu
6. Makro 5 - PID regulátor
7. Makro 6 - Koncové spínače
8. Makro 7 - Řízení externí mechanické brzdy
9. Makro 8 - Elektronická hřídel

Většina svorek řídicí svorkovnice je programovatelná a jejich funkce v dané konfiguraci může být uživatelem změněna.

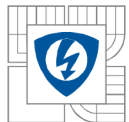
#### Princip činnosti:

##### Výkonová část

Vstupní síťové napětí je usměrněno pomocí diodového můstku a je vedeno do ss. meziobvodu. Konstantní ss. napětí meziobvodu je potom v tranzistorovém mostu střídače (tranzistory IGBT) pomocí pulsně šířkové modulace (P.M) přeměněno na třífázové napětí požadovaného kmitočtu a velikosti.

##### Řídicí část

Základem řídicí elektroniky je mikroprocesor. Tvorba P.M je prováděna pomocí integrovaného zákaznického obvodu (ASIC), který také umožňuje diagnostiku měniče s hlášením a indikací provozních stavů.



### **Kategorie měniče:**

Unidrive může pracovat s většinou typů třífázových střídavých motorů (asynchronních i synchronních), protože uživatel může měnič nakonfigurovat do jedné z těchto kategorií:

### **Open loop:**

Jedná se o skalární režim (s definovaným  $U/f$ ). Je vhodný pro použití se standardními asynchronními motory bez otáčkové zpětné vazby (lze připojit více motorů paralelně)

Hlavní znaky:

1. Žádanou hodnotou je výstupní kmitočet.
2. Výstupní napětí (aplikované na motor) je závislé na výstupním kmitočtu a dáno charakteristikou  $U/f$ . Tím je umožněno připojení více motorů k jednomu měniči.
3. Pro kompenzaci úbytku napětí na odporu statoru při nízkých otáčkách je aplikováno zvýšení hodnoty výstupu napětí nad hodnotu danou konstantním poměrem  $U/f$  (boost).
4. Možnost kompenzace skluzu.
5. Na velikost výstupního napětí nemá vliv kolísání napájecího napětí.

### Pseudovektorový režim:

Pro použití se standardními asynchronními motory bez otáčkové zpětné vazby (lze připojit pouze jeden motor). V tomto režimu není výstupní napětí dáno poměrem  $U/f$ , ale je závislé na zátěži a je určeno matematicky pomocí náhradního schématu motoru s ohledem na optimální tok motoru. Pro tento režim je nezbytné určit hodnotu odporu statoru a hodnotu jmenovitého účinníku. Obě hodnoty mohou být automaticky změřeny během uvádění do provozu.

### **Vektor:**

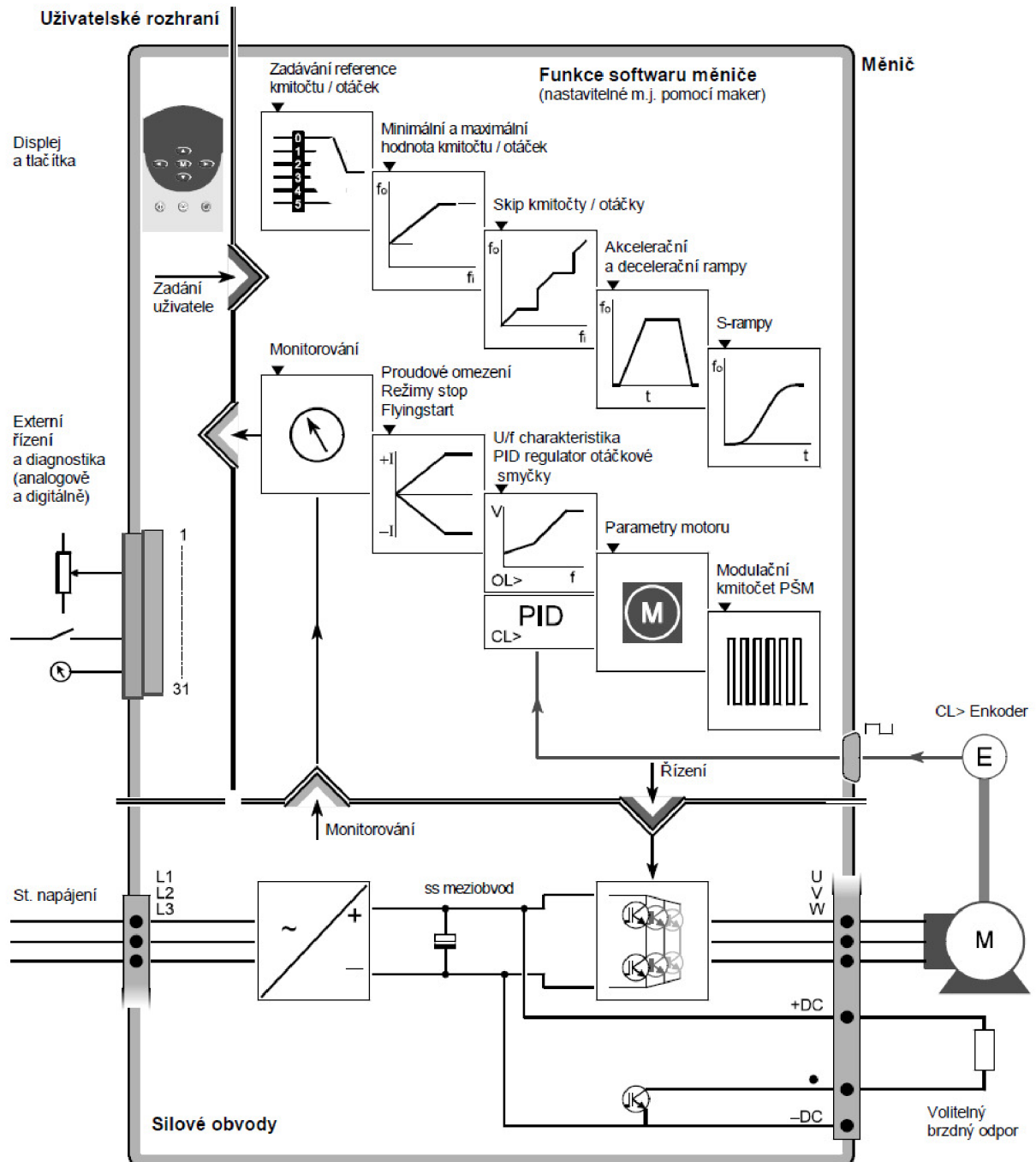
Vektorový režim je určený pro použití se standardními asynchronními motory s otáčkovou zpětnou vazbou realizovanou např. pomocí enkodéru. Skutečná hodnota otáček (daná enkodérem) je porovnávána s žádanou hodnotou po aplikaci ramp. Výsledkem je žádaná hodnota momentové smyčky proudu. Regulátory proudu paralelně zpracovávají obě složky proudu (magnetizační a momentovou), z nich se v souřadnicovém transformátoru vytváří potřebná hodnota výstupního proudu (a tím i napětí) měniče.

### **Servo:**

Pro použití s bezkomutátorovými střídavými servomotory s permanentními magnety a zpětnou vazbou realizovanou např. pomocí enkodéru s komutačními signály, rekuperační jednotka umožňuje vracet energii do sítě, když motor pracuje v generátorickém režimu. Tato kategorie vyžaduje použití speciálních střídavých synchronních servomotorů s permanentními magnety na rotoru. Kategorie Servo je podobná kategorii Vektor. Není však požadován regulátor toku. Pro potřebu regulace je nutné čidlo otáček dávající informaci o absolutní poloze rotoru motoru.

### Rekupační jednotka (pouze pro Unidrive STD):

Provoz měniče v regenerativním režimu vyžaduje externí komponenty. Bez správného připojení těchto komponent nesmí být měnič v tomto režimu provozován.



Obr. 3.3.2 Blokové schéma měniče





## Technické údaje:

### Napájení:

Třífázové 380V až 480V  $\pm 10\%$ , 48Hz až 62Hz Max. nesymetrie vstupního napětí:  $\leq 3\%$  záporného posuvu fází

### Vstupní reaktory:

Je-li výkon napájecího zdroje větší než 175kVA, je u měničů UNI1401 až UNI1404 doporučeno do přívodu sítě zařadit reaktor o velikosti 2% reaktance zdroje. Měniče UNI1405 a větší obsahují interní tlumivku ss. meziobvodu. Vstupní reaktor snižuje riziko poškození měniče vlivem případných silných rušivých signálů na napájecí síti.

### Výstupní napětí:

Třífázové (obdélníkové) modulované P.M, zajišťující sinusový průběh výstupního proudu. Výstupní napětí je proměnné od nuly do max. hodnoty, která je přibližně rovna napájecímu napětí.

### Výstupní kmitočet a otáčky:

Rozsah výstupního kmitočtu (open loop): 0 až 2 000Hz.

Rozsah otáček motoru (vektor, servo): 0 až 30 000 ot/min.

Přesnost výstupního kmitočtu (open loop) je pro přednastavené kmitočty: 0,03Hz nebo 0,01% zadávacího signálu (větší hodnota). Pro vysoké rozlišení: 0,0001Hz nebo 0,01% zadávacího signálu (větší hodnota).

Přesnost otáček (vektor, servo) je 0,00016 ot/min nebo 0,01% zadávacího signálu.

Rozlišovací schopnost výstupního kmitočtu (open loop) je pro přednastavené kmitočty: 0,1Hz a pro vysoké rozlišení: 0,001Hz

Rozlišovací schopnost otáček (vektor, servo) je pro přednastavené otáčky: 1 ot/min.

Pro vysoké rozlišení: 0,01 ot/min. Pro analogový vstup 1: 0 ot/min. Algoritmus otáčkové smyčky zajišťuje, že ustálené otáčky se mohou měnit v nekonečně malém rozsahu jako odezva na změny zadávacího signálu na tomto vstupu. Údaje týkající se přesnosti a rozlišovací schopnosti se netýkají odvozených řídicích signálů.

### Modulační kmitočet:

3 kHz nebo 4,5 kHz nebo 6 kHz nebo 9 kHz nebo 12 kHz

### Počet startů za hodinu:

Je-li měnič startován pomocí svých obvodů řízení, není počet startů za hodinu omezen. Je-li měnič startován připojením k síti, potom je počet startů omezen na:

- 20 startů za hodinu pro typovou velikost 1 a 2
- 10 startů za hodinu pro typovou velikost 3 a 4



### **Pracovní podmínky:**

#### *Nadmořská výška:*

Nadmořská výška do 4000m nad mořem. Při překročení nadmořské výšky 1000m se snižuje FLC o 1 % na každých 100 m.

#### *Teplota okolí:*

Pracovní teplota: 0 °C až +50 °C, pro teploty vyšší než +40 °C je výkon měniče redukován. Min. teplota povolená při připojení sítě je -10 °C. Rozsah teplot pro skladování: -40 °C až +50 °C, přičemž max. perioda pro skladování je 12 měsíců. Je-li skladovací doba delší, je nutno měnič připojit min. na 5 minut k síti a to za účelem formování kondenzátorů ss. meziobvodu.

#### *Vlhkost:*

Max. 95 % při 40 °C. Bez kondenzace při všech povolených teplotách.

#### *Krytí:*

Přepážka pro průchodky nepoužita: IP00. Přepážka pro průchodky použita, kabelové průchodky nepoužity: IP10. Přepážka pro průchodky použita, kabelové průchodky použity: IP40

### **Vibrace:**

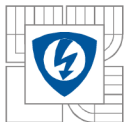
Testováno pro  $\leq 0,5g$  podle IEC 68-2-34.

### **Připojení měniče:**

Měnič musí být připojen k zemnicímu systému zdroje prostřednictvím zemnicí svorky měniče. Toto spojení musí být pevné a musí být zajištěno, aby nedopatřením nemohlo dojít k jeho rozpojení. Průřez zemnicího vodiče musí odpovídat příslušné normě. Impedance zemní smyčky musí odpovídat bezpečnostním předpisům a musí být kontrolována v pravidelných intervalech.

Napájení měniče musí být vybaveno vhodnou ochranou proti přetížení a zkratům. Doporučuje se použít pojistky typu gG nebo jejich ekvivalentů. Jiným řešením je možnost použití odpovídajících jističů. Symetrický zkratový proud nesmí překročit 5kA pro typové velikosti 1 a 2, a 10kA pro typové velikosti 3 a 4. Uvedené průřezy platí pro kabely s PVC izolací s měděnými vodiči, jmenovitou teplotou 105 °C, se jmenovitým napětím AC 600V (DC 1000V) uložené v souladu s předepsanými podmínkami výrobce. Je-li nutno splnit normy pro EMC, mě-li by být použity stíněné nebo armované kabely. Tyto kabely se používají pro připojení:

- napájení k měniči
- měniče k motoru
- měniče k brzděnému odporu

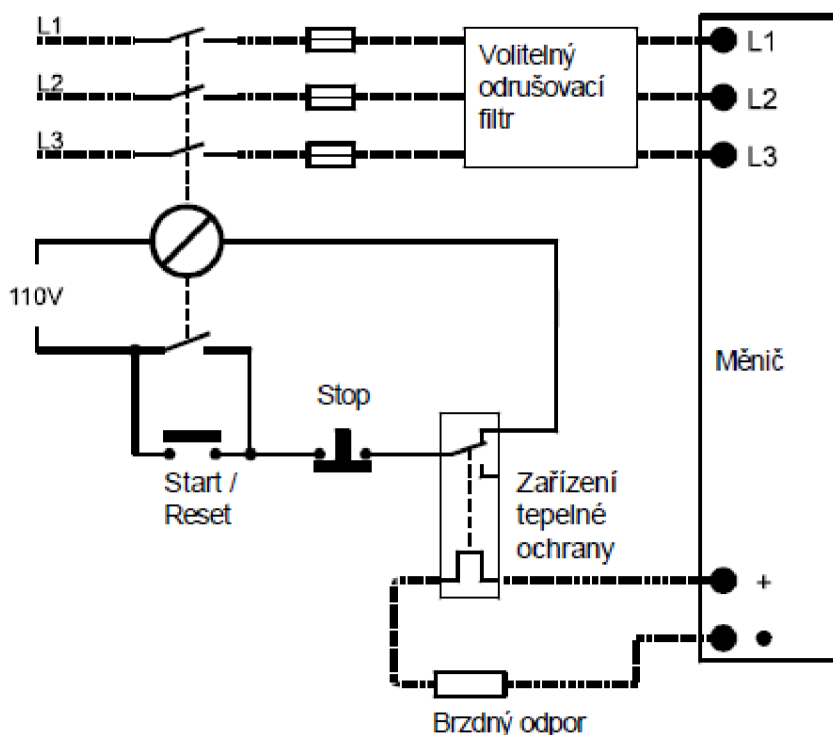


Měnič UNI	Typický průřez [mm <sup>2</sup> ]	Doporučené síťové pojistky [A]
1401	1,5	6
1402	2,5	10
1403	2,5	10
1404	2,5	10
1405	2,5	16
2401	2,5	16
2402	4	20
2403	4	35
3401	6	40
3402	10	50
3403	10	60
3404	16	70
3405	25	80
4401	35	100
4402	35	125
4403	50	160
4404	70	200
4405	95	250

Tab. 2.3.2 Tabulka průřezů přívodního kabelu Unidrive

Součástí měniče je brzdná jednotka, která umožňuje mařit energii vrácenou motorem v externím brzděném odporu. Externí brzděný odpor musí být chráněn vhodně dimenzovaným obvodem tepelné ochrany. Tento obvod musí v případě přehřátí externího brzděného odporu (např. v případě zkratu spínacího tranzistoru brzděné jednotky) odpojit měnič od sítě. Externí brzděný odpor musí být umístěn a namontován tak, aby teplo vyzařované tímto odporem nepoškodilo okolí. Odpor musí být opatřen ochrannou mříží, která umožní vyzařovat teplo a zároveň chrání osoby před dotykem. Při práci v okolí brzděného odporu je potřeba být velmi opatrný. Na odporu se může vyskytovat nebezpečné napětí a odpor může mít vysokou teplotu.





Obr. 3.3.2 Ochranný obvod pro brzdňý odpor

### Svorkovnice:

Po odpojení napájecí sítě je nutno vyčkat min. 10 minut, než je možno pokračovat v práci. Během této doby se vybijí kondenzátory mezilehlého obvodu.

### Silová svorkovnice:

U typové velikosti 1 a 2 je silová svorkovnice umístěna ve stejném prostoru jako řídicí svorkovnice. U typové velikosti 3 a 4 je silová svorkovnice umístěna pod krytem silové části.

### Svorkovnice řízení:

Utahovací moment svorek je 0,5Nm. Pro utahení je vhodný šroubovák 3,5 mm. Funkce většiny svorek řídicí svorkovnice je programovatelná. Výrobce jsou přednastavena tzv. Makra (0 a. 8). Pod pojmem Makro se rozumí výrobcem přednastavená konfigurace měniče, tj. odpovídající konfigurace řídicí svorkovnice a tomu odpovídající nastavení příslušných parametrů. To umožňuje (bez nutnosti pracnějšího programování měniče) velmi jednoduché přizpůsobení měniče pro většinu aplikací. Pod pojmem konfigurace řídicí svorkovnice se rozumí dané konkrétní nastavení funkce všech svorek, tj. každá svorka má konkrétní funkci.



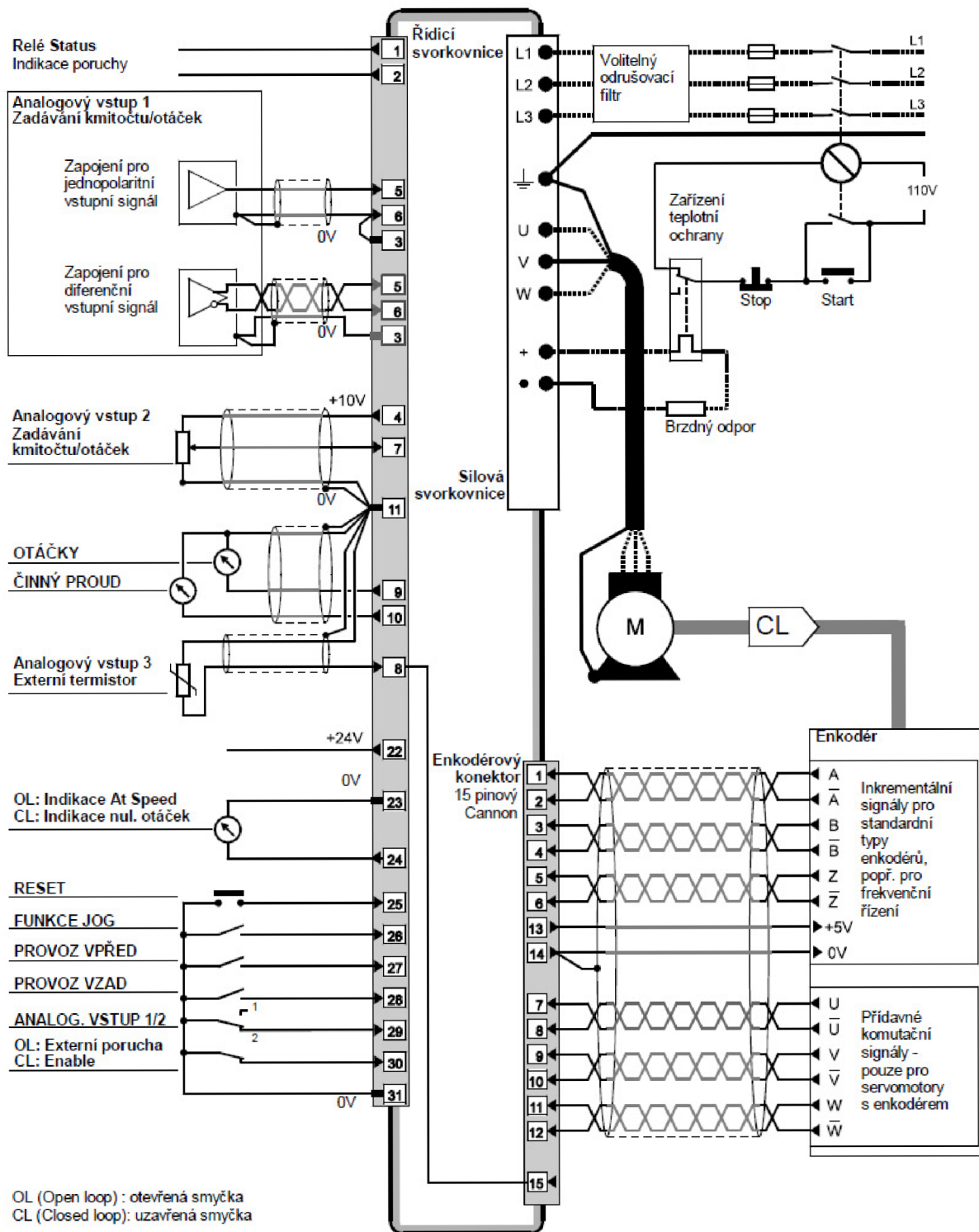
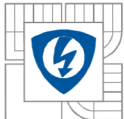
<b>Makro 0</b>	<b>Základní nastavení</b>
<b>Makro 1</b>	<b>Všeobecný režim</b>
<b>Makro 2</b>	<b>Motorpotenciometr</b>
<b>Makro 3</b>	<b>Přednastavené kmitočty</b>
<b>Makro 4</b>	<b>Řízení momentu</b>
<b>Makro 5</b>	<b>PID regulátor</b>
<b>Makro 6</b>	<b>Koncové spínače</b>
<b>Makro 7</b>	<b>Řízení externí brzdy</b>
<b>Makro 8</b>	<b>Elektronická hřídel</b>

*Tab. 2.3.2 Výrobce přednastavené konfigurace měniče Unidrive*

#### **Pozitivní/negativní logika:**

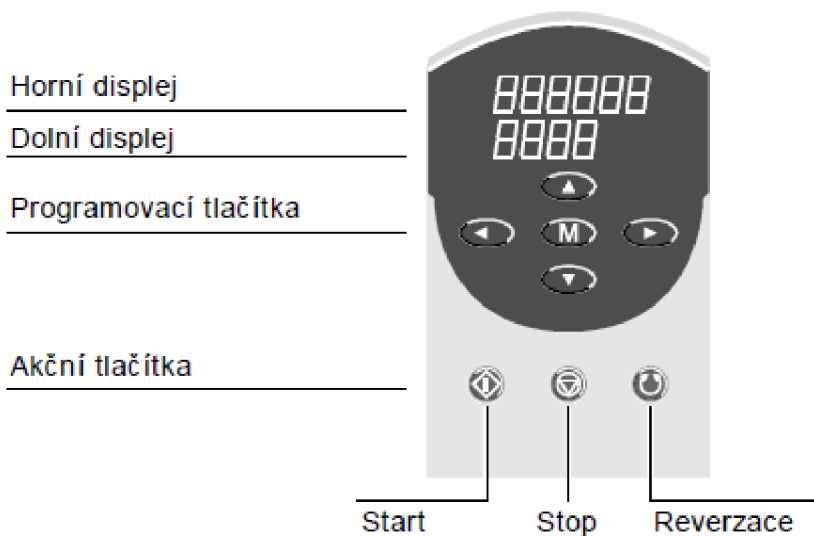
Měnič má výrobcem nastavenou negativní logiku, tzn. že digitální vstupy jsou aktivní při připojení k 0V. Při pozitivní logice jsou digitální vstupy aktivní při připojení k +24V.

Jsou-li ovládací obvody měniče konfigurovány pro negativní logiku a jeli měnič připojen k PLC s pozitivní logikou, potom může po připojení sítě dojít k automatickému startu měniče.



Obr. 3.3.4 Typické připojení měniče (základní zapojení negativní logiky)

### Ovládací panel:



Obr. 3.3.5 Ovládací panel

Ovládací panel se skládá z těchto částí:

- dvouřádkový displej (dolní a horní)
- klávesnice

### Displej:

Displej se využívá pro zobrazení čísla vybraného parametru, zobrazení hodnoty vybraného parametru, zobrazení pracovních režimů měniče a zobrazení poruchových kódů. Je-li měnič v normálním provozu, horní displej zobrazuje hodnotu parametru, který byl zvolen jako poslední. V případě poruchy tento displej zobrazuje poruchový kód. Dolní displej zobrazuje informaci o režimu měniče (run, stop, trip apod.), případně číslo zvoleného parametru. Režim měniče se zobrazuje nepřerušovaně, Upozornění se zobrazuje střídavě s číslem vybraného parametru. Displej může pracovat ve třech režimech. Režim je volen pomocí klávesnice.

- Režim Status: Toto je normální pracovní režim. Dolní displej ukazuje současný stav měniče, horní displej ukazuje hodnotu parametru.
- Režim Výběr parametru: Tento režim umožňuje výběr čísla parametru.
- Režim Nastavení parametru: Tento režim umožňuje měnit hodnotu parametru, případně měnit jeho funkci.



### Klávesnice:

Z klávesnice lze ovládat všechny provozní funkce měniče a nastavovat hodnoty všech parametrů. Klávesnice se skládá z programovacích tlačítek a akčních tlačítek.

### Programovací tlačítka:

	Doleva
	Doprava
	Nahoru
	Dolů
	Mode

Tato tlačítka umožňují:

- změnu režimu displeje
- výběr čísla parametru
- nastavení hodnoty vybraného parametru
- v režimu Keypad změnu otáček motoru

### Akční tlačítka:

	Start
	Stop
	Reverzace

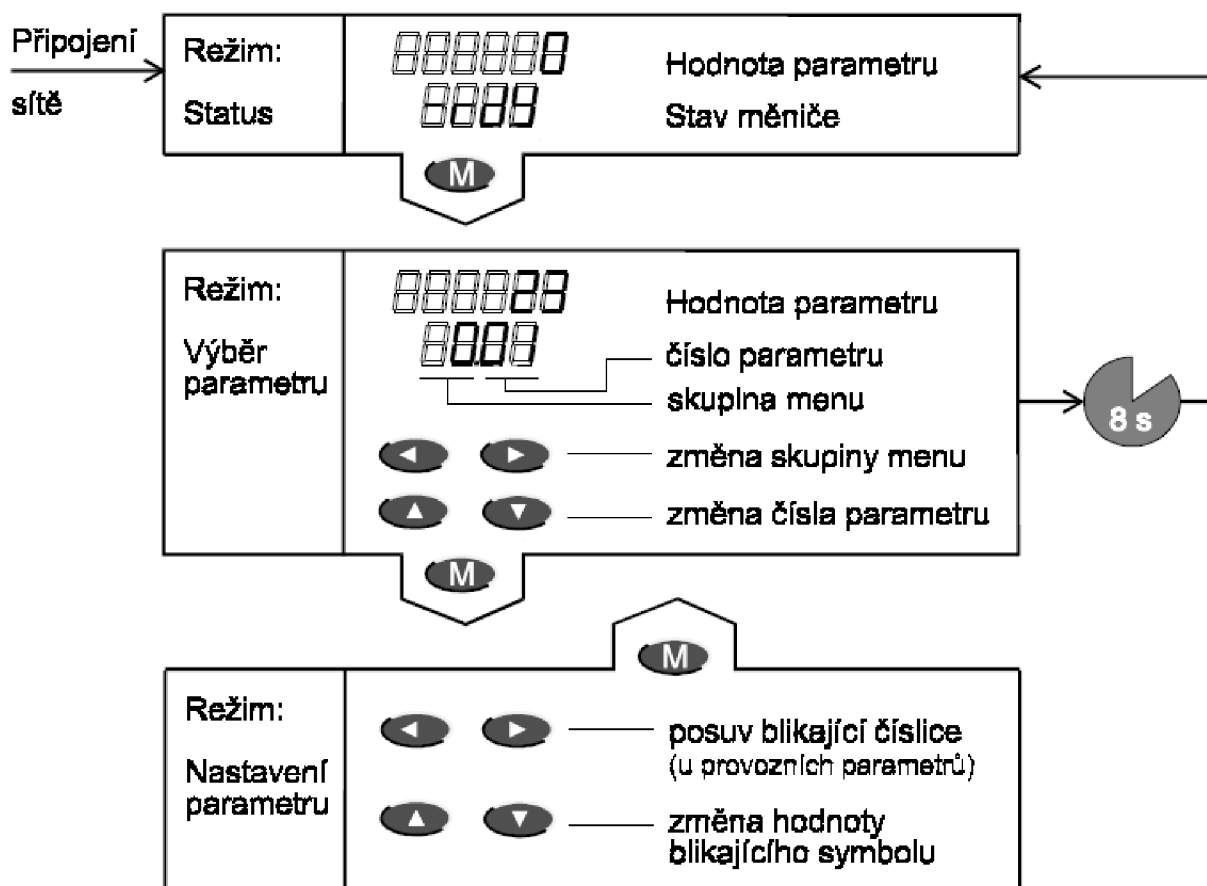
Tato tlačítka umožňují přímé ovládání motoru. Tlačítko Stop má také funkci Reset, přičemž funkci Reset nelze blokovat (ani v režimu Terminal). Tlačítko Reverzace je v základním nastavení blokováno. Funkce akčních tlačítek může být aktivována nebo blokována pomocí parametrů.

### Práce s parametry:

Parametry jsou programovatelné prostředky, jimiž se řídí a monitorují provozní stavy systému. Každý parametr je výrobcem nastaven na tzv. Základní nastavení. Základní nastavení umožňuje ve většině jednoduchých aplikací požadovanou regulaci motoru s minimální nutností hodnoty parametrů měnit.

#### Struktura parametrů

Měnič se programuje nastavením hodnot parametrů. Parametry jsou uspořádány do Menu (skupin menu), které sdružují funkčně související parametry.



Obr. 3.3.6 Práce s parametry



### **Menu 0, tzv. Uživatelské menu**

Obsahuje vybrané parametry, jejich nastavení většinou postačí pro jednoduché aplikace. Parametry Menu 0 jsou duplikáty určitých parametrů ostatních menu. Např. 0.03 je duplikátem parametru (akcelerační rampa). Uživatel může některé parametry Menu 0 překonfigurovat.

### **Rozšířené menu**

Zbývající skupiny menu obsahují všechny uživateli přístupné parametry. Pro přístup do rozšířeného menu je potřeba odblokovat standardní bezpečnostní kód.

### **Druhy parametrů**

Parametry dělíme na tři základní druhy - provozní, bitové a přepínací. Provozní parametry mohou být nastaveny na hodnotu v daném rozsahu (analogie potenciometru). Bitové parametry mohou mít pouze hodnotu 0 nebo 1 (analogie přepínače mezi dvěma možnostmi). Přepínací parametry umožňují volbu jedné z několika možností (hodnot nebo funkcí). Všechny parametry navíc mohou být:

- Read-write (RW) - hodnotu parametru lze číst i nastavovat
- Read-only (RO) - hodnotu parametru lze pouze číst

Většina parametrů reaguje na změnu okamžitě. Zvláštní skupinu tvoří tzv. nulové parametry (parametr xx.00 v každé skupině menu). Tyto parametry mají zvláštní funkce.

### **Práce s parametry**

Měnič pracuje s parametry ve třech režimech (ekvivalenty režimů displeje). Režim je volen pomocí klávesnice.

- Režim Status je normální pracovní režim. Dolní displej ukazuje současný stav měniče, horní displej ukazuje hodnotu parametru, který byl zvolen jako poslední.
- Režim Výběr parametru je režim umožňující výběr čísla parametru.
- Režim Nastavení parametru je režim umožňující měnit hodnotu parametru, případně měnit jeho funkci. Je-li v režimu Výběr parametru doba mezi dvěma úhozy do klávesnice delší než 8s, vrátí se displej do režimu Status (k původnímu údaji).

### **Nulové parametry**

Tzv. nulové parametry (parametr xx.00 v každé skupině menu) umožňují:

- přístup do Rozšířeného menu (přístup do jiných skupin menu než jen do Menu 0) – odblokování standardního bezpečnostního kódu.
- zablokování přístupu do Rozšířeného menu.
- zapamatování nastavených hodnot parametrů.
- obnovení Základního nastavení parametrů.
- změnu kategorie měniče.
- volbu jednoho z Maker.

Výběr nulového parametru:





V režimu Výběr parametru lze v každé skupině menu nastavit příslušný nulový parametr dvěma způsoby:

- Postupně pomocí tlačítka Dolů.
- Okamžitě současným stisknutím tlačítek Nahoru a Dolů.

#### **Režim Výběr parametru**

- Je-li měnič v režimu Status, stiskneme tlačítko Mode. Displej přestane ukazovat aktuální stav. Na dolním displeji se zobrazuje číslo parametru (např. 0.04). Na horním displeji je zobrazena hodnota tohoto parametru.
- Požadovaný parametr lze v dané skupině menu vybrat pomocí tlačítek Nahoru a Dolů.
- Požadovanou skupinu menu lze volit tlačítka Doleva a Doprava. Pro přístup do Rozšířeného menu (všechny skupiny menu kromě Menu 0) je však potřeba nejdříve odblokovat Standardní bezpečnostní kód.

#### **Režim Nastavení parametru**

Nastavíme požadovaný parametr, stiskneme tlačítko Mode. Měnič je nyní v režimu Nastavení parametru. Dolní displej zobrazuje číslo parametru, horní displej jeho hodnotu přičemž:

- je-li parametr bitový nebo přepínací, potom hodnota parametru bliká. Změna hodnoty se provede tlačítka Nahoru a Dolů.
- je-li parametr provozní, potom bliká ta platná číslice hodnoty parametru, která může být změněna. Změna hodnoty se provede tlačítka Nahoru a Dolů. Změna pozice blikající platné číslice se provede tlačítka Doleva a Doprava.
- Stiskneme tlačítko Mode. Měnič se vrátí do režimu Výběr parametru.

Nová hodnota parametru je nyní zapsána a je aktivní, ale u většiny parametrů pouze do odpojení měniče od sítě. Je-li potřeba nové hodnoty parametrů uchovat i po odpojení od sítě, je třeba provést Zapamatování nastavených hodnot parametrů.

#### **Obnovení Základního nastavení parametrů**

- Ujistíme se, že měnič není v chodu (na displeji svítí např. rdY).
- Zvolíme kterékoliv menu.
- Nastavíme číslo parametru na xx.00.
- Stiskneme tlačítko Mode.
- Nastavíme na displeji hodnotu 1233.
- Stiskneme tlačítko Mode.
- Stiskneme tlačítko Stop.





Všechny parametry jsou nyní nastaveny na Základní nastavení (hodnoty nastavené výrobcem). Je-li potřeba, aby Základní nastavení zůstalo i po odpojení měniče od sítě, je nutno provést Zapamatování nastavených hodnot parametrů.

### **Zapamatování nastavených hodnot parametrů**

- Zvolíme kterékoliv menu.
- Nastavíme číslo parametru na xx.00.
- Stiskneme tlačítko Mode.
- Nastavíme na displeji hodnotu 1000.
- Stiskneme tlačítko Mode.
- Stiskneme tlačítko Stop/Reset.

Všechny nově nastavené hodnoty parametrů jsou nyní zapamatovány.

### **Reset měniče**

Reset měniče se používá pro:

- vyresetování poruchy
- zapamatování nových hodnot parametrů
- aktivace nových hodnot u určitých parametrů

Reset měniče může být proveden jedním z těchto způsobů:

- Změnou logického signálu na svorce řídicí svorkovnice, která je naprogramována pro reset (v Základním nastavení je to svorka 25). Toto je možné tehdy, je-li měnič v režimu Terminal (#1.14  $\neq$  4).
- Není-li měnič v chodu, stisknutím tlačítka Stop.

### **Změna kategorie měniče**


- Zvolíme kterékoliv menu
- Nastavíme číslo parametru na xx.00
- Stiskneme tlačítko Mode
- Nastavíme na displeji hodnotu 1253
- Stiskneme tlačítko Mode.
- Pomocí parametru 0.48 zvolíme požadovanou kategorii měniče:











Hodnota 0.48	Displej	Kategorie měniče
0	OPEn.LP	Open loop
1	CL.UECt	Vektor
2	SErUO	Servo
3	rEGEn	Rekuperační jednotka

Tab. 3.3.4 Kategorie měniče







**Shrnutí práce s programovacími tlačítky:**

	Změna režimu displeje
---	-----------------------

Režim Výběr parametru:

 nebo 	Výběr čísla parametru v daném menu
 a současně 	Nastavení parametru xx.00 v daném menu
 nebo 	Výběr menu
 a současně 	Návrat do Menu 0

Režim Nastavení parametru:

 nebo 	Změna hodnoty
 a současně 	Nastavení hodnoty 0
 nebo 	Výběr platné číslice
 a současně 	Volba pravé platné číslice



### 3.3.2 National Instruments USB-6251 (DAQ)

Toto měřicí zařízení se připojuje k PC za pomoci USB rozhraní, po nainstalování software a po proběhnutí Plug-and-play instalace, která minimalizuje přípravný čas, je zařízení připraveno k provozu.

USB-6251 DAQ je vybaveno přímou šroubovou svorkovnicí, která umožňuje snadné a rychlé připojení požadovaných vstupů a výstupů.

Svorkovnice je rozdělena na dvě části. První část je analogová svorkovnice, která obsahuje vstupy a výstupy o rozsahu do 10V. Druhá část je digitální svorkovnice, která obsahuje taktěž vstupy a výstupy o rozsahu do 5V.

#### **Analogová svorkovnice**

Vycházíme-li ze schématu (*obr. 3.3.7*) jsou svorky pro analogovou část svorkovnice:

AI0 – vstup signálu do měřicí karty z torquemastru pro snímání momentu.

AI8 – připojení N signálu z torquemastru, tento vstup je negovaný odporem  $R1=100k\Omega$ , z důvodu minimalizování rušení.

AI3 – vstup signálu z torquemastru pro snímání otáček motoru. Vzhledem k tomu, že výstup z torquemastru pro snímání otáček má rozsah až do 15V, je nutné zařadit do obvodu dělič napětí, postačí dělicí poměr  $\frac{1}{2}$ .

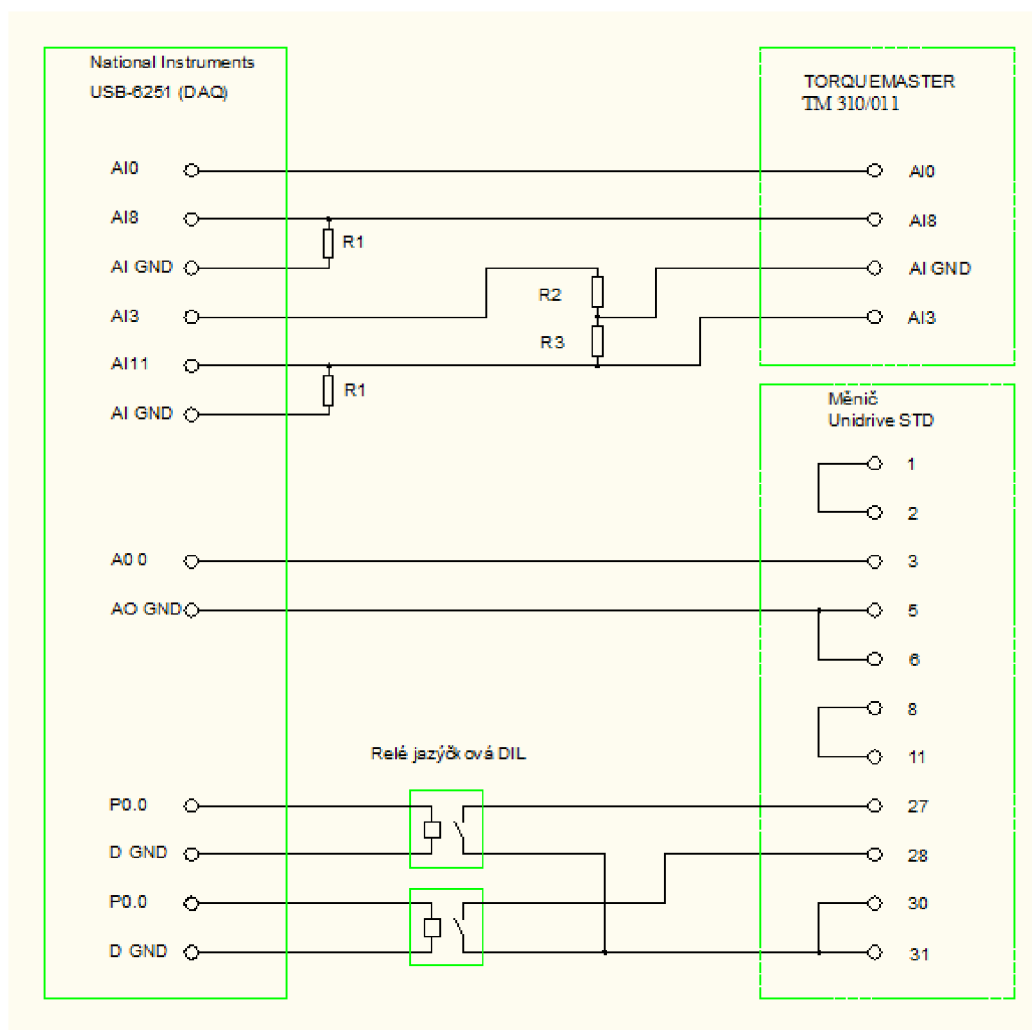
AI11 – připojení N signálu z torquemastru, tento vstup je negovaný odporem  $R1=100k\Omega$ , z důvodu minimalizování rušení.

A00 – výstup z měřicí karty. U tohoto výstupu můžeme libovolně nastavovat hodnotu napětí od 0-10V. Připojíme-li tento výstup na vstupní svorku měniče Unidrive č.27 a měnič bude vhodně nastaven, můžeme řídit otáčky motoru.

A0 GND- připojení N signálu z měniče unidrive.

#### **Digitální svorkovnice**

P0.0, P0.1 – jedná se o digitální výstupy, které slouží jako spínače v případě, že budou dle schématu připojeny na cívky napěťových relé, díky kterým bude možné propojit svorky měniče č. 27 a č. 31 a svorky č. 28 – č.31.



Obr. 3.3.7 Schéma zapojení ovládacího obvodu



### 3.3.3 LabVIEW

Filozofie virtuálních měřicích přístrojů je velmi progresivní, neboť umožňuje při zachování výkonnostních parametrů klasické měřicí techniky vytvářet přístroje, jejichž funkce přesně odpovídají požadavkům uživatele, neboť jsou tyto požadavky realizovány softwarově. Navíc tato koncepce umožňuje doplňovat další funkce podle narůstajících a měnících se požadavků koncového uživatele. Cena takto vytvářených měřicích přístrojů bývá nižší, než je cena klasické analogové měřicí techniky. Navíc je možno kdykoliv změnou programu vytvořit jiný měřicí přístroj nebo upravit vlastnosti stávajícího.

LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench) je obecné vývojové prostředí s bohatými knihovnami pro vytváření aplikací zaměřených do oblasti měření ve všech fázích tohoto procesu - tj. sběru, analýzy a prezentace naměřených dat. Podporuje všechny čtyři základní způsoby sběru dat do počítače z měřicích přístrojů přes rozhraní RS 232 nebo GPIB, ze zásuvných multifunkčních karet a ze systému na bázi VXI sběrnice). Poskytuje uživateli plnohodnotný programovací jazyk se všemi odpovídajícími datovými a programovými strukturami v grafické podobě v tzv. G jazyku (Graphical language).

LabVIEW je tedy vývojovým prostředím na úrovni např. C jazyka, ale na rozdíl od něj není orientován textově, nýbrž graficky. Výsledný produkt tohoto vývojového prostředí se nazývá virtuálním přístrojem (Virtual Instrument), protože svými projevy a činnostmi připomíná klasický přístroj ve své fyzické podobě.

Virtuální přístroj se vyznačuje a obsahuje:

- Interaktivní grafické rozhraní (Graphical User Interface GUI) ke koncovému uživateli tj. čelní panel (Front Panel), který simuluje čelní panel fyzického přístroje. Obsahuje prvky pro ovládání a indikaci (spínače, přepínače, LED indikátory, grafy...). Tento čelní panel ovládá uživatel myší nebo z klávesnice.
- Činnost virtuálního přístroje je dána jeho blokovým schématem (Block Diagram). Toto blokové schéma je vytvořeno ikonami reprezentujícími v koncových blocích ovládací a indikační prvky čelního panelu a ve svých uzlových blocích jsou zpracovávány data. Tento blokový diagram je zdrojovou podobou každé aplikace.
- Virtuální přístroj má hierarchickou a modulární strukturu. Lze jej používat jako celý program nebo jeho jednotlivé podprogramy, které se nazývají podřízenými virtuálními přístroji (subVI). Součástí každého virtuálního přístroje je jeho ikona, která je reprezentována v blokovém schématu a konektor s přípojnými místy pro vstupní signály.

Těmito charakteristickými rysy naplňuje LabVIEW podmínky modulárního programování. Svou aplikaci dělí uživatel na jednotlivé úlohy, pro které vytváří dílčí virtuální přístroje (sub VI) a z nich potom buduje celou aplikaci jejím spojováním do výsledného virtuálního přístroje. Na závěr lze celou aplikaci přeložit do EXE tvaru a provozovat nezávisle na vývojovém prostředí.

Při spojení měřicího přístroje a počítače přes rozhraní nebo při vytváření virtuálních měřicích přístrojů hraje vedle hardwarových prostředků v podobě počítače a přídavných karet čím dál významnější roli software – stává se klíčovým komponentem měřicího systému.



### 3.3.4 Popis programu – virtuálního měřicího přístroje

V této části budou zběžně vysvětleny základní části z nichž sestává virtuální měřicí přístroj určený pro snímání otáček a krouticího momentu.

#### Čelní panel

Grafické rozhraní plní k uživateli tutéž úlohu jako čelní panel fyzického měřicího přístroje. Pro vytváření čelního panelu je v prostředí LabVIEW k dispozici samostatné okno, ze kterého si uživatel vybírá požadované komponenty. Na čelním panelu se nacházejí dva typy objektů:

- Ovládací (controls) - signalizují vstupní zařízení (v blokovém schématu jsou reprezentovány vstupními bloky) a slouží pro ovládání virtuálního přístroje – zprostředkovávají tedy vstup informací od uživatele do aplikace.
- Indikační (indicators) – signalizují výstupní zařízení (v blokovém schématu jsou reprezentovány výstupními bloky) a slouží k indikaci stavu virtuálního přístroje a k výstupu výsledků měření – zprostředkují tedy předávání informací k uživateli.

Příklad toho, jak může vypadat čelní panel virtuálního přístroje je předveden na aplikaci měřicího systému určeného pro snímání otáček a krouticího momentu v automatizovaných systémech.

#### Panel pro ovládání dynamometru

Jedná se o první část virtuálního měřicího přístroje (*Obr. 3.3.8*), tento panel je určen k zapínání asynchronního dynamometru a k ovládání směru otáčení. Panel je vybaven diodami pro indikaci provozních stavů.

#### Panel pro nastavení otáček a snímání požadovaných hodnot

Druhá část panelu je určena pro nastavování otáček dynamometru s indikací přesných otáček a krouticího momentu (*Obr. 3.3.9*). Panel je navíc vybaven indikací výstupního napětí na měřicí kartě, které je určeno pro řízení otáček. S pomocí vhodné konstanty je možné nastavit omezení tohoto napětí, nebo přizpůsobení jmenovitým otáčkám motoru v případě, že by došlo k výměně motoru.

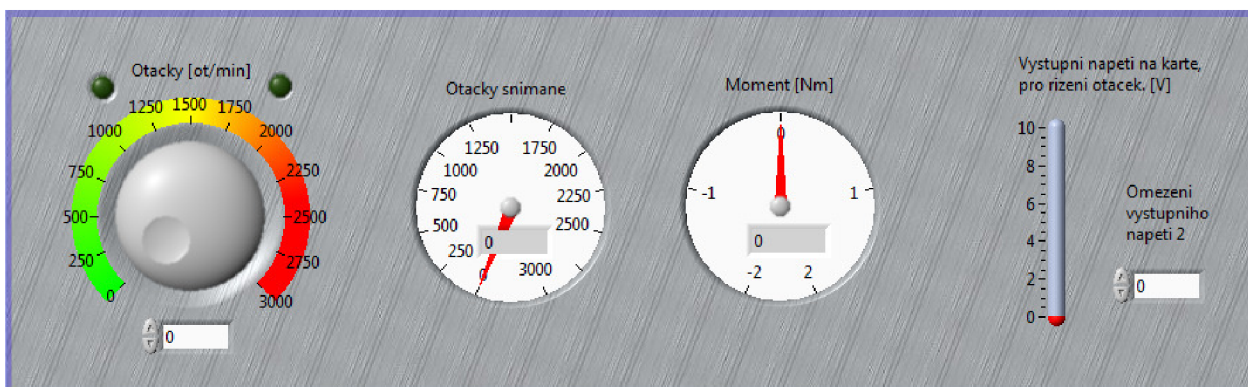
#### Panel pro zaznamenávání hodnot

Třetí část panelu (*Obr. 3.3.10*) je určena pro zaznamenávání hodnot a to buď do souboru, nebo přímo do grafu. Je možné zaznamenávat aktuální nastavené hodnoty po stisknutí tlačítka zapsání hodnot, nebo využít zapisování hodnot v „reálném čase“, kdy po přepnutí přepínače zapisování hodnot dojde k trvalému zaznamenávání do grafu, nebo do souboru.

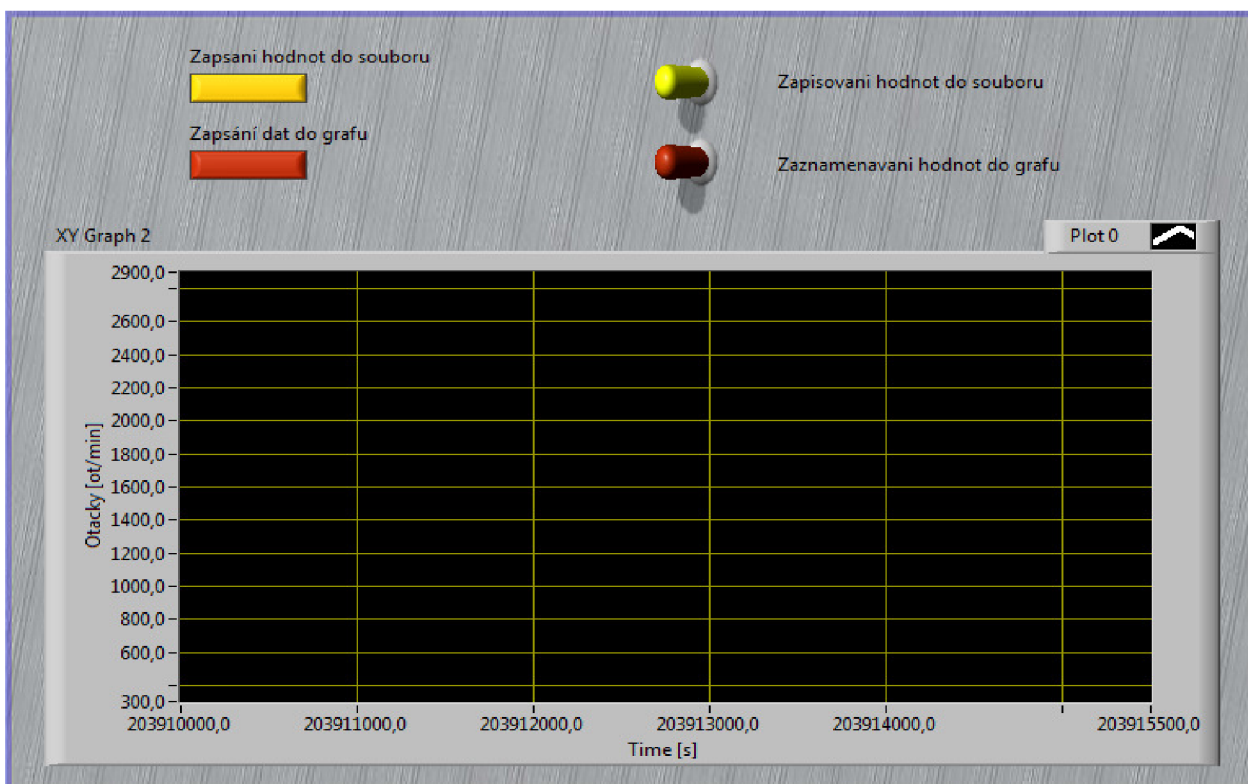




Obr. 3.3.8 Panel pro ovládání dynamometru



Obr. 3.3.9 Panel pro nastavování otáček a vizualizace hodnot



Obr. 3.3.10 Panel pro zaznamenávání hodnot

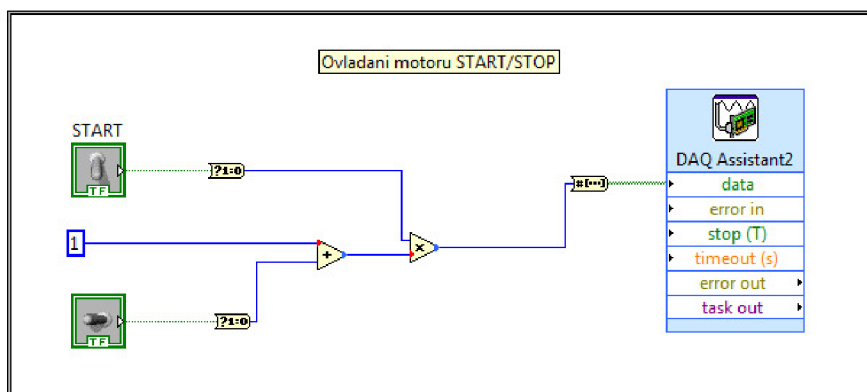


### 3.3.5 Popis programu – blokové schéma

Blokové schéma je grafickým vyjádřením zdrojového kódu virtuálního přístroje. Konstruuje se propojováním jednotlivých bloků signálovými cestami. Bloky jsou tvořeny jednak koncovými bloky (zdrojovými a cílovými), které jsou na panel blokového schématu umísťovány automaticky při konstrukci čelního panelu a jednak uzlovými bloky, které reprezentují bloky zpracování signálu. Ty je možno vybírat z paletového menu Functions, reprezentujícího vlastně knihovnu funkcí.

#### Blokové schéma pro ovládání motoru START/STOP

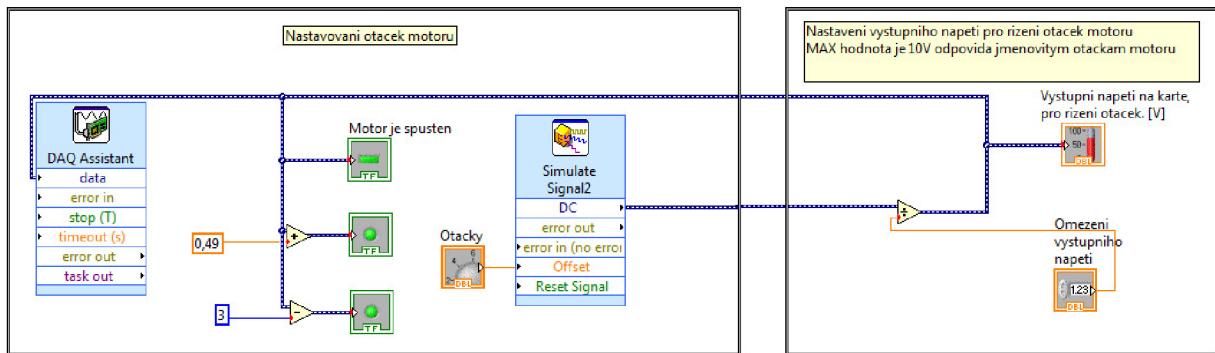
Tato první část (*Obr. 3.3.11*) se skládá z funkčních tlačítek a jednoduché logiky fungující na principu binárních čísel, kdy 0 znamená stop, 1 slouží na spuštění motoru, číslo 2 na změnu směru otáčení. Tyto hodnoty jsou přivedeny na blok DAQ Assistant2, který ovládá digitální výstupy měřicí karty a to výstupy P0.0 a P0.1, které po sepnutí vykazují napětí 5V. Abychom za pomoci tohoto napětí mohli ovládat měnič Unidrive, musíme do obvodu vhodně zařadit napěťová relé (*viz. Obr. 3.3.7*).



*Obr. 3.3.11 Schéma START/STOP*

#### Blokové schéma pro nastavování otáček dynamometru

Druhou částí programu je blokové schéma určené pro nastavování otáček dynamometru. Nastavování otáček se provádí prostřednictvím měniče Unidrive. Blokové schéma se skládá z bloku „otáčky“ který je určen k nastavení požadované hodnoty otáček, v našem případě se jedná o jmenovité otáčky 2800 ot/min asynchronního motoru Sandblom and Stohne. Tato hodnota je za pomoci bloku Simulate signal převedena na blok DAQ Assistant prostřednictvím meziobvodu „omezeného výstupního napětí“, které slouží jako převodní konstanta požadovaných otáček na výstupní rozsah 10V. Tuto hodnotu „omezeného napětí“ lze využít jako případnou ochranu, při testování pohonu při otáčkách nikdy ne vyšších než jmenovitých.

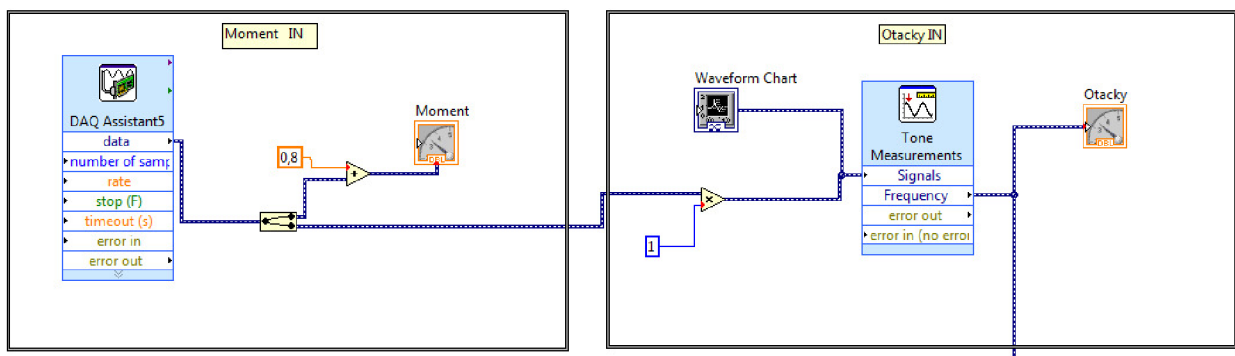


Obr. 3.3.12 Schéma pro nastavování otáček dynamometru

### Blokové schéma pro snímání hodnot ze snímače momentu Torquemastru

Blokové schéma pro snímání hodnot ze snímače Torquemaster se skládá z bloku DAQ Assistant5, ve kterém jsou nastaveny analogové vstupy AI0 a AI8. Tyto vstupy jsou negovány odpory R1 na svorky AI GND za účelem odrušení nežádoucího zkreslení, způsobeného rušením okolních zařízení. Tyto vstupy jsou dimenzovány v rozsahu 0-10V, vzhledem ke skutečnosti, že signál SPEED z torquemastru je v rozsahu do 15V a jeho offset v nečinnosti je plných 15V, je tedy nutné předřadit před vstup AI3 napěťový dělič, realizovaný odpory R2 a R3. Postačuje dělicí poměr  $\frac{1}{2}$ .

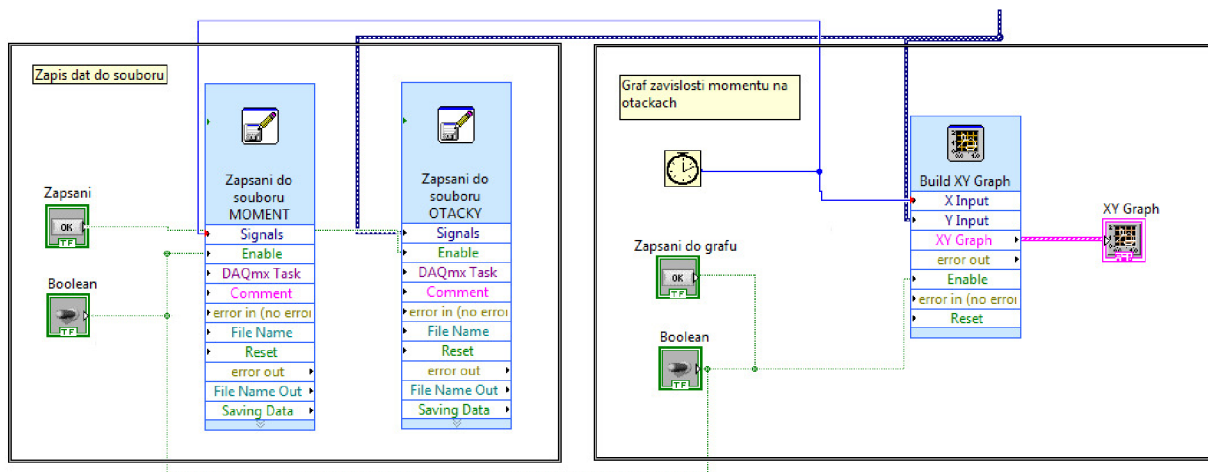
Signál z bloku DAQ Assistant5 se dále dělí na momentovou složku, která je vyvedena na přístroj, který signalizuje aktuální hodnotu momentu. Dále se signál dělí na část pro rychlost, tento signál je pulzující, tedy je třeba z něj získat hodnotu frekvence, za pomoci bloku Tone Measurements.



Obr. 3.3.13 Snímání vstupních hodnot

### Blokové schéma pro zaznamenávání hodnot

Poslední částí programu je blokové schéma pro zaznamenávání námi naměřených hodnot. Tyto hodnoty lze získávat buďto v reálném čase, kdy je zapisování nepřetržité, nebo zapsáním hodnoty momentu a otáček, potažmo času, v námi zvoleném intervalu. Tedy můžeme nastavit libovolné otáčky a odečíst/zapsat hodnotu momentu do souboru, či do grafu.



Obr. 3.3.14 Zaznamenávání naměřených-odečtených hodnot

## 3.4 Ověření funkčnosti pracoviště měření

Pracoviště je sestaveno a připraveno k použití, nyní je třeba ověřit, zda je provozuschopné. Ověření provedeme tak, že změříme moment naprázdno asynchronního motoru EMP Slavkov u Brna a tuto námi naměřenou hodnotu porovnáme dalším měřením, které provedeme na již odzkoušeném a ověřeném pracovišti.

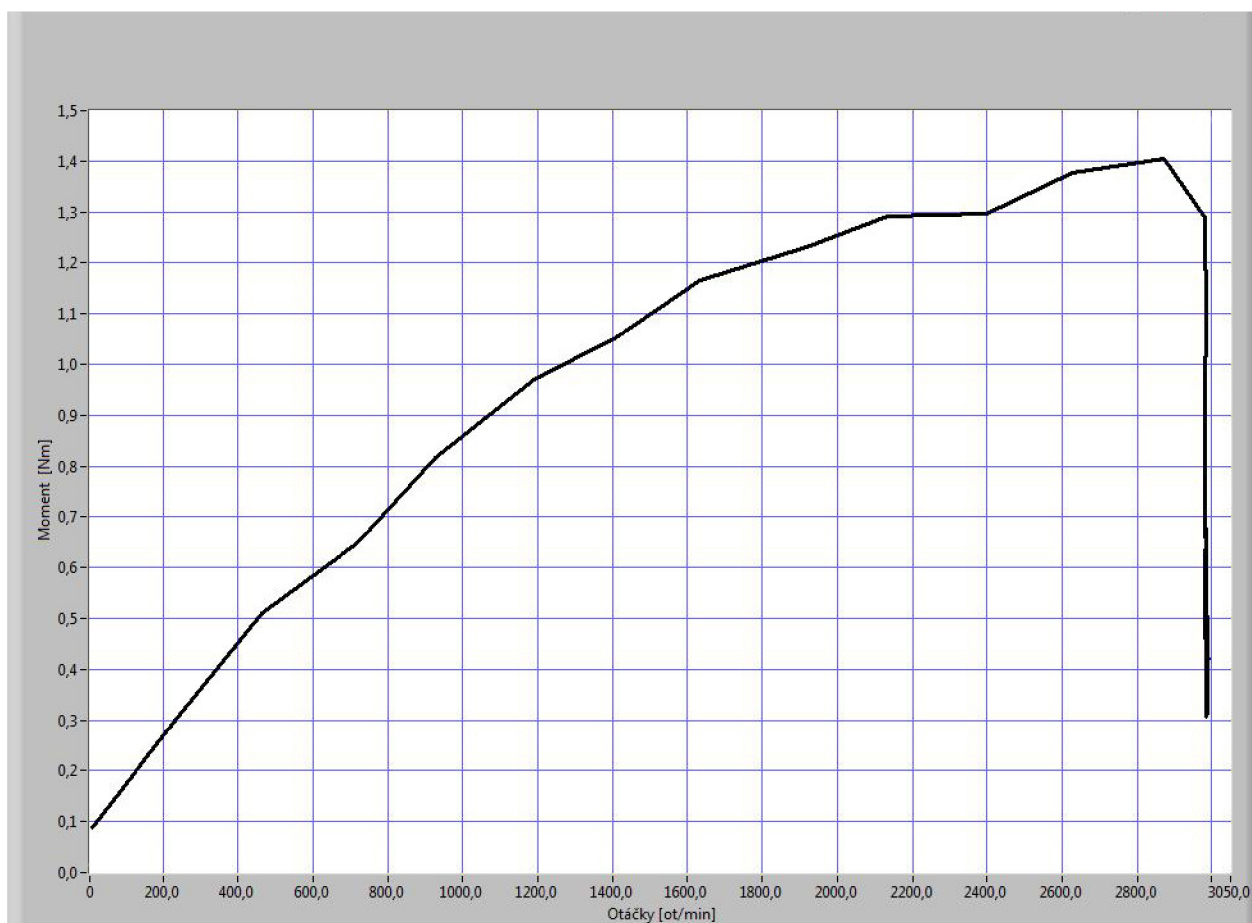
### 3.4.1 Moment naprázdno

#### Měření pomocí automatizovaného pracoviště

Nyní změříme moment naprázdno, využijeme k tomu námi sestavené automatizované pracoviště. Máme možnost změřit celou charakteristiku závislosti momentu na otáčkách, kterou využijeme k zobrazení a určení momentu naprázdno.

Měřený asynchronní motor byl spuštěn přímým připojením na síť přes autotransfornátor a s napěťovým omezením 100V.

Z grafu (Obr. 3.4.1) je viditelné ustálení momentu naprázdno při otáčkách 2890 ot/min. Hodnota momentu je 0,3Nm. Na levé části grafu je viditelný počáteční moment 0,1Nm, který je při nulových otáčkách motoru, ve skutečnosti se nejedná o záběrný moment, nýbrž o takzvaný offset, který je nutný odečíst od námi naměřeného momentu. Tedy výsledný moment naprázdno získáme tak, že od námi naměřené hodnoty odečteme offset, který činí 0.1Nm. Výsledný moment naprázdno je tedy 0,2Nm.



*Obr. 3.4.1 Graf průběhu momentu naprázdno*

### **Ověření hodnoty momentu naprázdno na dynamometru**

Ověření hodnoty momentu naprázdno u měřeného asynchronního motoru EMP Slavkov u Brna proběhlo na dynamometru Atas Náchod K40X260, který byl vybaven snímačem Interface SM-25 sn. 190959. Při tomto měření byla naměřena hodnota momentu naprázdno, která činila 0,15Nm.



### Porovnání naměřených hodnot

Naměřené hodnoty momentu naprázdno asynchronního motoru EMP Slavkov u Brna za pomoci snímačů TM 310/011 a SM-25 jsou uvedeny v (Tab. 3.4.1). Porovnáme-li obě hodnoty, vyjde najevo, že se moment liší o 0,05Nm, tento rozdíl není způsoben chybou měření, nýbrž je způsoben rozdílností sestavení pracoviště. Neboť připojení měřeného asynchronního motoru k Torquemastru bylo realizováno za pomoci pružné spojky (Obr. 2.2.4). Osová výška hřídelí obou přístrojů byla diametrálně rozdílná a za pomoci dostupných prostředků nebylo možné zabezpečit přesnou sousost obou hřídelí, spojka byla tedy namáhána na ohyb a díky tomu došlo k částečnému zkreslení momentu, nicméně pro výuku v laboratoři pohonů je tato přesnost dostačující. Pokud bychom chtěli toto pracoviště využít k přesnějšímu snímání momentu, muselo by dojít k zdokonalení systému uchycení měřeného přípravku tak, aby bylo možné vhodně nastavit sousost obou hřídelí.

Snímače momentu	Točivý moment při chodu naprázdno [Nm]
Torquemaster TM 310/011	0,20
Interface SM-25 (dynamometr Atas Náchod)	0,15

Tab. 3.4.1 Naměřené hodnoty momentu naprázdno

### 3.4.2 Testování automatizovaného pracoviště

Funkčnost automatizovaného pracoviště pro snímání otáček a krouticího momentu byla ověřena snímačem Interface SM-25, pracoviště tedy vyhovuje požadovanému záměru. Nyní je možné provádět další měření.

Další provedené měření, které bylo na pracovišti provedeno je uvedeno spíše pro zajímavost a demonstrování potenciálu automatizovaného pracoviště.



### 3.4.3 Rozběh motoru EMP Slavkov u Brna přímým připojením na síť

Graf (Obr. 3.4.1) znázorňuje rozběh asynchronního motoru EMP Slavkov u Brna. Při tomto měření se nepodařilo plně synchronizovat start programu v LsbVIEW se spuštěním motoru přes stykač. Je tedy nutné odečíst čas prodlevy 0,8s.

Otáčky motoru se ustálily na hodnotě 2810 ot/min., což přesně odpovídá jmenovitým otáčkám motoru. Rozběh motoru, který byl z bezpečnostních důvodů napájen 100V na jmenovité otáčky trval cca 4s.



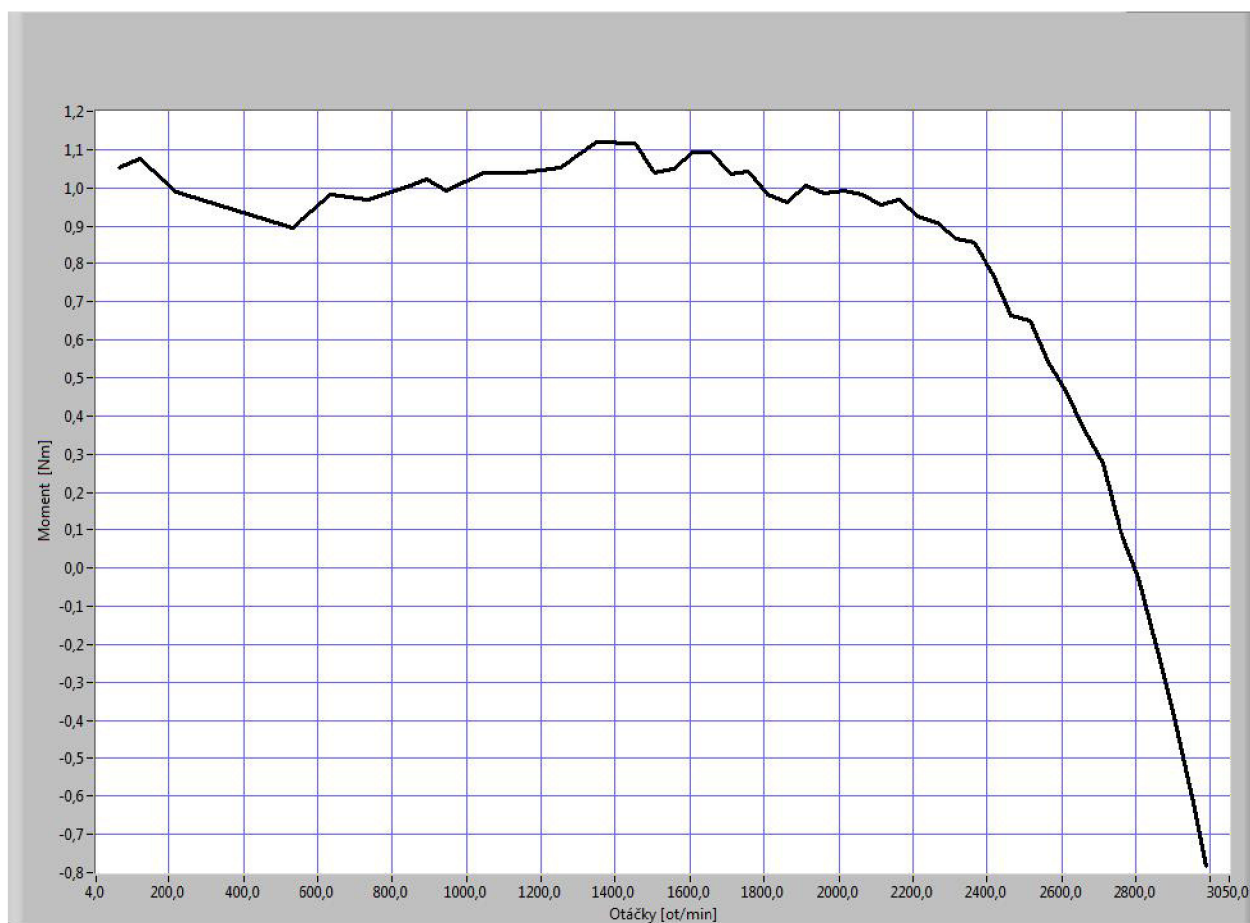
Obr. 3.4.1 Rozběh asynchronního motoru EMP Slavkov u Brna

### 3.4.4 Zatěžovací zkouška asynchronního motoru EMP Slavkov u Brna

Při této zkoušce byl asynchronní motor EMP Slavkov u Brna napájen přes autotransformátor napětím 100V a připojen k asynchronnímu dynamometru tvořeným asynchronním motorem Sandblom and Stohne. Na dynamometru byly za pomoci programu v LabVIEW nastaveny otáčky 2950 ot/min.

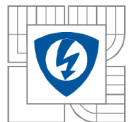
Následně byla snižována hodnota otáček v intervalech 50 ot/min a zapisovány hodnoty momentu a otáček do grafu (Obr. 3.4.1).

Na grafu si můžeme všimnout, že od hodnoty 2000 ot/min níže se charakteristika značně vlní. Bylo by možné následně nechat charakteristiku za pomoci naměřených hodnot proložit, nicméně je evidentně vidět, že při ustálené hodnotě momentu se projevil značný vliv na přesnost snímání momentu přístrojem Torquemastrem. Tento graf dokazuje důležitost přesného vyvážení sestavy a zachování sousostí hřídelí.



*Obr. 3.4.1 Zatěžovací zkouška asynchronního motoru EMP Slavkov u Brna*





## 4 ZÁVĚR

Diplomová práce řeší výběr měřicích přístrojů pro sestavení automatizovaného pracoviště, které slouží k měření otáček a krouticího momentu elektrických motorů. V rámci analýzy stanovení vhodných měřicích přístrojů pro oblast snímání neelektrických veličin, rychlostí a krouticího momentu elektrických motorů, představuje diplomová práce přehled současných vývojových trendů pro optimální řešení dané problematiky.

V rámci diplomové práce jsem sestavil blokové schéma automatizovaného laboratorního pracoviště určeného pro měření otáček, krouticího momentu a jeho dimenzování, které je vhodné pro výuku v laboratoři pohonů.

Ve své práci jsem dále uvedl podrobný návod na nastavení jednotlivých přístrojů a schéma propojení jednotlivých ovládacích prvků.

V sestavě použitých přístrojů je využit Měnič Unidrive STD, který můžeme provozovat i ve vektorovém řízení. Zpětná vazba pro vektorové řízení je provedena za pomoci inkrementálního snímače otáček LARM. Tento snímač lze připojit k měniči za pomoci vhodného kabelu s patnáctipinovým konektorem Canon do enkodera měniče.

V prostředí LabVIEW jsem zhotovil program, který je určen pro ovládání asynchronního motoru Sandblom and Stohne, který slouží jako asynchronní dynamometr. S pomocí tohoto programu je možné zapínat, vypínat a měnit směr otáčení tohoto motoru. Dále je možné odečítat a zaznamenávat hodnoty rychlosti a krouticího momentu z měřicího přístroje Torquemastru TM 310/011. Program také disponuje zaznamenáváním hodnot v reálném čase, ve kterém je možné zobrazit průběh rozbíhajícího se motoru, nebo dynamickou změnu zátěže.

Na závěr diplomové práce bylo provedeno oživení pracoviště a změření momentu naprázdno u asynchronního motoru EMP TM80-2S B3 Slavkov u Brna. Naměřená hodnota momentu naprázdno činila 0,2Nm při jmenovitých otáčkách 2810 ot/min. Tato hodnota byla ověřena měřením na dynamometru Atas Náchod K40X260 pomocí snímače Interface SM-25. Ověřená hodnota momentu naprázdno činila 1,5Nm. Porovnáním těchto dvou hodnot bylo zjištěno, že se moment naprázdno se liší o 0,05Nm. Tato odchylka nebyla způsobena nepřesností měření, nýbrž je způsobena rozdílností sestavení pracoviště, neboť připojení měřeného asynchronního motoru k Torquemastru bylo realizováno za pomoci pružné spojky. Osová výška hřídelí obou přístrojů byla diametrálně rozdílná a za pomoci dostupných prostředků nebylo možné zabezpečit přesnou souosost obou hřídelí, spojka byla tedy namáhána na ohyb a díky tomu došlo k částečnému zkreslení momentu, nicméně pro výuku v laboratoři pohonů je tato přesnost dostačující. Pokud bychom chtěli toto pracoviště využít k přesnějšímu snímání momentu, muselo by dojít k zdokonalení systému uchycení měřeného přístroje tak, aby bylo možné vhodně nastavit souosost obou hřídelí.



## LITERATURA

- [1] Control Technique [online]. Upravené vydání. Brno: Control Techniques Brno s.r.o, 1995-2009 , 9. 4. 2009 [cit. 2009-04-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.controltechniques.cz/>>
  
- [2] National Instruments : USB High-Speed M Series Multifunction DAQ [online]. July 2008. USA : National Instruments Corporation, 2004-2009 , July 2008 [cit. 2009-04-27]. Manuál. English. Dostupný z WWW: <<http://www.ni.com/>>. [Http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/202597](http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/202597).
  
- [3] LARM : USB Inkrementální rotační snímače IRC. July 2008. Česká republika: LARM a.s, 2004-2009 , únor 2008 [cit. 2009-04-27]. Manuál. Česky. Dostupný z WWW: <<http://www.larm.cz/>>.
  
- [4] KOLÁČNÝ, J.: Elektrické pohony. Brno: ÚVEE FEKT VUT Brno
  
- [5] HUZLÍK, R.: *2. Stěračový motor – Stejnoseměrný motor s permanentními magnety*. Zadání pro laboratoře elektrických strojů a přístrojů. Brno: ÚVEE FEKT VUT Brno 2007