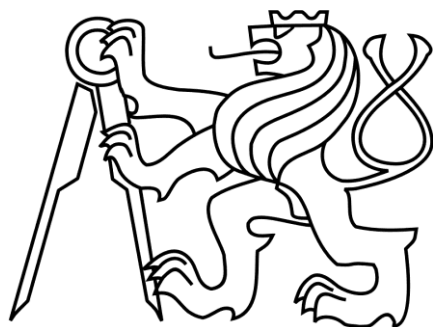


ČESKÉ VYSOKÉ ÚČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta elektrotechnická
Katedra měření



Řízení DC pohonu pomocí systému Unitronics PLC Vision570
Unitronics PLC Vision570 – Control DC drive
DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studijní obor: Kybernetika a robotika
Studijní program: Senzory a přístrojová technika
Vedoucí práce: Ing. Vít Hlinovský, CSc.

Danil Merzlov

Praha 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne

podpis

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Vítu Hlinovskému, CSc. za odborné vedení, za pomoc a cenné rady při zpracování této práce.

Abstrakt (Česky)

Předmětem této diplomové práce je návrh a realizace zařízení pro ovládání stejnosměrného motoru, kde hlavní řídicí jednotkou je průmyslový automat Unitronics Vision V570.

Toto zařízení by mělo snímat otáčky stejnosměrného motoru, řídit budící napětí signálem PWM přes H-můstek z IGBT tranzistorů, také pomocí navrženého PID regulátoru udržovat zadanou hodnotu otáček. Celé zařízení se musí ovládat z počítače prostřednictvím SCADA aplikace.

První část práce je věnována teoretickým aspektům řízení stejnosměrného motoru a vlastnostem jeho jednotlivých prvků, zatímco druhá se věnuje vlastní realizaci zařízení, programování PLC, návrhu regulátoru a tvorbě SCADA systému.

Abstract (English)

The aim of this diploma thesis is to design and implement DC motor controller, where the main control unit is an industrial PLC Unitronics Vision V570.

This device can measure DC motor speed, control the driving voltage with PWM signal through H-bridge, and also maintains the set point speed using designed PID controller. The entire device is operated from a PC via SCADA application.

The first part of the thesis is devoted to theoretical aspects of DC motor controlling and properties of individual elements of the device, while the second one deals with realization of the device, PLC programming, PID controller design and realization of SCADA application.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Danil Merzlov**

Studijní program: **Kybernetika a robotika**
Obor: **Senzory a přístrojová technika**

Název tématu česky: **Řízení DC pohonu pomocí systému Unitronics PLC Vision570**

Název tématu anglicky: **Unitronics PLC Vision570 - Control DC Drive**

Pokyny pro vypracování:

- Navrhněte řízení DC pohonu generováním PWM pomocí Unitronics PLC Vision570.
- Navrhněte řídicí algoritmus pro regulátor PID.
- Aplikujte řízení pohonu po sběrnici Ethernet MODBUS TCP.
- Vytvořte kód řízení v prostředí VisiLogic – realizujte na zařízení v laboratoři elektrických strojů T2:H1-26.

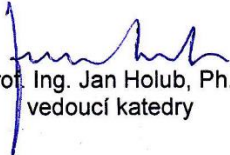
Seznam odborné literatury:

- [1] Unitronics VisiLogic Help Version: V230-21-G23 Rev: May 22, 2016
- [2] Stephen J. Chapman: Electric machinery fundamentals. Published by McGraw-Hill, Inc., 1221 Avenue of the Americas, New York, NY 10020. Copyright © 2012

Vedoucí diplomové práce: Ing. Vít Hlinovský, CSc. (K 13114)

Datum zadání diplomové práce: 11. ledna 2017

Platnost zadání do¹: 30. září 2018


Prof. Ing. Jan Holub, Ph.D.
vedoucí katedry




Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 11. 1. 2017

¹ Platnost zadání je omezena na dobu tří následujících semestrů.

Obsah:

Prohlášení	i
Poděkování.....	ii
Abstrakt (Česky)	iii
Abstract (English)	iv
Seznam obrázků	1
Seznam tabulek.....	2
1 Úvod	3
1.1 Motivace	3
1.2 Blokové schéma zařízení	3
2 Teorie	4
2.1 Princip a konstrukce stejnosměrného motoru s permanentními magnety.....	4
2.2 Matematický model stejnosměrného motoru s permanentními magnety.	5
2.2 Pulzně šířková modulace	8
2.3 IGBT tranzistor	9
2.4 H-můstek s IGBT tranzistory	9
2.5 Princip optického enkodéru	10
3 Využití součástky zařízení.....	12
3.1 PLC Unitronics Vision 570 se Snap-IN modulem.....	12
3.2 Enkodér DBS36E-S3EK01024.....	13
3.3 H-můstek Loser v1.0	14
4 Programování PLC	16
4.1 Unitronics VISION OPLC IDE.....	16
4.2 Snímání otáček motoru.....	18
4.3 Generace PWM signálu.....	18
4.4 Volba směru točení	20
4.5 Nutné nastavení po restartu systému	21
4.6 Práce s grafikou, grafy.....	21
4.7 Alarm manager.....	23
5 Návrh regulátoru.....	24
5.1 PID regulátor v automatech Unitronics	24
5.2 Automatické ladění pomocí Unitronics Autotune	26
5.3 Automatické ladění pomocí programu Matlab.....	27

6 Návrh SCADA systému	29
6.1 Definice SCADA systému	29
6.2 Modbus Ethernet TCP	29
6.3 OPC server Unitronics	30
6.4 SCADA systém Reliance 4.0.....	30
6.5 Tvorba SCADA systému.....	31
7 Výsledky	34
8 Foto zařízení.....	37
9 Závěr.....	38
10 Literatura.....	39
11 Obsah přiloženého CD.....	40

Seznam obrázků

Obrázek 1 Bloková schéma zařízení.	3
Obrázek 2 Motor s permanentními magnety a jedním závitem rotoru.	4
Obrázek 3 Náhradní schéma stejnosměrného motoru.	5
Obrázek 4 Matematický model v programu Simulink.	7
Obrázek 5 Odezva systému na zadaný Set Point.	8
Obrázek 6 Náhradní schéma a struktura IGBT tranzistoru.	9
Obrázek 7 Schéma H-můstku.	9
Obrázek 8 Mezikruží absolutního (vlevo) a inkrementálního (vpravo) enkodéru.	11
Obrázek 9 Průběhy signálů A i B pro pohyb vpřed (vlevo) a pohyb vzad (vpravo).	11
Obrázek 10 PLC Unitronics Vision 570.	12
Obrázek 11 Enkodér SICK DBS36E	13
Obrázek 12 Průběhy signálu z výstupu enkodéru.	14
Obrázek 13 Skutečné průběhy signálů A i B při otáčkách 1500rpm pro pohyb vpřed a pohyb vzad 14	14
Obrázek 14 Univerzální pulzní měnič Loser ver. 1.0.	15
Obrázek 15 Zapojení tranzistorového výstupu pro generaci PWM signálu.	15
Obrázek 16 Programové nastavení enkodéru.	18
Obrázek 17 Zapojení PNP vs. NPN.	19
Obrázek 18 Průběh řídicího signálu pro frekvenci 2232 Hz a střídu 30%.	19
Obrázek 19 Programové nastavení pro generaci PWM signálu.	20
Obrázek 20 Zapojení reléových výstupu pro změnu směru.	20
Obrázek 21 Programová realizace volby směru.	20
Obrázek 22 Funkční bloky konající pouze jednou po restartu.	21
Obrázek 23 Tvorba grafiky ve vývojovém prostředí Visilogic 9.8.31.	22
Obrázek 24 Parametry objektů typu „Number“ pro číselné zobrazení frekvence PWM signálu.	22
Obrázek 25 Nastavení poruch v „Alarm configuration“.	23
Obrázek 26 Blokový diagram řídicího systému se zpětnou vazbou.	24
Obrázek 27 Odezva systému na jednotkový skok se špatně navrženými parametry PID regulátoru.	26
Obrázek 28 Odezva systému na jednotkový skok s parametry po automatickém ladění.	26
Obrázek 29 Identifikace systému prvního řádu bez dopravního zpoždění.	27
Obrázek 30 Odezva na jednotkový skok skutečného stejnosměrného motoru.	27
Obrázek 31 Simulink model identifikovaného systému s diskrétním PID regulátorem.	28
Obrázek 32 Ladění PID regulátoru pomocí PID Tune Matlab.	28
Obrázek 33 Základní architektura SCADA systému.	29
Obrázek 34 Správce stanic. Přidání nové proměnné.	32
Obrázek 35 Nastavení parametrů pro komponentu displej.	32
Obrázek 36 Nastavení dynamických parametrů pro komponentu displej.	32
Obrázek 37 Tvorba nového grafu ve správci grafu.	33
Obrázek 38 Nastavení statických parametrů grafu.	33
Obrázek 39 Hlavní obrazovka PLC.	34
Obrázek 40 SCADA aplikace.	35

Obrázek 41 Sledování rampy. PID regulátor po automatickém ladění.....	35
Obrázek 42 Sledování rampy. PI regulátor naladěný v programu Matlab PID Autotune.....	36
Obrázek 43 Foto celého zařízení.....	37

Seznam tabulek

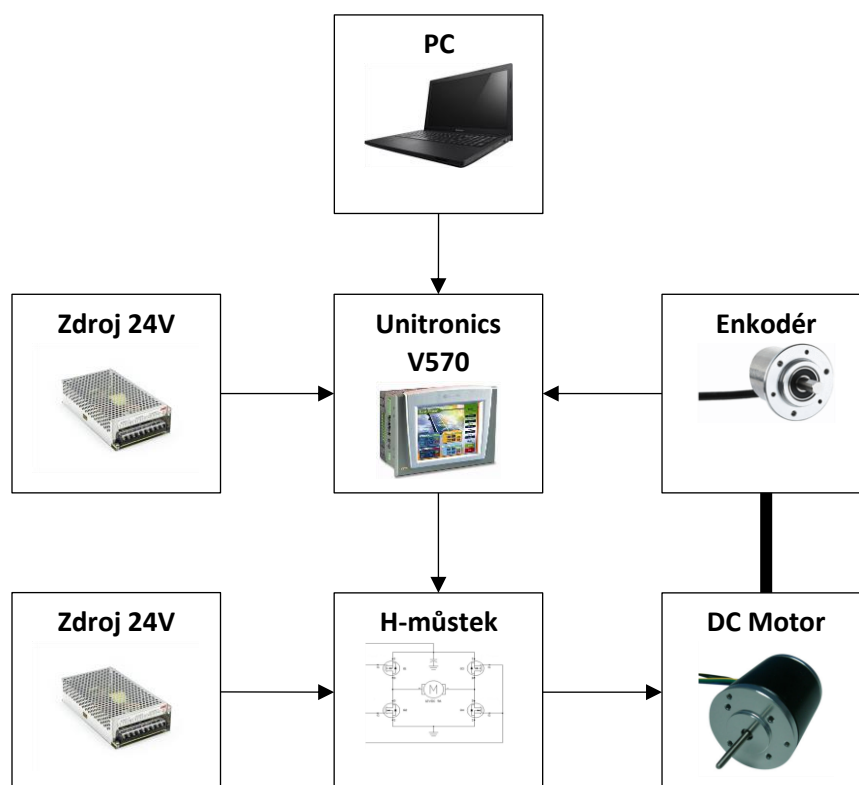
Tabulka 1 Parametry PLC Vision V570	13
Tabulka 2 Parametry V200-18-E1B.....	13
Tabulka 3 Proměnné PLC Vision V570	17
Tabulka 4 Nastavení PID regulátoru.	25
Tabulka 5 Nastavené hodnoty OPC serveru.	30

1 Úvod

1.1 Motivace

Cílem této diplomové práce je navrhnout a vytvořit zařízení pro řízení libovolného stejnosměrného motoru s permanentními magnety na zadané otáčky. K dispozici je průmyslový automat od firmy Unitronics V570 s 5.7 palcovým dotykovým displejem, H-můstek, inkrementální enkodér, napěťové zdroje a počítač. Zařízení musí být ovládatelné přímo z obrazovky PLC nebo pomocí SCADA systému z počítače.

1.2 Blokové schéma zařízení



Obrázek 1 Bloková schéma zařízení.

Pro řešení byl použit průmyslový automat Unitronics V570 se Snap-IN I/O kartou V200-18-E1B a komunikační kartou pro Ethernet. Pro snímání otáček byl využit inkrementální enkodér SICK DBS36. Motor se řídí pomocí PWM signálu, který se přivádí na H-můstek. Byly využity 2 zdroje stejnosměrného napětí pro PLC a motor. Součástí návrhu této práce je návrh SCADA systému ve vývojovém prostředí Reliance v4.0 pro vizualizaci a řízení tohoto procesu z počítače. Taktéž bylo nutné navrhnout a otestovat PI regulátor, pro optimální řízení stejnosměrného motoru.

2 Teorie

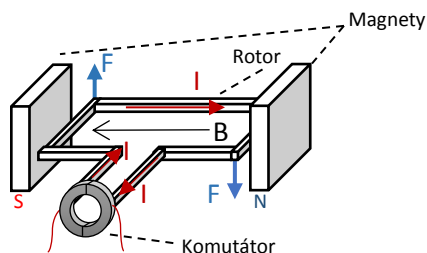
2.1 Princip a konstrukce stejnosměrného motoru s permanentními magnety

Tato práce se zabývá řízením stejnosměrného motoru s permanentními magnety. Na rozdíl od motoru s cizím, sériovým a paralelním buzením tyto motory nemají možnost měnit magnetický tok, který je zadán magnety.

Princip fungování motoru s permanentními magnety může být jednoduše popsán pomocí elementárního stroje, kde rotor je zastoupen pouze jedním závitem cívky, viz obrázek č.2. Ve chvíli, kdy tímto závitem rotoru prochází elektrický proud I , působí na něj síla F podle vztahu:

$$F = IBl \quad (1)$$

kde F - síla [N]
 B - magnetická indukce [T]
 I - elektrický proud protékající vodičem [A]
 l - délka vodiče v magnetickém poli [m]



Obrázek 2 Motor s permanentními magnety a jedním závitem rotoru.

Pro děje ve stejnosměrném motoru platí tyto dvě základní rovnice:

$$U_i = C\phi \omega \quad (2)$$

$$M = C\phi I \quad (3)$$

kde U_i - napětí motoru [V]
 $C\phi$ - součin konstrukční konstanty motoru a magnetického toku [$N \cdot m/A$]
 ω - úhlová rychlost [rad/s]
 M - moment síly [$N \cdot m$]
 I - elektrický proud procházející motorem [A]

První rovnice říká, že při otáčení úhlovou rychlostí ω se ve vinutí rotoru indukuje elektrické napětí U_i . C je konstrukční konstanta motoru, ϕ je magnetický tok. Z druhé rovnice lze vyčíst vznik momentu síly M , který je závislý na konstantě motoru C , magnetickém toku ϕ a elektrickém proudu I procházejícím motorem.

Práci motoru v ustáleném stavu popisuje následující rovnice:

$$\omega = \frac{U_i}{C\phi} - \frac{R_a}{(C\phi)^2} M \quad (4)$$

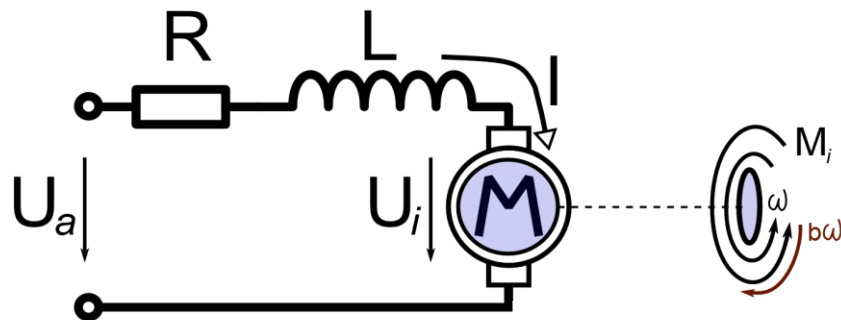
kde ω – úhlová rychlost motoru [rad/s]
 U_i – elektrické napětí motoru [V]
 $C\phi$ – součin konstrukční konstanty motoru a magnetického toku [$N \cdot m/A$]
 R_a – elektrický odpor vinutí motoru [Ω]
 M – moment síly motoru [$N \cdot m$]

Pomocí proměnných, které jsou v této rovnici, lze řídit úhlovou rychlost motoru – změnou odporu R_a v obvodu rotoru, změnou magnetického toku ϕ a taky změnou napájecího napětí U_i . V praxi se však používá jen řízení motorů s permanentními magnety pomocí změny napájecího napětí. Magnetický tok B je pevně dán permanentními magnety. Pro jeho změnu by zde musel stator obsahovat budící vinutí. Odpor kotvy by bylo možné měnit přidáním sériového odporu, ale při větších výkonech by zde vznikaly velké ztráty, proto se tento typ řízení téměř nepoužívá.

Změnou elektrického napětí U_i lze dosáhnout plynulé změny rychlosti otáčení motoru v celém rozsahu. Ztráty jsou u tohoto typu řízení velmi malé a lze měnit směr otáčení přepólováním elektrického napětí motoru.

2.2 Matematický model stejnosměrného motoru s permanentními magnety.

Náhradní schéma stejnosměrného motoru s permanentními magnety je znázorněno na obrázku č.3.



Obrázek 3 Náhradní schéma stejnosměrného motoru.

Z takového zapojení lze snadno odvodit napěťovou rovnici z druhého Kirchhoffova zákona:

$$U_a = RI + L \frac{dI}{dt} + U_i \quad (5)$$

kde U_a – napájecí napětí motoru [V]
 $C\phi$ - součin konstrukční konstanty motoru a magnetického toku [$N \cdot m/A$]
 ω - úhlová rychlost [rad/s]
 L - Indukčnost [H]
 R - elektrický odpor [Ω]
 I - elektrický proud procházející motorem [A]

Pro pohybovou rovnici platí:

$$M_i = M_{dyn} + M_{mech} \quad (6)$$

kde M_i - vnitřní moment [Nm]
 M_{dyn} - dynamický moment [Nm]
 M_{mech} - mechanický moment [Nm]

Dynamický moment lze popsat jako moment, kterým se rotující těleso brání změně rychlosti. Moment setrvačnosti soustavy lze považovat za konstantní. Obecně pro dynamický moment platí následující rovnice:

$$M_{dyn} = J \frac{d\omega}{dt} \quad (7)$$

kde J - moment setrvačnosti rotující soustavy [$kg \ m^2$]
 ω - úhlová rychlost [rad/s]

Vnitřní moment lze popsat jako:

$$M_i = C\phi I \quad (8)$$

kde I - elektrický proud procházející motorem [A]
 $C\phi$ - součin konstrukční konstanty motoru a magnetického toku [$N \cdot m/A$]

Mechanický moment lze vyjádřit jako mechanické ztráty při točení:

$$M_{mech} = b\omega \quad (9)$$

kde b - konstanta viskózního tření motoru [$N \cdot m \cdot s$]
 ω - úhlová rychlost [rad/s]

Po vyjádření členů obsahujících derivace z rovnice (5) a (7) se tvar rovnic upraví na:

$$\dot{\omega} = \frac{C\phi I}{J} - \frac{b\omega}{J} \quad (10)$$

$$\dot{I} = \frac{U_a}{L} - \frac{RI}{L} - C\phi\omega \quad (11)$$

Z těchto rovnic lze sestavit Stavový model:

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} \dot{\omega} \\ \dot{I} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -b/J & -C\phi/J \\ -C\phi/L & -R/L \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{\omega} \\ \dot{I} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 1/L \end{pmatrix} U_a; \quad y = (1 \ 0) \begin{pmatrix} \dot{\omega} \\ \dot{I} \end{pmatrix} \quad (12)$$

kde

$$A = \begin{pmatrix} -b/J & -C\phi/J \\ -C\phi/L & -R/L \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 \\ 1/L \end{pmatrix}$$

$$C = (1 \ 0)$$

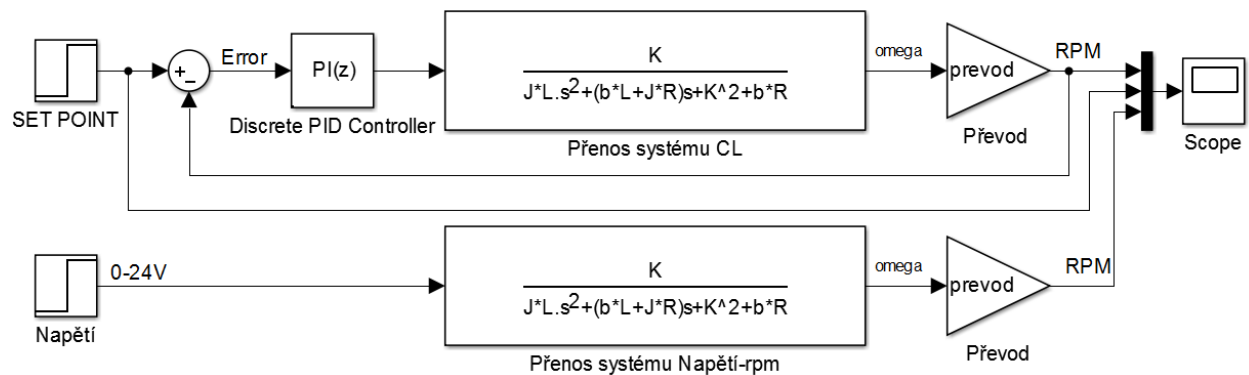
$$D = (0)$$

Potom lze snadno odvodit přenos tohoto systému, a to je:

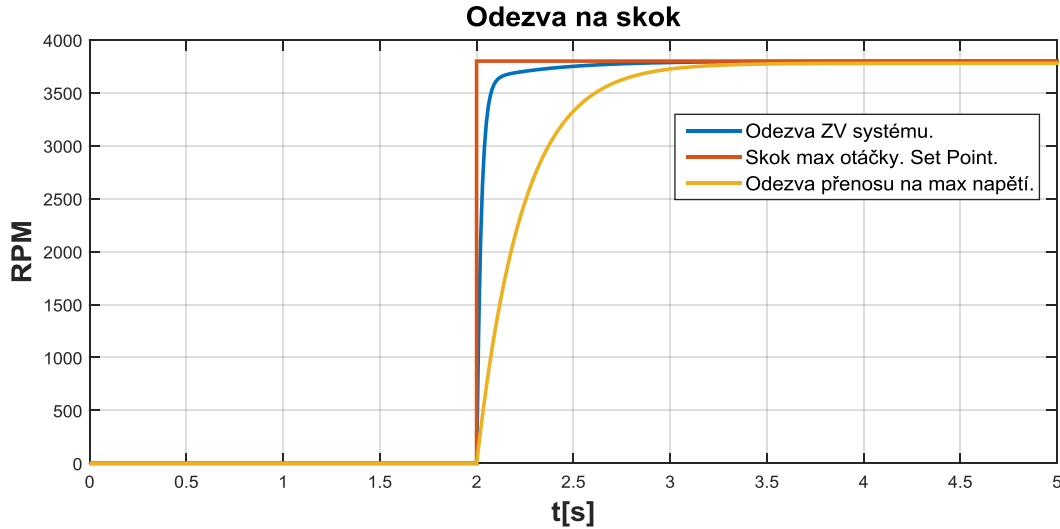
$$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = C(sI - A)^{-1}B + D \quad (13)$$

$$H(s) = \frac{C\phi}{(Js+b)(Ls+R)+(C\phi)^2} \quad (14)$$

V této práci systém zvládne určit jakýkoliv stejnosměrný motor, k tomu stačí použít funkci automatického ladění a automat sám navrhne parametry PID regulátoru. Pokud jsou známe parametry motoru, lze tento regulátor navrhnout pomocí matematického modelu v Matlabu. V příloze jsou soubory „data.mat“ a „model.slx“. Soubor „data.mat“ obsahuje parametry motoru, který byl použit během psaní této práce. Dalším souborem je Simulink soubor „model.slx“ (viz obrázek č.4), kde se dá prozkoumat odezva přenosové funkce na jednotkový skok (maximální napájecí napětí motoru). Dále lze naladit PI regulátor v uzavřené smyčce, a to pomocí programu „PID Autotune Matlab“. Parametry naladěného regulátoru se následně zapíší do PLC. Odezva na skok po automatickém ladění je znázorněná na obrázku č.5. Zde je vidět, že systém je velice podobný systému prvního řádu. Tuto vlastnost bylo možné využít při návrhu regulátoru pro neznámý motor. Pomocí identifikace přenosové funkce systému v PLC lze najít vhodný regulátor, stejně jako pro přenos ze známého matematického modelu. Tento proces je mnohem jednodušší, protože pro něj není nutné znát parametry motoru – stačí najít přenosovou funkci celého systému.



Obrázek 4 Matematický model v programu Simulink.



Obrázek 5 Odezva systému na zadaný Set Point.

2.2 Pulzně šířková modulace

V zařízeních, kde se řídí otáčky stejnosměrných motorů s permanentními magnety se nejčastěji používají polovodičové měniče. Často používaným typem měničů jsou pulzní měniče využívající pulzně šířkovou modulaci k řízení střední hodnoty stejnosměrného napájecího napětí motoru.

Pulzně šířková modulace neboli PWM (Pulse Width Modulation) je diskretní modulace pro přenos analogového signálu pomocí dvouhodnotového signálu. Jedná se o periodický děj, u kterého se často používá konstantní nosná frekvence.

Důležitým parametrem u PWM je střída. Střída znamená u periodických signálů poměr časů, ve kterých je signál v jednotlivých úrovních. Uvádí se buď v procentech nebo v poměrných hodnotách:

$$D = \frac{\tau}{T} \quad (15)$$

kde D – střída PWM signálu [%]
 τ – délka pulzu, při které je hodnota napětí maximální [s]
 T – délka periody PWM signálu [s]

Střední hodnota napětí U_N je dána vztahem:

$$U_N = \frac{1}{T} \int_0^T U_1 dt = U_1 \frac{\tau}{T} = U_1 D \quad (16)$$

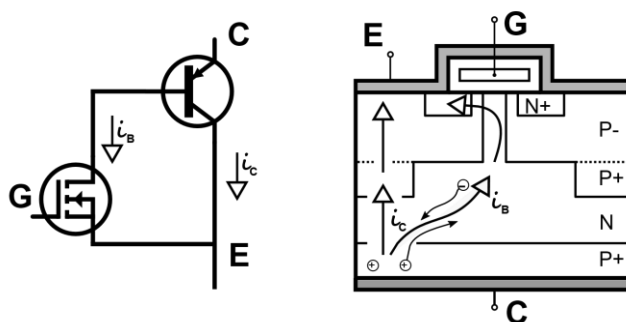
kde U_N – napájecí napětí motoru
 U_1 – napětí zdrojů

Z toho je zřejmé, že střední hodnota napětí je přímo úměrná střídě D .

2.3 IGBT tranzistor

IGBT neboli bipolární tranzistor s izolovaným hradlem je integrovaná kombinace unipolárního a bipolárního tranzistoru. Tento tranzistor je zkonstruován pro velký rozsah spínaných výkonů (od zlomků W až po desítky MW) a vysokou spínací frekvenci (až 20–30 kHz). IGBT tranzistory zachovávají kladné vlastnosti MOS tranzistorů (vysoká vstupní impedance, vysoké výkonové zesílení, dobré kmitočtové spínací charakteristiky, napěťové řízení, teplotní stabilita) a bipolárních tranzistorů (vyšší proudová zatížitelnost). Hlavním rozdílem mezi MOS a IGBT tranzistory je to, že IGBT pracují s menší spínací frekvencí, avšak dokážou spínat větší proud.

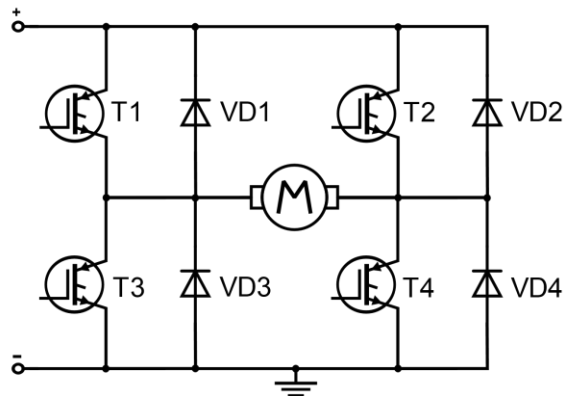
Náhradní schéma IGBT tranzistoru je na obrázku č.6. Při přivedení kladného napětí U_{GE} na řídicí elektrodu tranzistoru MOS se vytvoří inverzní vrstva pod elektrodou, spojující vodivým kanálem emitor N_+ s oblastí báze N_- . Pokud je řídicí napětí dostatečně vysoké, je odpor kanálu malý. Vodivé propojení emitoru E s bází typu N vyvolává injekci děr z přechodu P_+N_- . Injekce nosičů do oblasti N_- má za následek výrazné snížení sériového odporu struktury MOS. Tato vlastnost umožňuje vysokou proudovou hustotu při provozu IGBT.



Obrázek 6 Náhradní schéma a struktura IGBT tranzistoru.

2.4 H-můstek s IGBT tranzistory

K řízení střední hodnoty stejnosměrného napětí jsou určeny pulzní měniče. Na vstupu pulzního měniče je konstantní stejnosměrné napětí a na jeho výstupu je napětí s říditelnou střední hodnotou. V této práci byl pulzní měnič realizován jako H-můstek s IGBT tranzistory. Toto zapojení umožňuje měnit polaritu napájecího napětí motoru a tím pádem i směr jeho točení.



Obrázek 7 Schéma H-můstku.

Zapojení H-můstku je znázorněno na obrázku č.7. Základem jsou čtyři spínače (tranzistory) a k nim antiparalelně připojené diody, které mají funkci nulových diod. Pokud dojde k situaci, kdy zátěž teče proud a není sepnutý žádný spínač, tyto diody uzavírají proud do zdroje.

Spínají vždy dva tranzistory umístěné diagonálně, tedy T1+T4 nebo T2+T3. Pokud se na zátěži v jedné periodě vyskytnou obě polarita napětí – řízení se nazývá bipolární, zatímco pokud se vyskytuje pouze jedna z nich, řízení se nazývá unipolární. Rozlišujeme komplementární a nezávislé spínání. U komplementárního spínání jsou oba tranzistory sepnuty současně. Zatímco u nezávislého je jeden z nich sepnut po celou dobu periody a druhý se spíná pomocí PWM signálu.

U bipolárního řízení s komplementárním spínáním se střídají ve vedení současně sepnuté T1+T4 a v druhé části periody současně sepnuté T2+T3 a podle zvolené střídavy převládá určitá střední hodnota napětí na zátěži. Tato hodnota může být kladná nebo záporná, stejně tak může být i proud kladný nebo záporný. Při střídě 50 % bude napětí na výstupu nulové, platí tedy následující vztah:

$$U_{OUT} = \frac{1}{T} (U_z T_1 - U_z T_2) = U_z (2D - 1) \quad (17)$$

kde U_{OUT} – výstupní napětí můstku
 U_z – napětí zdroje
 T_1, T_2 – čas sepnutí první a druhé diagonály
 T – perioda spínání.

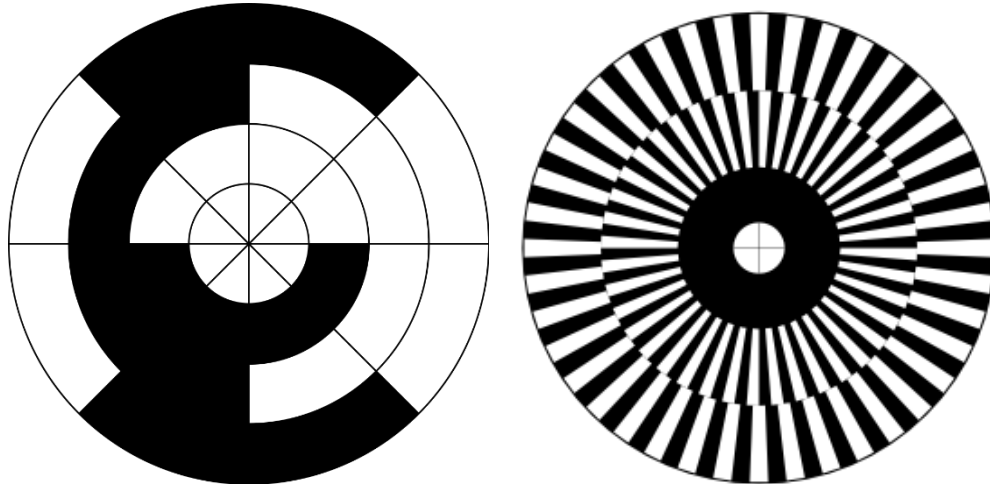
Při bipolárním řízení s nezávislým spínáním se při daném směru proudu spínají pouze spínače v jedné diagonále a po jejich vypnutí se během zbytku periody proud uzavírá antiparalelními diodami druhých dvou (vypnutých) spínačů.

U unipolárního řízení se stejně jako u bipolárního řízení tranzistory spínají buď komplementárně nebo nezávisle. Výhodou unipolárního řízení je dvojnásobná frekvence proudu na zátěži oproti spínací frekvenci a tedy i menší zvlnění proudu.

2.5 Princip optického enkodéru

Digitální optický enkodér je elektromechanický senzor, který snímá polohu své pohyblivé části a předává tuto informaci v podobě standardizovaného signálu do řídicího systému. Na funkci optického enkodéru nemá žádný vliv elektromagnetické pole, což vyplývá z jeho konstrukčního uspořádání, kde nejsou použity žádné prvky, které by mohli být ovlivňovány magnetickým polem. Digitální optické enkodéry se člení na absolutní a inkrementální.

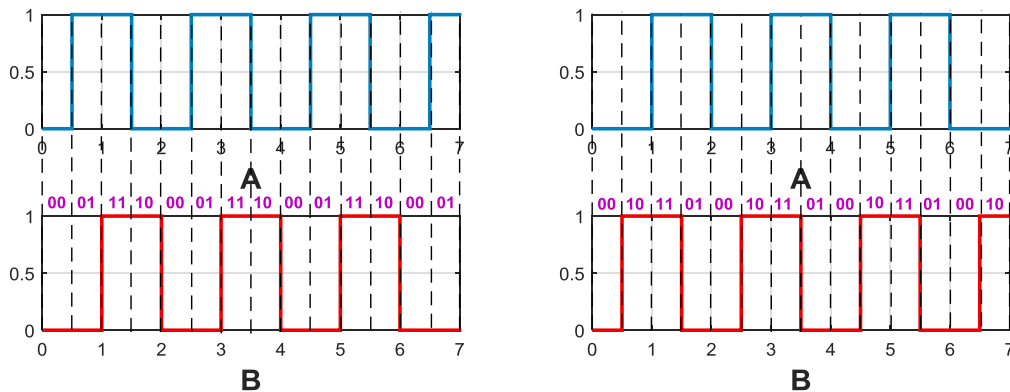
Absolutní enkodéry jsou založeny na principu clonění světelného toku mezi zdrojem světla a fotodetektorem. Clonění je zajišťováno pomocí otáčivého mezikruží, které je upevněno na rotoru. Mezikruží je rozděleno na úseky stejné velikosti, kde každý úsek jinak propouští světlo (viz obrázek č.8 vlevo). Každá poloha pohyblivé části enkodéru je definována jedinečným binárním kódem. Výhodou tohoto enkodéru je znalost aktuální polohy i po restartování systému. Rozlišení je definováno počtem úseků na mezikruží.



Obrázek 8 Mezikruží absolutního (vlevo) a inkrementálního (vpravo) enkodéru.

Inkrementální enkodéry jsou založeny na principu dvou obdélníkových signálů, které jsou navzájem fázově posunuty o 90° . Základem pro generování signálu je pohyblivá část enkodéru – pravítka (obrázek č.8 vpravo), které je tvořeno průsvitnými a neprůsvitnými dílky stejné velikosti. Z jedné strany pravítka se nachází zdroj světla, jehož světlo je v závislosti na poloze pravítka buď absorbováno neprůsvitným dílkem nebo propuštěno dále. Propuštěné světlo snímají z druhé strany pravítka dvě fotodiody nebo fototranzistory.

Aktivace optických členů vytváří dvoukanálový signál A, B (viz obrázek č.9). Díky tomu je možné kromě počtu „tiků“ tj. úhlu otočení určit i směr pohybu. Rozlišení je definováno počtem pruhů nebo impulsů na otáčku, které enkodér pro každou otáčku předá do řídicího systému.



Obrázek 9 Průběhy signálů A i B pro pohyb vpřed (vlevo) a pohyb vzad (vpravo).

3 Využití součástky zařízení

3.1 PLC Unitronics Vision 570 se Snap-IN modulem

Programovatelný logický automat neboli PLC (anglicky Programmable Logic Controller) je relativně malý počítač v průmyslovém provedení, který je řízen mikroprocesorem s vlastním operačním systémem a používá se pro automatizaci řídicích procesů v reálném čase – například řízení strojů nebo výrobních linek v továrně. PLC automaty se od běžných počítačů liší tím, že jejich periferie jsou přímo uzpůsobeny pro napojení na technologické procesy. Převážnou část periferií v tomto případě tvoří digitální vstupy a digitální výstupy. K dalšímu zpracování signálů a napojení na technologii jsou určeny analogové vstupy a analogové výstupy. V současných průmyslových automatizačních procesech jsou také používány další moduly periferních jednotek připojitelných k PLC, například komunikační procesory pro sběr a přenos dat, speciální vstupy pro připojení enkodéru, rychlé tranzistorové výstupy pro generaci PWM a další specifické moduly.

Automat Vision V570 není v původní kompletaci vybaven žádnou periferií jako například digitálními vstupy a výstupy. Součástí balení je jen základní deska, která má pouze procesor a displej. Tuto jednotku je třeba následně rozšířit buď připojením Snap-in I/O modulu nebo expanzní karty. Volba Snap-in I/O modulů a expanzních karet záleží na typu senzorů a akčních členů, které se budou v zařízení používat. Do PLC lze zapojit nejvíce jeden Snap-in I/O modul a sedm expanzních karet.

Navíc je zde místo pro doplnění jednotky o Ethernetovou kartu 100Base-Tx s klasickým konektorem RJ-45. S jeho pomocí je možné uskutečňovat vzdálený přístup k programu i datům PLC po síti a provádět načtení či přeprogramování programu aplikace, její stop, start, reset či novou inicializaci. Pomocí této karty nelze provést první naprogramování aplikace do PLC, protože pro ethernetovou komunikaci musí mít PLC definováno „jméno“, jež lze nastavit jen pomocí funkčního bloku v programu, který je nutné nejdříve nahrát přes sériové rozhraní.

K programování a kompletnímu nastavení a obsluze všech PLC třídy Vision slouží volně stažitelný počítačový software VisiLogic. Daný software v sobě přímo sdružuje jak programování řídicího programu prostřednictvím liniového diagramu a široké nabídky funkčních bloků, tak i vytváření zobrazovacího a ovládacího rozhraní. Jeho výhodou je maximální přehlednost vývoje aplikace. Automat lze programovat pomocí klasického RS232 kabelu připojeného na port č. 1 a Ethernetového rozhraní.



Obrázek 10 PLC Unitronics Vision 570.

Základní parametry automatu V570	
Napájení 12/24 V_{DC} .	
Rozměry: 197x147 mm (V570)	
Rychlost provádění programu: 9 mikrosekund u aplikace velikosti 1 kB	
Paměť: zálohovaná Lithiovou baterií	
RAM pro aplikační logiku:	2 MB
RAM pro datové tabulky:	120 kB
RAM pro obrázky do HMI:	12 MB
RAM pro uložení fontů:	1 MB
Flash pro data:	256 kB
Displej:	
Barevný TFT LCD 5,7", 320x240 pixelů 65 536 barev, rozlišení 16 bitů, softwarově nastavitelný jas, odporová dotyková plocha	
Komunikační rozhraní:	
2x COM RS-232/RS-485	
1x CAN / CANOpen	
Možnost rozšíření o Ethernet 100BASE-TX	
Rozšiřující moduly:	
1x Snap-IN	
7x Expanzních karet	
Ostatní funkce:	
Slot pro SD-kartu, RTC, Web-server	

Tabulka 1 Parametry PLC Vision V570

V200-18-E1B Snap-in I/O Modul
16 galvanicky izolovaných vstupů
Nominální vstupní napětí 24 V_{DC} . Pro pnp zapojení: Logická „0“ – 0 až 5 V_{DC} . Logická „1“ – 17 až 28.8 V_{DC} . Pro npn zapojení: Logická „0“ – 17 až 28.8 V_{DC} . Logická „1“ – 0 až 5 V_{DC} .
High speed inputs Vstupy I0 až I4 mohou být použity pro připojení 2 enkodéru nebo 2 čítačů – Rozlišení 32bitů, Frekvence 10kHz, minimální délka pulzu 10mSec.
10 galvanicky izolovaných výstupů
Nominální výstupní napětí: 24 V_{DC} . Maximální zatěžovací proud: 5A přes jeden výstup, 8A přes všechny Maximální spínací frekvence: 10 Hz
4 izolované pnp/npn tranzistorové výstupy
pnp: P-MOSFET (otevřený emitor) Maximální výstupní proud: 0.5 A Maximální spínací frekvence: 2 kHz Napájecí napětí: 20.4 až 28.8 V_{DC} . nnp: (otevřený kolektor) Maximální výstupní proud: 50 mA Maximální spínací frekvence: 50 kHz Napájecí napětí: 3.5 až 28.8 V_{DC} .
3 analogové vstupy
Vstupní rozsahy: 0-10 V_{DC} . nebo 0-20 mA nebo 4-20 mA Rozlišení 10bit Maximální vstupní napětí $\pm 10V_{DC}$ Maximální vstupní proud $\pm 30mA$

Tabulka 2 Parametry V200-18-E1B

3.2 Enkodér DBS36E-S3EK01024

Pro snímání otáček motoru byl použit inkrementální enkodér od firmy SICK. Na výstupu má signály $A, \bar{A}, B, \bar{B}, Z, \bar{Z}$, přičemž A, B je kvadrurní signál, zatímco \bar{A}, \bar{B} je k němu negovaný. Signály Z a k němu negovaný \bar{Z} se používají pro získání nulové polohy, pulz se tedy objeví jednou za otáčku. Průběh těchto signálů je znázorněn na obrázku č.12.



Obrázek 11 Enkodér SICK DBS36E

Základní charakteristiky enkodéru:

Rozměr senzoru: 35.5x33.8 mm

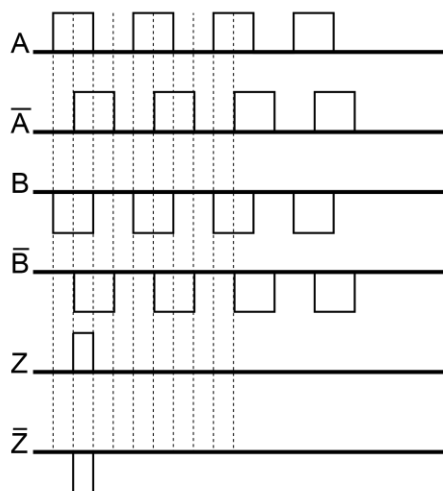
Rozměr hřídele: 6x12 mm

Impulzy na 1 otáčku: 2048

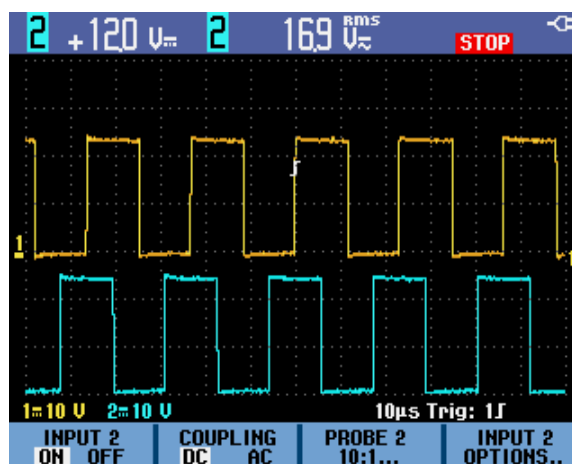
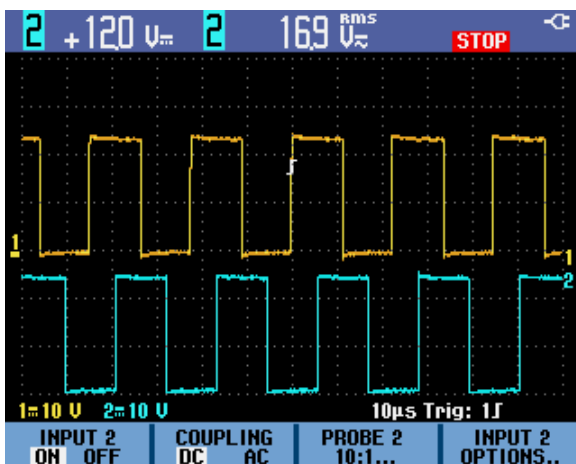
Teplotní rozsah: -20 °C ... +85 °C

Rozsah napájecího napětí: 7 ... 30 V_{DC} .

Enkodér se napájí stejnosměrným napětím 24 V_{DC} . Z výše zmíněných signálů na vstup Snap-IN modulu byl zapojen signál *A* na svorku *I0* a signál *B* na svorku *I1*, současně byla propojena společná zem.



Obrázek 12 Průběhy signálu z výstupu enkodéru.



Obrázek 13 Skutečné průběhy signálů *A* i *B* při otáčkách 1500rpm pro pohyb vpřed (vlevo) a pohyb vzad (vpravo).

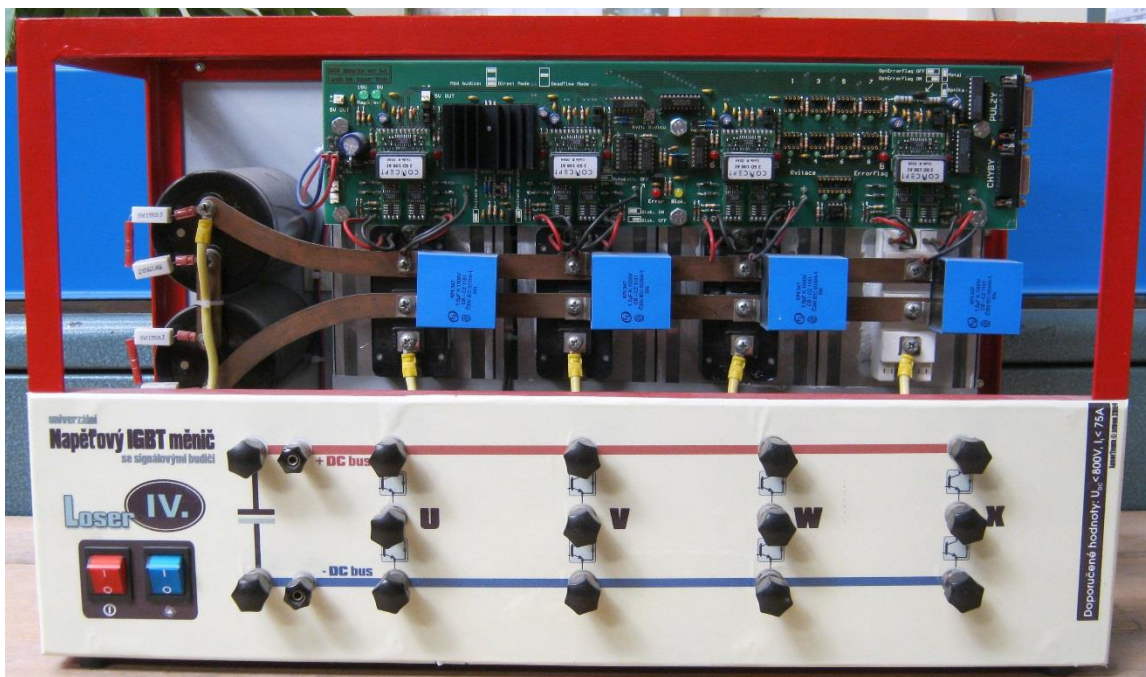
3.3 H-můstek Loser v1.0

K řízení střední hodnoty stejnosměrného napětí v této práci byl využit univerzální pulzní měnič Loser v1.0. Měnič je osázen 4 duálními IGBT moduly BSM100GB120DN2 od firmy Siemens s dovoleným napětím mezi kolektorem a emitorem 1200 V_{DC} a kolektorovým proudem 150 A.

Měnič je napájen ze sítě klasickým euro kabelem. Na předním panelu jsou dva navzájem paralelní dvoupólové vypínače s tlumivkou. Červený zapíná napájecí zdroj, zatímco modrý ovládá ventilátory k chladičům IGBT modulů. Zdroj je založen na lineárním regulátoru napětí 7815, který upravuje napětí z transformátoru a diodového můstku na 15 V_{DC} . Přesně takové napětí vyžadují 4 duální ovladače Scale 2SD106AI od firmy Concept pro řízení IGBT tranzistorů. Zdroj také napájí řídicí desku. Napětí na desce se pomocí lineárního regulátoru taktéž upravuje na hodnotu 5 V_{DC} , která je nutná pro napájení řídicí logiky.

Zdroj stejnosměrného napětí pro napájení motoru se zapojí mezi dva velké kondenzátory Kendeil KO 1450472 v sérii, jež slouží jako zdroj špičkové energie. Každý z nich má kapacitu 4700µF a maximální napětí

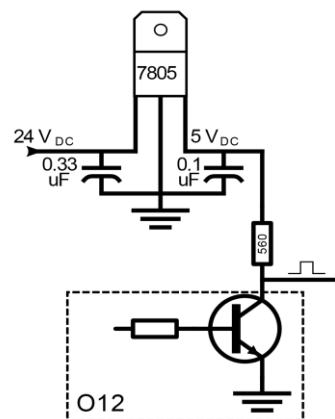
$450 V_{DC}$. Kladná elektroda horního kondenzátoru je pomocí měděného spoje propojena paralelně s konektory jednotlivých IGBT modulů. Záporná elektroda je stejným způsobem spojena s emitory.



Obrázek 14 Univerzální pulzní měnič Loser ver. 1.0.

Tento přístroj je ovládán přes port typu CANON 15, který je umístěn v horní části na pravém boku panelu. Piny 1 až 8 ovládají příslušné IGBT tranzistory 1 až 8, ostatní jsou propojené na společnou zem.

Na vstupu tohoto portu jsou logické BiCMOS invertory 74ABT540. BiCMOS je pokročilejší polovodičová technologie, která spojuje dvě polovodičové technologie, tj. bipolární tranzistor a CMOS tranzistor, v jediném integrovaném obvodu. Zde pro logické úrovně platí, že napětí na každém vstupním pinu nesmí přesahovat $7 V_{DC}$. Maximální napětí pro nízkou úroveň je $U_{ILmax} = 0.8 V_{DC}$, zatímco minimální napětí pro vysokou úroveň je $U_{ILmin} = 2V_{DC}$. Znamená to, že pulsní měnič se musí ovládat signálem v rozmezí $0 - 5 V_{DC}$. Proto bylo realizováno zapojení jako na obrázku č.15. V daném schématu je přes 560 Ohmový rezistor na NPN výstup napojen 5 voltový zdroj, realizovaný pomocí obvodu 7805. Sepnutím a rozepnutím NPN tranzistoru na výstupu bude vznikat obdélníkový signál.



Obrázek 15 Zapojení tranzistorového výstupu pro generaci PWM signálu.

4 Programování PLC

4.1 Unitronics VISION OPLC IDE

PLC Vision V570 v tomto zařízení byl naprogramován pomocí vývojového prostředí Unitronics VISION OPLC IDE 9.8.31 v jazyce líniového diagramu. Grafický jazyk líniového diagramu (Ladder Diagram) je založen na grafické reprezentaci reléové logiky. Program je zapsán sítí propojených grafických prvků (spínací a rozpínací kontakty, relé, funkce, funkční bloky atd.). Program se dá rozdělit na mnoho funkcí, které lze cíleně vyvolávat. Každá funkce se rozdělí na „Networky“, do kterých se graficky nakreslí bloky programu. Program vždy běží od prvního do posledního „Networku“ funkce „Main Routine“ a postupně vykonává předem naprogramované bloky a funkce a po dokončení tohoto procesu začíná znovu. Čas vykonání programu závisí na velikosti programu, například program s velikostí 1Kb proběhne za 9 mikrosekund.

Při programování řídicí logiky se nabízí k využití velké množství operandů a registrů (8192 bitových operandů, 4096 registrů integer, 256 registrů double word, 64 registrů reálných čísel). Vše dále doplňuje 384 časovačů (32bitů) a 32 čítačů. Podrobný seznam těchto operandů je v tabulce č.3. S jejich pomocí je možné vytvářet aplikace prostřednictvím velkého množství funkčních bloků, které realizují jak základní matematické operace, převody (mezi formáty čísel a ASCII znaky), práci se znaky a ASCII řetězci, tak i specializované funkce pro linearizaci a zesílení analogových signálů, PID regulátory, PWM výstupy, digitální filtry, realizaci digitálních vah, vykreslení trendů ze vzorkovaných dat, řízení pohybu a zrychlení servomotorů, či například komunikaci přes GPRS, zasílání SMS a e-mailových zpráv.

Další důležitou funkcí je možnost využívání databází. Visilogic velmi intuitivně navádí, jak vytvořit tabulku o přesně požadovaném počtu sloupců a řádků, definici jejich názvů a typů proměnných. V řídicím programu lze snadno realizovat výběr a správu v ní uvedených dat prostřednictvím indexačních registrů. Následně při provozu takové databáze v PLC je možné vzdáleným přístupem hodnoty z tabulky načítat do PC, archivovat do různých formátů, jako například CSV, i případně upravenou tabulku nahrát zpět z PC do PLC. Lze tak například stáhnout data z PLC do PC a Excelu, zde upravit a poté opět načíst do PLC.

Software Vision také dovoluje naprogramovat speciální funkční bloky pro různé datové komunikace PLC s jiným zařízením. Je možné komunikovat standardně přes sběrnici CAN/CANopen, RS-232/RS-485 či případně po Ethernetu, avšak jsou k dispozici i funkční bloky pro velmi snadné nadefinování komunikačního protokolu (vlastní datové komunikační vrstvy) při využití fyzické vrstvy RS-232/RS-485 či TCP/IP. Pomocí klikání myši lze snadno nadefinovat schéma komunikačního protokolu. K tomu stačí použít jen 3 funkční bloky – jeden pro inicializaci komunikačního rozhraní, další pro příjem a poslední pro vysílání.

Ve vývojovém prostředí se dá naprogramovat alarm manager. Do něj se nadefinují všechny možné poruchy, které se v tomto systému mohou objevit. Alarm manager se následně postará o zobrazení a uložení historie poruch.

Také je zde možná realizace webového serveru, který umožňuje vytvořit jednoduché internetové stránky, například pro zobrazení vybraných hodnot a informací prostřednictvím klasického webového prohlížeče počítače, který je přes Ethernet / internet připojen k PLC.

Přes VisiLogic se také programují všechny funkční bloky pro práci s SD kartou. Je možné využít bloků pro zápis, čtení, mazání a klonování souborů, hodnot operandů a registrů, dat z databází a tabulek či zjištěných trendů.

Pomocí vývojového prostředí byly definovány parametry vstupů a výstupů, byl realizován PID regulátor, proces automatického ladění, šetřič pro LCD displej, zpracování a zobrazení grafů, alarm

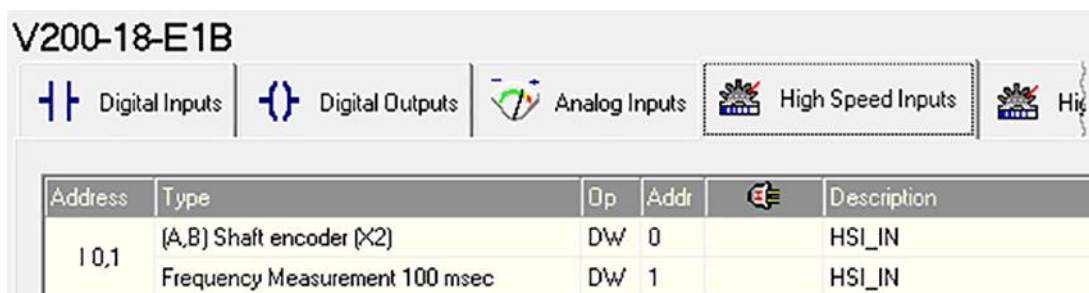
manager, byly zadány komunikační parametry (IP adresa, jméno PLC v síti atd.), nakresleny veškeré obrazovky.

Typ proměnné	Značení	Maximální Počet	Hodnota	Poznámka
Input	I	544	Bit	Input proměnné – přímá hodnota vstupů PLC (on-off) signál.
Output	O	544	Bit	Output proměnné – přímá hodnota výstupů PLC (on-off) signál.
Timer	T	192	32-bit	Proměnné časovačů.
Counters	C	24	16-bit	Proměnné čítačů.
Memory Bit	MB	4096	Bit	Energo nezávislý bit
Memory Integer	MI	2048	16-bit	Energo nezávislý 16-bitový integer.
Memory Long Integer	ML	256	32-bit	Energo nezávislý 32-bitový integer.
Double Word (unsigned)	DW	64	32-bit	Energo nezávislý 32-bitový unsigned double word.
Memory Float	MF	24	32	Proměnná pro práci s čísly s plovoucí čarou
Constant Value	#	Dynamic		Konstanty pevně uložené do paměti PLC – lze nadefinovat pouze jednou při programování.
X Bit	XB	1024	Bit	Energo závislý bit.
X Integer	XI	512	16-bit	Energo závislý 16-bitový integer.
X Long	XL	256	32-bit	Energo závislý 32-bitový integer.
X Double Word	XDW	64	32-bit	Energo závislý 32-bitový unsigned double word.
System Bit	SB	512	Bit	Systémové bity pro sledování stavu PLC
System Integer	SI	512	16-bit	Systémové integrity pro sledování stavu PLC
System Long	SL	56	32-bit	Systémové longy pro sledování stavu PLC
System Double Word	SDW	64	32-bit	Systémové DW pro sledování stavu PLC
Network System Bit	NSB	8	Bit	Systémové síťové proměnné bity
Network Input	NI	17	Bit	Systémové síťové proměnné bity
Network System Integer	NSI	2	16-bit	Systémové síťové integrity

Tabulka 3 Proměnné PLC Vision V570

4.2 Snímání otáček motoru

Enkodér SICK je zapojen do speciálního HSI vstupu (High speed input). PLC automaticky vyhodnocuje rychlost otáčení, směr točení a polohu hřídele. Zjištěné údaje o rychlosti a poloze se následně uloží do dvou předem definovaných proměnných (viz. obrázek č.16). Poloha přímo odpovídá počtu impulsů snímaných enkodérem.



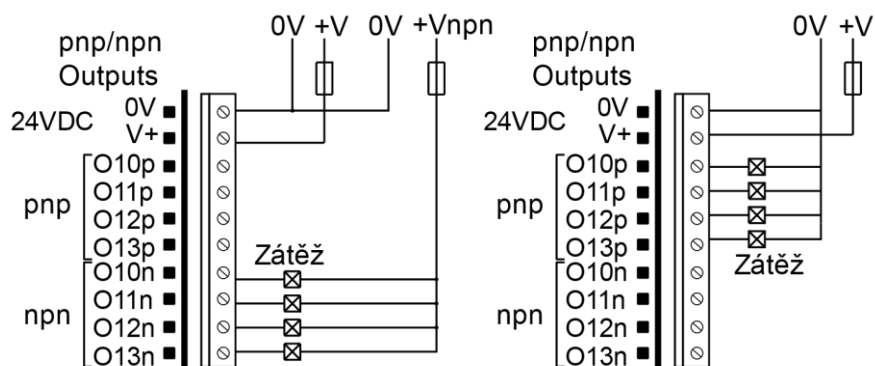
Address	Type	Op	Addr	Description
I 0,1	(A,B) Shaft encoder (X2)	DW	0	HSI_IN
	Frequency Measurement 100 msec	DW	1	HSI_IN

Obrázek 16 Programové nastavení enkodéru.

Podle štítku na motoru lze zjistit jeho maximální otáčky. Předpokládá se, že motor může být vyměněn za jiný. Z tohoto důvodu byl realizován algoritmus zjištění maximálních otáček. Motor se roztočí na maximální výkon a změří se pulzy z enkodéru, které motor natočí za 1 sekundu. Na základě zjištěné hodnoty se následně vypočte rychlost otáčení za minutu. Tento parametr se potom používá pro snímání rychlosti. Snímaná hodnota rychlosti přímo neodpovídá otáčkám, proto se tato hodnota upraví blokem linearizace na skutečnou rychlost měřenou jako otáčky za minutu.

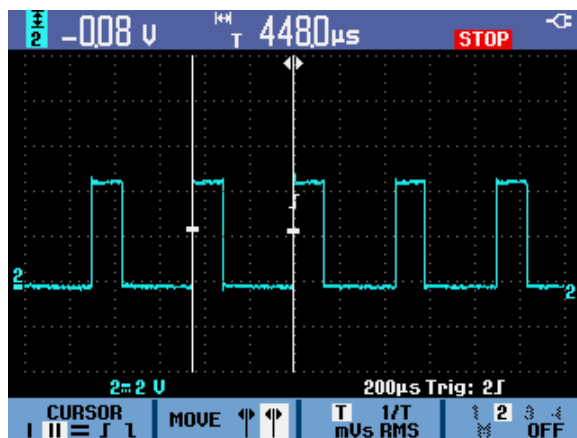
4.3 Generace PWM signálu

Pro generaci PWM signálu je využíván speciální výstup Snap-In modulu – HSO (High speed output). Je to speciální tranzistorový výstup, který je možné zapojit buď jako PNP nebo NPN. Schéma těchto zapojení je znázorněné na obrázku č.17. V zapojení PNP se zátěž připojí na spínací výstup a referenční zem. Ve chvíli kdy dochází k sepnutí tohoto výstupu, proud prochází přes zátěž na zem. U NPN zapojení se zátěž napojí na zdroj a spíná se tímto výstupem na zem. Výrobce uvádí, že maximální proud, který může procházet v zapojení PNP je 0.5 A, což je 10krát větší než u NPN, avšak NPN má vyšší maximální spínací frekvenci (50 kHz na rozdíl od PNP 2 kHz). Zapojení PNP také umožňuje spínat jen napájecí napětí v rozmezí 20.4–28.8 V_{DC} . V NPN zapojení můžeme spínat napětí od 3.5 do 28.8 V_{DC} . Pro toto zařízení proto bylo zvoleno zapojení typu NPN.



Obrázek 17 Zapojení PNP vs. NPN.

Generovanému signálu je programově nastavená pevná frekvence a otáčky se řídí změnou střídy. Experimentální cestou pro daný motor byla nastavená frekvence 2232 Hz, která se samozřejmě může měnit. Generovaný signál má amplitudu 0 až $24 V_{DC}$, která se analogově upravuje na signál 0 až $5 V_{DC}$. Tento signál se následně posílá na vstup H-můstku. PWM signál v takovém zapojení je negovaný, což lze vyřešit softwarovou úpravou.



Obrázek 18 Průběh řídicího signálu pro frekvenci 2232 Hz a střídu 30%.

V programu musí být nedefinovány parametry PWM výstupu tak, jak je to ukázáno na obrázku č.19. Bitem MB99 je povolen běh PWM. Do proměnné MI20 se zadává střída signálu v rozmezí 0 až 1000 (0 až 100%). Do proměnné DW3 se zadává frekvence signálu v jednotkách 0.1 Hz, přičemž maximální generovaná frekvence je v takovém zapojení 50 kHz, například pro 500 Hz musíme do této proměnné uložit 5000.

V200-18-E1B

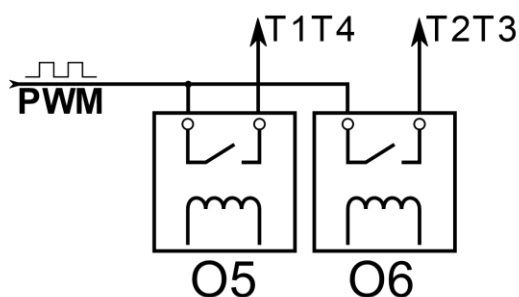
High Speed Inputs High Speed Inputs (Reload) High Speed Outputs (PWM)

Address	Type	Op	Addr	Description
0 12	None			
0 13	High Speed Output (PWM)	DW	3	Operand for Frequency
		MI	20	Operand for Duty Cycle
		MB	99	LCD_Run MB bit

Obrázek 19 Programové nastavení pro generaci PWM signálu.

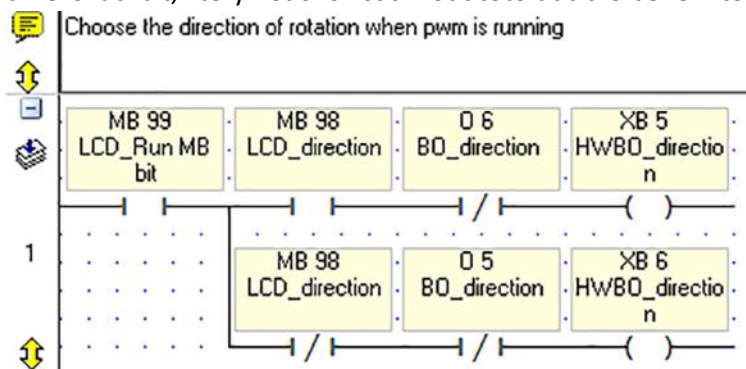
4.4 Volba směru točení

Zařízení může motor roztočit v obou směrech. Pro změnu směru stačí sepnout jiný pár IGBT tranzistorů v H-můstkovém zapojení. Směr točení může být zvolen pomocí tlačítka na hlavní obrazovce. Fyzicky změna směru probíhá sepnutím dvou různých reléových výstupů 05 a 06 viz obrázek č.20.



Obrázek 20 Zapojení reléových výstupu pro změnu směru.

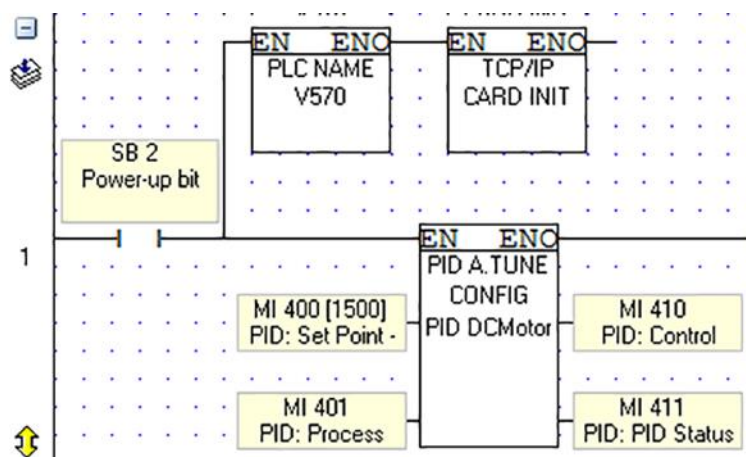
Je zřejmé, že se směr nesmí měnit během točení motoru a nesmí se sepnout oba páry tranzistorů současně – to by mohlo vést k poškození celého zařízení. Tyto ochrany byly vyřešeny softwarově viz obrázek č.21. Nesmí zde být sepnut ani jeden směr, pokud nebyl dán povel běhu PWM. Navíc se nesepe výstup 05, pokud je sepnutý 06 a naopak. Bit MB98 je navázaný na tlačítko na hlavní obrazovce, k němuž byl také nadefinován zamezovací bit, který nedovolí stisknout toto tlačítko během točení motoru.



Obrázek 21 Programová realizace volby směru.

4.5 Nutné nastavení po restartu systému

V datovém prostoru PLC V570 jsou nadefinovány různé pomocné systémové bity a proměnné, které slouží především pro pozorování stavu systému. Jedná se například o bit SB8, který identifikuje vybitou baterii v automatu, nebo SB3, který každou sekundu vytváří jednotkový pulz, anebo také SB16, jež slouží pro detekci doteku obrazovky a mnoho dalších. Jedním z takových bitů je bit SB2, který mění svůj stav jen jednou, a to po restartu systému. Tato možnost se využívá pro nastavení a různé konfigurace, které jsou potřeba provést pouze jednou. V tomto projektu k takovým nastavením patří nastavení jména a IP PLC v síti a konfigurace PID regulátoru viz obrázek č.22. Tímto se nastaví jméno PLC v síti, IP adresa, maska podsítě a brána. Po takovém nastavení je možné naprogramovat automat prvně přes sériový port, poté je již PLC možné programovat přes Ethernet, což je mnohem rychlejší. Konfigurace a základní vlastnosti PID regulátoru jsou podrobně popsány v kapitole 5.



Obrázek 22 Funkční bloky konající pouze jednou po restartu.

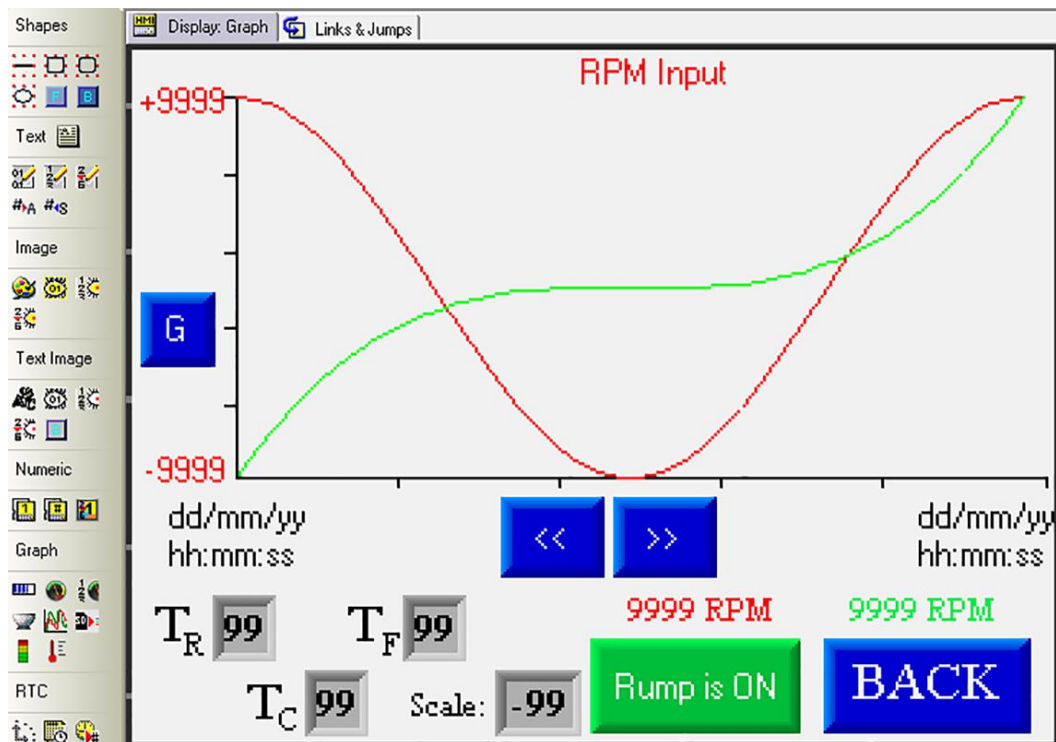
4.6 Práce s grafikou, grafy

Grafický editor ve vývojovém prostředí Visilogic umožňuje kromě základních grafických prvků nakreslit elementy připojené k proměnným, které se vyskytují v programu, například nakreslit graf průběhu měřených hodnot, zobrazit aktuální číselnou hodnotu proměnné, nakreslit tlačítko a spojit s ním změnu stavu určitého bitu atd.

Každý grafický objekt má nastavovací menu, kde lze měnit jeho základní parametry, zde je možné například nalinkovat na tento objekt proměnnou, měnit barvu a font textu, upravit zadávací parametry apod. (viz. obrázek č.24).

Maximální počet obrazovek definovaných uživatelem je 1024, přechod mezi obrazovkami z aktuální obrazovky probíhá na náběžné hraně bitu, který byl pro tento přechod definován.

Pro práci s grafy je nutné nastavit periodu vzorkování, maximální počet uložených vzorků, bit pro povolení běhu grafu a minimální a maximální mez, ve kterých se tato proměnná bude zobrazovat.



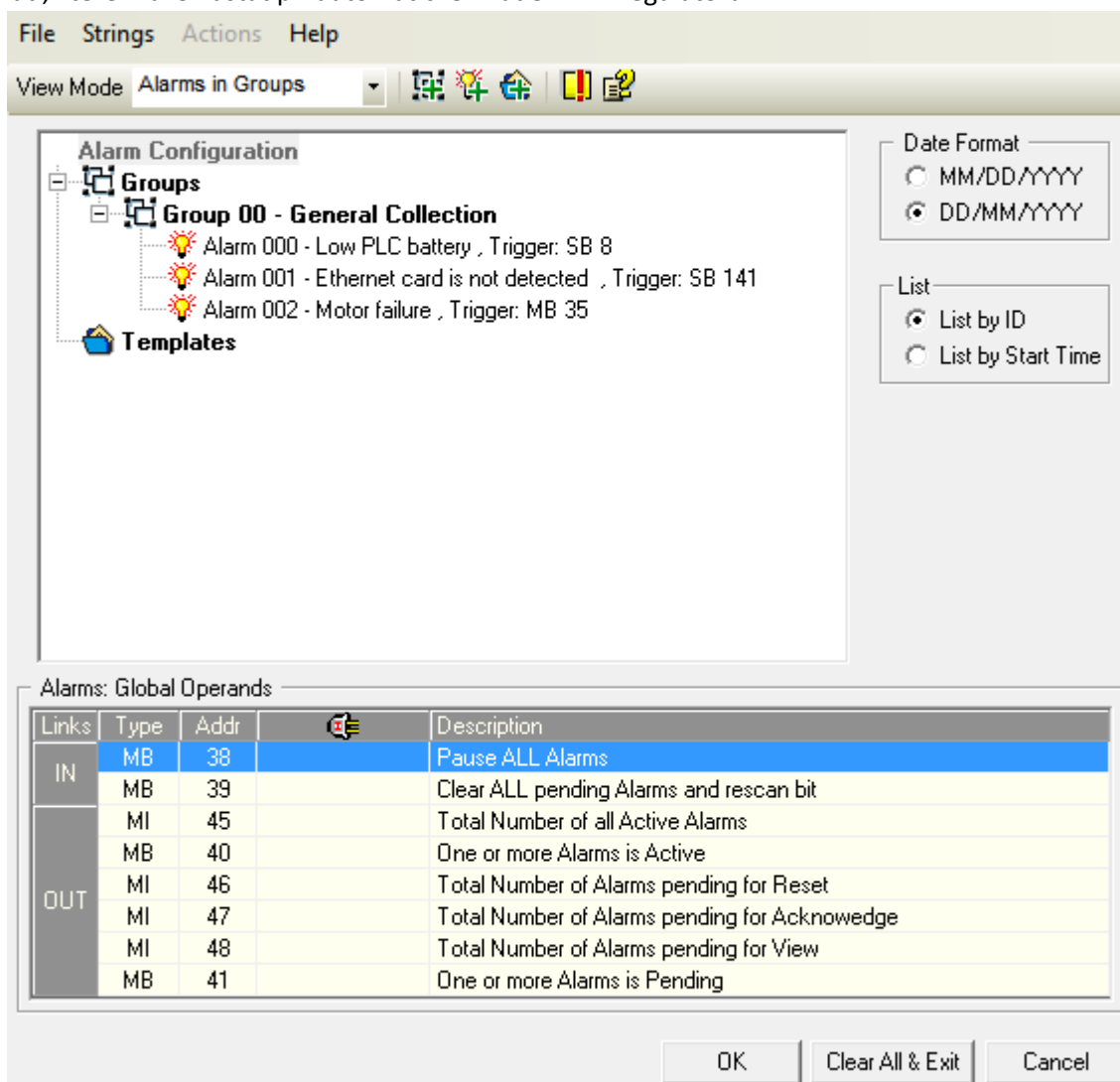
Obrázek 23 Tvorba grafiky ve vývojevém prostředí Visilogic 9.8.31.

Obrázek 24 Parametry objektů typu „Number“ pro číselné zobrazení frekvence PWM signálu.

4.7 Alarm manager

Porucha je úplná nebo částečná ztráta schopnosti provozu prvku nebo zařízení. V automatech Unitrronics existuje možnost nastavit alarm manager, který bude reagovat na změnu poruchového bitu a zapisovat do paměti čas, ve kterém tato změna nastala. Alarm manager je zvláštní podprogram, který se programuje ve vývojovém prostředí Visilogic. Pro tuto činnost existuje utilita „Alarm configuration“, do které se inicializují všechny možné poruchové stavy a informace o nich.

V tomto zařízení byl nadefinován poruchový stav, za kterého v automatu přestává fungovat komunikační Ethernet karta. V tom případě se na hlavní obrazovce rozsvítí červené tlačítko. Jeho stisknutím se lze dostat do poruchového menu, kde je možné zobrazit podrobnou informaci. Stejný proces byl realizován pro detekci poruchy zapojení H-můstku, motoru nebo enkodéru. Po rozběhnutí motoru musí enkodér poslat pulsní signál, detekující jeho točení, pokud po dobu 15 sekund tento signál nebyl detekován – automat zastaví řídicí proces a nahlásí chybu. Tímto mechanismem může software zabránit zaseknutí, které může nastat při automatickém ladění PID regulátoru.



Obrázek 25 Nastavení poruch v „Alarm configuration“.

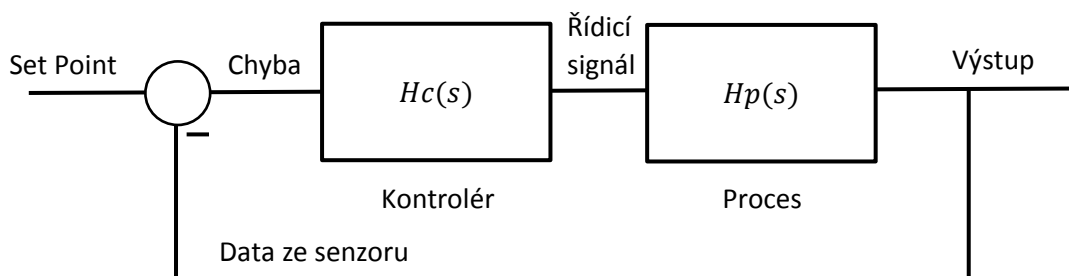
5 Návrh regulátoru

5.1 PID regulátor v automatech Unitronics

Funkční blok PID v automatech Unitronics umožňuje systému využít zpětnou vazbu (uzavřenou smyčku) pro plynulou kontrolu dynamických procesů. PID je nutný proto, aby proces v co největší míře dodržoval zadaný Set Point. PID v automatu V570 obsahuje automatické ladění.

V této práci se autor zabývá řízením stejnosměrného motoru. Jakýkoliv vliv na motor, jako například brzdění motoru, vyvolá rozdíl mezi aktuální rychlostí motoru a zadaným Set Pointem. Tento rozdíl následně vytvoří chybový signál, do kterého by měl kontrolér automaticky zasáhnout, aby dodržel zadanou rychlost. PID kontrolér slouží k minimalizaci chybového signálu.

Blokový diagram pro systém se zpětnou vazbou je znázorněn na obrázku č.26. Zde je na vstupu zadána požadovaná rychlost otáčení, od které se odečítá aktuální rychlost ze senzoru, výsledkem je chybový signál. Tento signál se potom přivádí na vstup kontroléru, jenž podle něj rozhoduje, jak má zasáhnout do chodu motoru, aby tento signál zmenšil.



Obrázek 26 Blokový diagram řídicího systému se zpětnou vazbou.

Funkci PID je třeba programově nastavit. Základní nastavovací proměnné jsou popsány v tabulce č.4, jakýkoliv parametr se nastavuje zapsáním do předdefinované proměnné pro tento parametr. Je podstatné dát si pozor na to, v jakých jednotkách se nastavují parametry P, I, D a Sample Time.

Proporcionální složka P je nutné převést do parametru zvaného pásmo proporcionality. Pásmo proporcionality (anglicky Proportional Band) je veličina, která udává, o kolik procent se musí změnit vstupní signál (regulační odchylka), aby se výstup (akční veličina) změnil v celém rozsahu. Potom tato hodnota je $PB = \left(\frac{1}{P}\right) 100\%$ a do automatu se musí uložit v jednotkách 0.1%.

Parametr I je definován v jednotkách sekund, přičemž se pro něj nastavuje pouze celočíselná hodnota. Integrační složka PID regulátoru reaguje na rychlost změny výstupu zpětnovazebního systému vzhledem ke změně chyby. Na volbě konstanty I závisí, jak rychle systém dosáhne požadovaného Set Pointu. Pokud zde nastavíme krátký integrační čas, bude regulátor reagovat velmi rychle a může dojít k překročení nastaveného Set Pointu – zákmitu. Nastavení většího integračního času bude mít za následek pomalejší odezvu.

Akční výstup z regulátoru může dosáhnout a zůstat na 100%, což je stav, kterému se říká nasycení (anglicky Saturation). K tomuto stavu může dojít v případě, kdy proces není schopen dosáhnout žádané hodnoty. Způsobí to, že chybový signál zůstane zaseknutý buď v pozitivním nebo negativním rozsahu. V této situaci integrační chyba bude narůstat v průběhu času a nezvládne rychle zareagovat na změnu

v opačném směru. Tento jev se nazývá Wind-up. Pro zabránění tohoto jevu je v automatech Vision potřeba nastavit maximální a minimální hranice pro integrační chybu. To se uskutečňuje pomocí speciálních funkčních bloků.

Derivační složka D se stejně jako ta integrační ukládá v jednotkách sekund. Tento parametr odpovídá rychlosti a směru změny chyby. Znamená to, že rychlá změna chybového signálu vyvolá silnou změnu výstupu PID regulátoru. Tento parametr předvídá změnu měřené hodnoty a tím přizpůsobuje kontrolér tak, aby zkrátil časovou odezvu.

Vzorkovací čas definuje, s jakou rychlostí PID regulátor bude zasahovat do procesu a zadává se v jednotkách $10ms$, například pro $0.1[s]$ se do automatu musí uložit Sample Time 10.

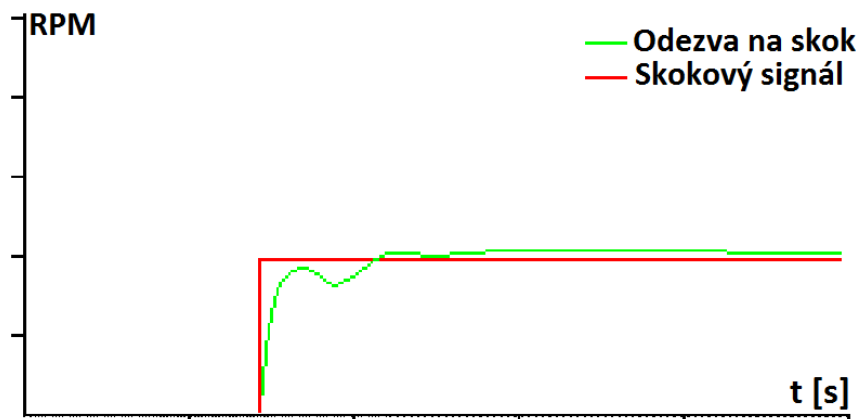
Kupříkladu pro regulátor s parametry $P = 0.5$, $I = 1.67[s]$, $D = 1.07[s]$, Sample Time $0.1[s]$ se do automatu zapíšou následující hodnoty: $P = 2000$, $I = 2[s]$, $D = 1[s]$, Sample Time 10.

Parametr	Popis	Jednotky
Set Point	Žádaná hodnota na výstupu. V programu se může dynamicky měnit.	Podle typu systému mohou to být RPM , $^{\circ}C$, m atd. Zapiše se jako celé integer číslo.
PID Input	Změřená hodnota na vstupu. Data ze senzoru.	Podle typu systému mohou to být RPM , $^{\circ}C$, m atd. Zapiše se jako celé integer číslo.
Proportional Band	P – složka regulátoru ve tvaru $PB = \left(\frac{1}{P}\right) 100\%$	0.1%.
Integral time	I – složka regulátoru.	s
Derivate time	D – složka regulátoru.	s
Sample time	Vzorkovací čas.	10ms
Input Range - Low limit	Minimální hodnota, která se vyskytuje na vstupu.	Podle typu systému.
Input Range - Hight limit	Maximální hodnota, která se vyskytuje na vstupu.	Podle typu systému.
Output Range - Low limit	Minimální hodnota, která se vyskytuje na výstupu.	Podle typu systému.
Output Range - Hight limit	Maximální hodnota, která se vyskytuje na výstupu.	Podle typu systému.
PID Output	Výstup z PIDu.	Podle typu systému.
PID Action	0 – proces musí dosáhnout Set Pointu v kladném směru. Znamená to, že úpravou výstupní hodnoty dosáhneme zvýšení vstupu na zadaný Set Point – analogie ohřevu. 1 – proces musí dosáhnout Set Pointu v záporném směru. Znamená to, že úpravou výstupní hodnoty dosáhneme zmenšení vstupu na zadaný Set Point – analogie chlazení.	

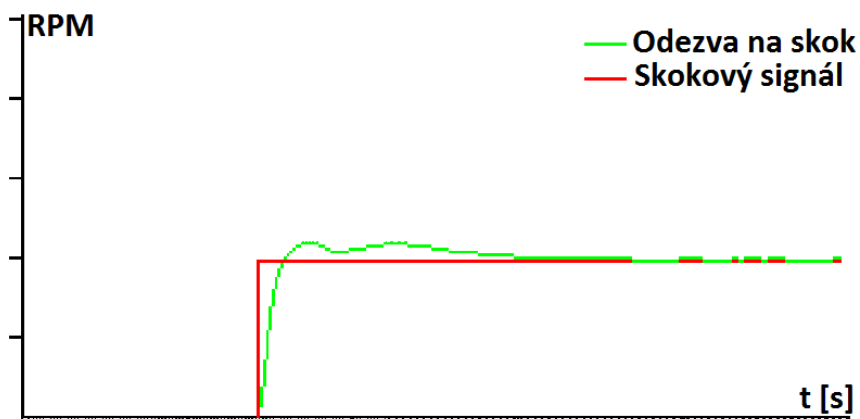
Tabulka 4 Nastavení PID regulátoru.

5.2 Automatické ladění pomocí Unitronics Autotune

Automat Vision V570 umožňuje realizaci automatického ladění PID regulátoru. Tento proces byl naprogramován a lze ho spustit v menu PID. Po spuštění systém udělá několik jednotkových skoků, po kterých navrhne vhodný PID regulátor. Vzhledem k tomu, že tento proces je zabudován uvnitř systémové funkce PID Autotune a výrobce neuvádí, jak přesně funguje, v dané práci nebude detailně popsán.



Obrázek 27 Odezva systému na jednotkový skok se špatně navrženými parametry PID regulátoru.

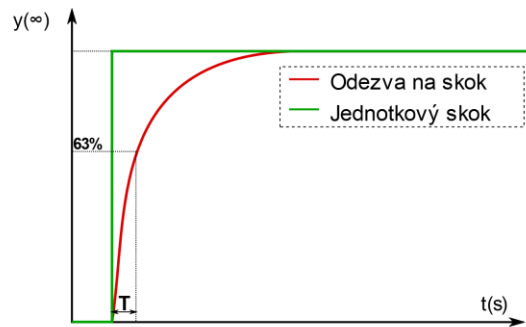


Obrázek 28 Odezva systému na jednotkový skok s parametry po automatickém ladění.

5.3 Automatické ladění pomocí programu Matlab

V menu PID regulátoru automatu Vision V570 byla realizována identifikace přenosové funkce systému. Z důvodu, že je v tomto zařízení možné využít jakéhokoliv stejnosměrného motoru s neznámými parametry, se tento systém dá představit jako „grey box“, kde nejsou zadané parametry stejnosměrného motoru, ale víme, že otáčky budou přímo záviset na napájecím napětí, takže se dá předpokládat, že se tento systém bude blížit systému prvního řádu.

Pro identifikaci systému prvního řádu se musí provést jednoduchý „Bump test“. Prozkoumáním odezvy systému na jednotkový skok se dá najít jeho přenosová funkce. Dělá se to tak, že se na vstup motoru dá jeho maximální napájecí napětí; odezva takového systému vypadá jako na obrázku č.29. Na základě zjištěné odezvy se změří ustálená hodnota $y(\infty)$, a určí se časová konstanta T z $0.63y(\infty)$.



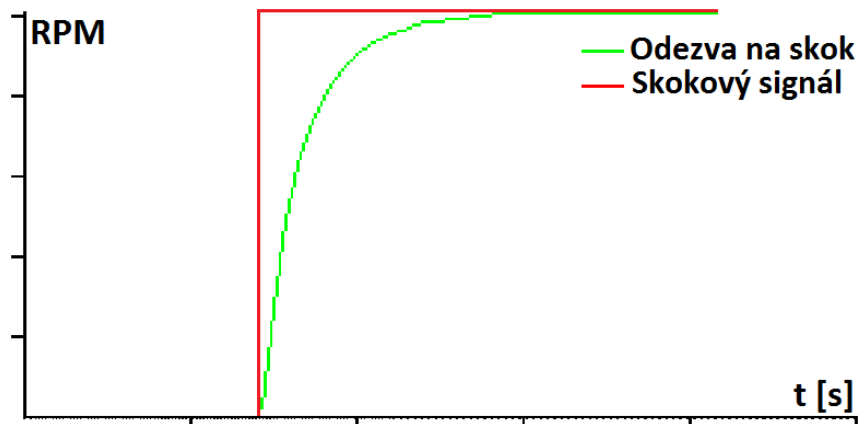
Obrázek 29 Identifikace systému prvního řádu bez dopravního zpoždění.

Proporcionální soustava prvního řádu bez dopravního zpoždění je popsána přenosem:

$$H(s) = \frac{K}{Ts+1} \quad (18)$$

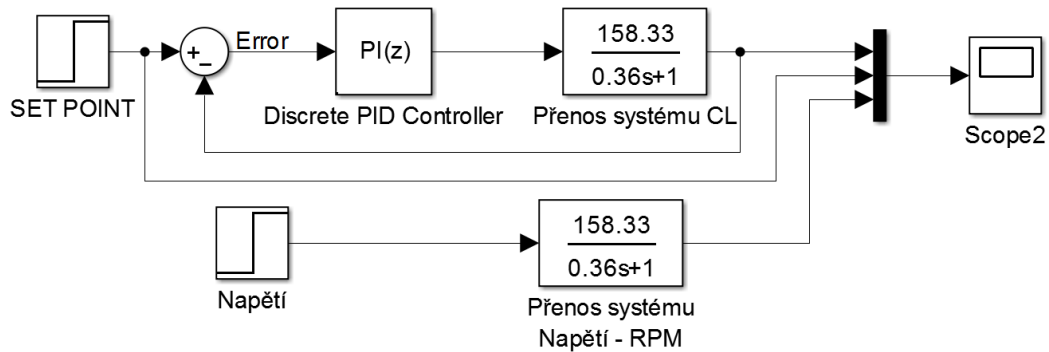
kde K – zesílení systému dané podílem výstupní a vstupní hodnoty $y(\infty)/u(\infty)$
 T – časová konstanta

Z daného vztahu vyplývá, že $K = \frac{\text{maximální otáčky}}{\text{napájecí napětí}}$ vždy, když je motor roztočen na maximální výkon, T se následně zjistí z odezvy. Na obrázku č.30. je zobrazená identifikovaná přenosová funkce pro neznámý stejnosměrný motor.



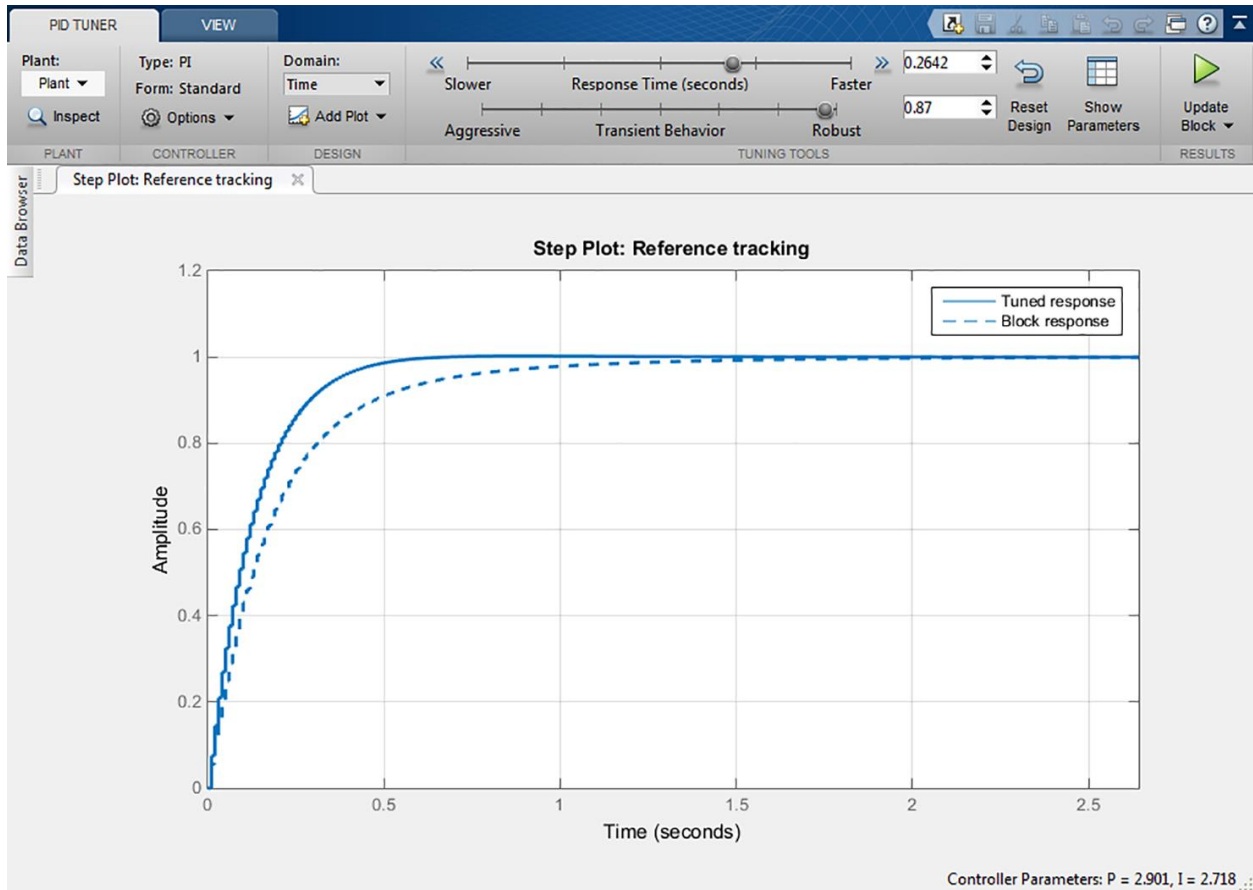
Obrázek 30 Odezva na jednotkový skok skutečného stejnosměrného motoru.

V příloze k diplomové práci se nachází Simulink soubor „identifikace.slx“ obsahující příklad identifikovaného zpětnovazebního systému s diskretním PID regulátorem (viz. obrázek č.31).



Obrázek 31 Simulink model identifikovaného systému s diskretním PID regulátorem.

Parametry PID regulátoru se naladí pomocí „PID TUNER“ toolboxu (viz. obrázek č.32), ve kterém se posuvníkem mění rychlost a charakter odezvy. Aktuálně je možné pozorovat odezvu na skok s nově nastavenými parametry. Nastavení nových parametrů se provede tlačítkem „Update Block“. V tomto zařízení je žádoucí rychle měnit otáčky podle žádané hodnoty Set Pointu. Snahou této práce tedy bylo dosáhnout co nejrychlejší odezvy na změnu žádané hodnoty. Proto by bylo vhodné ručně doladit PID regulátor, aby motor co nejrychleji reagoval na změnu Set Pointu.



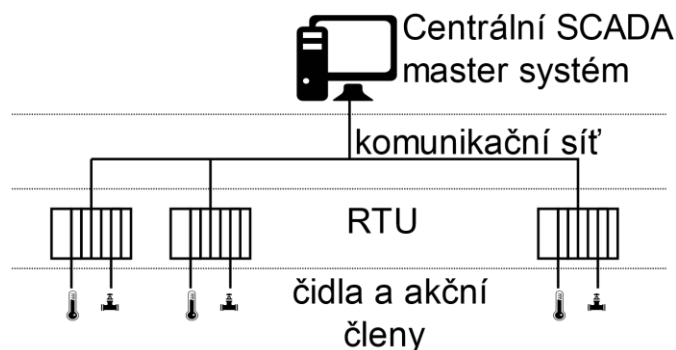
Obrázek 32 Ladění PID regulátoru pomocí PID Tune Matlab.

6 Návrh SCADA systému

6.1 Definice SCADA systému

SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) je software, který z centrálního pracoviště monitoruje a řídí průmyslová a jiná technická zařízení a procesy, jako jsou například průmyslové procesy ve strojní výrobě, technické procesy v distribučních sítích (voda, plyn, elektřina apod.), dopravních sítích, protipožárních systémech, větrání v tunelech, komunikační sítě atd.

Základní SCADA systém má architekturu jako je zobrazená na obrázku č.33: skládá se z centrálního SCADA master systému (zde je to počítač, na kterém byla nainstalována SCADA aplikace), komunikační sítě, jež může mít různou architekturu a slouží k propojení všech prvků, jednotky RTU (Remote Terminal Units), kterou je obvykle počítač v průmyslovém provedení (PLC), a nakonec čidel a akčních členů.



Obrázek 33 Základní architektura SCADA systému.

6.2 Modbus Ethernet TCP

Komunikace PLC s počítačem byla vytvořena pomocí protokolu Modbus Ethernet TCP.

Modbus je otevřený protokol pro vzájemnou komunikaci různých průmyslových zařízení (senzory, PLC, počítače atd.). Tento protokol umožňuje přenášet data po různých sítích a sběrnicích (Ethernet TCP/IP, sériový přenos RS485, RS232, optické vlákno, Modbus plus atd.). Komunikace funguje na principu předávání datových zpráv mezi „masterem“ a „slavem“.

Na sběrnici je obvykle jedno „master“ zařízení (kromě případu verze Modbus Ethernet TCP, kde jich může být více) posílající dotazy, ostatní zařízení jsou „slave“. „Slave“ zařízení odpovídá na dotazy, které jsou mu adresovány. V pozici mastera je tedy řídicí prvek (např. PLC nebo počítač se SCADA systémem), zatímco v roli „slave“ jsou ovládaná zařízení nebo sledované prvky (například senzory, měřicí přístroje, PLC apod.).

Protokol Modbus definuje strukturu zprávy na úrovni protokolu PDU (Protocol Data Unit). V závislosti na typu sítě, na které je protokol použit, je PDU rozšířen o další části a tvoří tak zprávu na aplikační úrovni (ADU – Application Data Unit). Formát rámce je potom ADU = Address + Function code + Data + Error check, kde „Function code“ je kód operace která se má vykonat (například „Function code“ = 5 znamená „Write Single Coil“, v případě ovládaní PLC může znamenat – změň stav výstupu číslo „x“ na 0 nebo 1). Rozsah kódů je 1 až 255, přičemž kódy 128 až 255 jsou vyhrazeny pro oznámení chyby. Obsah datové části zprávy poslané masterem slouží klientovi k uskutečnění operace určené kódem funkce. Obsahem může být například adresa a počet vstupů, které má klient přečíst nebo hodnota registrů, které má klient zapsat.

6.3 OPC server Unitronics

Pro komunikaci SCADA systému s PLC bylo nutné oživit OPC server od Unitronics (UniOPC Server V2.0.14).

OPC (*Object Linking and Embedding for process control*), je originální název pro sadu protokolů vytvořených v roce 1996 sdružením OPC Foundation pro průmyslovou automatizaci. Protokoly OPC jsou založeny na standardech OLE/COM od firmy Microsoft. Důvodem vzniku OPC byla snaha o zlepšení interoperability mezi aplikacemi v oblasti automatického řízení, řídicích systémů a kancelářskými aplikacemi v oblasti řízení procesů. OPC Server může být definován jako program, který se stará o komunikaci mezi PLC a počítačem. Firma Unitronics nabízí svůj vlastní OPC server zcela zdarma. V programu UniOPC se musí nastavit druh sítě, IP adresa, jméno PLC v síti atd.

Nastavení OPC Serveru potom vypadá následovně:

Položka	Nastavená hodnota	Popis
Connection Type	TCP/IP Call	Typ komunikace
Remote IP	192.168.1.160	IP adresa PLC
Remote Port	20256	Číslo portu
TimeOut	1s	Časový limit
Retries	1	Opakování
UpdateRate	10ms	Rychlost aktualizace
Name	V570	Jméno PLC v síti
Type	Vision	Typ PLC

Tabulka 5 Nastavené hodnoty OPC serveru.

6.4 SCADA systém Reliance 4.0

V této práci byl využit SCADA systém Reliance 4.0. Reliance je moderní SCADA/HMI systém určený pro monitorování a ovládání průmyslových technologií. Data jsou získávána z řídicích systémů (nejčastěji z PLC), ukládána do databází a prezentována koncovým uživatelům grafickou formou – tzv. vizualizace (grafy, tabulky, schémata atd.). Mezi nejdůležitější vlastnosti systému dále patří podpora skriptů, receptur, alarmů, diagnostika, uživatelské sestavy, jazyky, přístupová práva, OPC, SMS, emaily a výměny dat s podnikovými informačními systémy. K vizualizaci lze snadno přistupovat i vzdáleně pomocí webového prohlížeče nebo z mobilního zařízení.

SCADA/HMI systém Reliance 4 je tvořen několika softwarovými moduly: Modul Reliance 4 Design je vývojové prostředí pro tvorbu vizualizačních projektů. U koncového uživatele je nejčastěji používán modul Reliance 4 Control, který má veškeré funkce potřebné pro vizualizační projekty provozované na jednom počítači. Pro projekty s více počítači je nutné použít modul Reliance 4 Control Server, který umožňuje poskytovat data ostatním modulům Reliance 4. Modul Reliance 4 View je určen pouze k zobrazování informací a neumožňuje zápis do fyzických stanic (PLC).

Po založení nového projektu je potřeba nadefinovat nové okno. Okna jsou tedy všechny obrazovky, které se v tomto projektu vyskytují. Do tohoto okna se následně přidávají všechny grafické prvky jako například, grafy, schémata, tlačítka, tabulky atd.

Hlavní funkcí SCADA systémů, tedy i SCADA/HMI systému Reliance, je získávání dat z podřízených systémů (PLC, telemetrické stanice atd.). Reliance umožňuje čtení i zápis dat v různých formátech buď pomocí nativních ovladačů, nebo prostřednictvím OPC a DDE serverů. Ve většině případů každému

podřízenému systému (připojený hardware, PLC) odpovídá v projektu objekt typu stanice. Stanice jsou definovány v nástroji nazvaném Správce stanic. V každé stanici jsou obsaženy proměnné, u kterých je nadefinován jejich typ. Základní parametry připojení k podřízenému systému se nastavují přímo ve Správci stanic. Parametry, které podrobněji definují způsob, jakým probíhá komunikace, je možné nastavit ve Správci komunikačních ovladačů.

Ve vizualizačním projektu je možné definovat velké množství dalších užitečných objektů. Nástroje k definici těchto objektů se nacházejí v menu Správci. Například, pro kreslení grafu ve správci grafu byl nadefinován nový graf. Byli nastaveny parametry grafu a jednotlivých řad, vlastnosti zobrazení – například rozsah vertikální osy, časový rozsah, barvy apod.

Vizualizační okno slouží k návrhu a zobrazení vizualizace určité části sledovaného procesu. Základními stavebními kameny, ze kterých se vizualizace skládá, jsou komponenty (grafické objekty). Návrh vizualizačního okna spočívá ve vkládání komponent z Palety komponent do okna a nastavení jejich parametrů. Jsou k dispozici např. komponenty zobrazující aktuální data (Displej, Ukazatel, Indikátor průběhu, Aktivní obrázek atd.), komponenty sloužící k provádění operací (Tlačítko, Posuvník, Zadávací pole atd.) a komponenty statické (Obrázek, Text, Rám atd.).

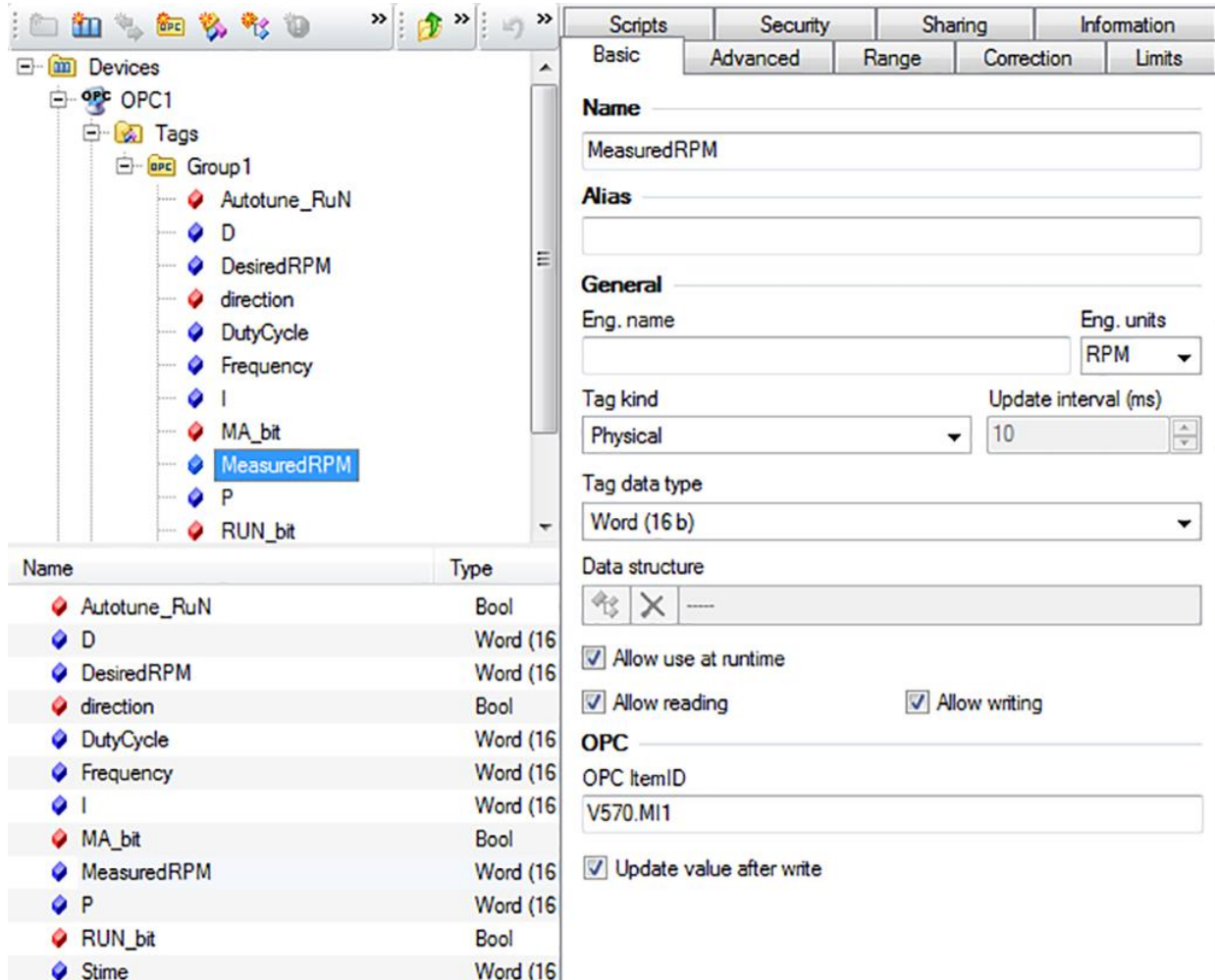
Komponentu lze vložit do okna výběrem z palety komponent a kliknutím na plochu okna. Následně je možné upravit její parametry pomocí dialogu Parametry komponenty (vyvolaného z lokálního menu komponenty nebo dvojitým kliknutím na komponentu). Druhou možností je použít Správce komponent, který navíc umožňuje upravit více komponent současně. Parametry se liší podle typu komponenty a definují vzhled, polohu a chování komponenty. Některé komponenty (např. Aktivní obrázek) mohou pro změnu svého vzhledu použít obrázky importované pomocí *Správce obrázků*.

Reliance umožňuje vedle vizualizace dat vyčítaných z připojených stanic (PLC zařízení) data do stanic i zapisovat. Ke změně hodnot proměnných je možné použít například tyto komponenty: Zadávací pole, Zatržítka, Posuvník, Displej. Měnit hodnoty proměnných je možné i automaticky pomocí skriptů.

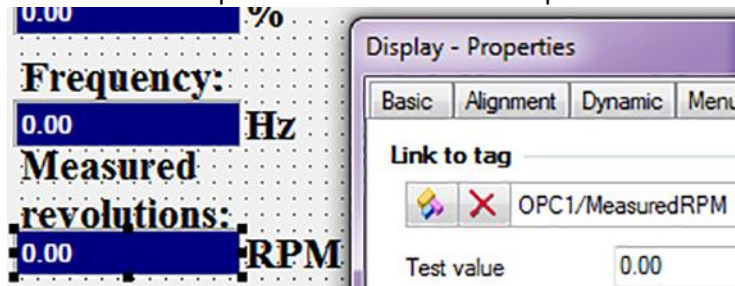
6.5 Tvorba SCADA systému

Výsledný program řídí PLC z počítače. Umožňuje uživateli zahájit měření, nastavit požadované otáčky motoru, měnit frekvenci PWM signálu, pozorovat aktuální stav systému (vykreslit graf), zobrazovat aktuální stav enkodéru, měnit směr točení motoru a parametry PID regulátoru.

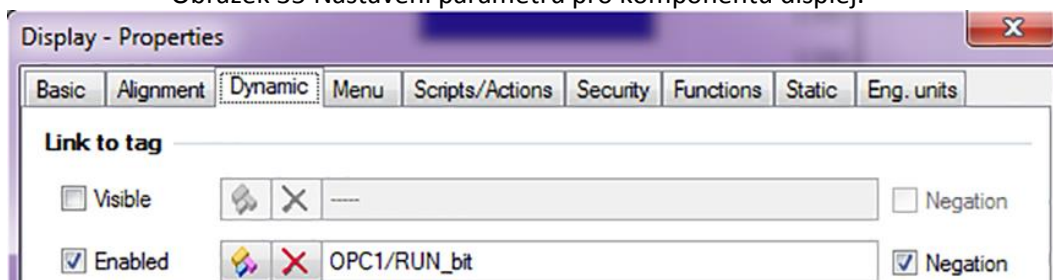
Datový prostor proměnných v automatech Vision od Unitronics se dělí na proměnné typu integer, double, long atd. Podrobný seznam proměnných je uveden v tabulce č.3. Například proměnná „aktuální otáčky motoru“ je uložena v paměti jako proměnná MI1. Znalost toho, kde jsou uloženy všechny použité proměnné v automatu, je nutná pro tvorbu SCADA systému. Pro zobrazení proměnné ve správci zařízení je nutné vytvořit nové zařízení typu OPC a nadefinovat UniOPC server. Do proměnných je dále potřeba přidat novou proměnnou a nastavit typ této proměnné, parametry pro její čtení a zápis, název atd. Nejdůležitějším nastavením je to, jak je tato proměnná reprezentována v PLC. Pokud jde o proměnnou MI1, do položky „OPC ItemID“ se musí zapsat „OPC.MI1“ (viz obrázek č.34). Tato hodnota potom může být zobrazena v hlavním okně, proto se do okna musí přidat komponenta „displej“ a rozkliknutím musí být nastaveny všechny její parametry (viz. obrázek č.35). Stejným způsobem lze v parametrech displeje zakázat manipulování s proměnnou během jakéhokoliv procesu. Proto v dynamických parametrech stačí k této proměnné přivázat bit, při kterém komponenta displej zakáže tuto změnu (viz. obrázek č.36).



Obrázek 34 Správce stanic. Přidání nové proměnné.

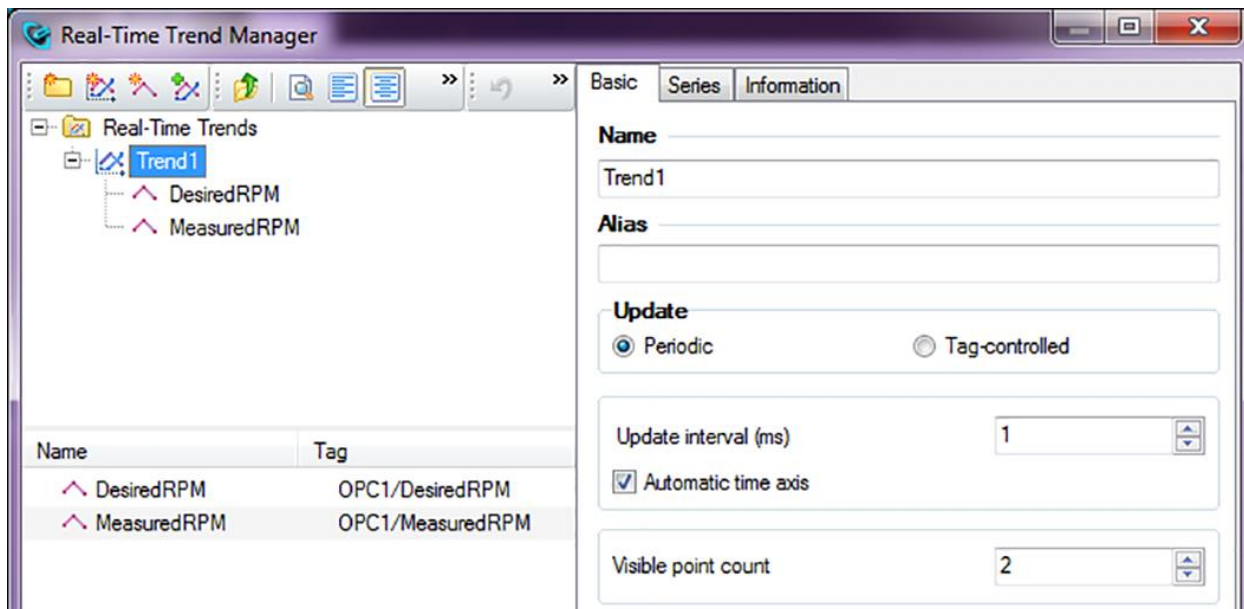


Obrázek 35 Nastavení parametrů pro komponentu displej.

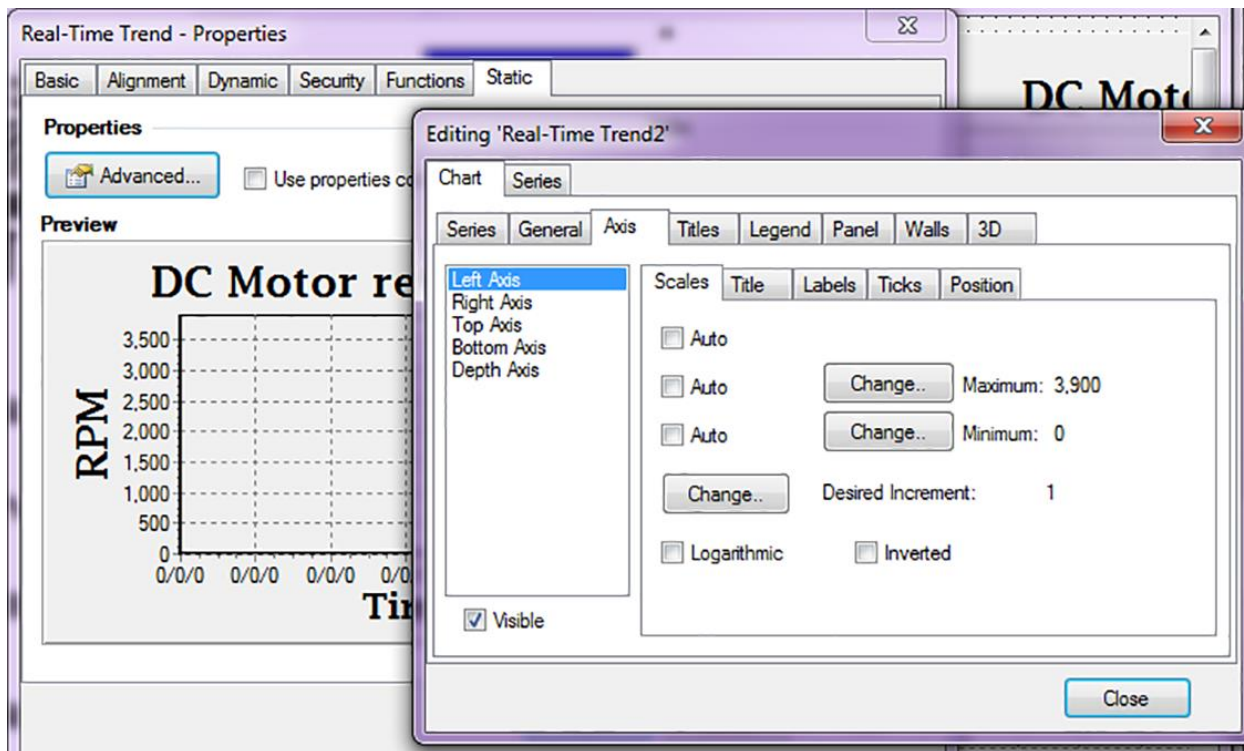


Obrázek 36 Nastavení dynamických parametrů pro komponentu displej.

Pro definici nového grafu se využije vestavěný modul správce grafů. K němu se přidají všechny proměnné, které se v tomto grafu budou zobrazovat. Potom se do okna přidá komponenta „graf“, u které následně budou nastaveny všechny statické parametry zobrazení (popisky os, měřítko, barvy atd.).



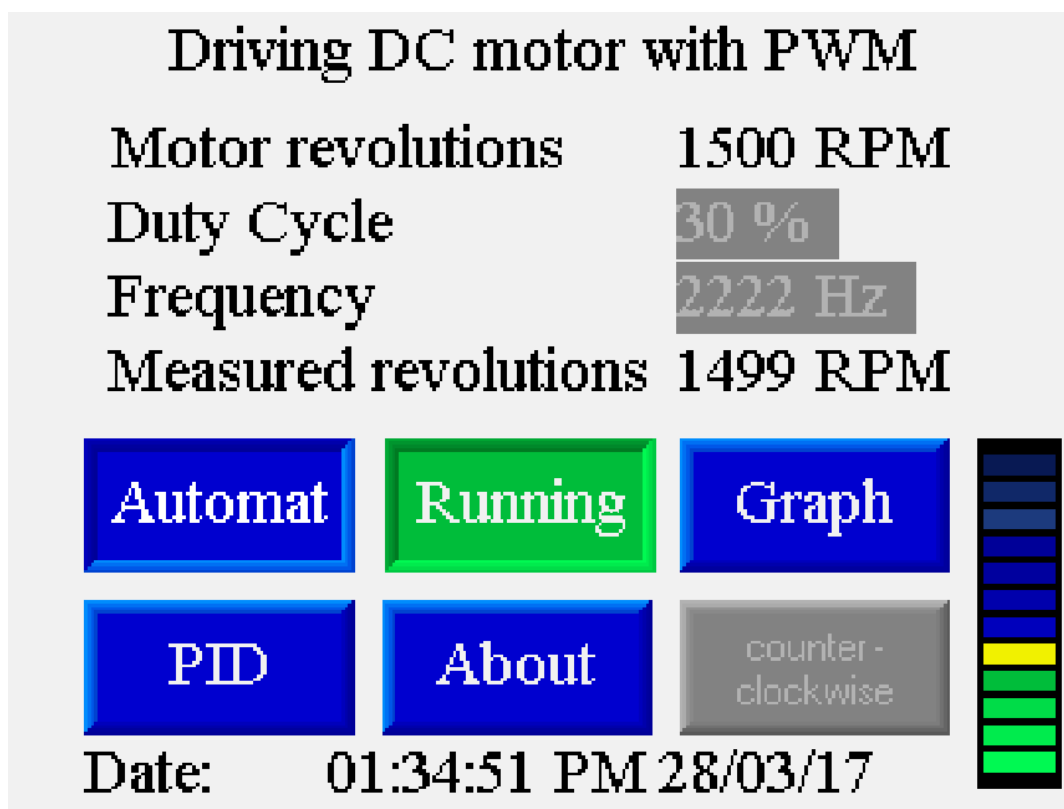
Obrázek 37 Tvorba nového grafu ve správci grafu.



Obrázek 38 Nastavení statických parametrů grafu.

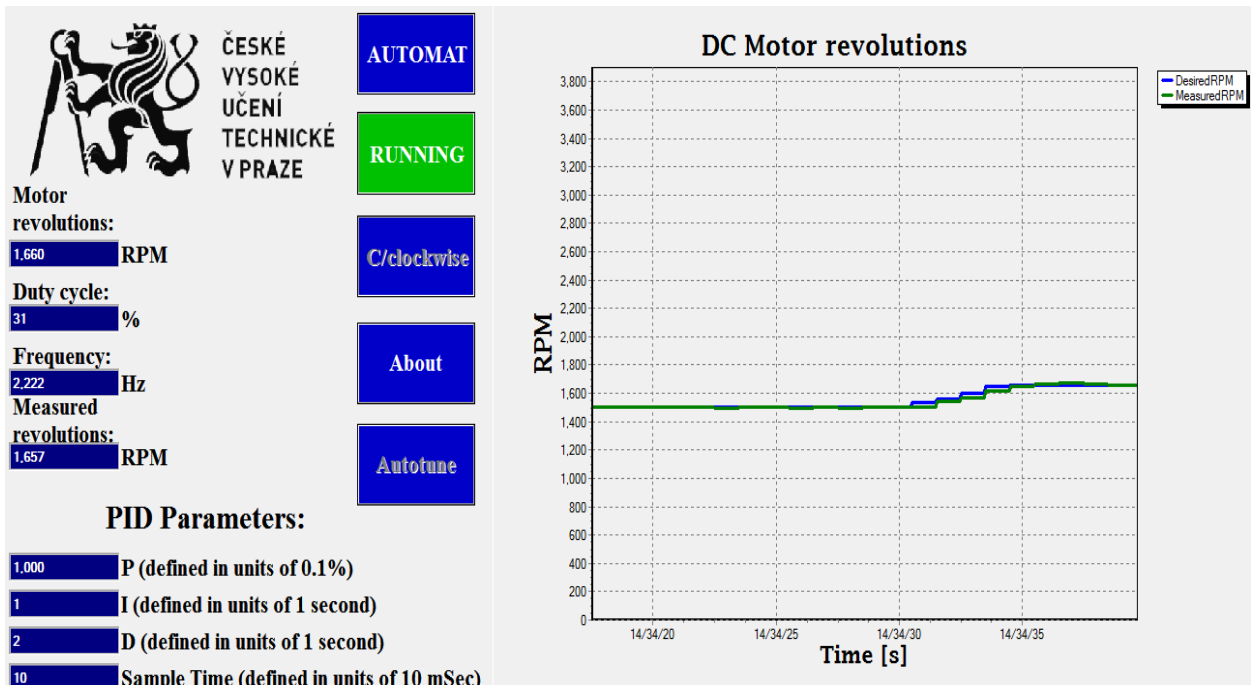
7 Výsledky

Výsledkem této práce je plně funkční zařízení, které umí řídit otáčky stejnosměrného motoru s permanentní magnety pomocí PWM signálu. Byl naprogramován průmyslový automat V570. PLC je ovladatelné z vlastní obrazovky. V hlavním menu stisknutím tlačítka „Manual – Automat“ lze zvolit režim ovládání. V ručním režimu změnou střídy a frekvence je možné ovládat otáčky motoru. V automatickém režimu je třeba zadat Set Point a kontrolér se sám postará o roztočení motoru na zadané otáčky. Tlačítkem „Run“ lze zahájit točení motoru, a to buď v automatickém nebo ručním režimu. Stiskem klávesy „Graph“ se otevře menu graf, kde lze pozorovat aktuální stav otáček motoru a Set Pointu a také spustit sledování rampového signálu. V menu „About“ si lze prohlédnout základní informace o projektu a také nastavit základní vlastnosti motoru (zadat nebo změnit jeho maximální otáčky). V menu PID je možné změnit parametry PID regulátoru, provést automatické ladění, najít přenosnou funkci systému pro ladění regulátoru v programu Matlab. Navíc je v systému realizován Alarm manager; při poruchové události se na obrazovce rozsvítí tlačítko alarm a následně se zaznamená do paměti vzniklá porucha. Seznam poruch a čas vzniku si lze prohlédnout v poruchovém menu.



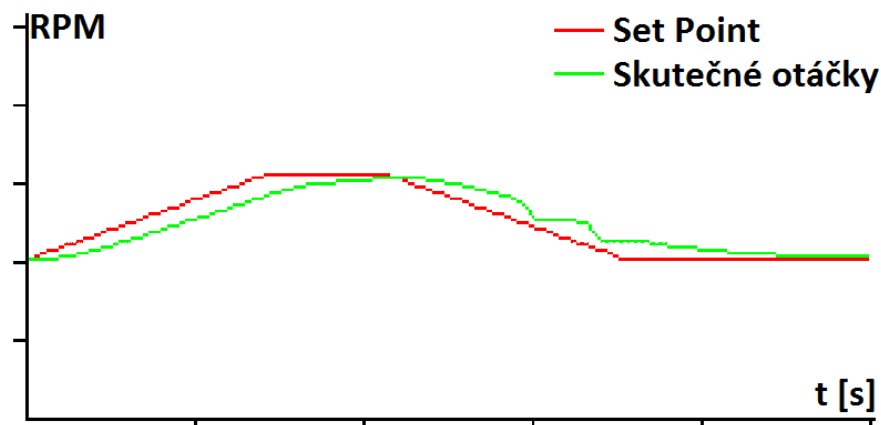
Obrázek 39 Hlavní obrazovka PLC.

Celý systém je také možno ovládat z počítače, a to pomocí SCADA systému. Z hlavní obrazovky aplikace lze stejně jako v PLC spustit točení motoru v automatickém nebo ručním režimu, měnit parametry PID regulátoru, pozorovat graf atd.



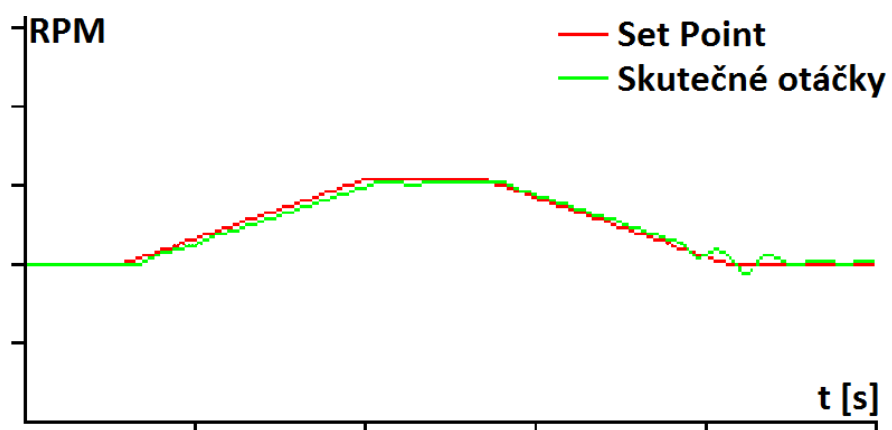
Obrázek 40 SCADA aplikace.

V menu „graf“ lze spustit sledování rampového signálu. Jedná se o zvýšení nebo snížení Set Pointu s časem. Lze měnit dobu náběžné a spádné hrany stejně jako náклон (rychlost, se kterou Set Point bude růst nebo klesat). Na obrázku č.41 je znázorněno sledování rampy s automaticky naladěným regulátorem.



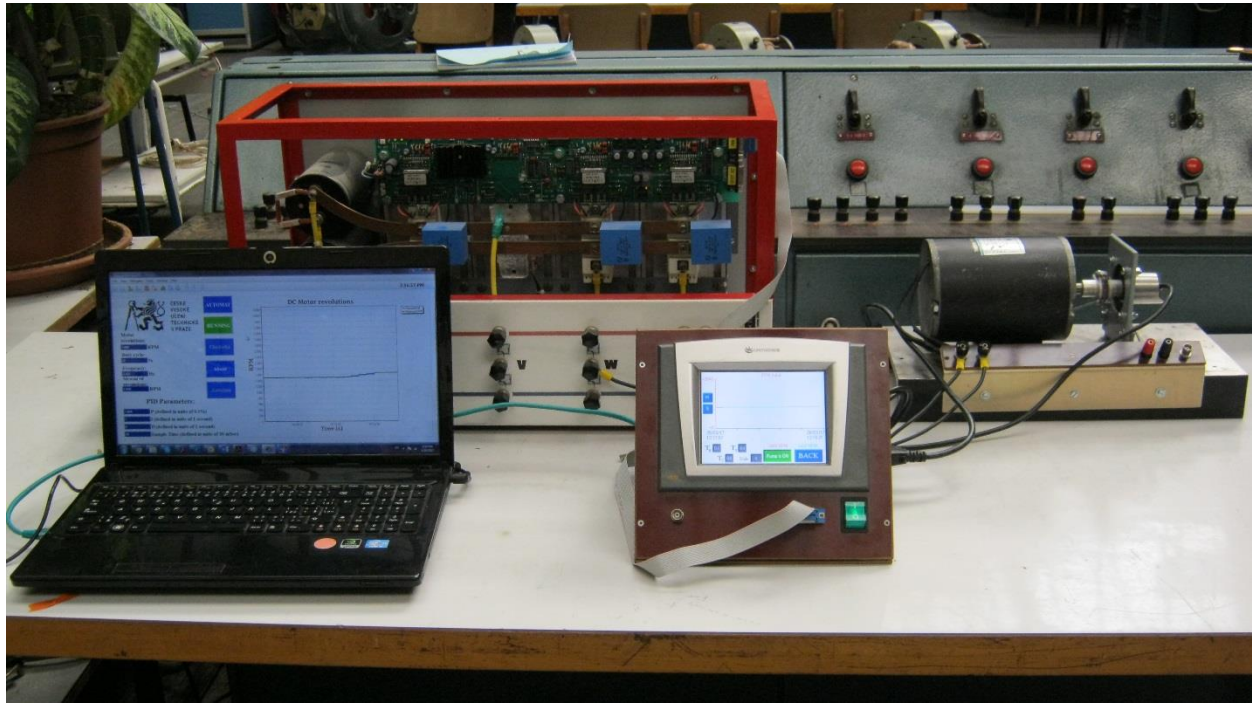
Obrázek 41 Sledování rampy. PID regulátor po automatickém ladění.

Na dalším obrázku je znázorněno sledování stejné rampy s PI regulátorem, který byl naladěn v programu „Matlab PID Autotune“ a následně byl doladěn ručně, aby měl co nejrychlejší odezvu na změnu Set Pointu. Zde je vidět, že v tomto případě regulátor na rozdíl od regulátoru získaného automatickým laděním rychleji reaguje na změnu Set Pointu. Cenou za lepší výsledek je ztráta času na získání parametrů pro doladění ručním způsobem, což může zabrat hodně času.



Obrázek 42 Sledování rampy. PI regulátor naladěný v programu Matlab PID Autotune.

8 Foto zařízení



Obrázek 43 Foto celého zařízení.

9 Závěr

V této práci bylo navrženo zařízení pro řízení stejnosměrného motoru s permanentními magnety. Zařízení využívá dotykový displej PLC a SCADA systém pro ovládání, enkodér SICK pro snímání otáček a H-můstek s IGBT tranzistory pro napájení motoru.

V úvodu této práce probíhá seznámení s principem řízení stejnosměrného motoru. V dalším textu se probírají základní vlastnosti automatu V570, H-můstku Loser a enkodéru SICK. Dále jsou popsány možnosti PLC a fyzické zapojení celého zařízení. Optimální frekvence pro automatické řízení motoru byla nalezena experimentálním způsobem a je 2232 Hz, což není násobkem napájecí sítě. Tento systém dokáže automaticky regulovat stejnosměrný motor na zadané otáčky, dále automaticky navrhnout regulátor k zapojenému motoru a také zjistit přenosovou funkci, kterou se následně dá využít pro návrh regulátoru v programu „Matlab Autotune PID“. Bylo zjištěno, že pro řízení stejnosměrného motoru bohatě stačí regulátor typu PI. Nejlepší regulace byla dosažena pomocí Matlabem navrženého regulátoru. Byli také porovnány výsledky pro sledování rampy s automaticky navrženým regulátorem v PLC a s regulátorem v Matlabu.

V poslední části práce je popsán způsob komunikace PLC se SCADA systémem pomocí OPC serveru a tvorba SCADA systému.

10 Literatura

[1] Unitronics VisiLogic Help Version: V230-21-G23 Rev: May 22, 2016 [online] [cit. 2017-05-03]
Dostupné na World Wide Web:
<https://unitronicsplc.com/Download/SoftwareHelp/VisiLogic_Knowledgebase/VisiLogic.htm>

[2] CHAPMAN, Stephen J. Electric machinery fundamentals. 4th ed. New York, NY: McGraw-Hill Higher Education, c2005. ISBN 0-07-246523-9.

[3] ĎAĎO, Stanislav a Marcel KREIDL. Senzory a měřicí obvody. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. ISBN 80-01-01500-9.

[4] Datasheet BSM 100 GB 120 DN2 [online], DatasheetCatalog.com. [cit 2017-05-03]
Dostupné na World Wide Web:
<<http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/siemens/C67076-A2107-A70.pdf>>

[5] Reliance 4 - Vývojové prostředí příručka uživatele [online] [cit. 2017-05-03] Dostupné na World Wide Web:
<https://www.reliance.cz/files-to-download/documentation/reliance4/Design_CSX.pdf>

[6] Reliance 4 - Reliance 4 - První kroky [online] [cit. 2017-05-03] Dostupné na World Wide Web:
<https://www.reliance.cz/files-to-download/documentation/reliance4/FirstSteps_CSX.pdf>

[7] Modbus application protocol specification v1.1b [cit. 2017-05-03] Dostupné na World Wide Web:
<http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf>

[8] Datasheet DBS36 Core DBS36E-S3EK01024 [online], www.sick.com [cit. 2017-05-03] Dostupné na World Wide Web:
<https://www.sick.com/media/pdf/2/72/972/dataSheet_DBS36E-S3EK01024_1060545_en.pdf>

11 Obsah přiloženého CD

- DP_Merzlov_Danil.pdf - Elektronická verze diplomové práce uložené ve formátu PDF
- Soubor diplom_project.vlp - soubor s projektem pro programování PLC ve vývojovém prostředí Unitronics VISION OPLC IDE 9.8.31
- Složka dip – soubory s projektem SCADA systému v Reliance 4
- identifikace.slx – Simulink soubor pro návrh PID regulátoru z přenosové funkce
- model.slx – Simulink soubor pro návrh PID regulátoru pro známé parametry motoru
- data.mat – Parametry motoru pro Simulink soubor model.slx
- uniOPCV570 – UniOPCServer soubor