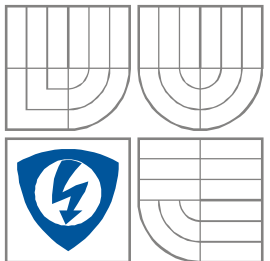


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

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

DEMONSTRAČNÍ PŘÍPRAVEK PRVKŮ PRŮMYSLOVÉ AUTOMATIZACE

DEMONSTRATION STAND FOR INDUSTRIAL AUTOMATION ELEMENTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

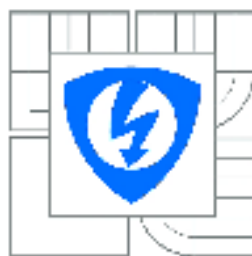
PAVEL DOBIÁŠ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR DOHNAL, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Pavel Dobiáš

ID: 146805

Ročník: 3

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TĚMATU:

Demonstrační přípravek prvků průmyslové automatizace

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Provedte demonstrační přípravek s ovládacími a signalizačními prvky na bázi průmyslové automatizace.
2. Zpracujte SW obslužný program na bázi LabView
3. Zpracujte návod k tomuto přípravku

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Havelka, Otto a kol. : Elektrické přístroje učebnice pro elektrotechnické fakulty vysokých škol technických, SNTL 1985
- [2] Měňčka J., Zoubek Z. : Elektrické stroje, skriptum ČVUT 1990
- [3] Patočka, Miroslav: Magnetické jevy a obvody ve výkonové elektronice, měřicí technice a silnoproudé elektrotechnice, VUTUM 2011

Termín zadání: 27.9.2013

Termín odevzdání: 2.6.2014

Vedoucí práce: Ing. Petr Dohnal, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

První část této práce je věnována seznámení se s inteligentními motorovými ochranami. Na konkrétním modelu, univerzálním motorovém kontroléru UMC100-FBP od firmy ABB s.r.o., jsou vysvětleny funkce a možnosti těchto přístrojů. Protože je práce zaměřena na tvorbu obslužného programu, který bude sloužit ke vzdálené komunikaci s laboratorním přípravkem, jsou ve druhé části stručně popsány některé komunikační protokoly a sítě. V další části je popsána realizace vzdálené komunikace a tvorba obslužného programu. Pro ověření přesnosti zobrazovaných údajů, jak na samotném UMC100-FBP tak v obslužném programu, bylo provedeno jednoduché měření. Výsledky tohoto měření jsou diskutovány v předposlední kapitole. V poslední části práce je popsán vytvořený program a návod k obsluze programu.

Abstract

The first part is devoted to familiarization with intelligent motor protection. On the device, the universal motor controller UMC100-FBP from ABB Ltd., explains the features and capabilities of these devices. Because the work is focused on creating a utility that will be used to communicate with a remote laboratory stand, in the second part briefly describes some of the communication protocols and network. The next section describes the implementation of remote communication and creation utility. To verify the accuracy of the displayed data as to the actual UMC100-FBP and the utility was performing a simple measurement. The results are discussed in the penultimate chapter. In the last part of the thesis describes a program created by the operating instructions of the program.

Klíčová slova

Univerzální motorový kontrolér, ochrana motoru, průmyslová komunikace, komunikační protokol, průmyslová automatizace, LabVIEW, demonstrační přípravek.

Keywords

Universal motor controller, motor protection, industrial communication, communication protocol, industrial automation, LabVIEW, demonstration stand.

Bibliografická citace

DOBIÁŠ, P. *Demonstrační přípravek prvků průmyslové automatizace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 65 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Dohnal, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma *Demonstrační přípravek prvků průmyslové automatizace* 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

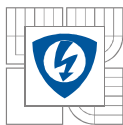
Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Dohnalovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. Děkuji také Ing. Rostislavu Huzlíkovi za rady spojené se softwarem LabVIEW. Dále bych rád poděkoval za cenné rady Ing. Vladimíru Horychovi ze společnosti ABB s.r.o..

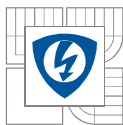
V Brně dne

Podpis autora



OBSAH

OBSAH	6
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	8
SEZNAM TABULEK.....	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	11
ÚVOD	12
1 UNIVERZÁLNÍ MOTOROVÝ KONTROLÉR UMC 100-FBP	13
1.1 VNITŘNÍ STRUKTURA UMC100-FBP	13
1.2 OCHRANY MOTORU	14
1.2.1 ELEKTRONICKÁ OCHRANA PROTI PŘETÍŽENÍ	15
1.2.2 CYKlické MOTOROVÉ PROVOZNÍ REŽIMY	16
1.2.3 OCHRANA PROTI ZABLOKOVÁNÍ ROTORU	16
1.2.4 NADPROUDOVÁ OCHRANA	17
1.2.5 OCHRANA PŘED PODPROUDEM	17
1.2.6 OCHRANA PŘED ZTRÁTOU FÁZE	18
1.2.7 OCHRANA PŘED NESYMETRIÍ FÁZÍ	18
1.2.8 OCHRANA SLEDU FÁZÍ	18
1.2.9 OCHRANA PROTI ZEMNÍMU SPOJENÍ.....	18
1.2.10 TERMISTOROVÁ OCHRANA MOTORU (PTC)	19
1.2.11 OCHRANNÉ FUNKCE ZALOŽENÉ NA MĚŘENÍ NAPĚTÍ.....	19
1.3 ŘÍDÍCÍ FUNKCE MOTORU.....	20
1.3.1 POUŽITÍ DIGITÁLNÍCH VSTUPŮ	20
1.3.2 ŘÍDÍCÍ FUNKCE REVERSING STARTER (REV)	20
1.4 DÍLČÍ ZÁVĚR.....	22
2 PRŮMYSL OVÁ KOMUNIKACE.....	23
2.1 REFERENČNÍ MODEL ISO/OSI	23
2.2 PROFIBUS	24
2.3 MODBUS.....	25
2.4 SBĚRNICE CAN.....	26
2.5 DEVICENet.....	28
2.6 ETHERNET	29
2.6.1 KOMUNIKAČNÍ PROTOKOLY ETHERNETU.....	30
3 NÁVRH KOMUNIKACE S UMC100-FBP.....	31
3.1 ADAPTÉR MTQ22-FBP	31
3.2 KONFIGURACE MTQ22-FBP	32

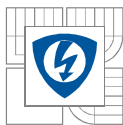


3.3 ADRESY DAT	33
4 TVORBA OBSLUŽNÉHO PROGRAMU V LABVIEW	34
4.1 KOMUNIKACE LABVIEW S MTQ22-FBP	34
5 OVĚŘENÍ PŘESNOSTI UMC100-FBP	39
5.1 POPIS MĚŘENÍ	40
5.2 DÍLČÍ ZÁVĚR.....	42
6 POPIS OBSLUŽNÉHO PROGRAMU	43
6.1 NÁVOD K PROGRAMU	45
6.1.1 OBSLUHA PROGRAMU	47
7 ZÁVĚR	50
LITERATURA.....	51
PŘÍLOHY.....	52
PŘÍLOHA A:	52
PŘÍLOHA B:.....	57
PŘÍLOHA C:.....	65

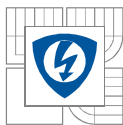


SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Popis UMC100-FBP[6].....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 2 Vnitřní struktura UMC100-FBP[6]</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 3 Příklad vypínací charakteristiky[6]</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 4 Průběh teploty motoru při častém střídání stavů[6]</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 5 Demonstrace funkce nadproudové ochrany[6]</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 6 Demonstrace funkce ochrany před nízkým proudem[6]</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 7 Příklad zapojení funkce Reversing Starter[6].....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 8 ISO/OSI model[1]</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 9 Model protokolů Profibus[1]</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 10 Struktura a rozsah současné verze protokolu MODBUS[4]</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 11 Základní tvar zprávy v protokolu MODBUS[4].....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 12 Model protokolu DeviceNet[1]</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 13 Objektový model zařízení v síti DeviceNet[1]</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 14 Popis MTQ22-FBP[7].....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 15 Prostředí ABB Config Tool.....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 16 Funkční bloky obsažené v NI Modbus Library.....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 17 Vytvoření I/O serveru.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 18 Konfigurace Modbus I/O serveru.....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 19 Vytvoření vázané proměnné.....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 20 Knihovna vázaných proměnných</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 21 Analyzátor YOKOGAWA WT1800</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 22 Štítek použitého motoru</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 23 Blokové schéma zapojení pro měření č. 1 a č. 2</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 24 Blokové schéma zapojení pro měření č. 3 a č. 4</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 25 Event Structure ve smyčce Wheel Loop</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 26 Zdrojový kód programu</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 27 Záložka Ovládání přípravku</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 28 Záložka Monitorování.....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 29 Záložka Diagnostika.....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 30 LCD panel UMC100-PAN.....</i>	<i>47</i>



<i>Obr. 31 Nastavení Busaddress v UMC.....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 32 Nastavení jmenovitého proudu motoru</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 33 Soustava motor-dynamometr</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 34 Měřicí pracoviště (přípravek s UMC100-FBP + YOKOGAWA WT1800)</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 35 Základní schéma zapojení (napájení a komunikace mezi jednotlivými prvky).....</i>	<i>65</i>



SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Parametry nastavené v ABB Config Tool</i>	33
<i>Tab. 2 Tabulka datových hodnot podporovaných I/O Serverem[8]</i>	36
<i>Tab. 3 Příklad použití adres dat z MTQ22 v I/O Serveru</i>	37
<i>Tab. 4 Vybrané parametry analyzátoru YOKOGAWA</i>	39
<i>Tab. 5 Parametry asynchronního dynamometru VUES Brno</i>	39
<i>Tab. 6 Vybrané parametry UMC100-FBP a modulu VI150-FBP</i>	40
<i>Tab. 7 Tabulka adres monitorovacích dat[7]</i>	52
<i>Tab. 8 Tabulka adres příkazových dat[7]</i>	54
<i>Tab. 9 Tabulka adres diagnostických dat[7]</i>	55
<i>Tab. 10 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro měření č. 1</i>	57
<i>Tab. 11 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro měření č. 2</i>	57
<i>Tab. 12 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro měření č. 3</i>	58
<i>Tab. 13 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro měření č. 4</i>	59



SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

ADU	Application Data Unit
CAN	Controller Area Network
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection
DCS	Distributed Control System
DSC	Datalogging and Supervisory Control
DTM	Device Type Manager
EOL	Electronic Overload Protection
FBP	Field Bus Plug
IP	Internet Protocol
ISO	International Organization for Standardization
LED	Light Emitting Diode
PAC	Programmable Automation Controller
PCS	Process Control System
PDU	Protocol Data Unit
PLC	Programmable Logic Controller
PNO	PROFIBUS Nutzer Organisation
PTC	Positive Temperature Coefficient
REV	Reversing Starter
RTR	Remote Transmission Request
TCP	Transmission Control Protocol
UMC	Universal Motor Controller

Úvod

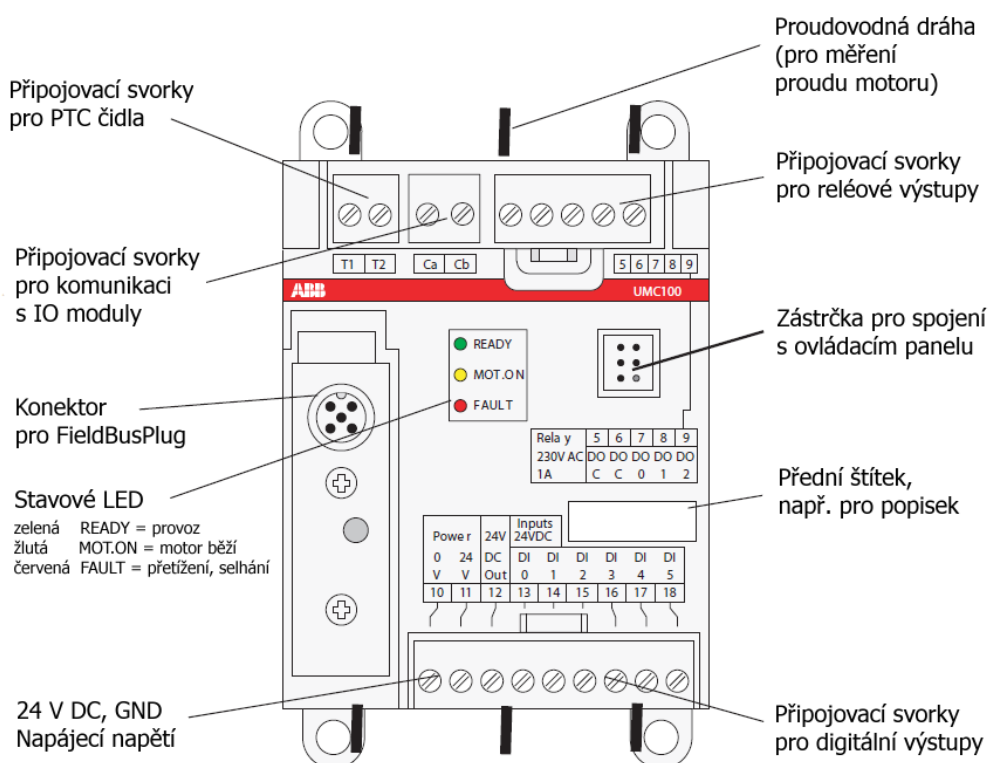
Velice důležitým prvkem automatizace jsou elektrické motory, nejčastěji asynchronní, jež mají jednoduchou konstrukci, příznivou cenu a nízkou poruchovost. Každý elektrický stroj musí být nějak ovládán (řízen) a chráněn proti poruchám. K ovládání slouží nejčastěji stykače nebo relé. Ochrannou funkci zajišťují pojistky, nadproudová relé, jističe nebo motorové spouštěče. Klasický spouštěč motoru je obecně určen k zapnutí, zajištění trvalého chodu a vypnutí motoru, zároveň ale zajišťuje ochranu motoru proti přetížení a zkratovému proudu. Takový spouštěč obsahuje tři základní části: spínací mechanismus, ochranu proti nadproudu a ochranu proti zkratovému proudu. Spínací mechanismus je řešen pomocí kontaktů na proudovodné dráze. Ochrana proti zkratovému proudu je elektromagnetická a ochrana proti přetížení je řešena pomocí bimetalu.

Elektronický motorový kontrolér je zařízení, které plní obdobné funkce jako klasický motorový spouštěč a navíc je doplněno o řídicí a monitorovací funkce. Nejčastěji jsou tyto kontroléry řešeny jako tzv. průvlečné. Tedy nemají proudovodnou dráhu jako běžné motorové spouštěče, ale přívodní dráty jednotlivých fází motoru se pouze prostrčí skrz tělo spouštěče. Samotné spouštění motorů zajišťuje stykač, jehož cívka je ovládána jedním z výstupů kontroléru. Vybavení všech ochranných funkcí je poté řízeno řídicím obvodem, který vyhodnocuje hodnoty proudů zjištěné proudovými transformátory skrz, které vedou přívodní vodiče k motoru. Díky elektronickému řídicímu obvodu lze nastavit kontroléru řadu parametrů, kterými je možné přesně specifikovat jeho chování a nastavit jej individuálně pro konkrétní aplikaci.

Elektronické motorové spouštěče bývají často vybaveny konektorem pro vzdálenou správu. Díky tomu lze spouštěč integrovat do průmyslových sítí. Pomocí různých komunikačních protokolů pak může na dálku řídit, sledovat a v případě poruchy včas zastavit motor. Rozbor a popis konkrétních funkcí elektronických motorových kontrolérů, je uveden v následující kapitole, která je věnována popisu konkrétního zařízení a sice, univerzálnímu motorovému kontroléru UMC100-FBP od firmy ABB s.r.o.

1 UNIVERZÁLNÍ MOTOROVÝ KONTROLÉR UMC 100-FBP

UMC100-FBP (dále UMC) je „inteligentní“ řídicí jednotka pro 3fázové asynchronní motory. Kombinuje v sobě klasické funkce ochrany motoru a funkce řízení motoru. Toto zařízení lze díky jeho snadnému přenastavení a konfiguraci používat v různých odvětvích průmyslu. Zejména v provozech obsahujících velká motorová řídicí centra, nebo velké množství motorů.



Obr. 1 Popis UMC100-FBP[6]

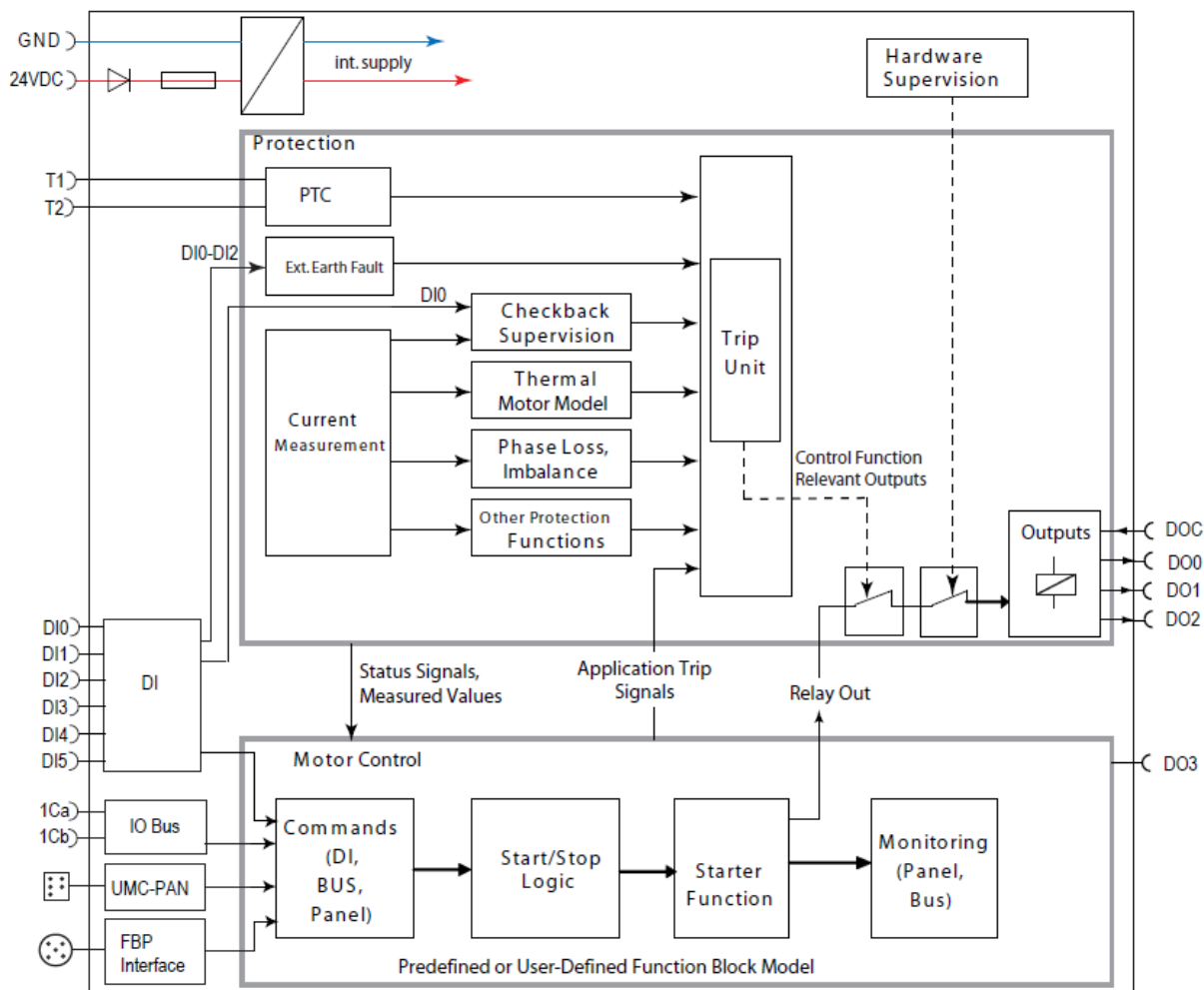
1.1 Vnitřní struktura UMC100-FBP

Na Obr. 2 jsou znázorněny hlavní funkční bloky UMC a tok dat mezi nimi. Horní hlavní blok (Protection) obsahuje bloky související s ochrannými funkcemi. Signály z různých zdrojů jsou vyhodnoceny v řídicí jednotce (Trip Unit). V závislosti na konfiguraci je vygenerováno varování nebo příkaz k aktivaci dané ochrany motoru. V případě zareagování ochrany jsou rozpojeny příslušné kontakty a dojde k zastavení motoru. UMC je také vybaven automatickou ochranou – watchdog (Hardware Supervision), kterou nelze vyřadit. Pokud by došlo k selhání celého zařízení, tato ochrana sama zareaguje a z bezpečnostních důvodů rozepne všechny reléové výstupy.[6]

Měření proudu (Current Measurement) poskytuje hlavní informace pro řízení ochrany motoru, hodnoty přicházejí z měřících transformátorů proudu, které měří aktuální velikost proudů v jednotlivých fázích. Další informace o stavu motoru mohou být zjištěny připojením PTC senzoru, který snímá teplotu vinutí.[6]

Spodní hlavní blok (Motor Control) obsahuje řídicí funkce. Příchozí příkazy (Commands) z ovládacího panelu, digitálních vstupů nebo průmyslové sběrnice jsou seřazeny podle nastavených priorit a poté předány ke zpracování logickým obvodům. Startovací funkce

(Starter Function) řídí reléové výstupy v závislosti na zvolené aplikaci a skutečném stavu. Navíc předávají monitorovací signály na LCD displej, ovládají signalizační LED a posílají signály na sběrnice pro vzdálené monitorování a diagnostiku stavu motoru.[6]



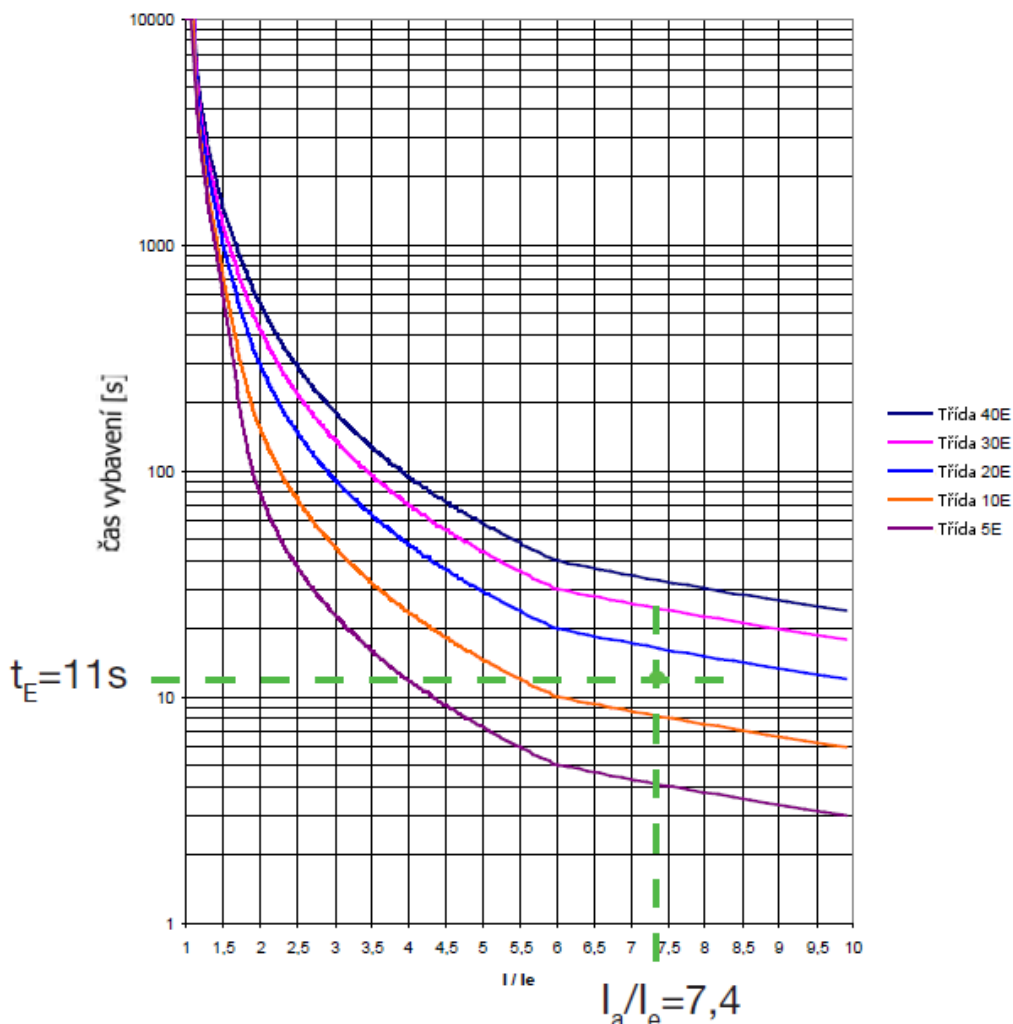
Obr. 2 Vnitřní struktura UMC100-FBP[6]

1.2 Ochrany motoru

UMC poskytuje komplexní ochranu motoru, kromě standardních ochranných funkcí (výpadek fáze, přetížení) i další např. nastavitelné ochrany pro zastavení motoru při rozběhu nebo normálním provozu, nastavitelné proudové omezení proti přetížení a dalším. Tyto ochrany a monitorovací funkce generují stavové a varovné signály, měří nebo počítají procesní hodnoty. UMC navíc přesně zobrazí, která ochrana vyvolala výpadek. Ochrany je možné nastavovat v širokém rozsahu. Všechny tyto údaje jsou k dispozici pro obsluhu, která si je může zobrazit na LCD panelu, přenést do řídicího systému nebo přímo zpracovat v individuální aplikaci.[6]

1.2.1 Elektronická ochrana proti přetížení

UMC chrání třífázové střídavé motory v souladu s IEC 60947-4-1 (Nízkonapěťové spínací a řídicí přístroje). Vypínací charakteristika může být nastavena do tříd: 5, 10, 20, 30 nebo 40.[6]



Obr. 3 Příklad vypínací charakteristiky[6]

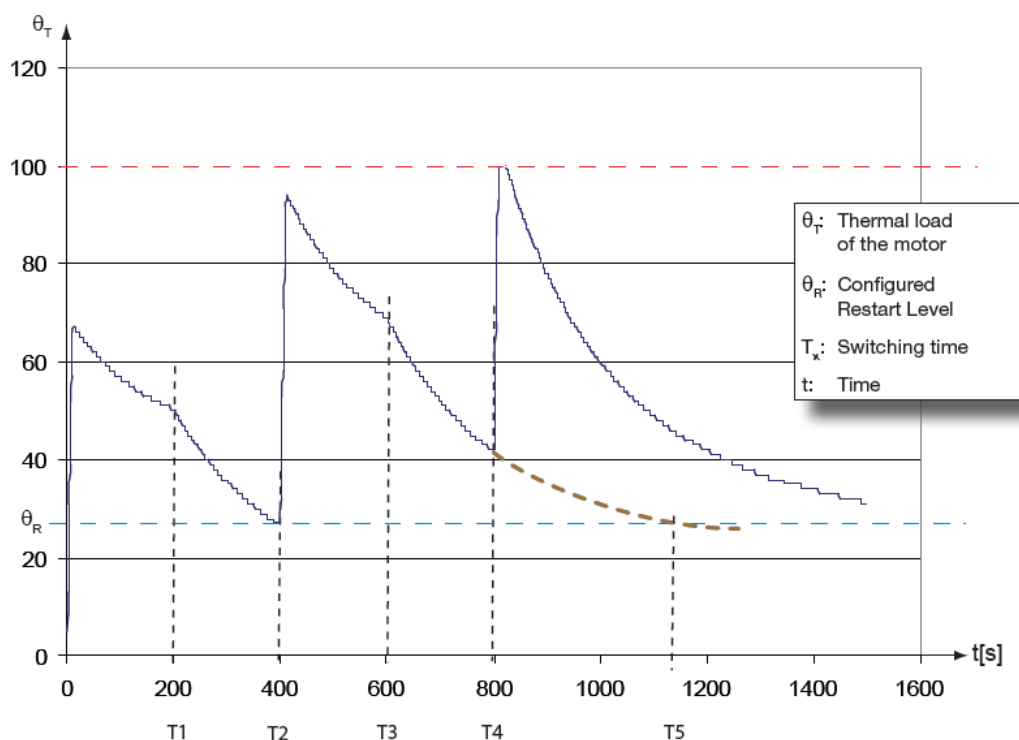
Pokročilý tepelný model zastupuje jak měděné tak železné části motoru a tím poskytuje nejlepší ochranu. Předtím, než dojde k vybavení ochrany, je možné nastavit generování varovného signálu a operátor se může připravit na výpadek (omezit ztráty), případně se mu pokusit předejít, ještě předtím než dojde ke skutečnému odpojení motoru. Pro vysoké přetížení je vhodné nastavit generování varovných signálů na velmi krátkou dobu (max. několik sekund). Čas, po kterém dojde k vybavení ochrany, se předpovídá na základě aktuálního zatížení. Pokud je motor vypnutý nikdy k vybavení ochrany nedojde. Je-li motor v chodu předpovídaný čas vybavení je pravidelně aktualizován. Jestliže dojde k vybavení tepelné ochrany motoru, musí motor před dalším spuštěním vychladnout. Existují dvě možnosti, jak definovat potřebnou délku doby chlazení.

1) Pevná doba chlazení: Uživatel zadá pevnou dobu trvání, např. 15 minut. Po tuto dobu nelze motor spustit. Čas, který je třeba nastavit, závisí na velikost motoru, na přítomnosti přídavného chlazení, na prostředí atd. V závislosti na zmíněných závislostech je doba chlazení volena zejména na základě zkušeností projektanta nebo obsluhy.

2) Doba vypočítaná na základě tepelné kapacity motoru: Uživatel definuje celkovou tepelnou kapacitu motoru a poté zadá do jaké úrovně (např. 60%), musí tepelná kapacita motoru klesnout, než je možné jej opět spustit.[6]

1.2.2 Cyklické motorové provozní režimy

Některé aplikace vyžadují časté spínání a vypínání motoru v krátkých časových úsecích. Správné nastavení doby nutné k ochlazení motoru je v těchto případech velmi důležité. V Obr. 4 jsou zobrazeny tři po sobě jdoucí rozběhy motoru. Záběrný proud motoru při každém startu je přibližně sedmi násobkem jmenovitého proudu. Tato vysoká zátěž trvá několik sekund. Po rozběhu motoru se proud ustálí na jmenovité hodnotě. V čase T_1 je motor vypnut. Doba chlazení je nastavena na 200 sekund. Po uplynutí této doby proběhne další start, čas T_2 . Motor běží přibližně 200 sekund. V čase T_3 je motor vypnut a opět se 200 s chladí. Za tuto dobu se však motor nestačil dostatečně ochladit a v čase T_4 , kdy probíhá další start, dojde k vybavení tepelné ochrany, protože oteplení motoru překročilo nastavenou mez. Aby nedošlo k vybavení tepelné ochrany, musel by třetí start proběhnout v čase T_5 . [6]



Obr. 4 Průběh teploty motoru při častém střídání stavů[6]

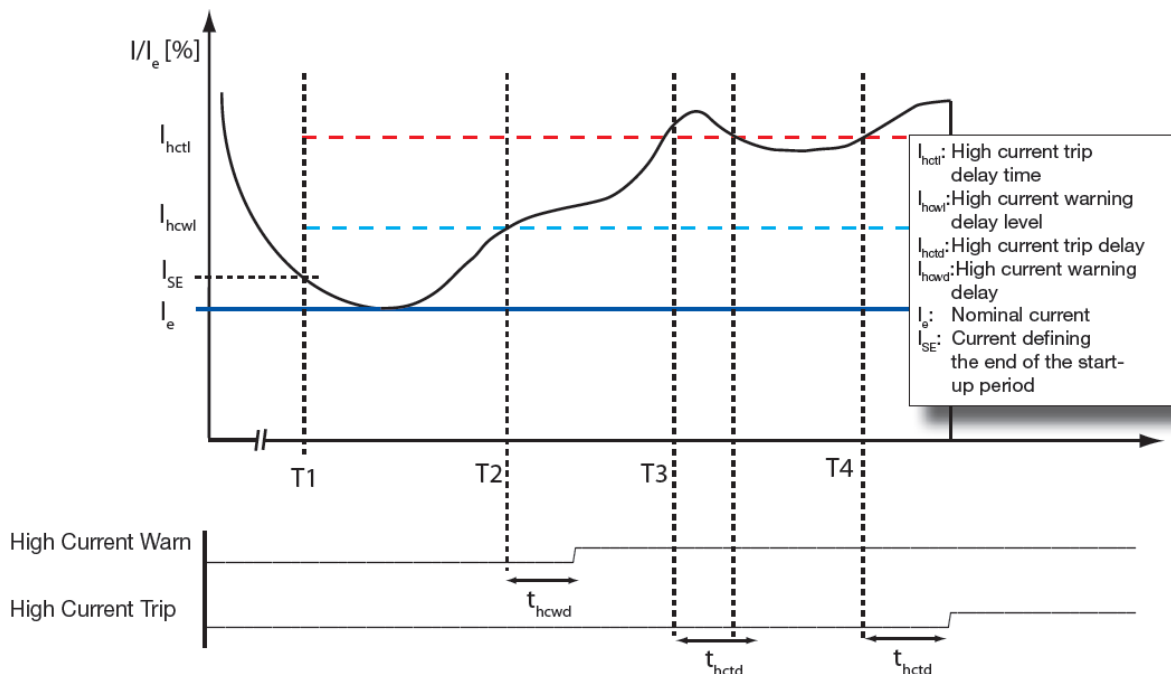
1.2.3 Ochrana proti zablokování rotoru

Tato funkce sleduje dobu potřebnou k rozběhu motoru. Pokud proud po delší dobu překročí nastavenou prahovou hodnotu (je-li doba rozběhu neobvykle dlouhá), dojde k vybavení této ochrany. K zablokování rotoru může dojít v důsledku nadměrného zatížení nebo v důsledku pracovního procesu, kdy může dojít k mechanickému zaseknutí rotoru. Včasná detekce poruchy a následné vypnutí motoru chrání řízený mechanický systém před dalšími škodami a motor před tepelným namáháním. Mezní hodnoty proudu i čas zareagování ochrany je možné individuálně nastavit.[6]

1.2.4 Nadproudová ochrana

Tato funkce je užitečná pro ochranu řízeného mechanického systému před zaseknutím a nadměrným přetížením způsobeným samotným zařízením nebo probíhajícím procesem. Jedná se o doplňkovou ochranu k EOL. Nadproudová ochrana je starší, v některých případech však reaguje rychleji než modernější EOL. Nadproudová ochrana signalizuje varovný signál, překročí-li po rozběhu motoru, na určitou dobu, proud nastavenou prahovou hodnotu. Pokud proud překročí trvale prahovou hodnotu, dojde k vybavení této spouště.[6]

Příklad: V době T_1 došlo k ustálení rozběhového proudu. V čase T_2 velikost proudu překročila hodnotu I_{hcwl} , jsou generovány varovné signály. V čase T_3 proud překročil kritickou hodnotu I_{hctl} ale pouze na krátkou dobu (menší než je doba nutná k vybavení spouště t_{hctd}). K vybavení spouště tedy zatím nedošlo. V čase T_4 proud překročil kritickou hodnotu I_{hctl} trvale a po uplynutí doby t_{hctd} dojde k vybavení spouště, jak je znázorněno na Obr. 5.[6]

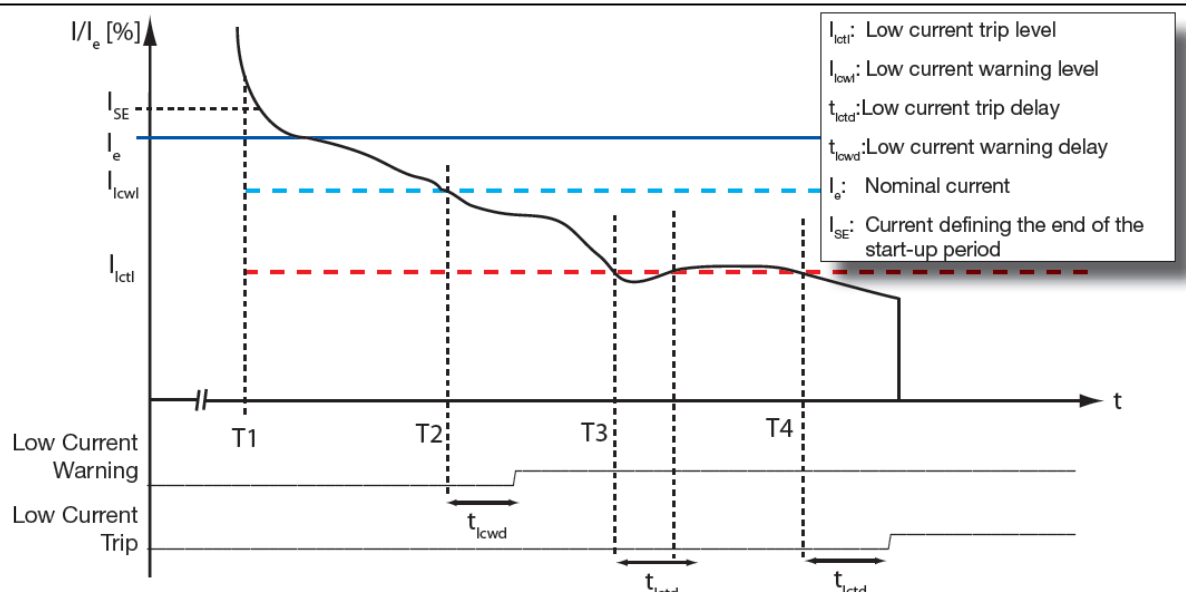


Obr. 5 Demontrace funkce nadproudové ochrany[6]

1.2.5 Ochrana před podproudem

Tato ochrana se spustí, klesne-li proud motoru pod požadovanou úroveň. Funkce detekuje např. ztrátu sání pro čerpadla, přetržené pásy dopravníků, rozbité nástroje apod. Tyto stavy nepoškozují motor, ale včasná diagnóza a odhalení problému pomáhá minimalizovat rozsah škod na mechanické instalaci a dodatečné ztráty ve výrobě.[6]

Příklad: V čase T_1 dochází k ustálení záběrného proudu motoru. Po rozběhu proud motoru klesá, v čase T_2 překročí hranici I_{lcwl} na dobu delší než t_{lcwd} , je vygenerováno varování. Proud dále klesá v době T_3 překročí krátkodobě mezní hranici I_{lctl} , ochrana tedy nezareaguje. Vysílají se pouze varovné signály. V čase T_4 proud poklesne pod mezní hodnotu proudu I_{lctl} na dobu větší než t_{lctd} a dojde k vybavení ochrany viz. Obr. 6.[6]



Obr. 6 Demonstrace funkce ochrany před nízkým proudem[6]

1.2.6 Ochrana před ztrátou fáze

Chrání motory před extrémní situací, kdy dojde ke ztrátě napájení v jedné fázi. Nejistý výpadek fáze může způsobit poškození motoru v důsledku následného zvýšení proudu ve zbývajících dvou fázích. Pokud takový stav nastane, tepelná ochrana proti přetížení provede zrychlené vybavení. Tato funkce je založena na měření proudu procházejícího motorem a zjistí ztrátu fáze, je-li motor v chodu. Je aktivní v případě, že průměr proudů ve všech fázích, je větší než 25% jmenovitého proudu I_N . Příčiny výpadku fáze mohou být různé např.: přepálená pojistka, uvolněný vodič a další.[6]

1.2.7 Ochrana před nesymetrií fází

Tato ochrana chrání motor před menšími nerovnováhami mezi různými fázemi. Vybavovací úroveň musí být pečlivě upravena tak, aby byla zajištěna ochrana vinutí motoru proti přehřátí. Nesymetrie fází signalizuje varování v případě, že poměr mezi nejnižším a nejvyšším fázovým proudem, v procentech, je nad nakonfigurovanou úroveň. Funkce je aktivní pouze v případě, že průměr proudu motoru ve všech třech fázích, je větší než 25% I_N . [6]

1.2.8 Ochrana sledu fází

Zabraňuje tomu, aby bylo zařízení zapojeno tak, že by se točilo nesprávným směrem např. při řízení drtiče nebo dopravníku. Pokud je tato funkce ochrany aktivní, vodiče motoru musí mít jasně definovaný způsob zapojení. Nesprávný sled fází je detekován při startu motoru.[6]

1.2.9 Ochrana proti zemnímu spojení

Jedná se o funkci chránící motor a síť proti zemnímu proudu. V podstatě supluje funkci proudového chrániče (samostatný proudový chránič je přesnější a citlivější). Zemní poruchy jsou způsobeny převážně stárnutím izolace, zhoršením tepelné izolace v důsledku trvalého nebo cyklického přetěžování, zvýšenou vlhkostí, vodivými nečistotami nebo kondenzací vody v elektrickém zařízení. Sledování zemního spojení se provádí pomocí pomocného zařízení

CEM11 (základem je proudový transformátor, který kontroluje, zda součet tří fázových proudů je nulový) nebo na základě vnitřního výpočtu zemního proudu přímo v UMC. Pokud je detekováno zemní spojení může být motor vypnut nebo je obsluha informována prostřednictvím varovných signálů, aby mohla provést včasnou údržbu.[6]

1.2.10 Termistorová ochrana motoru (PTC)

PTC termistory jsou polovodičové prvky s vysokým pozitivním teplotním koeficientem. Termistor je vložen přímo do statorového vinutí. Na rozdíl od ochrany proti tepelnému přetížení, která reaguje na proud zátěže, ochrana termistorem je proudově nezávislá a reaguje na změny odporu termistoru v důsledku teplotní změny ve vinutí motoru. Termistory jsou navrhovány na jmenovitou provozní teplotu motoru, která odpovídá třídě izolace, typu a konstrukci motoru. Při zvýšené teplotě motoru hodnota odporu termistoru prudce stoupá. UMC snímá náhlé změny odporu a na základě toho dojde ke generování varovných signálů nebo zareagování zmiňované ochrany. Měření teploty přímo ve vinutí motoru zajišťuje ochranu motoru, není-li možné jeho teplotu posuzovat na základě provozního proudu motoru. To může nastat např. při nepravidelném přerušovaném provozu, častém spouštění, častých změnách okolních podmínek nebo nedostatečné cirkulaci chladicího média. Přesné monitorování teploty motoru je nutné, pokud je umístěn v prostředí s nebezpečím výbuchu. Výhodou integrované termistorové ochrany je také úspora samostatného termistorového relé nebo měřicího relé teploty.[6]

1.2.11 Ochranné funkce založené na měření napětí

UMC spolu s napěťovým modulem VI150/VI155 měří sdružené napájecí napětí motoru, proud motoru a počítá fázový úhel mezi proudem a napětím. Modul VIxxx by měl být připojován za pojistkový odpínač z důvodu sledování a detekce výpadku fáze, způsobené přepálenou pojistkou. Jednotlivé procesní hodnoty mohou být odesílány přes sběrnici nebo zobrazeny na LCD panelu. Z měřených hodnot je dále počítána spotřeba a příkon motoru. Všechny zjištěné hodnoty jsou použity pro ochranné a monitorovací funkce jako jsou např.:

Přepětí/podpětí - nejvyšší/nejnižší hodnota napětí v jedné z fází překročila mezní hodnotu.

Ztráta fáze - zjistí výpadek fáze i při vypnutém motoru, díky tomu nedochází k dočasnému přetížení motoru při startu, než se aktivuje příslušná proudová ochrana.

Nesymetrie napětí – detekce menších napěťových nesymetrií mezi jednotlivými fázemi, způsobených např. uvolněnými vodiči nebo špatným kontaktem.

Celkové harmonické zkreslení - měří harmonické zkreslení napájecí sítě. V důsledku harmonického zkreslení napájecí sítě může docházet k závažným poruchám, které nemusí být ihned patrné. Kabele se mohou přehřívat s následným trvalým poškozením izolace. Motory se mohou přehřát nebo se mohou stát hlučnými a oscilace rotoru, může vést k mechanické rezonanci a škodlivým vibracím.

Ochrana proti přetížení/odlehčení - Pokud je příkon motoru příliš vysoký/nízký zareaguje tato ochranná funkce.

Účinník - Hlídá celkový fázový posuv mezi napájecím napětím a proudem.

Pokles napětí - napětí poklesne na takovou hodnotu, kdy v důsledku ochrany dojde k odpojení zátěže. [6]

1.3 Řídící funkce motoru

UMC100 podporuje čtyři možnosti přijímání řídicích signálů.

- 1) Digitální vstupy:** Motor může být řízen z externího ovládacího panelu s tlačítky připojenými na digitální vstupy. Výhodné zejména pro místní ovládání.
- 2) DCS/PLC:** Příkazy jsou přenášeny na UMC přes průmyslovou sběrnici. UMC využívá profil PNO motorového spouštěče, který definuje význam jednotlivých bitů v cyklických telegramech.
- 3) LCD panel:** Umožňuje ovládání pomocí tlačítek na UMC100 – PAN, obvykle umístěného na dveřích rozváděče nebo čelní straně modulu v případě modulárních rozváděčů.
- 4) Servisní nástroj:** Umožňuje zaslat na sběrnici řídicí příkazy, prostřednictvím acyklických komunikačních služeb. Tento komunikační kanál používá například konfigurační nástroj PBDTM. DTM je nástroj pro konfiguraci, diagnostiku, a zobrazení měřených veličin různých zařízení.[6]

1.3.1 Použití digitálních vstupů

Digitální vstupy jsou označeny DI0-DI5. Mohou být použity pro připojení stavových a řídicích signálů. Reakce UMC na tyto signály mohou být přizpůsobeny v širokém rozsahu, který má pokrývat typické potřeby (např. různé typy rozběhů motorů).

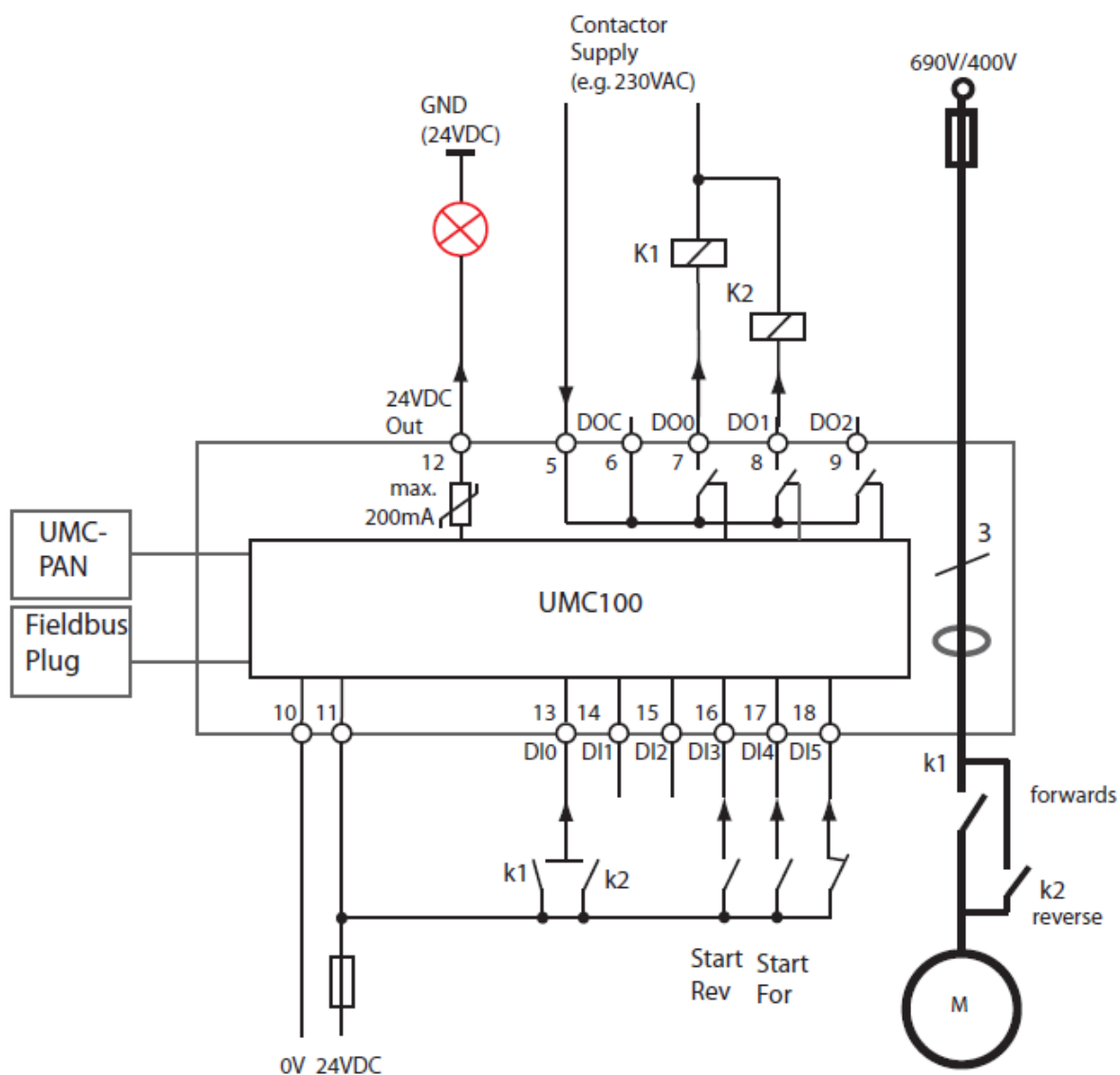
Digitální vstupy DI0, DI1 a DI2 jsou tzv. multifunkční, jejich funkci lze přizpůsobit flexibilně dle požadavků aplikace. Tyto vstupy poté pracují zcela nezávisle - tedy pro každý vstup je možné nakonfigurovat individuální nastavení. Funkce jako "zkušební poloha", "zastavení motoru" apod. procházejí interním obvodem OR, takže UMC nerozlišuje, ze kterého vstupu signál přišel. Je-li vstup konfigurován jako vstup poruchy je jeho chování odlišné. Pro každý vstup a jeho chybový signál lze zadat text, který se zobrazí na LCD panelu v případě poruchy.

Vstupy DI3 až DI5 jsou využívány pro lokální řízení motoru a jsou přesně přednastaveny podle zvolené aplikace. Např. pro zvolenou aplikaci REV je na DI5 připojeno tlačítko STOP, DI4 spustí motor v jednom směru a DI3 v opačném směru.[6]

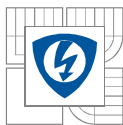
1.3.2 Řídící funkce Reversing Starter (REV)

Je určena pro aplikace, které vyžadují běh motoru v obou směrech otáčení. Na Obr. 7 je uvedeno zapojení této funkce.

- Reléový výstup DO0 je použit pro spuštění motoru v jednom směru.
- Reléový výstup DO1 spouští motoru v opačném směru.
- Vstup DI0 lze použít pro zpětnou vazbu sepnutí stykačů.
- Vstupy DI3/DI4 jsou použity ke spuštění motoru a DI5 k zastavení motoru.
- Svorka 24 V DC Out může být použita pro signalizaci poruchy.[6]



Obr. 7 Příklad zapojení funkce Reversing Starter[6]



1.4 Dílčí závěr

Elektronické motorové spouštěče, nebo také „inteligentní motorové ochrany“, v sobě kombinují ochranu motoru a systém řízení, který je vybaven komunikačními funkcemi. Díky tomu je možné zjišťovat provozní údaje připojeného motoru a získaná data odesílat dispečerovi, který tak má stále přehled o stavu motoru/procesu. V případě neočekávaných provozních stavů (např. nadměrné zatížení motoru) je dispečer informován prostřednictvím varovných signálů. Může se tedy včas a cíleně připravit na výpadek motoru, ještě předtím než by došlo k vybavení dané ochrany a zastavení celého procesu. Inteligentní ochrany, pokud jsou vybaveny čítači a dostatečně velkou vnitřní pamětí, jsou dále schopny zaznamenávat počty rozběhů a vypnutí motoru, počty vybavení jednotlivých typů ochran apod. Podle těchto dat je možné sestavit harmonogram pravidelných servisních kontrol, a předcházet tak zbytečným odstávkám způsobených poruchou nebo nedostatečnou údržbou. K dalším přednostem těchto zařízení patří jejich modularita. Je možné k nim připojit několik dalších modulů (I/O, napěťové moduly, proudové transformátory a další), což značně rozšiřuje oblast jejich využití. Nezanedbatelnou výhodou oproti klasickému řešení (např. pojistky, tepelné relé, stykač, termistorové relé a další) je i úspora místa v rozvaděči, snížení nákladů na použitých vodičích a úspora na náhradních dílech. Není nutné držet skladem x zařízení, ale „pouze jedno UMC“, které se v případě jeho poruchy vymění za nové.

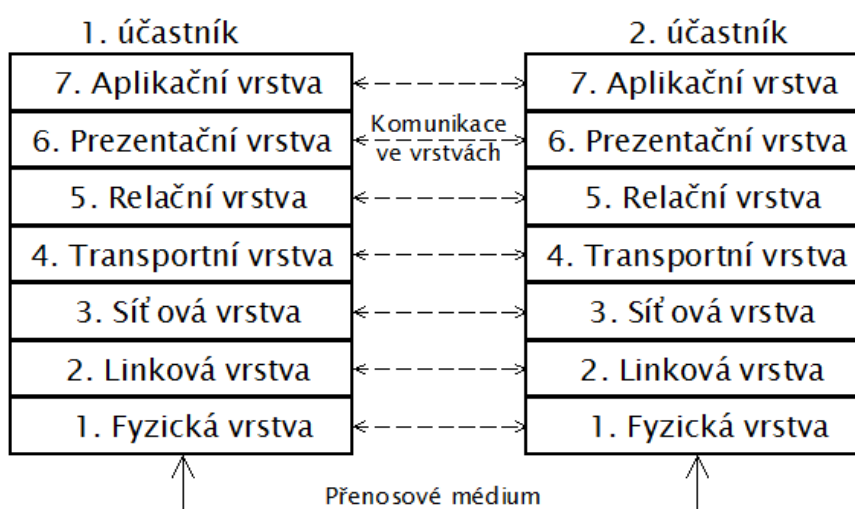
2 PRŮMYSLOVÁ KOMUNIKACE

Důležitá a čím dál větší role v současné průmyslové automatizaci patří komunikaci mezi jednotlivými prvky a operátorským stanovištěm. V posledních letech vzrůstá obliba decentralizovaného řízení a díky zavedeným průmyslovým sběrníkovým systémům a stále většímu pronikání Ethernetu do průmyslových sítí bude tento trend i nadále růst.[10]

V této kapitole budou stručně probrány některé průmyslové sběrnice a protokoly. Základem pro většinu průmyslových komunikačních protokolů je model ISO/OSI.

2.1 Referenční model ISO/OSI

Model ISO/OSI se komplexně zabývá problematikou digitální komunikace. Je to model otevřených komunikujících systémů, který byl definován již v roce 1974 mezinárodní standardizační organizací ISO jako norma ISO 7498. Tento model definuje podmínky, za kterých mohou různí účastníci přenosu vzájemně komunikovat. Na Obr. 8 je zobrazena struktura modelu. ISO/OSI model je složen ze 7 vrstev. Reálný přenos dat probíhá pouze ve fyzické vrstvě, která obsahuje rozhraní mezi účastníkem přenosu a přenosovým médiem. Zároveň však mohou stejné vrstvy komunikovat mezi sebou pomocí tzv. virtuálního spoje. Spodní vrstvy modelu 1.-4. jsou vrstvy orientované na vlastní komunikační síť, vyšší vrstvy jsou orientovány na její použití.[1]



Obr. 8 ISO/OSI model[1]

Fyzická vrstva slouží pro nezabezpečený přenos dat ve formě modulovaného a kódovaného toku bitů, který fyzicky prochází přenosovým médiem.

Linková vrstva je určena k zabezpečení přenosu bitů, seskupených do bloků a umožňuje účastníkovi přenosu přístup ke společnému přenosovému médiu.

Síť ová vrstva zaručuje adresování zpráv mezi účastníky a segmenty sítě.

Transportní vrstva tvoří rozhraní mezi spodními a vrchními vrstvami referenčního modelu a specifikuje způsob adresování a formát adres.

Relační vrstva navazuje, vyjednává, udržuje a ukončuje spojení mezi komunikujícími účastníky a k dohledu nad ním.

V prezentační vrstvě se uskutečňuje konverze syntaxe zpráv. Jedná se tedy o překladatelskou vrstvu mezi jednotlivými interpretacemi informace přicházející z aplikační vrstvy.

Aplikační vrstva poskytuje služby jednotlivým účastníkům přenosu k tomu, aby mohli předávat zprávy, a je také rozhraním mezi procesy přenosu a vlastního použití dat.[1]

Data nesoucí vlastní informační obsah zprávy jsou v jednotlivých vrstvách modelu doplňována zabezpečovacími, kontrolními a dalšími bity, se kterými dohromady tvoří jednotlivé rámce přenášených zpráv. V průmyslových sítích, kde jsou přenášeny zprávy jednoduché, a pro přenos každého rámce je mezi účastníky navázáno nové spojení, bývají vrstvy 3.-6. vynechány. Jejich služby poté poskytuje aplikační vrstva a model se zjednoduší na tři vrstvy, fyzickou, linkovou a aplikační. Každá z výše uvedených vrstev referenčního modelu má vlastní komunikační pravidla a poskytuje uvedené služby nejbližší vyšší vrstvě. Zároveň je každá vrstva schopna požadovat uvedené služby od nejbližší nižší vrstvy.[2]

2.2 Profibus

Průmyslová sběrnice Profibus (Process Field Bus) byla vyvinuta v 90. letech v Německu. Cílem tohoto projektu bylo vytvořit architekturu komunikačního systému, který by na jedné straně respektoval potřebu připojit na sběrnici malá zařízení a současně vytvořil otevřené rozhraní pro komunikaci různých automatizačních prvků (programovatelné automaty, operátorské panely, snímače, akční členy atd.).[3]

Profibus využívá pouze fyzickou, linkovou a aplikační vrstvu referenčního modelu ISO/OSI. K fyzickému propojení účastníků přenosu se využívá stíněná kroucená dvojlinka s rozhraním RS 485 (max. délka 1200m, až 32 stanic) nebo optické vlákno a Profibus PA používá proudovou smyčku. Linková vrstva definuje přístup účastníka přenosu k přenosovému médium a zabezpečuje tvorbu zprávy na úrovni bitového řetězce. Aplikační vrstva poskytuje služby nezbytné pro realizaci komunikace. V současné době existují tři varianty Profibus: Profibus DP, Profibus FMS a Profibus PA.[1]

Nejrozšířenější variantou je díky své jednoduchosti **Profibus DP**, který je určený pro rychlou komunikaci (až 12 Mbit/s) typu Master-Slave. Profibus DP se dále dělí na DP-V0, DP-V1 a DP-V2.

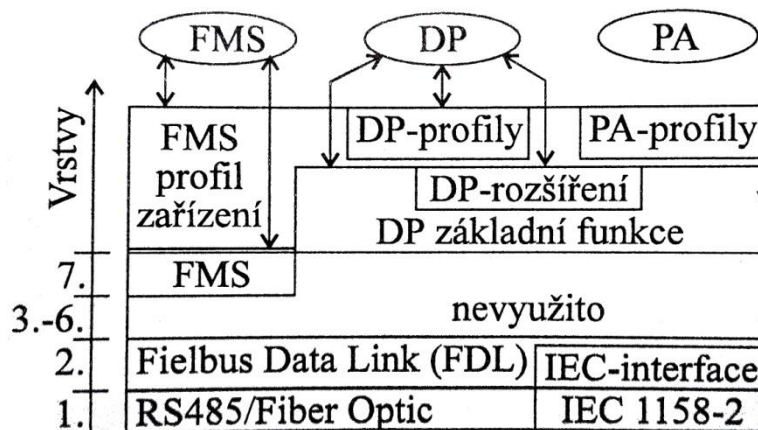
DP-V0 - cyklická výměna dat a diagnostika. Cyklická komunikace znamená, že přenos dat probíhá po celou dobu s určitou obnovovací frekvencí. Obvykle používá pro rychlé aktualizace I/O procesních dat.

DP-V1 - acyklická a cyklická výměny dat. Acyklická komunikace znamená jednorázový přenos dat, používá se hlavně pro čtení/zápis parametrů z/do řídicích procesů, nástrojů založených na PC řízení nebo monitorovacích systémů.

DP-V2 – umožňuje určitou úroveň synchronizace času a rychlou komunikaci slave-to-slave.[11]

Profibus FMS je určen pro komunikaci v heterogenním prostředí. Nabízí množství služeb pro práci s programy, daty a alarmy. Při využití stejného přenosového média je rychlost přenosu v porovnání s Profibus DP o něco pomalejší.

Varianta **Profibus PA** se využívá pro komunikaci se snímači, ventily a dalšími akčními prvky. Vyhovuje jiskrové bezpečnosti a je proto využíván zejména v prostředích s nebezpečím výbuchu.

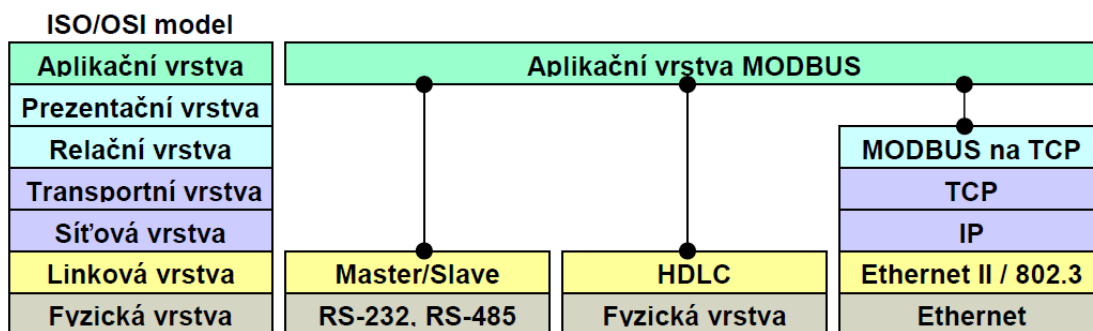


Obr. 9 Model protokolů Profibus[1]

Na Obr. 9 je znázorněna architektura protokolů Profibus. Jsou zde patrné jednotlivé vrstvy popsané v kapitole 2.1. Nad aplikační vrstvou (7. vrstva) je tzv. komunikační rozhraní ALI, kterým jednotlivá komunikující zařízení přistupují k této vrstvě.[1]

2.3 MODBUS

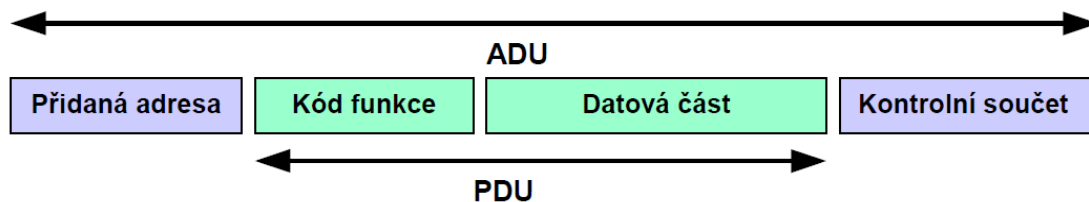
Jedná se o otevřený protokol určený pro komunikaci různých zařízení (PLC, I/O moduly, dotykové displeje a dalších), který byl vytvořen firmou MODICON v roce 1979. Pracuje na úrovni aplikační vrstvy referenčního modelu ISO/OSI. Umožňuje komunikaci typu master/slave (klient/server) na různých typech sítí a sběrnic. V současné době je podporována celá řada komunikačních médií (sériové linky typu RS-232, RS-422 a RS-485, optické a rádiové sítě nebo síť Ethernet s využitím protokolu TCP/IP). Komunikace probíhá metodou požadavek-odpověď a požadovaná funkce je specifikována pomocí kódu funkce, který je součástí požadavku.[4]



Obr. 10 Struktura a rozsah současné verze protokolu MODBUS[4]

Protokol MODBUS definuje strukturu zprávy na úrovni protokolu PDU (Protocol Data Unit) a je tedy nezávislý na komunikaci spodních vrstev modelu. V závislosti na typu sítě, na které je

protokol použit, je PDU rozšířena o další části a tvoří tak zprávu na aplikační úrovni ADU (Application Data Unit). PDU je tedy pro všechny typy sítí stejný, ADU se může při použití různých sítí lišit.[4]



Obr. 11 Základní tvar zprávy v protokolu MODBUS[4]

Na Obr. 11 je zobrazen základní tvar přenášené zprávy v protokolu Modbus. Kód funkce udává jakou operaci má server (zařízení definované jako slave) provést. Rozsah kódů je 1-255, kde kódy 128-255 jsou vyhrazeny pro oznámení chyby. Některé kódy funkcí obsahují i kód podfunkce upřesňující blíže požadovanou operaci. Obsah datové části slouží serveru k uskutečnění operace určené kódem funkce. Může se jednat například o adresu a počet vstupů, které má server přečíst nebo hodnotu registrů, kterou má server zapsat. V některých případech nemusí být pro provedení požadované operace potřeba další data, v tom případě je datová část ve zprávě vynechána.[4]

Pokud při provádění požadované operace nedojde k chybě, odpoví server klientovi zprávou, která obsahuje kód provedené (požadované) funkce jako indikaci úspěšného vykonání požadavku. Jsou-li požadována nějaká data, jsou předána v datové části. Jestliže během vykonávání operace dojde k chybě, odešle server, v poli Kód funkce, kód dané funkce s nastaveným nejvyšším bitem indikujícím neúspěch. V Datové části odešle chybový kód, který upřesňuje důvod chyby.[4]

Výhodou protokolu Modbus je jeho jednoduchost, což umožňuje jeho využití na různých sítích a sběrnících. Tím se stává velmi perspektivní i do budoucna, protože i přes vývoj nových sítí lze stále využívat Modbus na úrovni aplikační vrstvy a pouze vytvářet nová přizpůsobení k přenosu na dané síti. Parametry, jako rychlost komunikace apod., jsou pak závislé na vyživané síti. Možnou nevýhodou tohoto protokolu může být fakt, že se od doby svého vytvoření příliš nezměnil. Spornou vlastností může být jeho plná otevřenost. Někdy může být výhodná, někdy naopak protože nejsou nastavena striktní pravidla, například jako u protokolu Profibus.

2.4 Sběrnice CAN

Tuto sběrnici vytvořila německá firma Robert Bosch GmbH. Hlavním záměrem bylo zjednodušení kabeláže v automobilovém průmyslu. Dobré vlastnosti jako vysoká rychlost přenosu, spolehlivost, nízká cena komunikačních obvodů a odolnost proti extrémním podmínkám zajistili její rychlé rozšíření i do ostatních odvětví průmyslu. Prostředkem pro přenos je sběrnice tvořená dvou vodičovým vedením (vodiče jsou označeny CAN_H a CAN_L) a zakončovacími rezistory o velikosti 120 Ω. K této sběrnici se připojují jednotlivé komunikační uzly, jejichž počet může být až 110 (podle typu budičů CAN).[5]

Každý komunikační uzel může, za určitých podmínek, využívat sběrnici pro odesílání svých zpráv. Zpráva vysílaná po sběrnici neobsahuje adresu příjemce, neboť je přijímána všemi

ostatními uzly, ale musí vždy obsahovat číslo vysílajícího uzlu. Identifikátor definuje obsah vysílané zprávy a prioritu přístupu na sběrnici. V případě kolize je tedy možné nastavit priority přenášení zpráv po sběrnici od jednotlivých uzlů. Pomocí identifikátorů je možné zajistit, aby daná stanice přijímala pouze signály s ní související.[5]

Sběrnici se přenáší dva logické stavy, aktivní (dominant) a pasivní (recessive). Dominantní stav představuje logickou 0, recesivní stav logickou 1. Sběrnice je v aktivním stavu, pokud je alespoň jeden její uzel v aktivním stavu. V pasivním stavu je sběrnice tehdy, když jsou všechny její uzly v pasivním stavu. V pasivním stavu je rozdíl napětí mezi vodiči CAN_H a CAN_L nulový (napětí na obou vodičích jsou stejná), aktivní stav je reprezentován nenulovým rozdílem napětí. V tomto stavu je na vodiči CAN_H napětí v rozsahu 3,5-5 V, na vodiči CAN_L 0-1,5 V. Maximální rychlost přenosu dat po sběrnici CAN je 1Mbit/s při délce sběrnice do 40m. S rostoucí délkou přenosová rychlost klesá, při délce sběrnice nad 3 km rychlost přenosu klesá na hodnotu okolo 20 kbit/s. Komunikační síť CAN může pracovat buď v režimu master-slave nebo v režimu multi-master (více nadřazených uzlů).[5]

Komunikační protokol CAN definuje formát přenášených zpráv na aplikační úrovni. Zprávy jsou přenášené v rámcích. Existují dvě specifikace rámců, CAN 2.0A a CAN 2.0B. Liší se v délce identifikátoru. Identifikátor základního formátu CAN 2.0A má délku 11bitů. Identifikátor rozšířeného formátu CAN 2.0B má délku 29bitů. V obecné definici CAN jsou určeny čtyři typy rámců:

- datový rámec (DATA FRAME)
- žádost o rámec (REMOTE FRAME)
- chybový rámec (ERROR FRAME)
- rámec přeplnění (OVERLOAD FRAME)

Datový rámec zabezpečuje přenos informací z vysílajícího uzlu do všech ostatních uzlů na sběrnici. Skládá se z několika dalších částí.

Žádost o rámec neobsahuje datové pole a bit RTR (Remote transmission request) je recesivní, jinak má podobný formát jako datový rámec. Uzel, tímto způsobem žádá jiný uzel na síti o vysílání datového rámce se shodným identifikátorem (stejným jako je v žádosti).

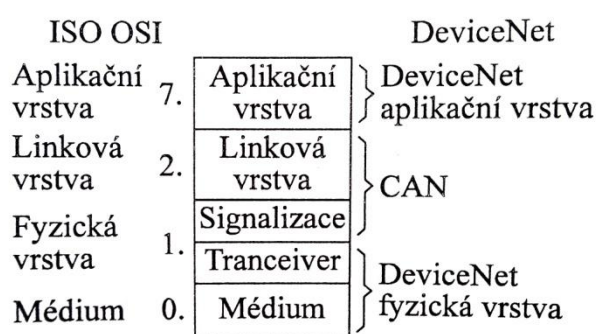
Chybový rámec je složen z polí ERROR FLAG a ERROR DELIMITER. Uzel, který detekuje chybu v řetězci přijímaných bitů, začne vysílat 6 dominantních bitů, tím poruší strukturu rámce a ostatní uzly začnou taktéž vysílat 6 dominantních bitů. Celková délka ERROR FLAG tedy může být 6-12 bitů. Za těmito bity následuje pole ERROR DELIMITER s 8 recesivními bity.

Rámec přeplnění vyšle uzel v tom případě, pokud potřebuje určitý čas na zpracování předchozí zprávy. Tento rámec má obdobnou strukturu, jako chybový rámec.[5]

Hlavními výhodami sběrnice CAN je relativně vysoká rychlost přenosu dat (až 1Mbit/s), možnost rozlišení zpráv a selekce přijímaných zpráv pomocí identifikátoru, prioritní přístup zpráv, vysoká provozní spolehlivost a nízká cena. Největší nevýhodou je omezený počet dat (0-8 byte) přenášených v rámci jedné zprávy a prvotní náročnost nastavení registrů. V současné době je využíván v mnoha průmyslových odvětvích např. v lékařské technice, automobilovém průmyslu, námořních systémech, ve veřejné dopravě, automatizaci i ve stavebnictví.[5]

2.5 DeviceNet

DeviceNet byl původně vyvinut americkou společností Allen-Bradley (nyní ve vlastnictví společnosti Rockwell Automation). Využívá CAN jako páteřní síť a definuje samostatnou aplikační vrstvu. S cílem podpořit používání DeviceNet po celém světě byla zřízena nezávislá organizace ODVA (sídlí v Severní Americe), která udržuje specifikace DeviceNet a dohlíží na jeho pokrok. Protokol DeviceNet podporuje až 64 účastníků v síti, připojení/odpojení bez přerušení funkce, přenosová rychlost až 500 kbit/s, fragmentaci dlouhých bloků dat, detekci duplicitních adres, společný rozvod datových signálů i napájení a další. Na obr. 12 je zobrazen komunikační model protokolu DeviceNet (definuje aplikační i fyzickou vrstvu) a sběrnice CAN (definuje pouze fyzickou a linkovou vrstvu) ve srovnání s modelem ISO/OSI.[1], [12]



Obr. 12 Model protokolu DeviceNet[1]

Další vlastností DeviceNet je, že se jedná o objektový model přenosu (zařízení je popsáno množinou objektů, z nichž každý reprezentuje některou jeho část). Adresace účastníků komunikujících protokolem DeviceNet má čtyři složky: vlastní adresu zařízení (MAC ID), identifikátor třídy, číslo instance a číslo atributu příp. služby. Objektový model zařízení v síti DeviceNet je na Obr. 13. Povinné objekty každého zařízení jsou: Identity Object, DeviceNet Object, Connection Object, Message router. Typické zařízení obsahuje následující objekty:

Identity Object-obsahuje údaje o výrobci, typ zařízení, sériové číslo apod.

Message router-slouží k předávání zpráv mezi jednotlivými objekty, existuje vždy jedna instance.

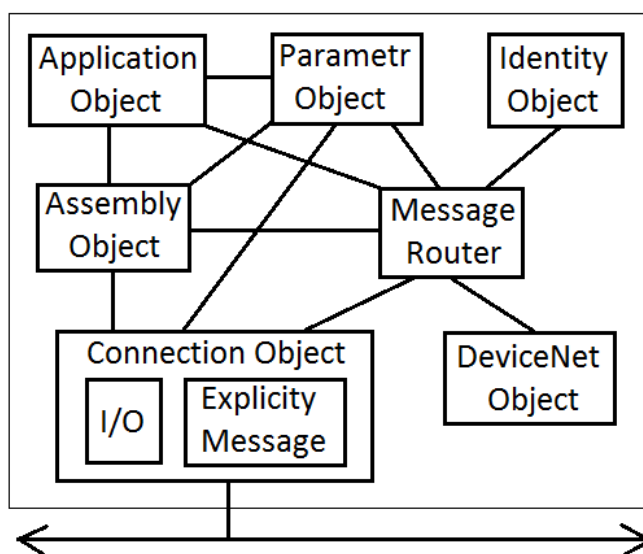
DeviceNet Object-vždy jedna instance, obsahuje údaje o přenosové rychlosti, adresu zařízení (MAC ID).

Connection Object-dvě instance, reprezentuje jeden koncový bod virtuálního komunikačního kanálu mezi dvěma účastníky.

Parametr Object-obsahují ho zařízení s konfigurovatelnými parametry, pro každý parametr existuje jedna instance, která popisuje jeho nastavení.

Application Object-má na starosti konkrétní aplikační činnost daného zařízení.

Assembly Object-spojuje atributy jednoho nebo více objektů aplikační vrstvy do jednoho atributu, který je přenášén po síti v rámci jednoho komunikačního objektu.[1]



Obr. 13 Objektový model zařízení v síti DeviceNet[1]

DeviceNet se i přes snahu rozšířit do celého světa využívá především v Americe. Nejvíce jej využívají firmy vyrábějící snímače a akční členy.

2.6 Ethernet

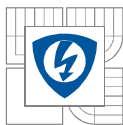
Ethernet je sériová sběrnice vyvinutá firmou Xerox na konci 70. Let. Vychází ze specifikace IEEE 802.3, která určuje specifikaci fyzické vrstvy a doplňuje ji o specifikaci linkové vrstvy. Technologie je založena na jednoduchém principu CSMA/CD. CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) je protokol pro přístup k přenosovému médium v počítačových sítích. Tento princip je postačující v případě běžných informačních technologií, kde na pravidelnosti přenosu informace příliš nezáleží. Řídící aplikace v průmyslové automatizaci však mají vysoké nároky na determinismus (vyžadují přesně definovanou odezvu systému). V Ethernetu se řeší tento problém rozdělením celé sítě na několik logických segmentů. Vysílané zprávy se poté omezí pouze na daný segment, ve kterém jsou využívány. Omezí se tak vznikající kolize, které plynou z podstaty náhodného přístupu k médium.[1]

Výhodami Ethernetu proti sítím primárně navrženým pro využití v průmyslu je:

- Kompatibilita s dalšími lokálními sítěmi (LAN) - Internetem a Intranetem.
- Vyšší přenosové rychlosti.
- Při použití přepínaného Ethernetu, zdvojnásobení rychlosti.
- Jednoduché a levné připojení do stávající infrastruktury.
- Vývojový pracovníci a IT oddělení mají s TCP/IP většinou velké zkušenosti.

Jako nevýhody v porovnání s průmyslovými sítěmi je možné uvést:

- Nedeterministický přístup k médium (využívá se metoda CSMA/CD). Je-li při přístupu na sběrnici detekována chyba, zařízení čeká náhodně dlouhou dobu, než se pokusí o opětovné připojení.
- Nepříznivá délka datového pole průmyslové komunikaci
- Často je nutné použít aktivní prvky (switchy, routery, apod.), které navyšují cenu projektu.[1]



2.6.1 Komunikační protokoly Ethernetu

V normě IEEE 802.3 jsou definovány pouze dvě nejnižší vrstvy ISO/OSI modelu (fyzická a linková). Tyto však nezaručují doručení zprávy adresátovy. Proto bylo nutné pro praktické využití definovat další vrstvy. Nerozšířenější je protokol TCP/IP.

IP (Internet Protocol) tvoří síťovou vrstvu ISO/OSI modelu, zajišťuje přenos dat mezi jednotlivými sítěmi.

TCP (Transmission Control Protocol) tvoří transparentní vrstvu ISO/OSI modelu, stará se o doručení zpráv.

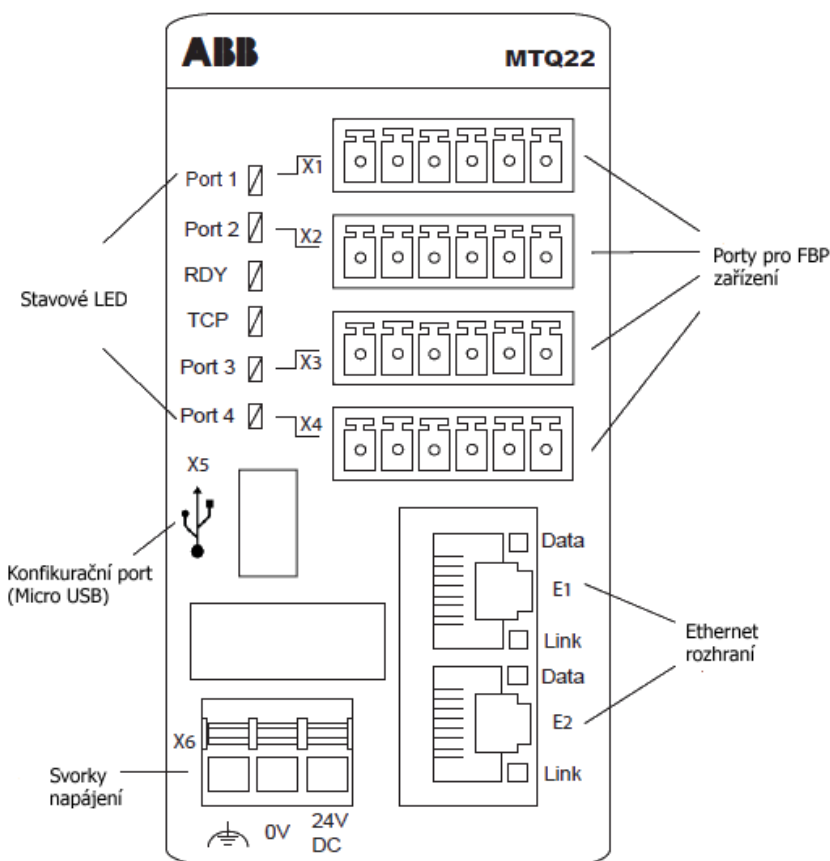
Dohromady tyto čtyři vrstvy (fyzická, linková, transportní a síťová) zjišťují bezpečný přenos dat mezi jednotlivými zařízeními připojenými v síti. V současné době existuje několik průmyslových standardů využívajících TCP/IP (např. Modbus TCP nebo PROFINET).[1]

3 NÁVRH KOMUNIKACE S UMC100-FBP

Na základě výše uvedených informací, využití Ethernetu v průmyslu, snadné implementaci do laboratorního vybavení a možnostem software LabVIEW, je ke komunikaci mezi jednotkou UMC a počítačem s obslužným programem využít protokol MODBUS TCP. Fyzické spojení PC s přípravkem je realizováno Ethernetovým kabelem zakončeným konektorem RJ45. UMC není z praktických důvodů primárně vybaveno tímto konektorem (zejména kvůli častému využívání v modulárních rozvaděcích), je proto nutné využít adaptéru MTQ22-FBP.

3.1 Adaptér MTQ22-FBP

MTQ22-FBP (dále jen MTQ) je síťový Ethernet adaptér, který podporuje MODBUS TCP protokol. Slouží k připojení až čtyř FBP zařízení, jako je např. univerzální řídicí jednotka motoru UMC100/UMC22, nebo PST softstartér, do průmyslové sítě Ethernet. MTQ je kompatibilní s ethernetovými standardy IEEE 802.3 a IEEE 802.3u.[7]



Obr. 14 Popis MTQ22-FBP[7]

Hlavní vlastnosti:

- Připojení až čtyř zařízení FBP (UMC100 nebo PST) do sítě Ethernet.
- Prostřednictvím MTQ je možné posílat připojeným zařízením řídicí signály (Start, Stop, Auto, atd.), zjistit informace o stavu přístroje, resetovat ochrany a další.
- Dva porty RJ45, umožňují flexibilní zapojení do sítí různých topologií (kruh, hvězda, atd.)
- Přístup přes MODBUS TCP může být omezen na předem definovanou sadu IP adres.

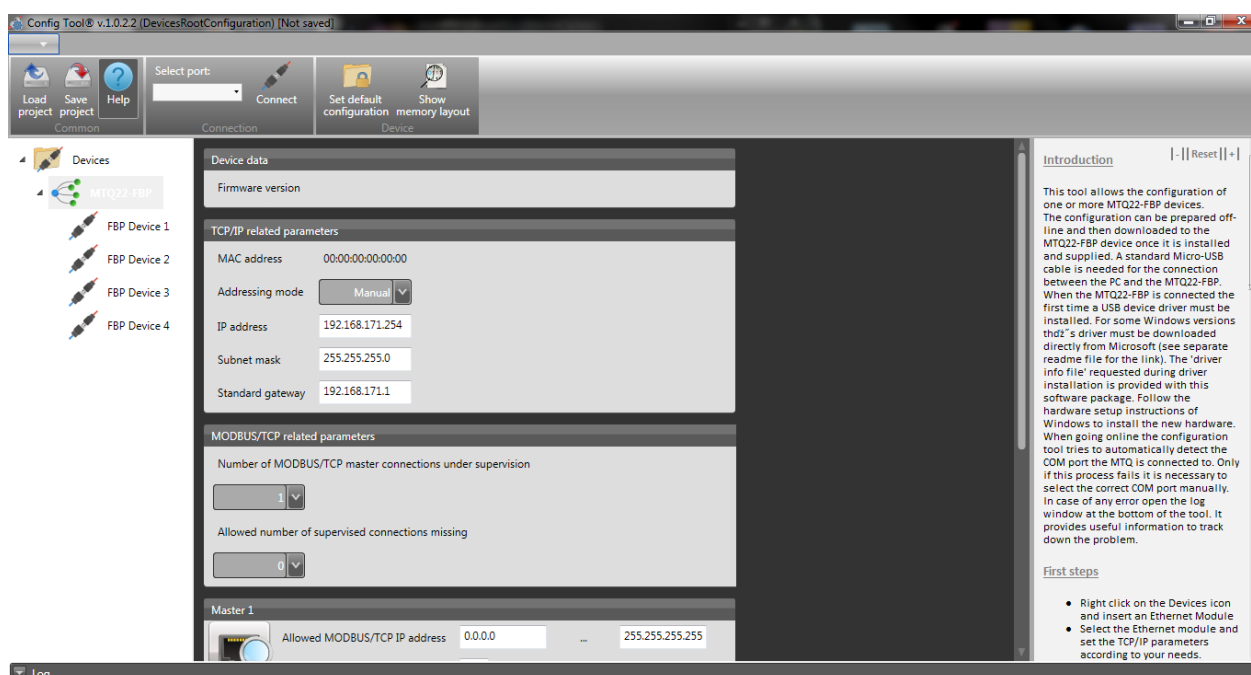
- Implementovaný protokol Media Redundancy Protocol (MRP). MRP je standardizován v normě IEC / EN 62439-2 a nabízí kabelovou redundanci v případě selhání jednoho zařízení.
- Adresová mapa MODBUS nabízí flexibilní přístup k datům, aby co nejlépe vyhovoval potřebám MODBUS TCP klienta (např. PLC).
- Lokální dohled pro detekci vyměňovaných modulů při použití ve výsuvných rozváděčích.[7]

3.2 Konfigurace MTQ22-FBP

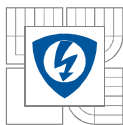
Před prvním použitím je nutné MTQ nastavit. Ke konfiguraci a nastavení adaptéru se používá jednoduchý nástroj ABB Config Tool. Propojení servisního počítače s modulem MTQ je řešeno pomocí standardního Micro USB kabelu. Po spojení MTQ s počítačem a spuštění aplikace ABB Config Tool je nutné provést následující kroky:

1. Výběr zařízení – v levé části obrazovky klikneme pravým tlačítkem na ikonu **Devices**, dále **Add device – New Device – MTQ22-FBT**. Tímto je přidáno jedno zařízení MTQ, objeví se obrazovka jako na Obr. 15.

2. Obrazovka je rozdělena do tří oblastí. V levé části je možné vybrat a nastavit počet konfigurovaných zařízení. Ve střední části jsou zobrazeny jednotlivé konfigurační parametry, které lze měnit online nebo offline. Vpravo je text krátké nápovědy.



Obr. 15 Prostředí ABB Config Tool



3. Nastavíme hodnoty uvedené v tabulce 1.

Tab. 1 Parametry nastavené v ABB Config Tool

Název parametru	Nastavená hodnota
Adresace	Manual
IP adresa	192.168.17.172
Maska podsítě	255.255.0.0
Standardní brána	192.168.17.1
Počet master zařízení pod dohledem	1
Počet povolených chybných spojení	0
Povolená IP adresa pro master zařízení 1-4	0.0.0.0-255.255.255.255
Časový limit pro odezvu master zařízení	5 s
Zařízení připojené na vstup 1	UMC100
Adresa zařízení pro zařízení 1	1

4. Nastavené hodnoty je nutné nahrát do zařízení. V horní části okna nejdříve vybereme port (**Select port**), na kterém je MTQ připojeno např.: COM5. Propojíme počítač a MTQ tlačítkem **Connect**. Objeví se ikony **Read from MTQ22-FBP** a **Write to MTQ22-FBP**. My chceme data nahrát do zařízení. Zvolíme tedy **Write to MTQ22-FBP**. Tímto jsou námi nastavené hodnoty uloženy do MTQ. Nastavení adaptéru si můžeme uložit do počítače tlačítkem **Save project** v levém horním rohu.

5. MTQ je nyní nastaveno a připraveno k použití. ABB Config Tool můžeme zavřít.

6. Schéma zapojení napájení jednotlivých prvků v přípravku a blokové schéma zapojení komunikace je uvedeno v Příloze C.

3.3 Adresy dat

Pokud je využíván protokol Modbus TCP, komunikace neprobíhá přímo s UMC, ale přes prostředníka MTQ. V Příloze A, jsou uvedeny tabulky adres jednotlivých dat, která je možné číst/zapisovat, z/do zařízení připojených k MTQ. V našem případě jsou to data z UMC.

4 TVORBA OBSLUŽNÉHO PROGRAMU V LABVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench = „laboratorní pracoviště virtuálních přístrojů“) je moderní vývojové prostředí vyvinuté americkou firmou National Instruments. V LabVIEW se programuje pomocí tzv. G-jazyka. Jedná se o grafický programovací jazyk. Příkazy jsou reprezentovány jednotlivými bloky, u kterých se nastavují jejich parametry. Nejedná se tedy o klasické psaní kódu pomocí klávesnice jak je tomu např. u programovacího jazyka C, JAVA, HTML a dalších. Praktické využití LabVIEW v podstatě nemá omezení. Lze jej s výhodou použít pro různá měření a analýzy signálů, řízení a vizualizaci technologických procesů, nebo také programování složitých systémů jako jsou výrobní linky nebo roboti.[8]

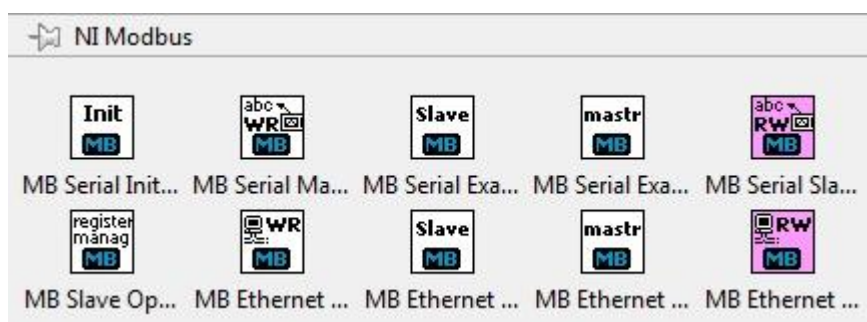
4.1 Komunikace LabVIEW s MTQ22-FBP

Pro navázání komunikace s externím zařízením třetích stran lze v prostředí LabVIEW využít 2 možnosti:

1. NI Modbus Library. Jedná se o zdarma dostupnou knihovnu, která obsahuje sadu funkčních bloků pro komunikaci přes Modbus. Pomocí této knihovny, je možné komunikovat s programovatelnými řídicími automaty nebo komunikovat skrz brány, které je možné připojit k široké škále průmyslových sítí, jako je PROFIBUS, EthernetIP a DeviceNet.[8]

Některé vlastnosti této knihovny jsou:

- Pracuje se standardními sériovými a ethernetovými porty.
- Usnadňuje Modbus TCP / IP a sériovou komunikaci.
- Je v souladu s Modbus Conformance Class 2.
- Je kompatibilní s NI LabVIEW Real-Time Module.
- Funguje jako master a slave.[8]



Obr. 16 Funkční bloky obsažené v NI Modbus Library

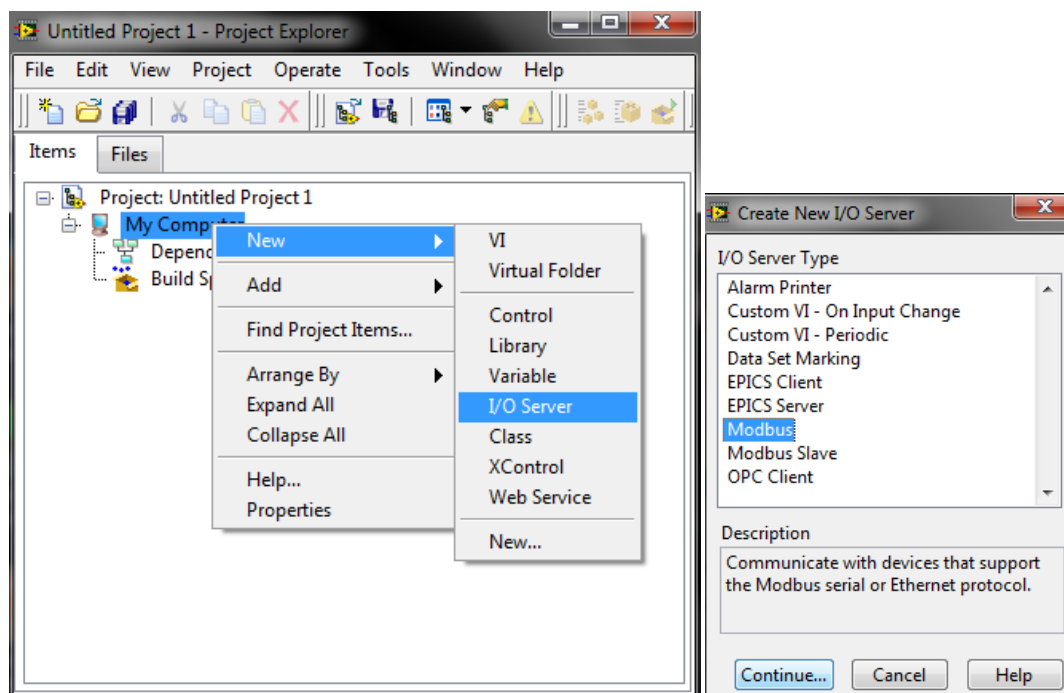
2. I/O Server. Ten umožňuje komunikaci se zařízeními a aplikacemi, které nepoužívají National Instruments protokol, NI Publish-Subscribe Protokol (NI-PSP), ale využívají sdílené proměnné. I/O Server se nachází v přídatném modulu LabVIEW Dataloging and Supervisory Control (DSC). Tento modul obsahuje nástroje pro komunikaci zejména s programovatelnými logickými automaty (PLC), programovatelnými automatizačními kontroléry (PAC), ale i dalšími přístroji využívanými v automatizační technice. DSC Module rozšiřuje grafické vývojové prostředí LabVIEW o další funkce pro rozvoj distribuovaného měření, řízení a sledování vysoko-kanálových aplikací. DSC modul také zlepšuje LabVIEW vázané proměnné. Vázaná proměnná může představovat hodnotu nebo I/O bod.[8]

Některými funkcemi DSC modulu jsou:

- OPC-UA server/klient, klasický OPC klient a Modbus pro sdílení dat se zařízeními třetích stran.
- Vestavěné síťové databáze pro distribuované ukládání dat.
- Grafický vývoj HMI a distribuované monitorování a ovládání aplikace.
- Konfigurace na bázi real-time a historických trendů, alarmů a zpracování událostí.
- Neomezené tagy pro připojení k NI hardwaru, PLC, a hardware třetí strany.[8]

Ke komunikaci mezi LabVIEW a MTQ byl zvolen způsob č.2, tedy využití I/O Server z modulu DSC. Na následujících stránkách je stručně popsán postup tvorby vázaných proměnných, které jsou využívány pro získávání a zapisování dat z/do externího zařízení:

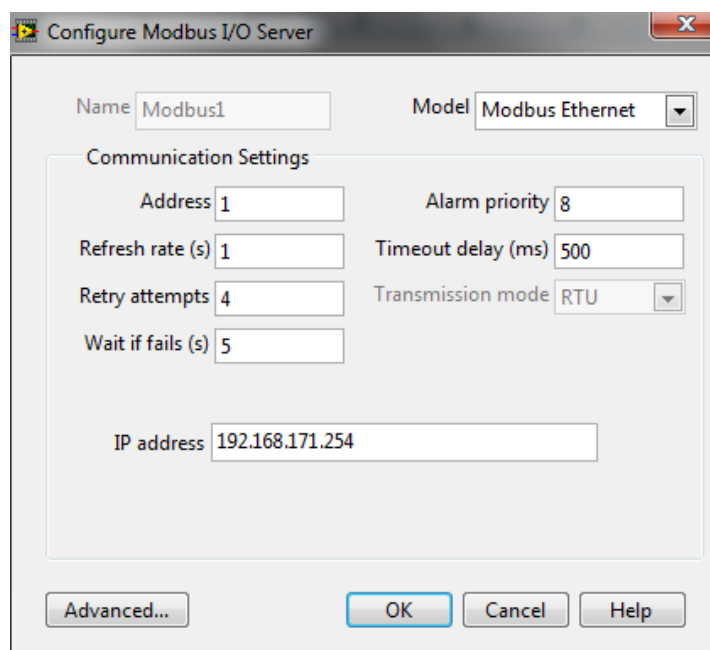
1. V LabVIEW vytvoříme nový prázdný projekt, klikneme pravým tlačítkem myši na **My Computer – New - I/O Server** (Obr. 17). Objeví se okno **Create New I/O Server**, kde vybereme typ I/O serveru, v našem případě **Modbus** a klikneme na **Continue**.



Obr. 17 Vytvoření I/O serveru

2. Následně se otevře okno **Configure Modbus I/O Server**, kde vybereme **Model: Modbus Ethernet** a nastavíme parametry I/O serveru, především IP adresu našeho zařízení ke kterému

se chceme připojit (adresa která je nastavena v MTQ22). Lze nastavit i další parametry, není to však nutností. Nastavené hodnoty potvrdíme tlačítkem **OK** (Obr. 18).



Obr. 18 Konfigurace Modbus I/O serveru

3. Pro přístup k datům a registrům připojeného zařízení se využívají tzv. vázané proměnné. Než se začnou vytvářet, je nutné znát adresy dat, se kterými chceme pracovat (Příloha A) a také jejich implementaci do I/O Serveru v LabVIEW. Implementace do LabVIEW je uvedena v následující tabulce.

Tab. 2 Tabulka datových hodnot podporovaných I/O Serverem[8]

Hodnota	Datový typ	Modbus		Popis
		Čtení	Zápis	
000001–065535	Logická hodnota	ANO	ANO	Přístup k jednobitovému registru.
100001–165535	Logická hodnota	ANO	NE	Přístup k jednobitovému diskretnímu vstupu.
300001.1–365535.16	Logická hodnota	ANO	NE	Přístup k jednotlivým bitům vstupních registrů, interpretují se jako logické hodnoty TRUE nebo FALSE. Nejméně významný bit je 1. Nejvýznamnější bit je 16.
300001–365535	16-ti bitové celé číslo bez znaménka	ANO	NE	Přístup do 16-bitových vstupních registrů. Čteny jako celá čísla bez znaménka v rozsahu od 0 do 65535.
400001.1–465535.16	Logická hodnota	ANO	NE	Přístup k jednotlivým bitům holding registrů, interpretují se jako logické hodnoty TRUE nebo FALSE. Nejméně významný bit je 1. Nejvýznamnější bit je 16.
400001–465535	16-ti bitové celé číslo bez znaménka	ANO	ANO	Přístup do 16-bitových holding registrů. Čteny jako celá čísla bez znaménka v rozsahu od 0 do 65535.

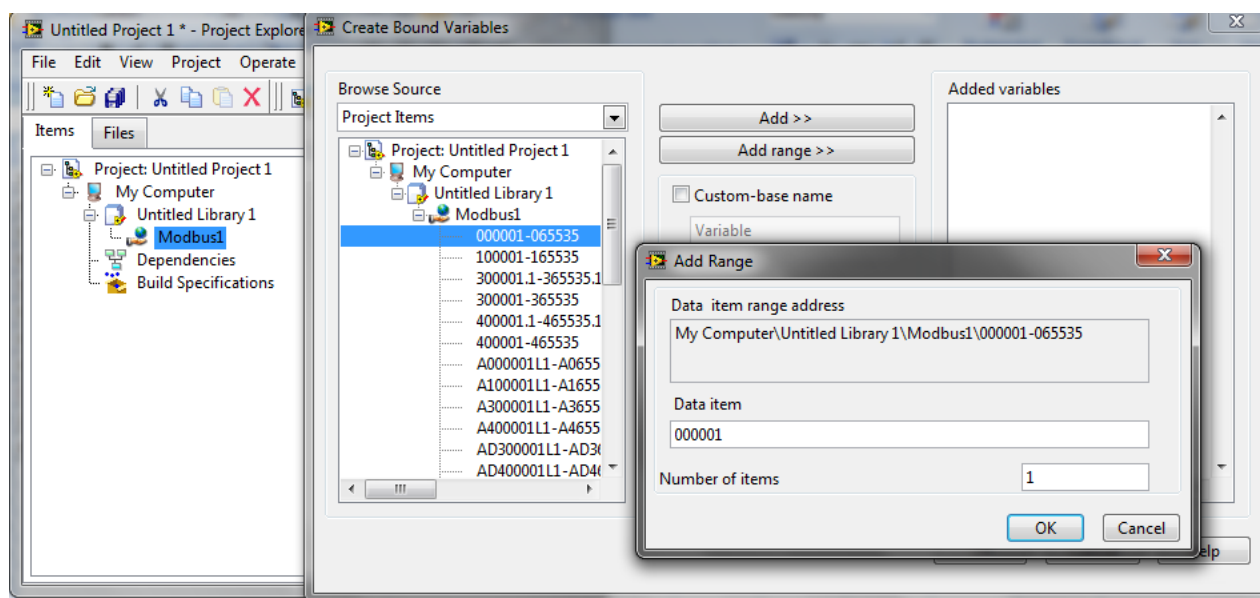
Pozn.: V tabulce nejsou uvedeny všechny možnosti I/O Serveru, ale pro přehlednost pouze ty, které jsou využívány v tomto projektu.

V tabulce 3. je uveden příklad použití dat, která je možné číst/zapisovat skrz MTQ do UMC, v I/O Serveru.

Tab. 3 Příklad použití adres dat z MTQ22 v I/O Serveru

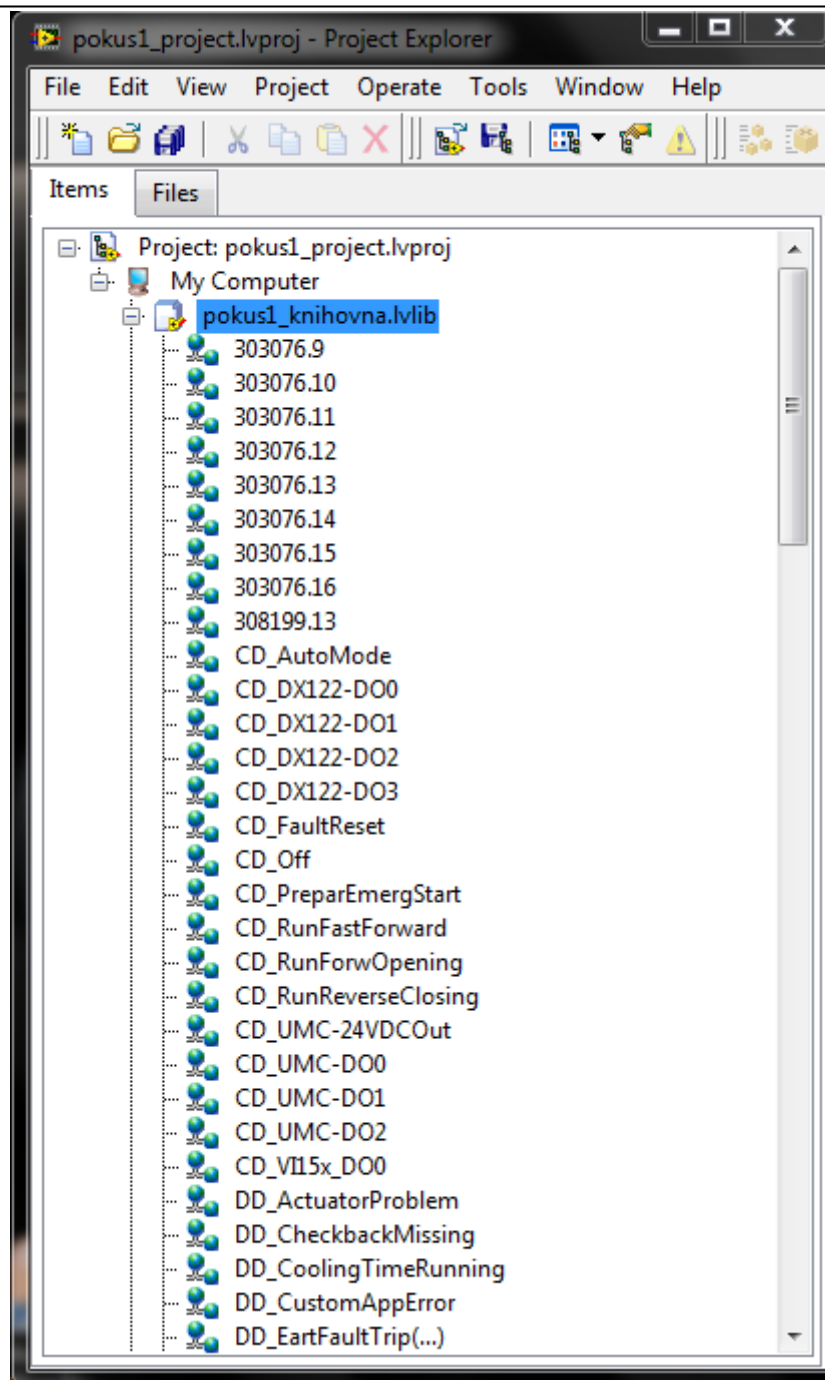
Monitorovací Data		
Adresa MTQ22	Popis	Hodnota vázané proměnné (Data item)
4097	Dozadu/Zavřeno	104097
8193	Proud motoru [%]	408193
8198	DX122-DIO	408198.1
Ovládací Data		
Adresa MTQ22	Popis	Hodnota vázané proměnné (Data item)
6145	Dozadu/Zavřít	006145
Diagnostická Data		
Adresa MTQ22	Popis	Hodnota vázané proměnné (Data item)
3073	Tepelné přetížení - vybaveno	403073.1

4. Vytvoření vázaných proměnných. Pravým tlačítkem klikneme na právě vytvořený I/O server **Modbus1** a vybereme **Create Bound Variables...** Rozbalením stromu v **Browse Source** se dostaneme až na **Modbus1**, kde vybereme požadovanou hodnotu a klikneme na **Add range>>**. Zadáme hodnotu vázané proměnné (**Data item**), se kterou chceme pracovat. Příklad je zobrazen na Obr. 19. Potvrdíme tlačítkem **OK**. V okně **Multiple Variable Editor**, zvolíme **Done**. Takto definujeme všechny hodnoty, se kterými chceme pracovat.



Obr. 19 Vytvoření vázané proměnné

V okně **Project Explorer** nyní máme vytvořenou knihovnu obsahující námi vytvořené proměnné s adresami jednotlivých dat. Proměnné můžeme libovolně přejmenovat a dále s nimi pracovat. Ukázka vytvořené knihovny je na obr. 20.

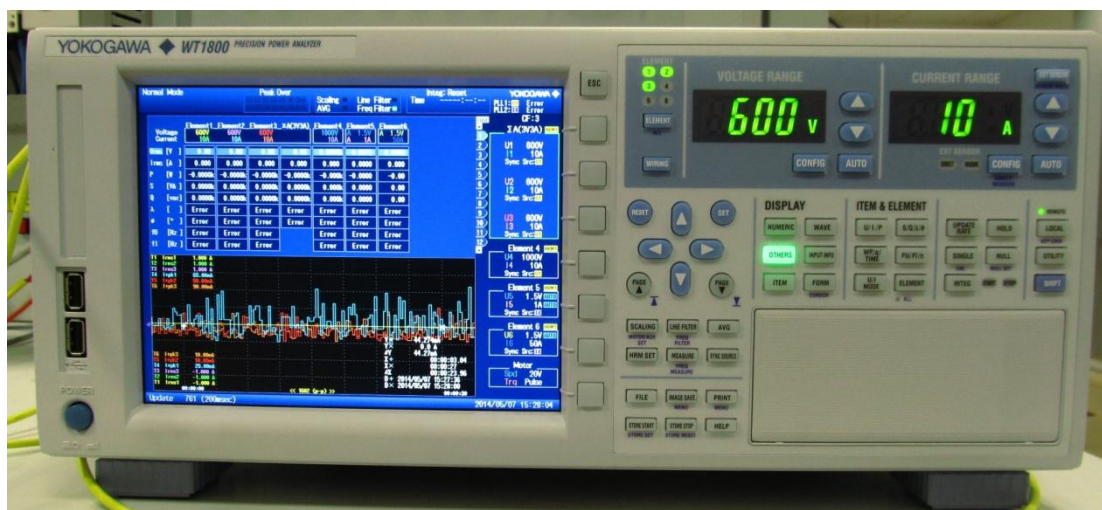


Obr. 20 Knihovna vázaných proměnných

Obdobným způsobem získáme přístup k dalším datům z připojeného zařízení. Vytvořené proměnné nyní můžeme využít k sestavení ovládacího programu.

5 OVĚŘENÍ PŘESNOSTI UMC100-FBP

Pro ověření pravdivosti údajů zobrazovaných na LCD panelu UMC a v obslužném programu, bylo provedeno jednoduché ověřovací měření. Přesnost měření UMC byla ověřena power analyzátelem YOKOGAWA WT1800 (dále jen analyzátor). Tento přístroj slouží k měření účinnosti a testování různých zařízení např.: měření konstrukce měničů, měření motorových pohonů, osvětlovacích systémů, zdrojů, transformátorů a dalších zařízení sloužících k přeměně elektrické energie.[9]



Obr. 21 Analyzátor YOKOGAWA WT1800

V následujících tabulkách jsou uvedeny parametry použitých přístrojů, které jsou podstatné pro vyhodnocení měření.

Tab. 4 Vybrané parametry analyzátoru YOKOGAWA

Typ	WT1800
Sériové číslo	91N511405
Rozsah napětí	1,5 - 1000 V
Rozsah proud (přímý vstup)	10 mA - 5 A nebo 1 - 50 A
Frekvence	DC; 0,1 Hz - 1 MHz
Základní přesnost měření napětí	± 0,1 %
Základní přesnost měření proudu	± 0,1 %
Základní přesnost měření výkonu	± 0,1 %

Pozn.: Podrobné technické parametry jsou uvedeny v manuálu přístroje na přiloženém CD

Tab. 5 Parametry asynchronního dynamometru VUES Brno

Typ	ASD 10K-2
Sériové číslo	128768
Výkon	10kW/1.27Hz
Otáčky	7500min ⁻¹
Napětí/proud	360V/20.1A

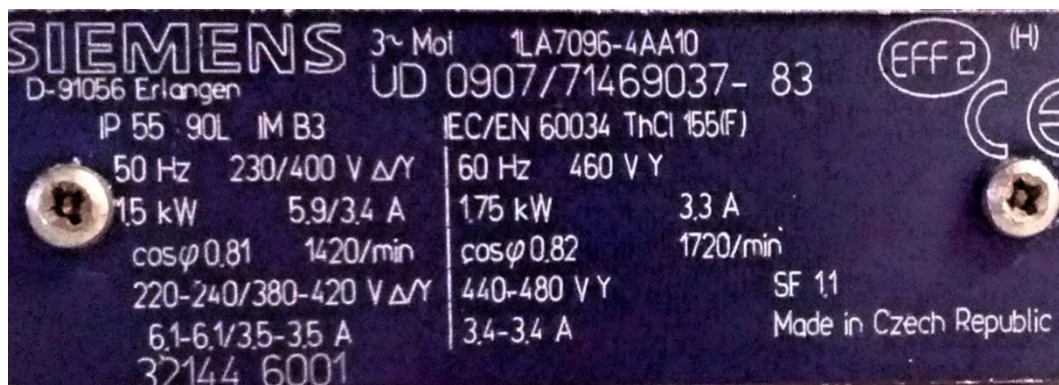
Tab. 6 Vybrané parametry UMC100-FBP a modulu VI150-FBP

UMC100	
Napětí	max. 1000 V AC
Rozsah proudu pro ochranu proti přetížení	0,24 - 63 A (externí proudový transformátor až 850A)
Frekvence	45 - 65 Hz
Otvory v proudových transformátorech	Max. průměr 11 mm vč. izolace kabelu
Přesnost měření proudu (rozsah 50 - 200 % I_e s $I_e > 0,5$ A)	3 % (externí proudový transformátor 4 %)
Tolerance vypínací doby (včetně celkového rozsahu proudu, teplota 0 až 60 ° C, frekvence 45 až 65 Hz)	$\pm 10\%$ (externí proudový transformátor $\pm 14\%$)
Tolerance fázového nerovnováhy	$\pm 10\%$
VI150	
Jmenovité sdružené napětí	150 - 690 V AC
Přesnost měření napětí ve jmenovitém rozsahu	$\pm 2\%$
Přesnost měření účinníku (v rozsahu 0,4 - 0,95)	$\pm 3,5\%$ pro $I_e > 0,75$ A
Příkon [kW]	$\pm 5\%$

Pozn.: Podrobné technické parametry jsou uvedeny v manuálu přístroje na příloženém CD

5.1 Popis měření

Kontrolní měření bylo provedeno na asynchronním motoru SIEMENS 1LA7096-4AA10.



Obr. 22 Štítek použitého motoru

Měřením byly ověřeny všechny veličiny, které je UMC ve spojení s modulem VI150 schopno zobrazit:

- Napětí jednotlivých fází [V]
- Střední hodnota proudu [A]
- Příkon motoru [kW]
- Účinník [-]

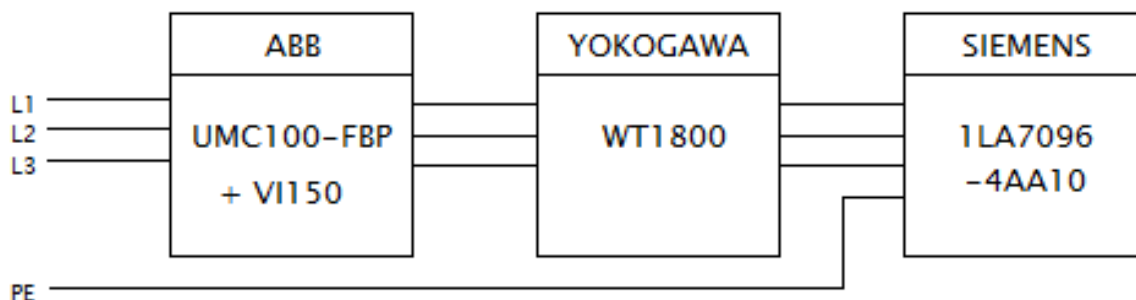
Celkem proběhly čtyři měření.

Měření č. 1: Motor se točil vpřed (vlevo), analyzátor byl připojen za UMC.

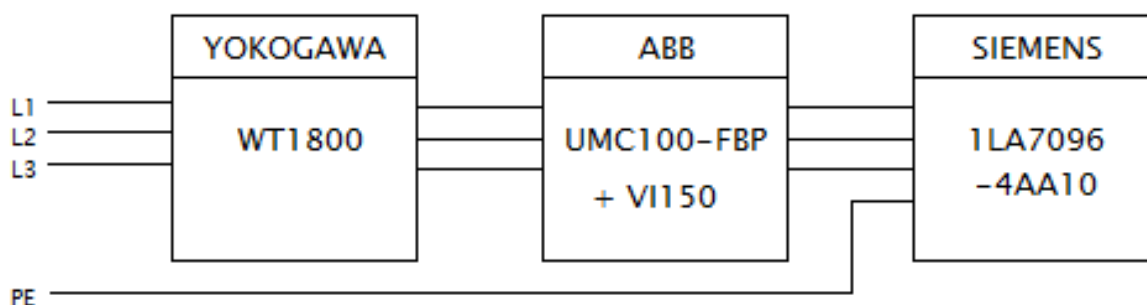
Měření č. 2: Motor se točil vzad (vpravo), analyzátor byl připojen za UMC.

Měření č. 3: Motor se točil vpřed (vlevo), analyzátor byl připojen před UMC.

Měření č. 4: Motor se točil vzad (vpravo), analyzátor byl připojen před UMC.



Obr. 23 Blokové schéma zapojení pro měření č. 1 a č. 2



Obr. 24 Blokové schéma zapojení pro měření č. 3 a č. 4

Při každém měření byl motor nejdříve zatížen momentem 10 Nm . Tato hodnota byla stanovena z údajů na štítku jako přibližná hodnota jmenovitého momentu použitého motoru. Moment byl následně snižován s krokem 1 Nm . K zatěžování motoru byl použit asynchronní dynamometr VUES Brno ASD 10K-2. Pro každý krok byly zapsány výše uvedené hodnoty, tabulky naměřených a vypočtených hodnot jsou uvedeny v Příloze B.

Příklad výpočtu střední hodnoty proudu (1. řádek, Tab. 10) :

$$I_{stř} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} = \frac{3,664 + 3,649 + 3,568}{3} = 3,63 \text{ A}$$

Příklad výpočtu relativní chyby (1. řádek, Tab. 10):

$$\delta_{U1} = \frac{X_M - X_P}{X_M} * 100 = \frac{395 - 392,6}{395} * 100 = 0,6 \%$$

kde X_M hodnota indikovaná přístrojem (hodnota zjištěná UMC)

X_P konvenčně pravá hodnota (hodnota zjištěná analyzátozem WT1800)

Výpočet relativní chyby ostatních měřených veličin je obdobný.

5.2 Dílčí závěr

Měřením byla ověřena relativní chyba UMC100-FBP s přídatným modulem VI150-FBP. Přesné měření bylo provedeno analyzátozem WT1800, který je řádově přesnější než UMC viz. tabulky vybraných parametrů obou přístrojů. Z naměřených hodnot byly vypočítány relativní chyby pro jednotlivá měření. Tyto hodnoty byly následně, pro větší přehlednost, vyneseny do grafů, kde je rudou čarou naznačena maximální relativní chyba udávaná výrobcem. Tabulky naměřených a vypočtených hodnot i výsledné grafy jsou uvedeny v Příloze B.

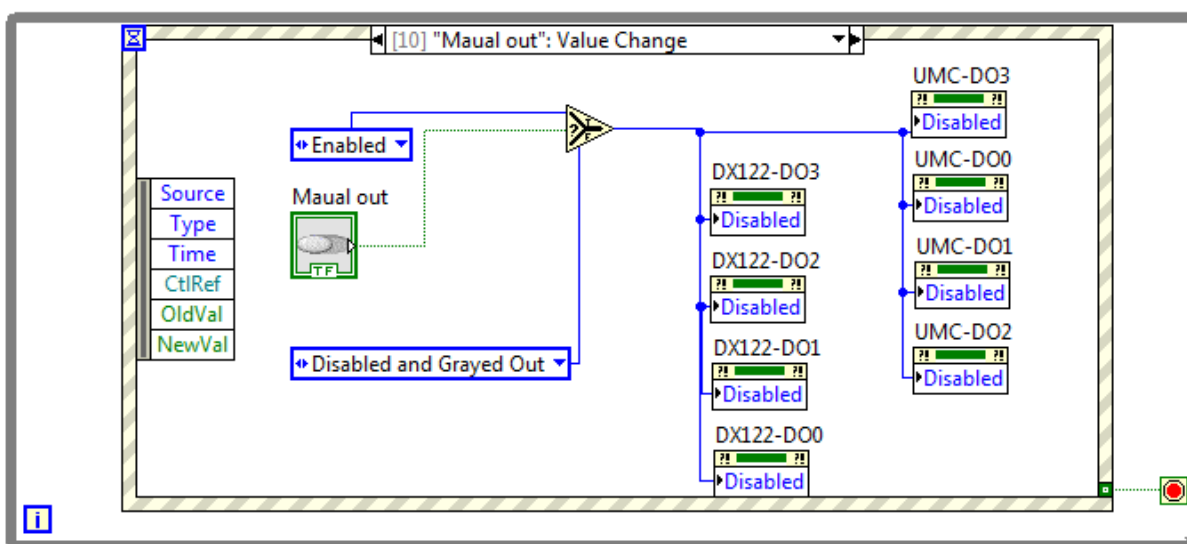
Všechny relativní chyby zjištěné při měření napětí a proudnou se nacházejí s bezpečnou rezervou v rozmezí udávaném výrobcem. Pouze při měření č.4 se relativní chyba, při měření proudu pro zatěžovací moment $3-4Nm$, vychýlila z obvyklých hodnot. Vzhledem k průběhu chyby při ostatních měření se předpokládá, že tato výchylka byla pravděpodobně způsobena nepřesným odečítáním hodnot z UMC.

Při měření účinníku a příkonu jsou patrné velké výchylky z naznačených mezí. Chyba měření příkonu je závislá především na chybě měření účinníku. Příkon je totiž vypočítáván z hodnot proudu, napětí a účinníku. Výrobce deklaruje přesnost měření účinníku pouze pro $\cos\varphi = 0,4 - 0,95$. V našem případě to znamená, že hodnoty účinníku pro zatížení menší než $4Nm$ nelze do celkového vyhodnocení zahrnout. Pro tyto hodnoty je právě účinník menší jak 0,4 (pro úplnost jsou ale i tyto hodnoty uvedeny v tabulkách i v grafech). Pro všechny hodnoty je chyba účinníku (tedy i příkonu) výrazně ovlivněna odečítáním hodnot z UMC. Zatímco přesné hodnoty z analyzátoru byly zapisovány pro všechny veličiny ve stejný okamžik, hodnoty z UMC nebylo možné zapsat v jeden okamžik a byli tedy zapisovány postupně. Proud, napětí i účinník se navíc v každém okamžiku měnili (např. hodnota příkonu vypočítaná z těchto hodnot se na UMC při jednotlivých měřeních pohybovala v rozmezí přibližně $\pm 50 W$ od skutečné hodnoty), nebylo tedy možné s dostupnými prostředky zapsat přesné hodnoty. Pokud by byly všechny hodnoty z UMC odečítány v jeden okamžik, tak jak tomu bylo na analyzátoru, předpokládá se, že by relativní chyba měření účinníku i příkonu byla v rozmezí udávaném výrobcem.

Z výsledků měření je možné také konstatovat, že pořadí měřících přístrojů (zda byl analyzátor před nebo za UMC) mělo na měření minimální vliv. Celkově lze tedy říci, s přihlédnutím na průběh a zvolenou metodu měření, že UMC splňuje přesnost měření, tak jak ji uvádí výrobce.

6 POPIS OBSLUŽNÉHO PROGRAMU

Program pro ovládání demonstračního přípravku byl vytvořen ve verzi programu LabVIEW 2013 v13.0f2 (32-bit) s přídatným modulem Datalogging and Supervisory Control (DSC). Hlavní částí programu je smyčka While Loop, která provádí kód uvnitř smyčky, dokud není přerušena nějakou podmínkou, přičemž se vždy provede minimálně jednou. Jsou zde umístěny jednotlivé proměnné, které slouží ke čtení dat z externího zařízení. Pro zmenšení množství přenášených dat v jednom okamžiku, je paralelně s hlavní smyčkou, vytvořena ještě jedna smyčka While Loop, v níž je umístěna Event Structure. Zde jsou jednotlivě umístěny proměnné, sloužící k zápisu dat do zařízení. Data v této struktuře nejsou čtena v každém okamžiku, tak jako data v hlavní smyčce, ale čeká se, až nastane daná událost a až poté se provede příslušný krok (v našem případě zápis dat). Tedy např. program čeká na stisk tlačítka a až poté, když je tlačítko stlačeno, odešle změnu stavu do externího zařízení. Pokud by toto tlačítko bylo umístěno v hlavní smyčce, program by neustále zjišťoval hodnotu tlačítka a odesílal by ji do zařízení i pokud by nedošlo ke změně stavu, což by zbytečně zatěžovalo komunikační kanál.



Obr. 25 Event Structure ve smyčce Wheel Loop

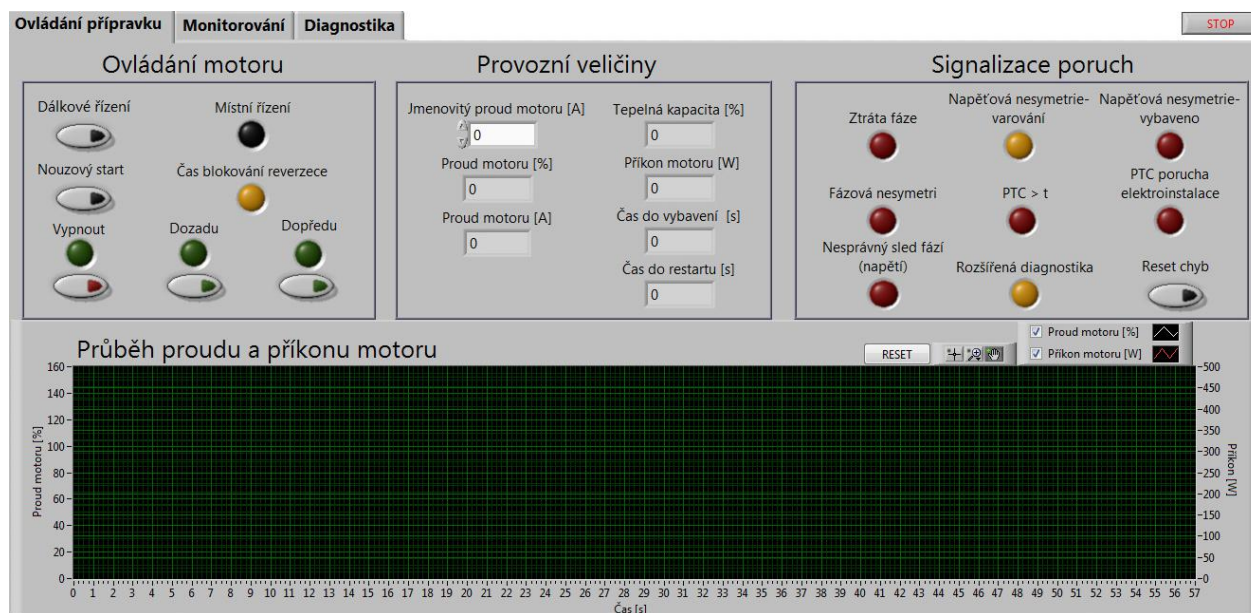
Protože je z UMC čtena pouze procentuální hodnota jmenovitého proudu, pro přehlednost je tato hodnota převedena na přijatelnější jednotky, tedy Ampéry. Pro převod je nutné zadat manuálně jmenovitý proud sledovaného motoru. Ve stejné části programu je také upravena hodnota měřeného příkonu motoru, tak aby byla zobrazována ve Watech. Obě tyto veličiny jsou poté vykreslovány do grafu, kde je možné sledovat jejich průběhy. K tomu byla využita expresní funkce Collector, která načítá předem stanovený počet vzorků a když dosáhne maximální hodnoty, začne přepisovat nejstarší data novými.

Dále je v hlavní smyčce umístěna Case Structure. Ta slouží k zobrazování popisů chyb a doporučení jejich řešení, na základě chybového kódu získaného z UMC. Ten je zjišťován stejně jako ostatní hodnoty, tedy čtením ze zařízení v podobě jednotlivých bitů. Bylo tedy nutné provést převod na dekadické číslo. Na základě tohoto čísla se zobrazí popis poruchy a další informace. Zdrojový kód programu je na Obr. 26.

Obr. 26 Zdrojový kód programu

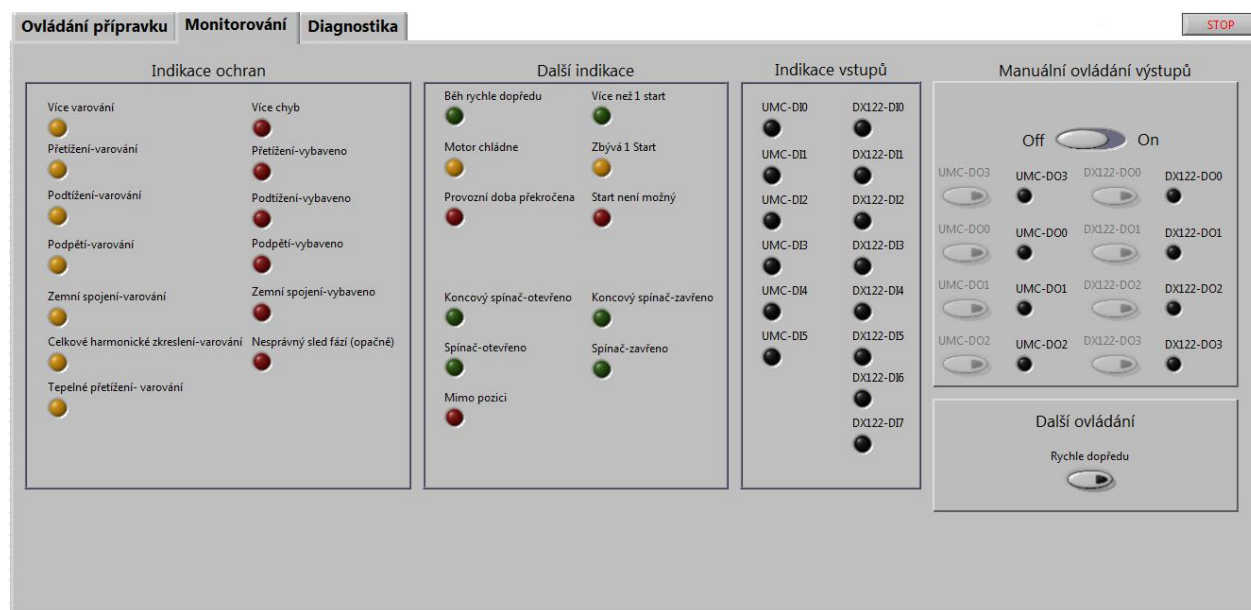
6.1 Návod k programu

Program pro ovládání přípravku spustíte kliknutím na ikonu UMC100 na ploše. Program je rozdělen do tří záložek. Na 1. záložce **Ovládání přípravku** je vše podstatné, co je třeba k ovládání a kontrole demonstračního přípravku. V levé části jsou prvky pro ovládání motoru, ve středu se zobrazují důležité provozní hodnoty, v pravé části jsou indikátory vybraných poruchových stavů, které je možné nasimulovat v laboratoři elektrických přístrojů. Ve spodní části je možné sledovat průběh střední hodnoty proudu a příkonu motoru.



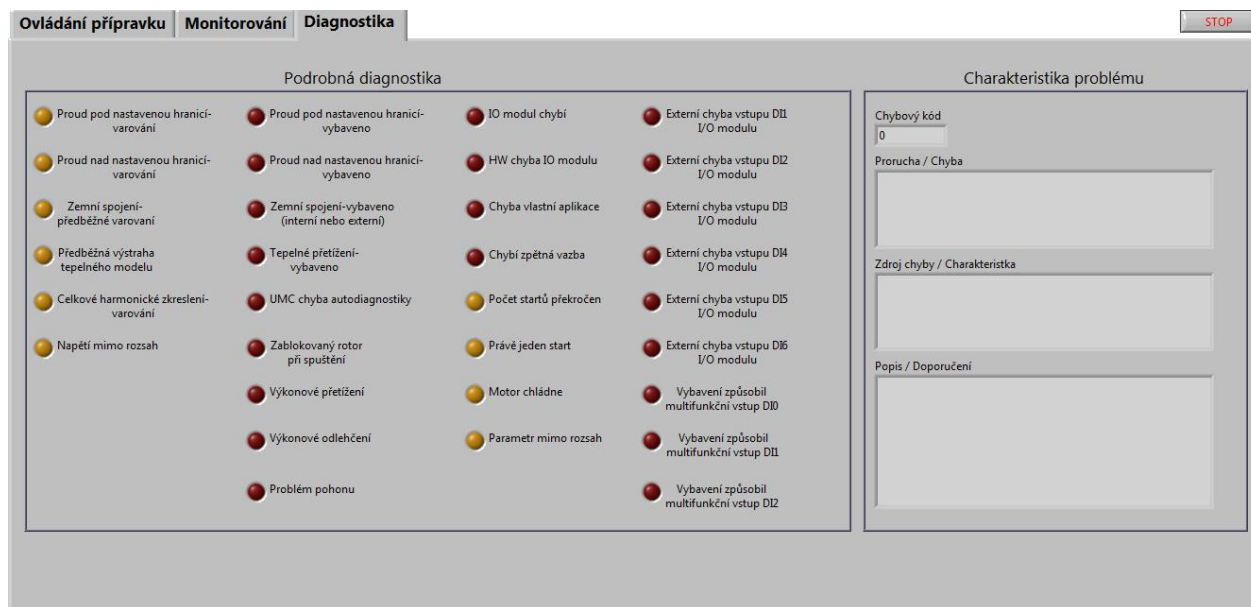
Obr. 27 Záložka Ovládání přípravku

2. Záložka **Monitorování** zobrazuje informace o funkci ochrany a další provozní stavy. V pravé části je možné zapnout Manuální ovládání výstupů. Všechny výstupu je možné ovládat pouze, pokud je v UMC nastavena funkce Transparent, případně pokud je využívána vlastní aplikace.



Obr. 28 Záložka Monitorování

3. záložka **Diagnostika** obsahuje podrobnější diagnostické informace. V levé části jsou opět indikátory různých provozních stavů, v pravé části je prostor pro zobrazení podrobného popisu některých stavů, které mohou v provozu nastat. Popis těchto stavů je zobrazován na základě chybového kódu přečteného z UMC.



Obr. 29 Záložka Diagnostika

Na přípravku je zapojená funkce pro reverzaci motoru, tomu je uzpůsoben i vzhled programu.

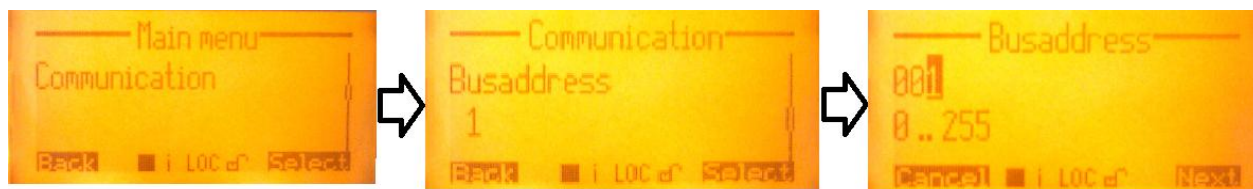
6.1.1 Obsluha programu

Před samotným spuštěním programu je nutné ještě zkontrolovat hodnoty nastavené v UMC.



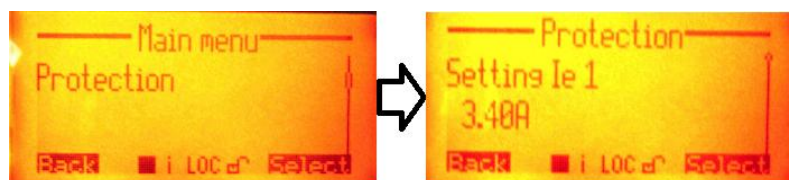
Obr. 30 LCD panel UMC100-PAN

Nejdříve zkontrolujte, zda je v UMC nastaveno: **FBP-address 1** (viz Obr. 30). Pokud tomu tak není, přejděte pravým tlačítkem na panelu do **Menu**. Zde najděte, tlačítky nahoru/dolu, položku **Communication**, zvolte **Select**. Následně **Busaddress**, opět **Select** a zadejte hodnotu **1**. Postup je na Obr. 31.



Obr. 31 Nastavení Busaddress v UMC

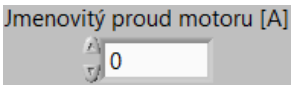
Dále zkontrolujte, zda je v UMC nastaven správným jmenovitý proud motoru. Postup je obdobný. V **Menu** najděte položku **Protection**. Poté **Setting Ie 1**. A stejným způsobem jako jste nastavili Busaddress, nastavte hodnotu jmenovitého proudu sledovaného motoru.



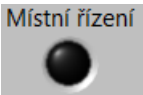
Obr. 32 Nastavení jmenovitého proudu motoru

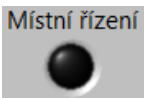
Obdobně můžete zadávat i další hodnoty např.: zvolit třídu vybavení, podrobně nastavit jednotlivé ochrany, čas blokování reverzace a další.

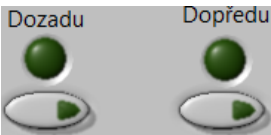
Návod k programu:

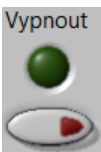
1. Po otevření programu zadejte do políčka  hodnotu jmenovitého proudu připojeného motoru (stejná hodnota, kterou jste zadávali do UMC), potvrďte klávesou Enter.

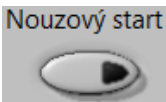
2. Program spustíte kliknutím na šipku  v horní části obrazovky. Nyní je program v chodu a můžete zapnout motor.

3. Motor je možné ovládat tlačítky na přípravku nebo pomocí programu. Svítí-li kontrolka , je umožněno ovládání pouze tlačítky (Vpřed/Vzad) přímo na přípravku. Ovládání motoru pomocí programu je v tomto případě blokováno. Pokud chcete ovládat motor

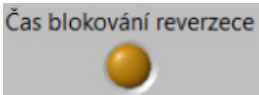
z programu, sepněte tlačítko . Kontrolka  zhasne a je možné motor

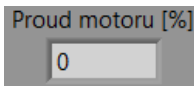
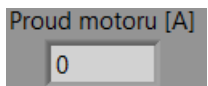
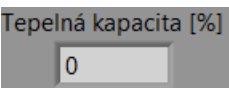
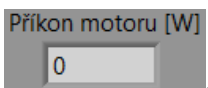
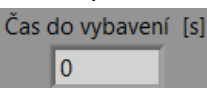
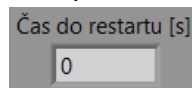
spustit kliknutím na jedno z tlačítek . Zastavení motoru tlačítkem na

přípravku nebo v programu  funguje v obou případech bez ohledu na to, zda je Místní řízení aktivní, či nikoliv. Motor lze tedy libovolně vypínat, buď v programu, nebo na přípravku.

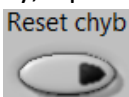
4. Tlačítko  slouží k vyřazení ochran. Pokud zapůsobí některá z ochran a motor se zastaví, tak po stisku tohoto tlačítka je možné motor opět ovládat a odstranit tak kritickou situaci, kdy hrozí například vážné ohrožení majetku nebo osob. Toto tlačítko používejte pouze v případě nutnosti!

5. Po vypnutí běžícího motoru, je spuštěna doba (**Reverse lockout time** nastavená v UMC), po kterou není možné motor spustit v opačném směru (je to ochrana proti okamžité změně

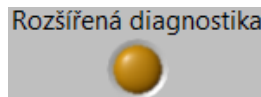
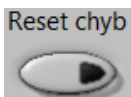
chodu motoru), je signalizována kontrolkou .

6. Při běhu motoru můžete sledovat provozní veličiny: , , , , , . O poruchových stavech jste informováni jednotlivými signálkami. Pokud dojde k indikaci nějaké chyby nebo vybavení některé z ochran, motor se zastaví. Opětovné spuštění motoru je možné až po odstranění všech

problémů. Pokud jste odstranili problémy, způsobující zastavení motoru, je nutné provést

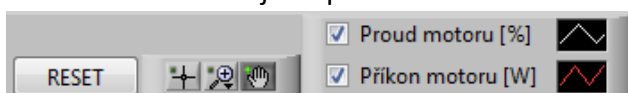


obnovení ochran. To se provádí tlačítkem



7. Vedle tlačítka je signálka, pokud svítí, je k dispozici podrobný popis problému. Přejděte do záložky **Diagnostika**, kde je popsán typ poruchy, možná příčina a doporučené řešení.

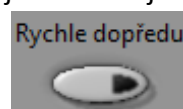
8. Možnosti jak pracovat se zobrazenými průběhy proudu a příkonu motoru.



Tlačítkem RESET je možné obnovit vykreslování průběhů. Kliknutím na lupu, je možné průběhy v grafu různě přibližovat/oddalovat. Dále je možné zaškrtnutím příslušných políček zobrazit/skrýt průběh proudu nebo příkonu.

Doporučení: Pokud budete zkoumat průběhy proudu a příkonu, nastavte si všechny osy před spuštěním programu na AutoScale. Provedete to kliknutím pravého tlačítka myši na jednotlivé osy a volbou **AutoScale X(Y)**. Měřítko osy se automaticky přizpůsobí naměřeným hodnotám. Po zastavení programu si vykreslené průběhy můžete přiblížit a důkladněji prozkoumat.

9. V záložce **Monitorování** jsou zobrazovány varovné signály, vybavení ochran, indikace aktivních vstupů a další provozní stavy, které je UMC schopno rozeznat. Je zde umožněno i manuální ovládání všech výstupů UMC i modulu DX122. Primárně jsou tlačítka neaktivní, aby se zabránilo nechtěnému spuštění některého výstupu. Aktivaci tlačítek provedete posunutím tlačítka **Off On** do polohy **On**. Pro běžné užívání demonstračního přípravku však není potřeba tyto tlačítka používat. Plná funkčnost všech tlačítek je navíc zajištěna pouze při



nastavené funkci **Transparent**, v UMC. V této části je ještě tlačítko. Je využíváno pouze při aplikaci využívající motor s možností přepínání pólů. Toto není náš případ, proto tomuto tlačítku nevěnujte pozornost.

10. Poslední záložka **Diagnostika** obsahuje podrobnější informace o provozním stavu motoru a celém procesu. Je zde možné i zobrazení podrobní diagnostiky (popisu poruchy a možného řešení), platí pouze pro některé stavy.

11. Program zastavíte tlačítkem  v horní části obrazovky, nebo tlačítkem  vpravo nahoře.

7 ZÁVĚR

V první části práce bylo seznámení s univerzálním motorovým kontrolérem UMC100-FBP od firmy ABB s.r.o. a podobnými zařízeními obecně. Nastudovány byly možnosti a funkce těchto zařízení, jejich výhody oproti jiným řešením a jejich využití v průmyslu. V návaznosti na to byl s kolegou Janáčkem navržen laboratorní přípravek, jehož hlavní část tvoří právě UMC100-FBP s napěťovým modulem VI150-FBP a I/O modulem DX122-FBP. Dalším prvkem na přípravku je modul MTQ22-FBP určen pro vzdálenou komunikaci. V příloze C je základní schéma se zapojením napájení všech prvků v přípravku a blokové znázornění jak probíhá komunikace mezi jednotlivými prvky. Podrobným popisem přípravku a jeho návrhem se zabývá práce kolegy Janáčka.

Další část práce byla zaměřena na možnosti vzdálené komunikace s podobnými přístroji. Na základě zjištěných informací byla navázána komunikace s UMC100-FBP skrze interface MTQ22-FBP, který umožňuje komunikaci prostřednictvím protokolu MODBUS TCP. Tento protokol byl zvolen jako nejvhodnější varianta k demonstraci prostředků využívaných v současné průmyslové automatizaci a také s ohledem na jednoduchou implementaci do stávajícího laboratorního zařízení. V práci je popsán postup a nastavení parametrů tohoto modulu. Dále je zde uvedeno, jak se přistupuje k datům a jak se s nimi pracuje v prostředí LabVIEW. V Příloze A jsou tabulky jednotlivých dat a jejich adresy.

Po sestavení přípravku bylo provedeno jednoduché kontrolní měření, kterým byla ověřena přesnost, s kterou měří UMC100-FBP provozní veličiny motoru. Popis a výsledky měření jsou podrobněji diskutovány v kapitole č.5. Tabulky, společně s grafy, naměřených a vypočtených hodnot jsou uvedeny v Příloze B. Zde, chci pouze zmínit, že přesnost udávaná výrobcem odpovídá hodnotám zjištěným z výsledků měření.

Hlavním výsledkem práce je obslužný program, který byl vytvořen v prostředí LabVIEW, firmy National Instruments. Program byl sestaven za pomoci doplňku I/O Server, který je součástí DSC modulu. Obslužný program je primárně určen k ovládání hotového přípravku, kde je zapojena funkce reverzace motoru. V programu je možné sledovat provozní hodnoty motoru, indikátory jednotlivých ochran a provozních stavů. Program ve spojení s přípravkem si klade za cíl, formou laboratorní úlohy demonstrovat ovládání a monitoring elektrických motorů ve velkých motorových centrech. V laboratorní úloze je možné nasimulovat např.: přehřátí motoru, výpadek fáze, fázovou nesymetrii a další. Program je určen k jednoduché a snadné diagnostice provozních stavů. V programu jsou k dispozici všechna data, která bylo možné využít, proto ho lze použít i pro další jiná zapojení motoru. Popis tvorby programu a návod k základnímu nastavení a obsluze programu jsou součástí práce. Program je přiložen na CD jako instalační soubor, lze jej tedy nainstalovat na libovolný počítač, který splňuje minimální hardwarové požadavky.



LITERATURA

- [1] ZEŽULKA, František. *Prostředky průmyslové automatizace*. 1. vydání. Brno: VUTUM, 2004. ISBN 80-214-2610-1
- [2] ZEŽULKA, F., O. HYNČICA. Průmyslový Ethernet. AUTOMA časopis pro automatizační techniku [online]. 2005, roč. 6, č. 04 [cit. 2013-11-20]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=30417
- [3] České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní [online]. c2013 [cit. 2013-11-30]. Dostupné z: <http://www3.fs.cvut.cz/web/>
- [4] RONEŠOVÁ, Andrea. *Přehled protokolu MODBUS* [online]. květen 2005. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~ronesova/bastl/files/modbus.pdf>
- [5] TARABA, Radek. Aplikování sběrnice CAN. HW.cz Vše o elektronice a programování [online]. 9. 11. 2004, c1997-2012 [cit. 2013-12-6]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/navrh-obvodu/rozhrani/aplikovani-sbornice-can.html>
- [6] ABB STOTZ-KONTAKT GmbH. *Universal Motor Controller UMC100-FBT: Technical Description*. 10.2011. 2CDC 135 021 D0202 10.2011
- [7] ABB STOTZ-KONTAKT GmbH. *MTQ22-FBP Modbus TCP Interface: Technical Description*. 10.2012. 2CDC 194 003 D0201 10.2012
- [8] *National Instruments* [online]. c2014 [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: <http://czech.ni.com/>
- [9] WT1800 HIGH PERFORMANCE POWER ANALYZER. YOKOGAWA: *Test&Measurement* [online]. © 2008 - 2014 [cit. 2014-05-29]. Dostupné z: <http://tmi.yokogawa.com/products/digital-power-analyzers/digital-power-analyzers/wt1800-high-performance-power-analyzer/>
- [10] Průmyslová komunikace. SIEMENS [online]. © 2014 [cit. 2014-05-5]. Dostupné z: <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?ctxnh=dd398ced4f&ctxp=home>
- [11] Industry Online Support. SIEMENS [online]. © 2014 [cit. 2014-05-5]. Dostupné z: <http://www.automation.siemens.com/WW/forum/guests/PostShow.aspx?PostID=362655&language=en>
- [12] ODVA [online]. © 2014 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://www.odva.org/>



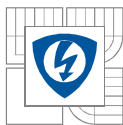
PŘÍLOHY

Příloha A:

Tab. 7 Tabulka adres monitorovacích dat[7]

UMC	UMC	UMC	UMC	Word	Byte	Bit	Informace
port 1	port 2	port 3	port 4				
Adresa (dec)				0	0		
4097	4353	4609	4865			0	Dozadu/Zavřeno
4098	4354	4610	4866			1	Vypnuto
4099	4355	4611	4867			2	Dopředu/Otevřeno
4100	4356	4612	4868			3	Přetížení-varování
4101	4357	4613	4869			4	Čas blokování reverzace
4102	4358	4614	4870			5	Místní řízení
4103	4359	4615	4871			6	Všeobecná porucha
4104	4360	4616	4872			7	Všeobecné varování
4105	4361	4617	4873		1	8	-
4106	4362	4618	4874			9	Běh rychle dopředu
4107	4363	4619	4875			10	UMC-DI0
4108	4364	4620	4876			11	UMC-DI1
4109	4365	4621	4877			12	UMC-DI2
4110	4366	4622	4878			13	UMC-DI3
4111	4367	4623	4879			14	UMC-DI4
4112	4368	4624	4880			15	UMC-DI5

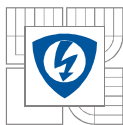
8193	8449	8705	8961	1	2, 3		Proud motoru [%]
8194	8450	8706	8962	2	4, 5		Tepelná kapacita motoru [%]
8195	8451	8707	8963	3	6, 7		Čas do vybavení [s]
8196	8452	8708	8964	4	8, 9		Čas do restartu [s]
8197	8453	8709	8965	5	10, 11		Příkon motoru [W]



Pokračování Tab. 7

8198	8454	8710	8966	6	12	0	DX122-DI0
						1	DX122-DI1
						2	DX122-DI2
						3	DX122-DI3
						4	DX122-DI4
						5	DX122-DI5
						6	DX122-DI6
					13	7	DX122-DI7
						8	Koncový spínač - zavřeno
						9	Koncový spínač - otevřeno
						10	Momentový spínač - zavřeno
						11	Momentový spínač - otevřeno
						12	Mimo pozici
						13	Provozní doba překročena
						14	-
						15	-
8199	8455	8711	8967	7	14	0	Přetížení-vybaveno
						1	Přetížení-varování
						2	Podtížení-vybaveno
						3	Podtížení-varování
						4	Podpětí-vybaveno
						5	Podpětí-varování
						6	Nesymetrie napětí-vybaveno
					15	7	Nesymetrie napětí-varování
						8	Více než 1 start - možný
						9	1 start
						10	Start není možný
						11	Celkové harmonické zkreslení-varování
						12	-
						13	Motor chladne
						14	Zemní spojení-vybaveno
						15	Zemní spojení-varování

Pozn.: Slova 1-7 obsahují binární informace, jsou však čteny po slovech.



Tab. 8 Tabulka adres příkazových dat[7]

UMC	UMC	UMC	UMC	Word	Byte	Bit	Informace
port 1	port 2	port 3	port 4				
Adresa (dec)							
6145	6401	6657	6913	0	0	0	Dozadu/Zavřít
6146	6402	6658	6914			1	Vypnout
6147	6403	6659	6915			2	Dopředu/Otevřít
6148	6404	6660	6916			3	-
6149	6405	6661	6917			4	Připravit nouzový start
6150	6406	6662	6918			5	Dálkové řízení
6151	6407	6663	6919			6	Reset chyb
6152	6408	6664	6920			7	-
6153	6409	6665	6921		1	8	-
6154	6410	6666	6922			9	Běh rychle dopředu
6155	6411	6667	6923			10	-
6156	6412	6668	6924			11	-
6157	6413	6669	6925			12	UMC-DO3
6158	6414	6670	6926			13	UMC-DO2
6159	6415	6671	6927			14	UMC-DO1
6160	6416	6672	6928			15	UMC-DO0
6161	6417	6673	6929	1	2	0	DX1xx-DO0
6162	6418	6674	6930			1	DX1xx-DO1
6163	6419	6675	6931			2	DX1xx-DO2
6164	6420	6676	6932			3	DX1xx-DO3
6165	6421	6677	6933			4	-
6166	6422	6678	6934			5	-
6167	6423	6679	6935			6	-
6168	6424	6680	6936			7	VI15x DO0
6169	6425	6681	6937		3	8	-
6170	6426	6682	6938			9	-
6171	6427	6683	6939			10	-
6172	6428	6684	6940			11	-
6173	6429	6685	6941			12	-
6174	6430	6686	6942			13	-
6175	6431	6687	6943			14	-
6176	6432	6688	6944			15	-



Pokračování Tab. 9

3075	3107	3139	3171	2	4	0	-
						1	-
						2	Výkonové odlehčení
						3	Výkonové přetížení
						4	Napětí mimo rozsah
						5	Celkové harmonické zkreslení-varování
						6	-
					5	8	-
						9	-
						10	-
						11	Počet startů překročen
						12	Právě jeden start
						13	Doba chlazení běží
						14	-
						15	-
3076	3108	3140	3172	3	6	0	-
						1	-
						2	-
						3	-
						4	-
						5	-
						6	Parametr mimo rozsah
						7	Rozšířená diagnostika k dispozici
					7	8	Chybový kód (viz. Manuál nebo popis poruch)
						9	
						10	
						11	
						12	
						13	
						14	
						15	

Pozn.: Diagnostická data obsahují binární informace, ale jsou čteny po slovech.

Příloha B:

Tab. 10 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro měření č. 1

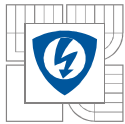
M [Nm]	U1 [V]	U1 _{UMC} [V]	δ _{U1} [%]	U2 [V]	U2 _{UMC} [V]	δ _{U2} [%]	U3 [V]	U3 _{UMC} [V]	δ _{U3} [%]
10	392,6	395	0,60	392,9	396	0,78	394,4	393	-0,36
9	392,3	395	0,67	392,6	396	0,86	394,1	393	-0,27
8	392,3	394	0,42	392,9	396	0,79	394,1	393	-0,28
7	392,4	395	0,66	393,0	397	1,01	394,1	394	-0,02
6	392,9	394	0,28	393,3	396	0,67	394,7	393	-0,44
5	392,2	394	0,45	392,9	397	1,03	394,2	394	-0,05
4	392,9	395	0,52	393,4	397	0,91	394,8	394	-0,19
3	393,3	395	0,43	393,8	397	0,81	395,1	394	-0,28
2	393,1	395	0,48	393,2	397	0,95	394,8	394	-0,20
1	393,2	395	0,45	393,6	397	0,86	395,0	394	-0,25

Pokračování Tab. 10

I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	I _{stř} [A]	I _{UMC} [A]	δ _I [%]	P1 [W]	P1 _{UMC} [kW]	δ _P [%]	cosφ [-]	cosφ _{UMC} [-]	δ _{cosφ} [%]
3,664	3,649	3,568	3,63	3,65	0,63	1905,5	1,840	-3,56	0,771	0,743	-3,66
3,423	3,418	3,360	3,40	3,42	0,58	1719,8	1,664	-3,35	0,743	0,707	-5,09
3,200	3,245	3,147	3,20	3,22	0,70	1541,1	1,481	-4,06	0,708	0,674	-5,03
3,030	3,046	2,977	3,02	3,03	0,41	1363,3	1,315	-3,67	0,664	0,628	-5,65
2,868	2,908	2,810	2,86	2,88	0,62	1191,2	1,151	-3,49	0,610	0,581	-5,06
2,707	2,759	2,685	2,72	2,74	0,84	1022,3	0,982	-4,10	0,553	0,524	-5,46
2,606	2,658	2,575	2,61	2,65	1,40	855,5	0,832	-2,82	0,480	0,462	-3,92
2,531	2,581	2,497	2,54	2,57	1,31	691,0	0,693	0,29	0,399	0,389	-2,60
2,487	2,517	2,453	2,49	2,49	0,17	525,3	0,560	6,20	0,310	0,321	3,43
2,453	2,504	2,434	2,46	2,48	0,66	397,0	0,419	5,25	0,225	0,233	3,65

Tab. 11 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro měření č. 2

M [Nm]	n [min ⁻¹]	U1 [V]	U1 _{UMC} [V]	δ _{U1} [%]	U2 [V]	U2 _{UMC} [V]	δ _{U2} [%]	U3 [V]	U3 _{UMC} [V]	δ _{U3} [%]
10	1427	393,5	394	0,12	392,4	396	0,90	392,0	394	0,51
9	1434	393,8	394	0,04	392,6	396	0,86	392,2	394	0,47
8	1442	394,2	395	0,21	393,0	396	0,77	392,5	393	0,12
7	1450	394,4	394	-0,10	393,1	396	0,72	392,6	393	0,11
6	1457	393,5	394	0,12	392,4	396	0,92	391,9	393	0,27
5	1465	394,4	395	0,16	393,3	396	0,68	392,7	394	0,32
4	1472	394,1	395	0,24	392,8	397	1,06	392,3	394	0,43
3	1479	394,2	395	0,20	393,1	396	0,74	392,6	393	0,11
2	1485	393,9	395	0,28	392,8	397	1,07	392,3	395	0,69
1	1492	394,8	396	0,31	393,6	397	0,85	393,0	395	0,50
0	1498	394,6	395	0,11	393,2	397	0,95	393,2	395	0,47



Pokračování Tab. 11

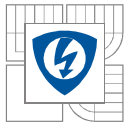
I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	I _{stř} [A]	I _{UMC} [A]	δ _i [%]	P1 [W]	P1 _{UMC} [kW]	δ _p [%]	cosφ [-]	cosφ _{UMC} [-]	δ _{cosφ} [%]
3,585	3,565	3,612	3,587	3,60	0,35	1893,6	1,826	-3,70	0,776	0,744	-4,31
3,367	3,319	3,409	3,365	3,38	0,44	1710,5	1,658	-3,17	0,747	0,714	-4,62
3,182	3,118	3,189	3,163	3,19	0,85	1532,7	1,477	-3,77	0,711	0,674	-5,55
2,995	2,930	3,021	2,982	3,00	0,60	1355,5	1,299	-4,35	0,667	0,633	-5,40
2,818	2,788	2,842	2,816	2,85	1,19	1179,9	1,156	-2,07	0,616	0,586	-5,15
2,678	2,651	2,739	2,689	2,71	0,76	1012,3	0,964	-5,01	0,552	0,514	-7,45
2,572	2,543	2,614	2,576	2,61	1,29	845,9	0,823	-2,78	0,482	0,459	-5,08
2,486	2,477	2,542	2,502	2,52	0,73	681,2	0,692	1,56	0,400	0,392	-1,96
2,435	2,423	2,495	2,451	2,47	0,77	518,0	0,536	3,36	0,311	0,319	2,63
2,414	2,418	2,496	2,443	2,46	0,70	407,5	0,417	2,28	0,257	0,250	-2,64
2,406	2,409	2,464	2,426	2,45	0,97	251,3	0,258	2,60	0,163	0,158	-3,35

Tab. 12 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro měření č. 3

M [Nm]	n [min ⁻¹]	U1 [V]	U1 _{UMC} [V]	δ _{U1} [%]	U2 [V]	U2 _{UMC} [V]	δ _{U2} [%]	U3 [V]	U3 _{UMC} [V]	δ _{U3} [%]
10	1427	393,82	394	0,05	393,1	396	0,73	394,94	394	-0,24
9	1436	394,06	395	0,24	393,41	397	0,90	395,17	394	-0,30
8	1442	394,83	395	0,04	393,92	397	0,78	395,76	394	-0,45
7	1450	393,76	395	0,31	392,82	397	1,05	394,69	394	-0,18
6	1458	394,27	395	0,18	393,39	397	0,91	395,41	394	-0,36
5	1465	393,75	395	0,32	393,21	397	0,95	395,01	395	0,00
4	1472	393,98	395	0,26	393,35	396	0,67	395,19	395	-0,05
3	1479	393,07	394	0,24	392,41	396	0,91	394,3	395	0,18
2	1486	394,04	395	0,24	393,45	397	0,89	395,22	394	-0,31
1	1492	393,86	394	0,04	392,86	396	0,79	394,63	393	-0,41
0	1498	394,78	396	0,31	393,42	397	0,90	394,94	394	-0,24

Pokračování Tab. 12

I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	I _{stř} [A]	I _{UMC} [A]	δ _i [%]	P1 [W]	P1 _{UMC} [kW]	δ _p [%]	cosφ [-]	cosφ _{UMC} [-]	δ _{cosφ} [%]
3,660	3,66	3,621	3,647	3,66	0,36	1917,2	1,846	-3,86	0,770	0,741	-3,97
3,452	3,435	3,385	3,424	3,43	0,17	1736,3	1,696	-2,38	0,743	0,721	-3,01
3,248	3,226	3,198	3,224	3,23	0,19	1557,1	1,497	-4,01	0,706	0,674	-4,78
3,065	3,004	3,002	3,024	3,04	0,54	1371,9	1,310	-4,73	0,665	0,620	-7,31
2,893	2,851	2,848	2,864	2,88	0,56	1197,2	1,147	-4,38	0,612	0,585	-4,62
2,747	2,727	2,696	2,723	2,76	1,33	1025,8	0,991	-3,51	0,552	0,522	-5,73
2,641	2,598	2,605	2,615	2,63	0,58	857,5	0,833	-2,94	0,480	0,460	-4,41
2,556	2,498	2,501	2,518	2,55	1,24	689,7	0,691	0,19	0,402	0,396	-1,52
2,511	2,467	2,465	2,481	2,49	0,36	530,7	0,551	3,68	0,313	0,317	1,20
2,469	2,426	2,423	2,439	2,45	0,44	397,1	0,386	-2,88	0,258	0,244	-5,74
2,466	2,435	2,424	2,442	2,45	0,34	258,3	0,252	-2,50	0,168	0,160	-5,00



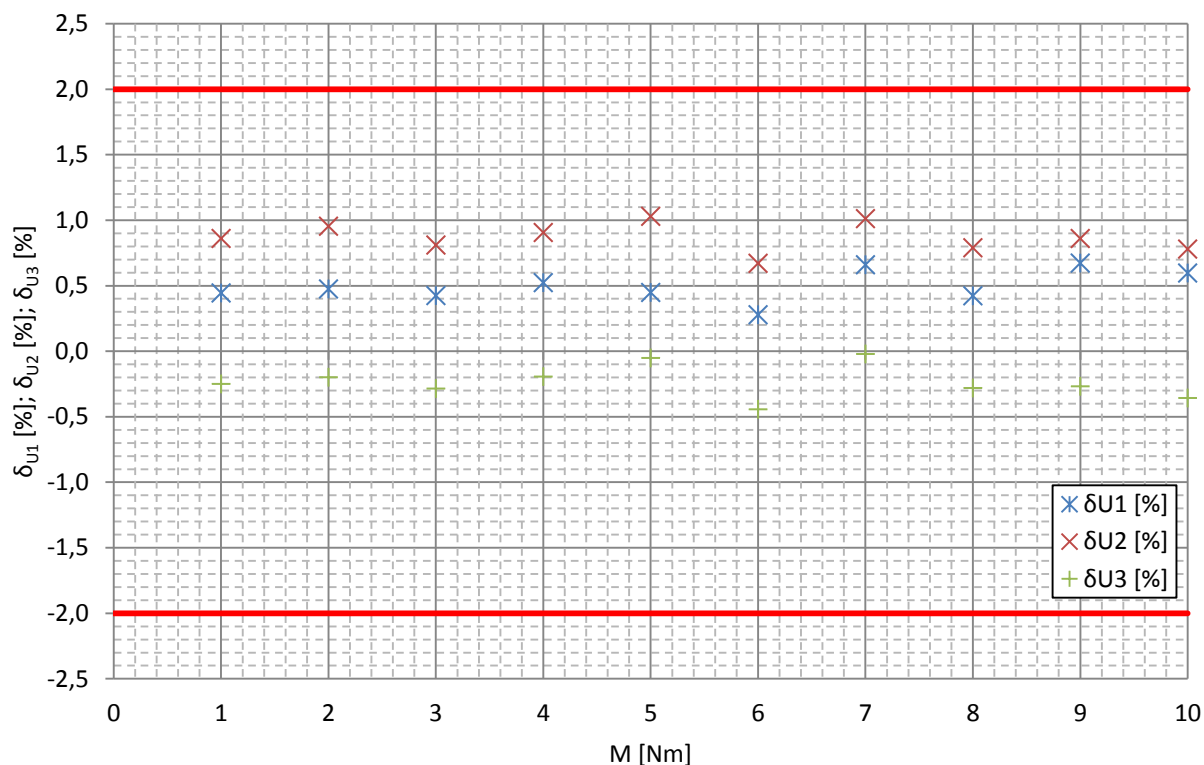
Tab. 13 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro měření č. 4

M [Nm]	n [min ⁻¹]	U ₁ [V]	U _{1_UMC} [V]	δ _{U₁} [%]	U ₂ [V]	U _{2_UMC} [V]	δ _{U₂} [%]	U ₃ [V]	U _{3_UMC} [V]	δ _{U₃} [%]
10	1425	392,85	394	0,29	392,31	396	0,93	393,97	393	-0,25
9	1434	392,99	395	0,51	392,70	395	0,58	394,17	394	-0,04
8	1441	393,62	395	0,35	393,16	395	0,47	394,61	394	-0,15
7	1450	393,63	394	0,09	393,07	394	0,24	394,71	394	-0,18
6	1460	393,34	395	0,42	392,98	395	0,51	394,42	394	-0,11
5	1465	393,04	395	0,50	392,70	395	0,58	394,20	394	-0,05
4	1472	393,25	394	0,19	392,68	394	0,34	394,50	393	-0,38
3	1478	392,53	394	0,37	392,03	394	0,50	393,71	393	-0,18
2	1485	392,84	395	0,55	392,46	395	0,64	394,06	393	-0,27
1	1492	392,78	394	0,31	392,28	394	0,44	393,80	393	-0,20
0	1498	392,72	394	0,32	392,35	394	0,42	393,92	393	-0,23

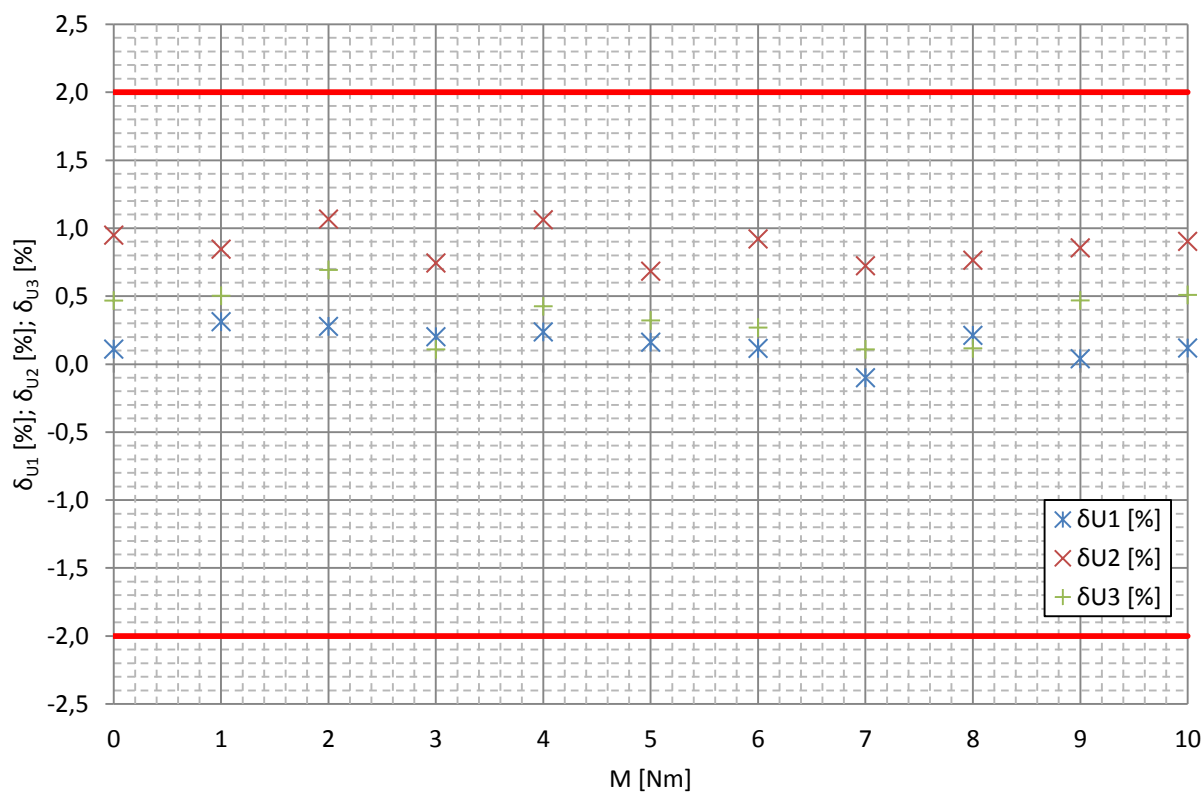
Pokračování Tab. 13

I ₁ [A]	I ₂ [A]	I ₃ [A]	I _{stř} [A]	I _{UMC} [A]	δ _I [%]	P ₁ [W]	P _{1_UMC} [kW]	δ _P [%]	cosφ [-]	cosφ _{UMC} [-]	δ _{cosφ} [%]
3,613	3,617	3,581	3,604	3,60	-0,10	1900,4	1,844	-3,06	0,775	0,751	-3,14
3,376	3,382	3,375	3,378	3,39	0,36	1718,8	1,697	-1,28	0,747	0,725	-3,05
3,201	3,171	3,156	3,176	3,18	0,13	1538,7	1,485	-3,62	0,710	0,667	-6,49
3,023	2,974	2,972	2,990	2,99	0,01	1361,1	1,299	-4,78	0,667	0,636	-4,94
2,843	2,831	2,808	2,827	2,83	0,09	1186,1	1,130	-4,96	0,615	0,599	-2,74
2,702	2,683	2,681	2,689	2,71	0,79	1015,2	0,969	-4,77	0,554	0,524	-5,80
2,534	2,488	2,485	2,502	2,60	3,76	813,6	0,824	1,26	0,401	0,435	7,72
2,485	2,427	2,425	2,446	2,53	3,33	684,6	0,667	-2,64	0,313	0,333	6,16
2,471	2,407	2,416	2,431	2,48	1,96	519,9	0,545	4,61	0,219	0,239	8,37
2,480	2,403	2,434	2,439	2,44	0,04	362,5	0,391	7,29	0,227	0,236	3,94
2,475	2,392	2,421	2,429	2,43	0,03	224,3	0,240	6,54	0,139	0,148	6,42

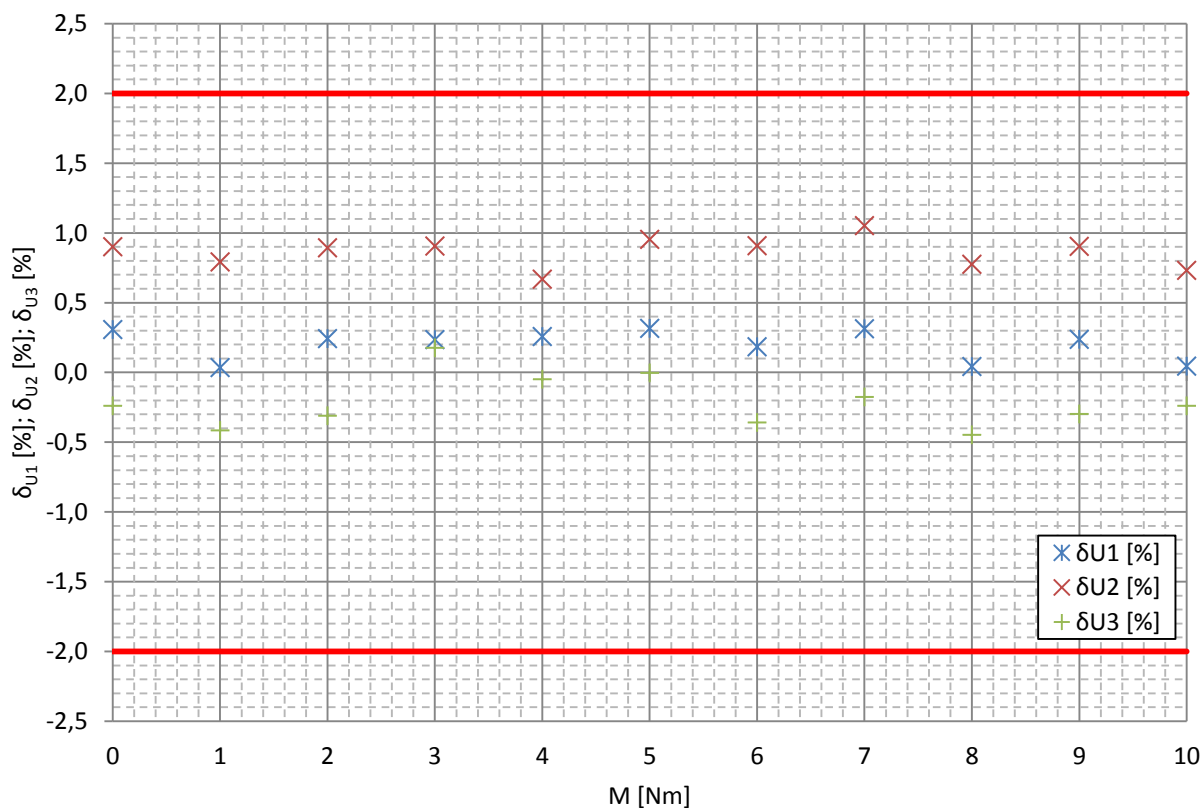
Graf č.1 Relativní chyba při měření napětí (měření č.1)



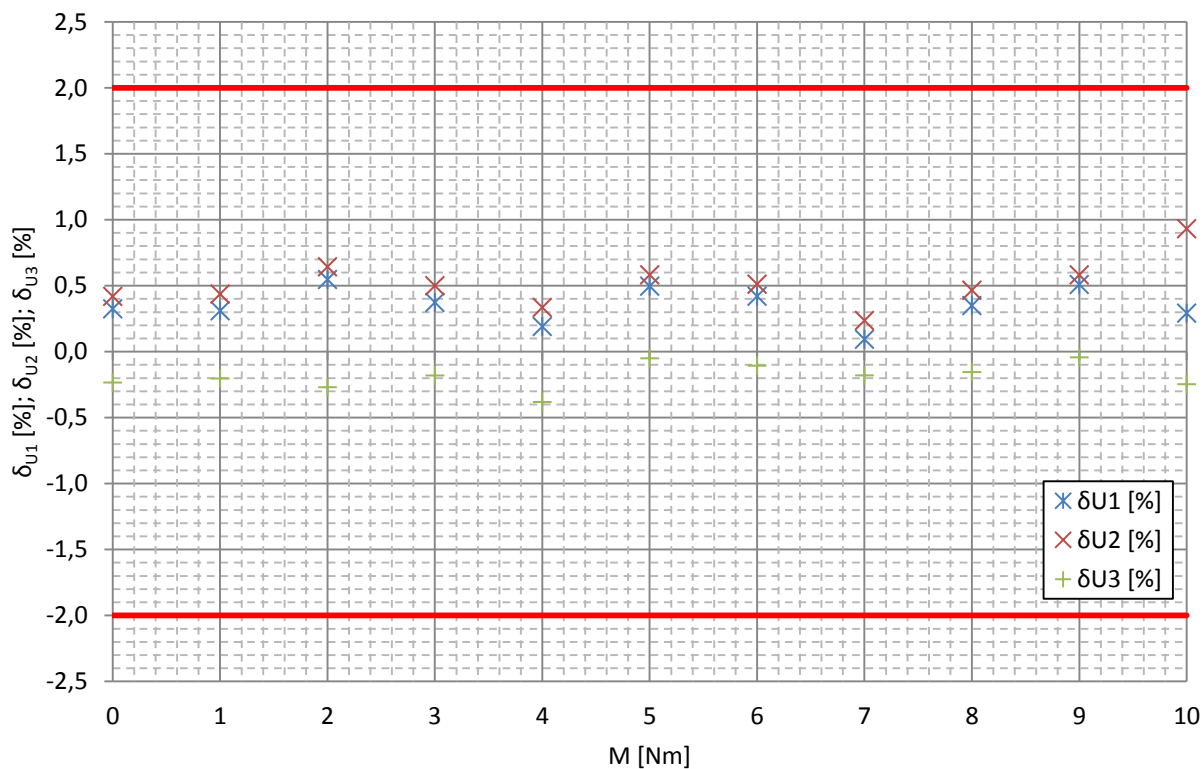
Graf č.2 Relativní chyba při měření napětí (měření č.2)



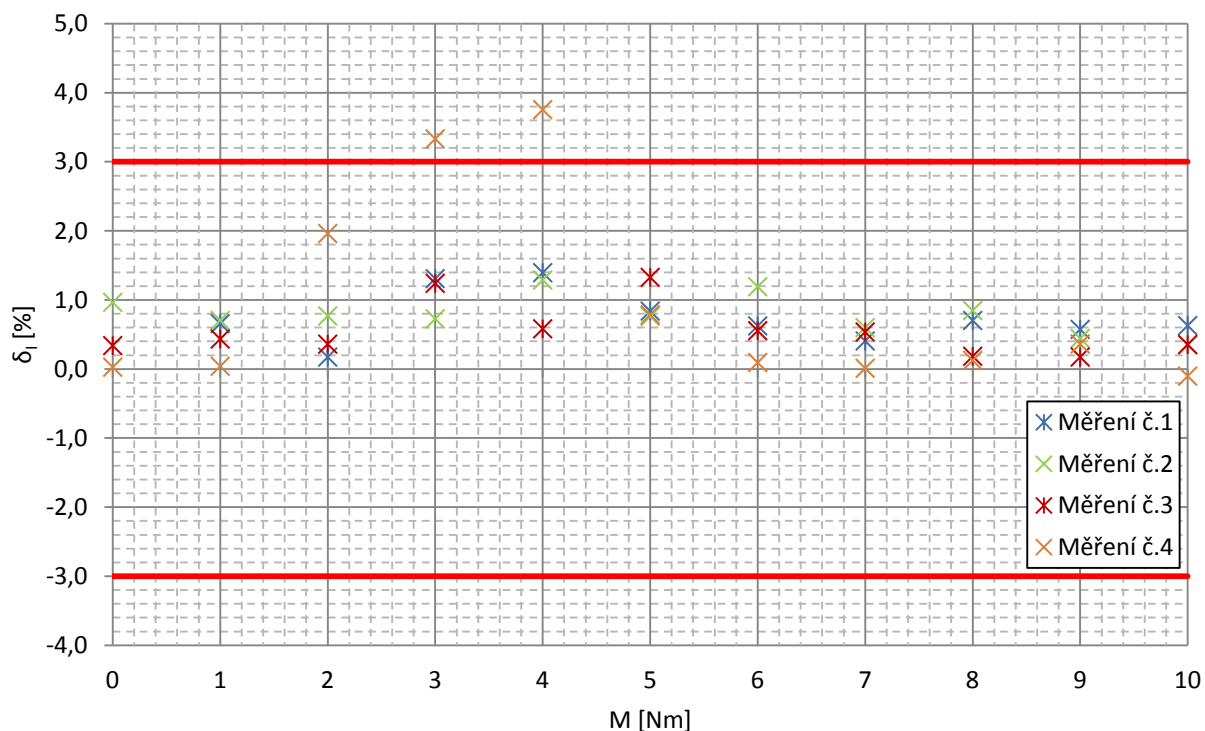
Graf č.3 Relativní chyba při měření napětí (měření č.3)



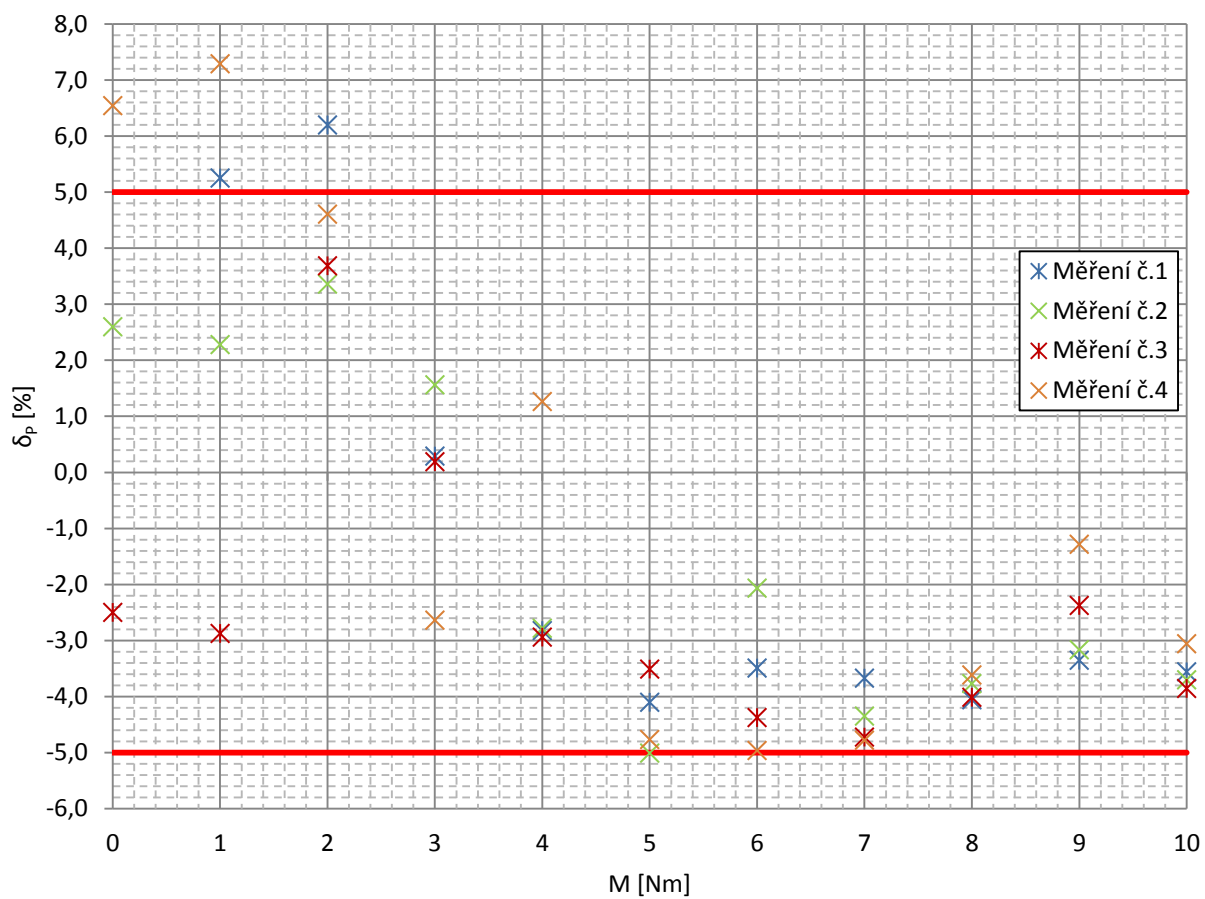
Graf č.4 Relativní chyba při měření napětí (měření č.4)



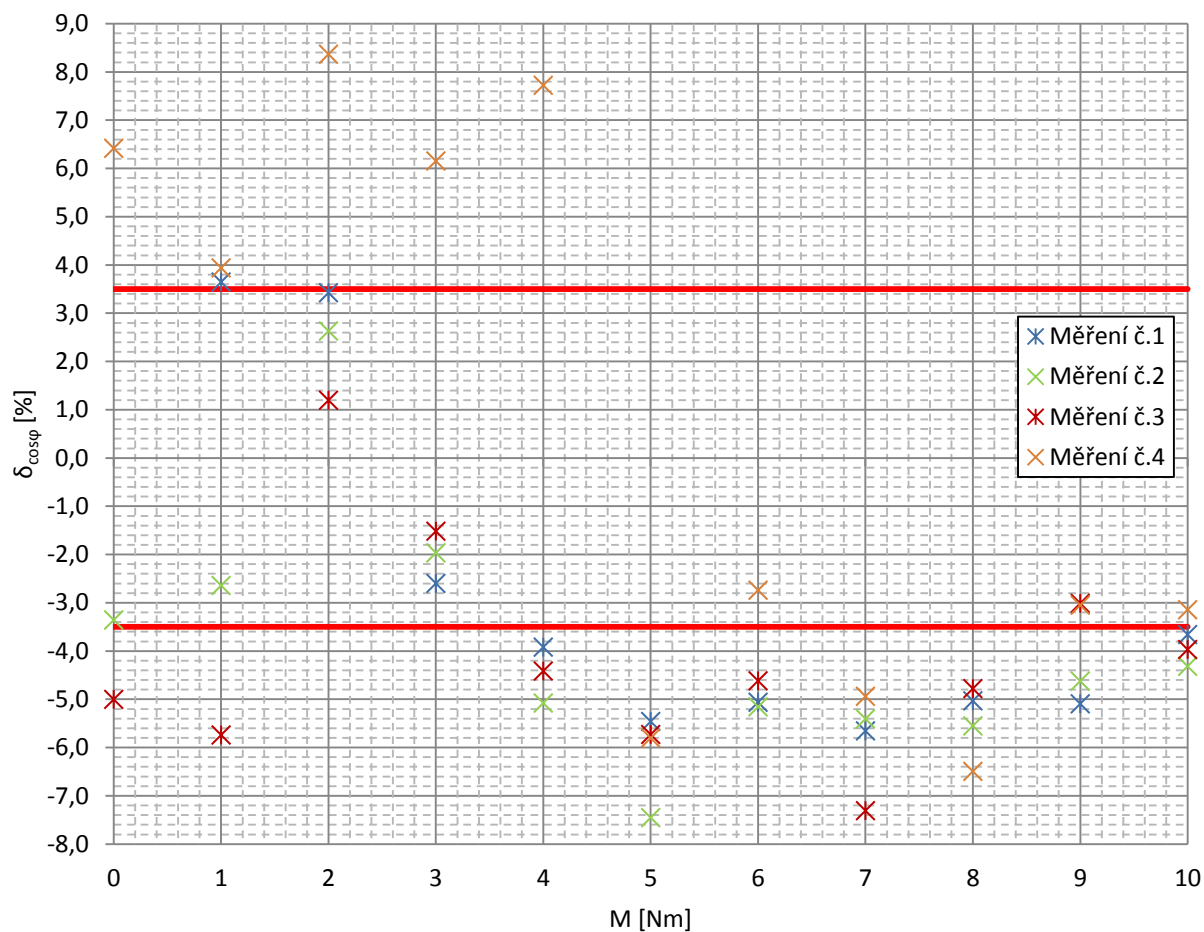
Graf č.5 Relativní chyba při měření proudu



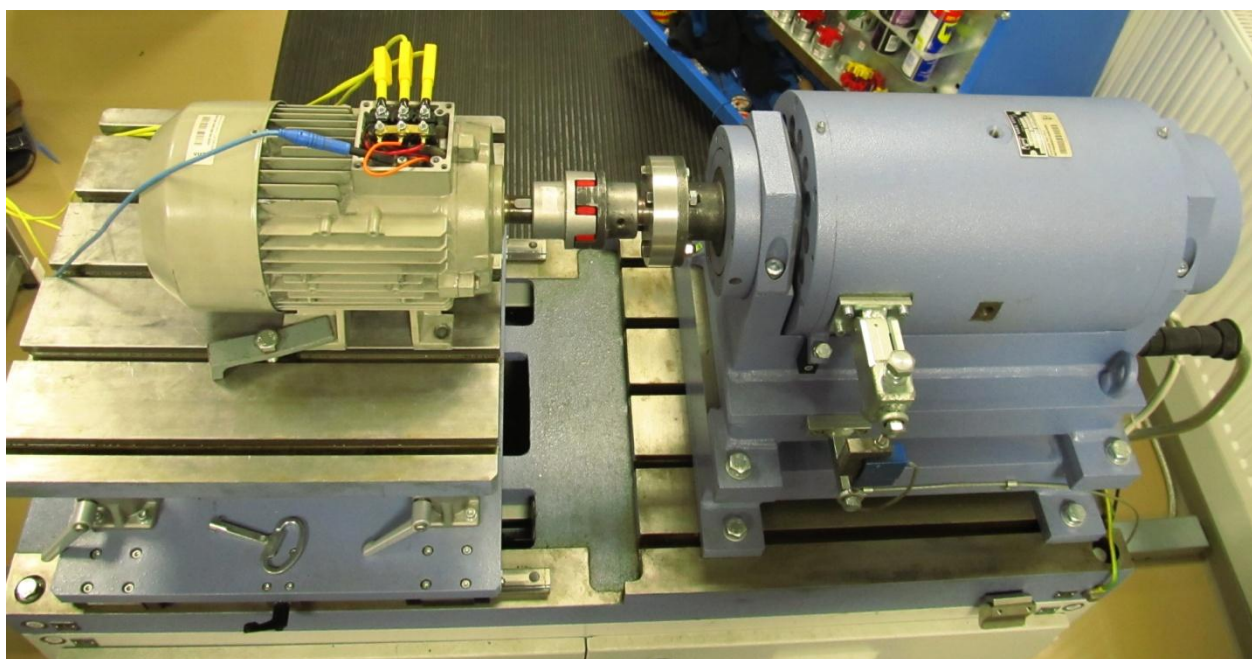
Graf č.6 Relativní chyba při měření příkonu



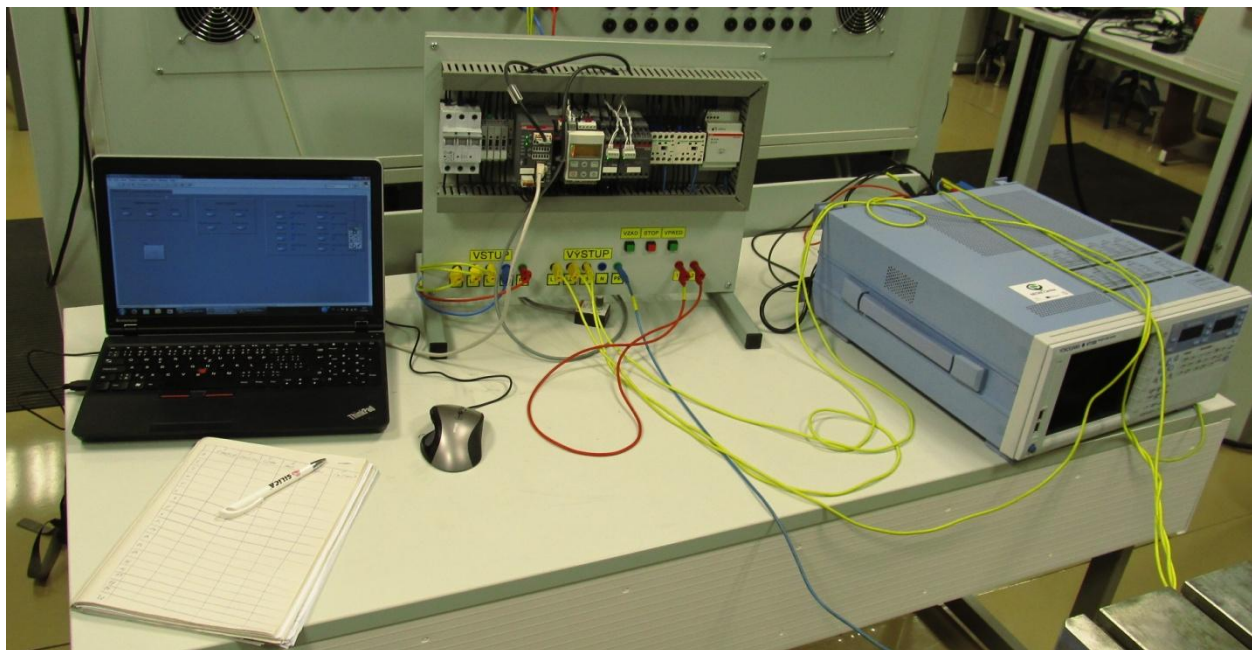
Graf č.7 Relativní chyba při měření účinníku



Obrázky z měření:

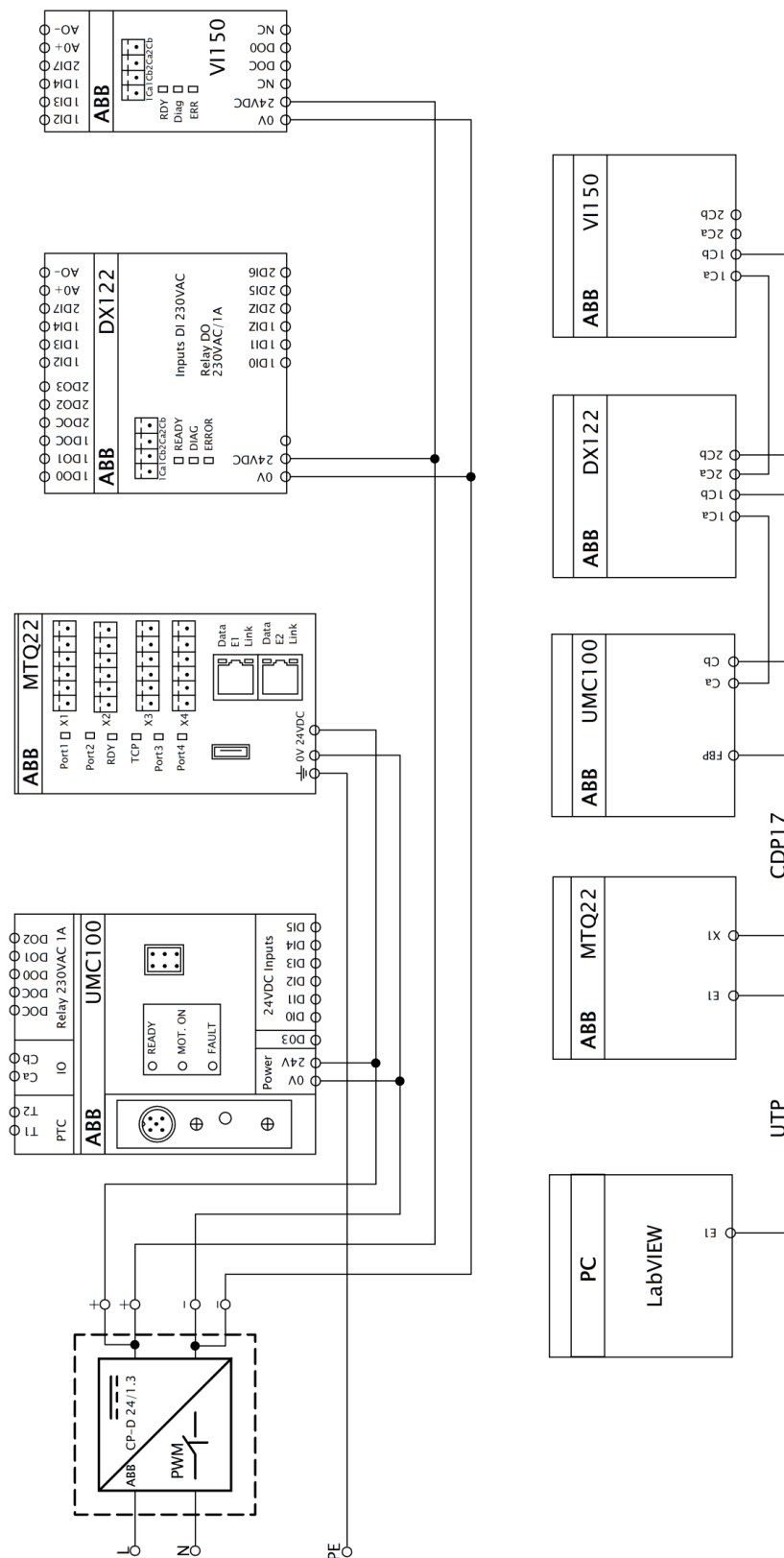


Obr. 33 Soustava motor-dynamometr



Obr. 34 Měřicí pracoviště (přípravek s UMC100-FBP + YOKOGAWA WT1800)

Příloha C:



Obr. 35 Základní schéma zapojení (napájení a komunikace mezi jednotlivými prvky)