

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Automatizace magnetizace a měření magnetické indukce
BLDC rotoru**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin FENCL**

Osobní číslo: **E13B0449P**

Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**

Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

Název tématu: **Automatizace magnetizace a měření magnetické indukce
BLDC rotoru**

Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Popište technologii magnetizace a možnosti magnetických měření BLDC rotoru a technologii PLC.
2. Navrhněte a sestrojte systém pro automatizovaný proces magnetizace pomocí technologie PLC.
3. Navrhněte a sestrojte systém pro automatizované měření magnetické indukce po obvodu magnetu rotoru pomocí technologie PLC.
4. Vytvořte uživatelsky přívětivé rozhraní pro obě části systému s možností vizualizace naměřených výsledků.
5. Zhodnoťte navržené zařízení a uveďte možnosti dalšího vylepšení.



Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

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

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

Seznam odborné literatury:

1. Martinek R. **Senzory v průmyslové praxi**, BEN, Praha, 2004, ISBN 80-7300-114-4.
2. Šmejkal L., Martinásková M. **PLC a automatizace - 1. Díl**, BEN, Praha, 1999, ISBN 80-86056-58-9.
3. Mayer D. **Aplikovaný elektromagnetismus**, KOPP, České Budějovice, 2012, ISBN 978-80-7232-436-1.
4. **Programování PLC podle normy IEC 61 131-3 v prostředí Mosaic**, 10. vydání, 2007 Dostupné z: <http://www.tecomat.com/index.php ID=318>.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Kropík, Ph.D.**

Katedra teoretické elektrotechniky

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

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

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



Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2016

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na automatizaci magnetizace a následné měření magnetické indukce rotoru BLDC motoru.

Klíčová slova

PLC, IPC, Bechhoff, TwinCat, Brushless motor, Automatizační proces.

Abstract

The master theses presents the automation of magnetization and measuring the induction of the BLDC rotor.

Key words

PLC, IPC, Bechhoff, TwinCat, Brushless motor, Automation process.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské/diplomové práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 8.6.2017

Jméno příjmení

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	8
ÚVOD	9
1 AUTOMATIZACE A ŘÍZENÍ	10
1.1 PLC A AUTOMATIZACE.....	10
1.2 BLDC MOTOR	11
1.3 TECHNOLOGIE MAGNETIZACE.....	13
2 AUTOMATIZOVANÝ PROCES	16
2.1 PRINCIP PROCESU.....	16
2.2 KOMUNIKACE	16
2.3 MAGNETIZACE BLDC ROTORU	17
2.3.1 <i>Možnosti jednotky</i>	17
2.3.2 <i>Kódová komunikace</i>	18
2.3.3 <i>Vizualizace a nastavení měření</i>	19
2.3.4 <i>Řešení zbylých problémů a odzkoušení magnetizace</i>	21
2.4 MĚŘENÍ MAGNETICKÉ INDUKCE ROTORU BLDC MOTORU	22
2.4.1 <i>Princip komunikace</i>	22
2.4.2 <i>Krokový motor a čtení dat</i>	23
2.4.3 <i>Řešení zbylých problémů při měření magnetické indukce</i>	25
3 VYLEPŠENÍ, DATA, POROVNÁNÍ	26
ZÁVĚR	28
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	29
PŘÍLOHY	1

Seznam symbolů a zkratek

IPC	Industriální průmyslový počítač
PLC	Programovatelný logický počítač
BLDC.....	Elektronicky komutované motory
TESLAMETR	Přístroj pro měření magnetické indukce
SCR.....	Vysokonapěťový tyristor - křemíkový řízený usměrňovač
DVI-I.....	Konektor pro digitální i analogový signál
USB.....	Univerzální sériová sběrnice
ETHERNET.....	Technologie pro budování počítačových sítí LAN
CASE	Kódová instrukce pro kombinování vícero podmínek
ASCII.....	Textová sada pro kódování znaků
CSV.....	Souborový formát pro tabulková data
STRING	Datový typ - textový řetězec
INTEGER	Datový typ - číselný řetězec
Kondenzátorová baterie –	kondenzátory s paralelně (popř. i sériově) zapojenými kapacitami

Úvod

Tato práce se zabývá vytvořením automatizačního procesu, ve kterém budu schopný magnetizovat rotor BLDC motoru pomocí impulzní Magnetovací jednotky. Po úspěšném zmagnetování bude automatizační proces schopen změření magnetické indukce rotoru a uložení pro následnou práci s daty. Proces využívá integrované nástroje pro vytvoření uživatelsky přívětivé vizualizace jak pro magnetizaci, tak pro následné změření indukce rotoru.

Pro uskutečnění celého procesu použiji IPC od firmy Beckhoff, kterým budu ovládat jak rozhraní komunikace s magnetovací jednotkou, tak měření magnetické indukce pomocí Teslametru.

1 Automatizace a řízení

1.1 PLC a automatizace

V mém projektu pracuji s programem TwinCAT 3, který jakožto „The Windows Control Automation Technology“ je automatizační software pro IPC a PLC, vytvořený Německou firmou Beckhoff. Software se řídí podle mezinárodní normy IEC 61131 a především podle podčásti IEC 61131-3, která udává základní požadavky, strukturu a jazyk pro automatizaci. [10]

Jak z úplného názvu vyplývá, program umožňuje vytvoření a ovládání automatizačního procesu v prostředí Windows, kde je vývojové prostředí od třetí verze implementováno ve Visual Studio 2013 Update 4 (viz Příloha C).

Celá vývojová a řídicí struktura TwinCAT 3 se skládá ze dvou částí:

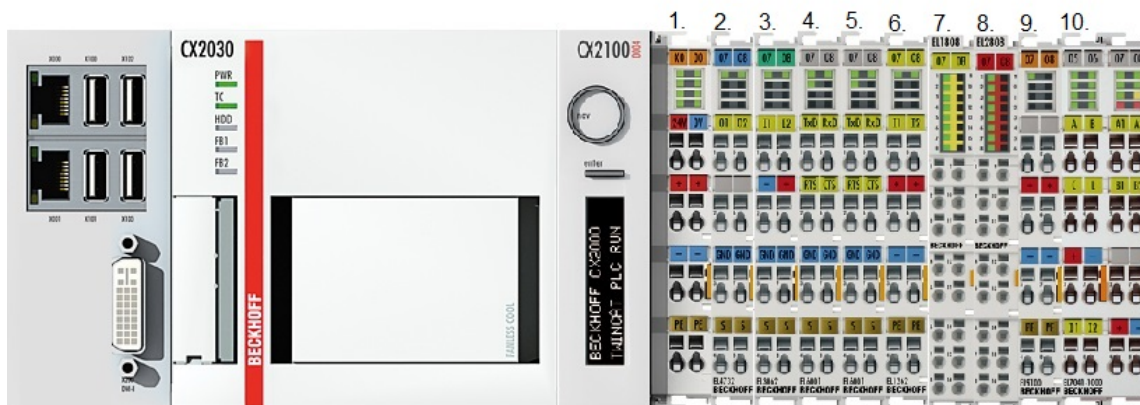
- ***Vývojové prostředí - eXtended Automation Architecture XAE***

Slouží k vývoji programu, který provádíme v operačním počítači (viz Příloha C). Programování lze uskutečnit normovaných jazycích IEC 61131-3, v jazycích C,C++. Obsahuje také funkce MOTION, které slouží k ovládání servo a krokových motorů. [10]

- ***Runtime prostředí - eXtended Automation Runtime XAR***

Je prostředí, ve kterém je možno otevřít a ovládat TwinCAT 3 program, včetně vizualizace. Již není možná vývojová manipulace, proto je toto prostředí především pro koncového uživatele. [10]

K dispozici mám Beckhoff IPC CX2030, na kterém poběží celá automatizace společně s ovládáním programu pro koncového uživatele. Pomocí moderního vícejádrového IPC a TwinCAT 3 jsme schopni oddělit procesy nebo úlohy a odkázat je na jednotlivá jádra. Díky tomu můžeme mít u různých procesů jinou časovou základnu a tím zvýšit efektivitu procesu.



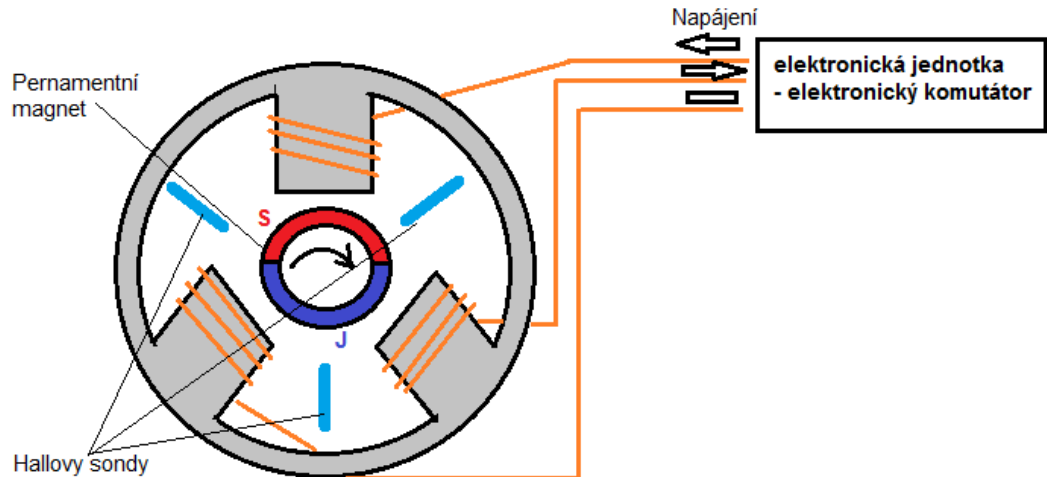
Obrázek 1: IPC CX2030 s kartami [11] (upraveno)

Ze všech karet, které mám k dispozici, nás bude nejvíce zajímat karta EL6001 (Obrázek 1- 4.a5.). Touto kartou komunikujeme skrze RS-232 s impulsní magnetovací jednotkou (Obrázek 1.4) a následně i s teslametrem (Obrázek 9) pro měření magnetické indukce. Poté nás zajímá karta EL7041 (Obrázek 1- 10.), pomocí které dokážeme ovládat krokový motor.

1.2 BLDC motor

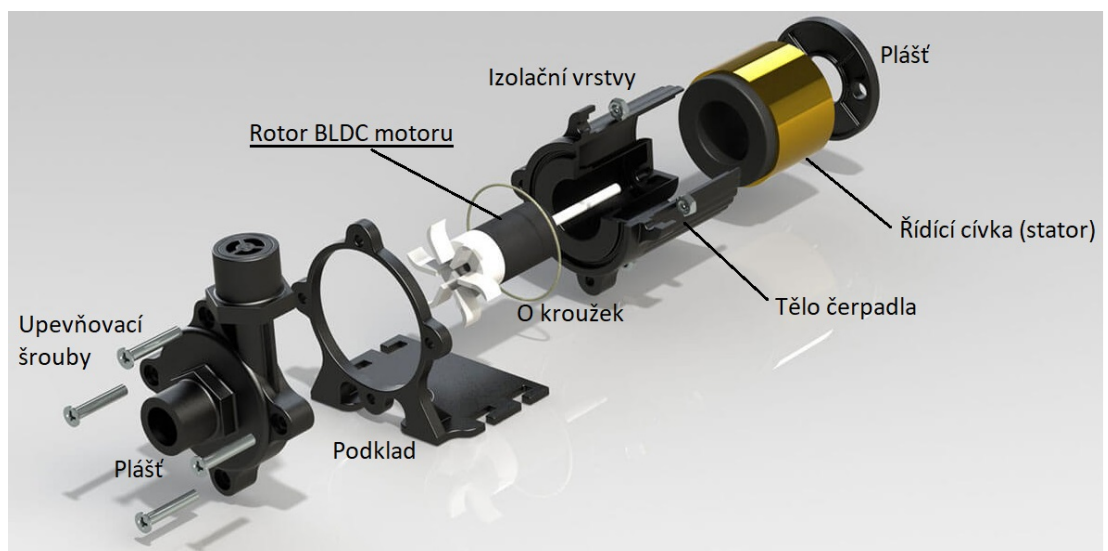
Zkratka BLDC, z anglického termínu Brushless DC motor, označuje stejnosměrný motor s elektronickou komutací. Elektronická komutace využívá cyklicky se měnící obdélníkové nebo lichoběžníkové impulsy, jejichž velikost se mění v závislosti na poloze rotoru. V případě nepoužívanějšího třífázového motoru se stejnosměrné napětí cyklicky připojuje ke třem vinutím, kde je v jednom okamžiku jedna fáze připojená na kladné napětí, druhá fáze na zem a třetí je odpojená. [6] [8]

Zvláštěností BLDC motoru je obrácené uspořádání točivých a netočivých částí oproti běžným stejnosměrným motorům, kde bývá budicí část netočivá a točivá bývá část vinutí společně s komutátorem. BLDC motor se standardně skládá z netočivého statoru (řídící cívky), kde je uloženo vinutí a točivého rotoru, který se skládá z permanentních magnetů. [6] [8]



Obrázek 2: Principiální schéma BLDC motoru

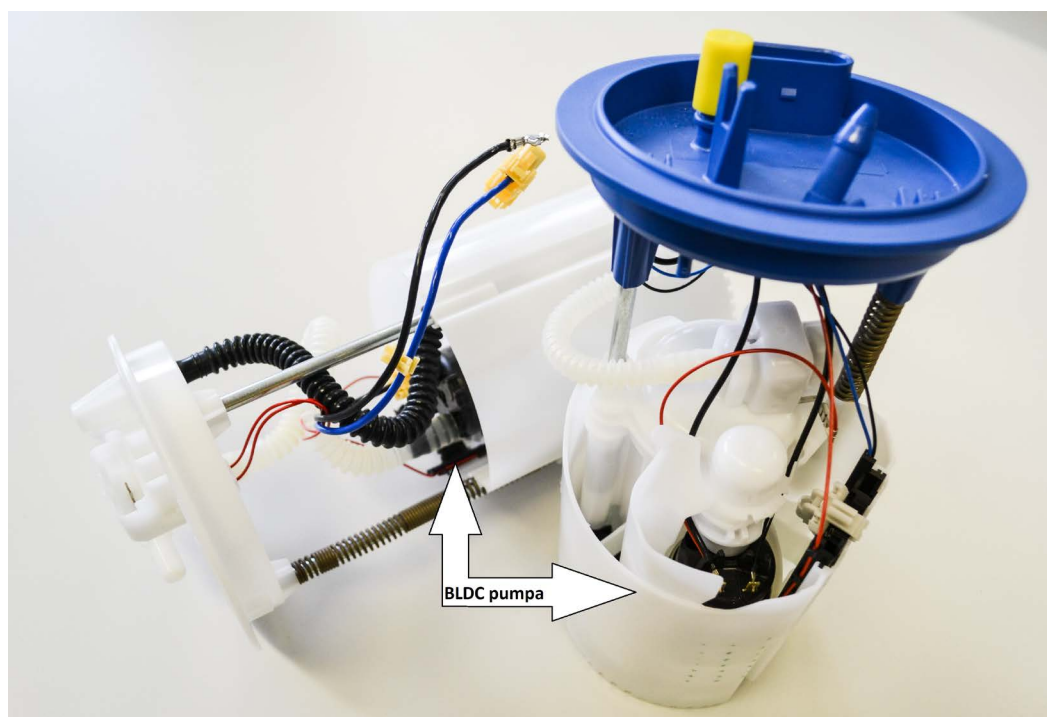
Snímání polohy BLDC motoru můžeme uskutečnit pomocí enkodéru, nebo pomocí Hallových senzorů. Princip enkodéru se skládá ze zdroje světla, přijímači světla a disku s otvory, kde je disk vložen mezi zdroj a přijímač. Snímá se každé pootočení disku, kde pomocí pulsů enkodéru zjistíme polohu rotoru. Druhá varianta je pomocí Hallových senzorů, kde se používají tři snímače pootočené o 60° nebo 120° a snímáním magnetického pole můžeme zjistit, v jakém magnetickém poli a popřípadě kde přesně se rotor nachází (Obrázek 2). [6] [7] [8]



Obrázek 3: BLDC pumpa [12] (upraveno)

V mém projektu pracuji s firmou vyrobeným BLDC motorem (*Obr 2 a 3*), který používá takzvané bezsenzorové řízení, kde se používá zpětně indukované napětí na odpojené fázi.

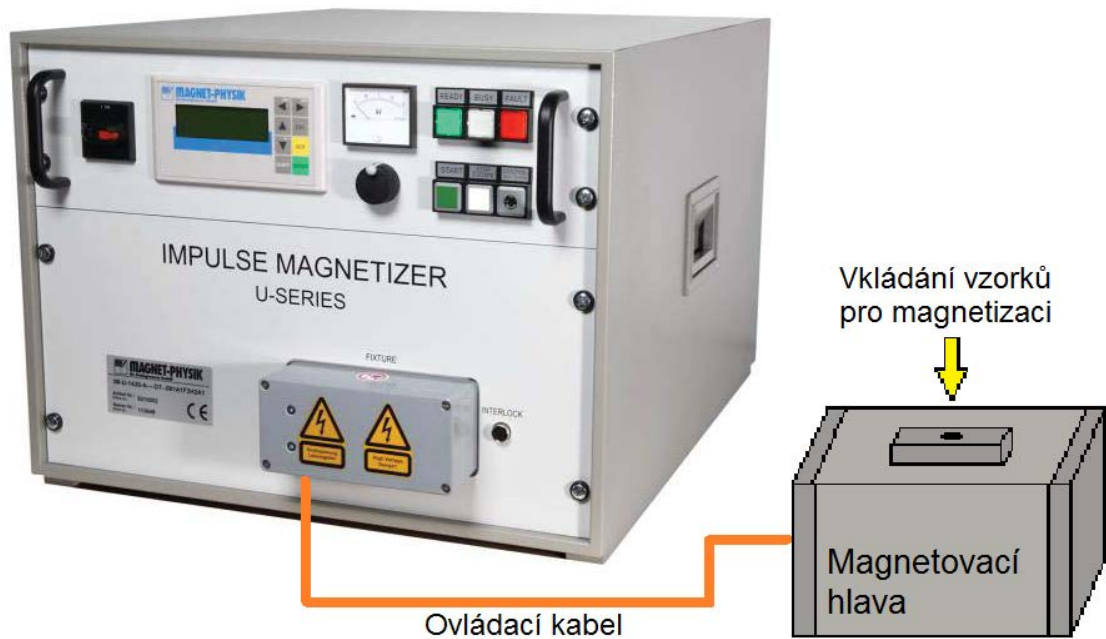
Tento BLDC motor se používá pro palivové čerpadlo (*Obr 4*) do vozidel a neobsahuje integrovanou elektronickou jednotku pro komutaci, tu obstarává vyšší logický systém ve vozidle. Palivové čerpadlo se montuje přímo do nádrží aut, kde dodávají benzín či naftu do vstřikovacích systémů vozidla.



Obrázek 4: BLDC Palivové čerpadlo [13] (upraveno)

1.3 Technologie magnetizace

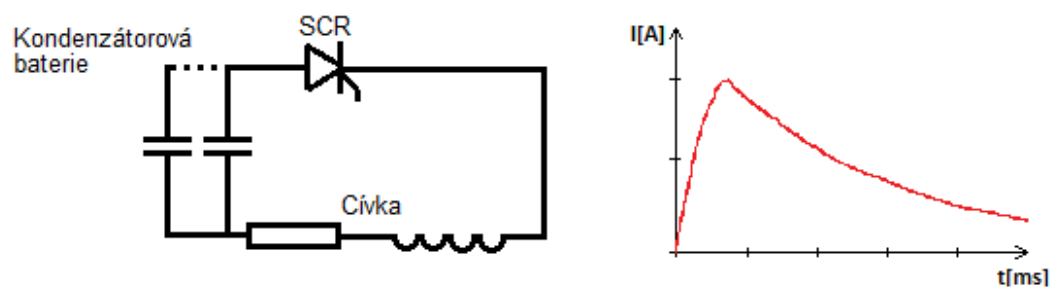
Magnetizační proces bude provádět jednotka Impulse magnetizer U-Series od firmy MAGNET-PHYSIK, kde lze kondenzátorové baterie nabít až na 2000 [V] a impulsní proudy dosahují až 60 000 [A]. [9]



Obrázek 5: Impulse magnetizer U-Series [14] (upraveno)

Princip impulsní magnetizace spočívá ve vysokoproudém krátkodobém impulzu (Obrázek 6), který dokáže vytvořit magnetické pole o velké intenzitě. Toto pole následně natočí jednotlivé domény ve feromagnetickém materiálu do jednoho směru a v případě magneticky tvrdé látky domény zůstávají natočeny i po odeznění magnetického pole. [3] [9]

V případě demagnetizace (neboli degaussing) se používají demagnetizační cívky, které díky průchodu střídavého elektrického proudu vytvoří proměnné magnetické pole kolem cívky a jednotlivé domény natočí do různých směrů. [3] [9]

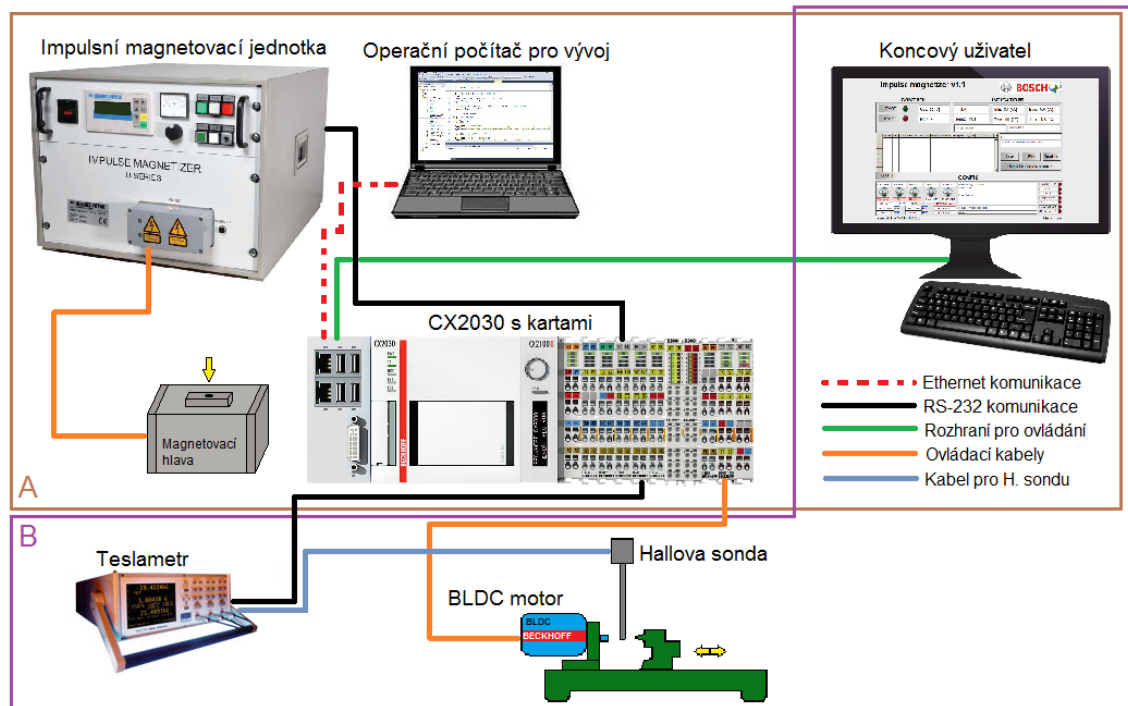


Obrázek 6: Princip impulsní magnetizace

Abychom byli schopni docílit takto velikých magnetizačních proudů a tím vytvořit na cívce magnetické pole, je zapotřebí nabít kondenzátorové baterie na požadovanou hodnotu napětí. Po nabití kondenzátorových baterií sepne spínací prvek, a na cívce nám vznikne krátké intenzivní magnetické pole. [9]

2 Automatizovaný proces

2.1 Princip procesu



Obrázek 7: Automatizační proces

Automatizovaný proces se skládá ze dvou hlavních částí:

- *Magnetizace rotoru BLDC motoru (Obrázek 7 A)*
- *Měření magnetické indukce rotoru BLDC motoru (Obrázek 7 B)*

Obě části procesu fungují nezávisle na sobě a mají oddělenou vizualizaci pro přehlednější práci. [10]

2.2 Komunikace

Hlavní komunikace pro ovládání probíhá pomocí dvou RS-232 kanálů, kde sériovou komunikací řídíme a nastavujeme impulsní magnetovací jednotku a následně měříme vytvořenou magnetickou indukci na rotoru BLDC motoru. [1] [4] [10]

Další komunikaci potřebujeme provádět mezi vývojovým počítačem a Beckhoff CX2030. Tato komunikace využívá rozhraní Ethernet a bude probíhat pouze pro doladování programu, nebo další vývojové operace. [10]

U RS-232 využívám pouze TxD, RxD a GND kanály, tedy pouze přijímací, odesílací a uzemňovací část RS-232 kabelu. Samozřejmě je možno použít doplňkové bezpečnostní opatření jako sudou a lichou paritu nebo dodatkové ochranné znaky.

Jak jsem psal již v kapitole 1.1, pro komunikaci skrze RS-232 používám dvě karty EL6001, kde v nastavení karet určím rychlost, bezpečnost a všechny zbylé potřebné informace pro komunikaci.

2.3 Magnetizace BLDC rotoru

2.3.1 Možnosti jednotky

Proces magnetizace se zcela řídí podle možností magnetovací jednotky a snaží se využít všechny funkce, které nám jsou k dispozici. Přesněji mluvíme o třech základních pracovních režimech: [5]

- *Mode charged 1 (viz Příloha A)*

Jednotkový impuls na start nabije kondenzátorové baterie magnetovací jednotky, po dalším impulsu provede magnetovací cyklus. Poté se kondenzátorové baterie opět nabijí a čekají na další impuls. [5]

- *Mode charged 2 (viz Příloha A)*

Impuls na start nabije kondenzátorové baterie magnetovací jednotky, po dalším impulsu provede magnetovací cyklus. Čekání na další impuls pro opakované nabití kondenzátorových baterií a poté čekání na další impuls. [5]

- *Mode discharged (viz Příloha B)*

Impuls na start nabije kondenzátorové baterie magnetovací jednotky a po provedeném magnetovacím cyklu čekání na další impuls pro nabití kondenzátorových baterií. [5]

Další možnost jednotky je vybití kondenzátorových baterií ještě před magnetizačním cyklem. K tomu můžeme použít část vstupního kódu (viz 2.2.2), kterým aktivujeme mód „RESET“, umožňující vybití kondenzátorových baterií na rezistorech. Tento mód používáme spíše z bezpečnostního hlediska, pro bezpečnost obsluhy jednotky.

Dále můžeme vyčítat výstupní kód pro teplotu hlavy magnetovací jednotky, kterou používáme pro bezpečnostní a laboratorní požadavky.

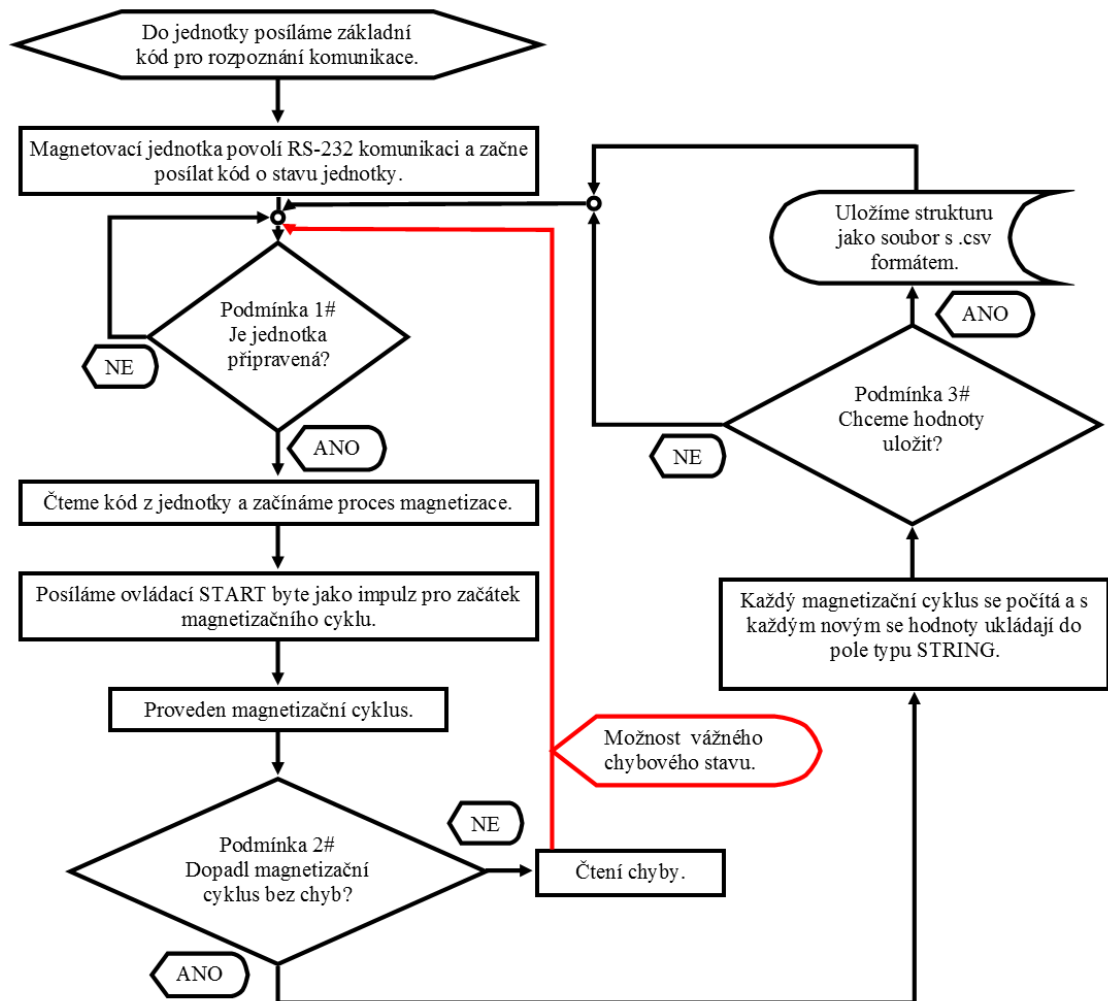
2.3.2 Kódová komunikace

V mé práci pracuji s jazykem strukturovaného textu (ST), který má základní strukturu podobnou s jazykem Ada, Pascal a C.

Celá komunikace probíhá v posílání 17bajtovém kódu typu STRING, kde se změnou parametrů STRINGU mění hodnota bajtů a tím změny v kódu, který posíláme. Například když změníme hodnotu druhého bajtu z „0“ na „1“, povolíme sériovou RS-232 komunikaci na magnetovací jednotce.

Základní kód: Jak už bylo popsáno, základní kód je 17bajtový STRING „0000000000000000“ a protože používám arytmičtý způsob přenosu, je nutné přidat rozběhový „START“ a závěrný „STOP“ prvek pro rozpoznání jednoho přijímaného celku. Po rozběhový prvek používám decimální číslo 1 a pro závěrný 13, které je nutno přeložit do ASCII znakové sady a přidat do základního kódu. Vznikne nám tedy základní kód, kterému je přijímací strana schopna porozumět ‚\$0000000000000000\$R‘

V případě přijímání se jedná o 26 bajtový STRING kód a čtením každého bajtu získáme stav magnetovací jednotky, ze které posléze vycházíme při posílání kódu zpět do jednotky.



Obrázek 8: Vývojový diagram procesu

Vývojový diagram procesu, jak vidíme na obrázku 8, ukazuje hlavní komunikační řetězec pro automatizaci. Samozřejmě zde nejsou všechny body, jako nastavování a posílání napětí, změny módu, čtení proudu a teploty, ale základní automatizaci můžeme pomocí tohoto diagramu realizovat.

Ukládání struktury je realizováno pomocí podprogramu, který pomocí funkčních bloků vytváří CSV soubor v určené lokaci a následně do něj zapisuje a ukládá pole typu STRING. Množství polí, tedy celkový počet dat k uložení, je zjištěno pomocí příkazu CASE a výčtem hodnot ze zjištěných stavů funkčních bloků v programu.

2.3.3 Vizualizace a nastavení měření

Všechny vizuální prvky jsou vytvořeny zvlášť v programu TwinCAT 3, kde každý vizuální aktivní prvek odkazuje na určitou proměnnou. Vytváření vizualizace obstarává

implementovaný grafický editor, ve kterém se vytváří všechny objekty už od základních spínačů po složitější tabulky a indikátory. [10]

Příklad: Přidáme nebo vytvoříme tlačítko RESET, nadefinujeme potřebnou proměnnou a po stlačení tlačítka RESET (viz Příloha C) změním proměnné hodnoty. Změnou hodnoty změním část odchozího stringu a tím aktivuje mód RESET na magnetovací jednotce.

Mezi výhody použití vizualizace v TwinCAT 3 je možnost funkce „Target-Vizualization“ nebo „Web-Vizualization“ díky nimž dokážeme ovládat vytvořený program bez přístupu ke zdrojovému kódu, jen s pomocí vizualizace.

- **Target-Vizualization**

Tato funkce stáhne celý zdrojový kód společně s vizualizací do IPC a poté již běží jen runtime prostředí. Koncovému uživateli pak k ovládní programu stačí jen IPC a rozhraní pro ovládní (myš, klávesnice). [10]

- **Web-Vizualization**

Na PLC běží http server s vizualizací řídicího programu a díky této dokážeme zobrazit vizualizaci ve webovém prohlížeči a ovládat program pomocí IP adresy zdrojového počítače a webové adresy. [10]

Vizualizace v mém projektu se skládá z páčkových spínačů, které jsou vizuálně již předdefinované v programu. Dále mám vytvořená spínací tlačítka a jako indikátory využívám textové pole s měnícím se stringem a integerem.

Jelikož je moje automatizace určená pro laboratorní provoz, jsou zde nastavené také meze pro úspěšnost magnetizace. Jako první máme možnost nastavit hranice pro maximální „ I_{max} “ a minimální „ I_{min} “ proud. Další nastavení je pro maximální teplotu magnetovací hlavy, která nesmí překročit nastavenou horní hranici „ T_{max} “, nebo spodní „ T_{min} “.

V případě nesplnění podmínek výše se do výsledného pole pro uložení dat vypíše „*NOK*“, jakožto nesplnění podmínek. V případě splnění se vypíše „*OK*“, které značí jejich splnění (viz Příloha C).

2.3.4 Řešení zbylých problémů a odzkoušení magnetizace

Při práci na komunikaci jsem řešil problém s rozběhovým a závěrným prvkem (viz 2.2.2). Problém byl v rozeznání odesílaného kódu, kde přijímaná strana (magnetovací jednotka) nereagovala ani po přidání rozpoznávacích prvků.

Problém mi pomáhala řešit Beckhoff technická podpora a po několika dnech bylo zjištěno, že problém je ohledně kombinací znakové sady v operačním systému a následné využití přímo v programu.

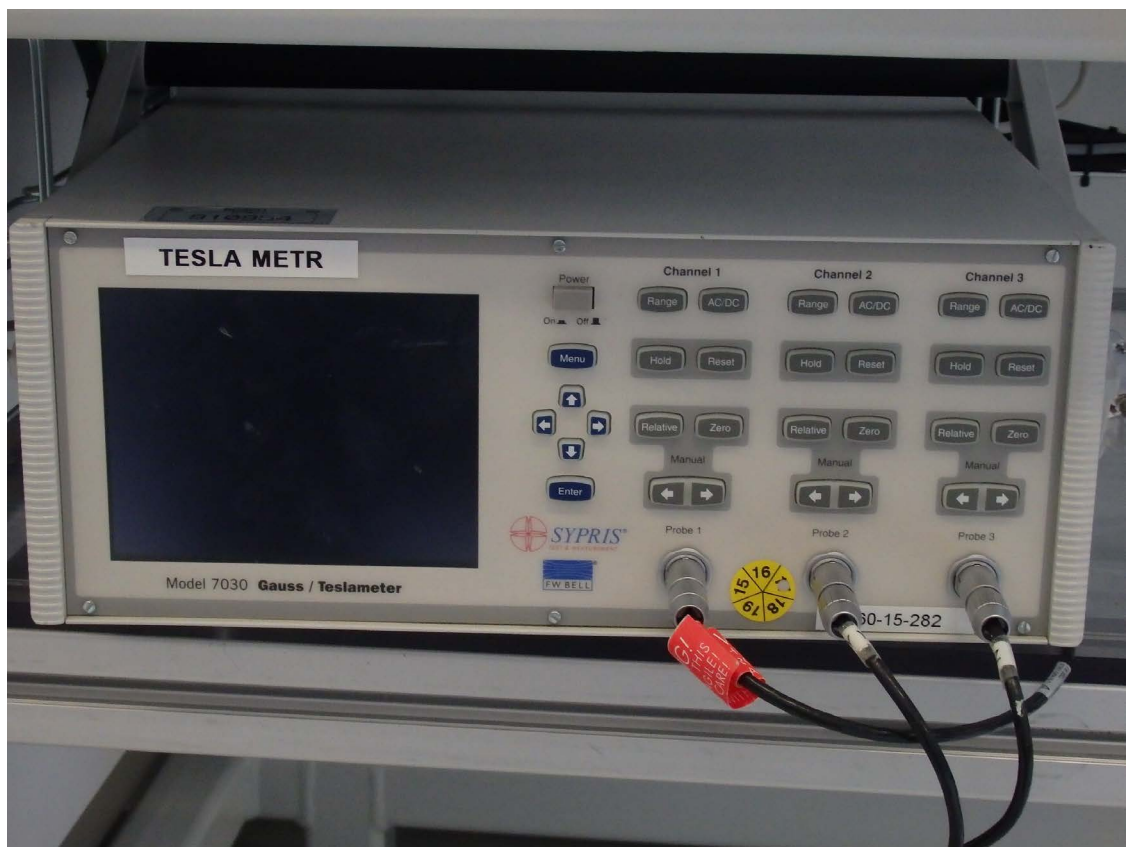
Pro vyřešení problému jsem použil funkci „*F_ToCHR*“, která mi umožnila programový převod z ASCII soustavy na decimální(desítkovou) soustavu, bez použití problémových znakových sad v operačním systému. [10]

```
sAsciiToStringSTART := F_ToCHR(bByteStart);  
sAsciiToStringSTOP := F_ToCHR(bByteStop);  
(*bByteStop := 1;  
bByteStart := 12;*)
```

Po přidání již programově převedených rozběhových a závěrných prvků do základního kódu již komunikace probíhala a problém byl tímto vyřešen.

2.4 Měření magnetické indukce rotoru BLDC motoru

Celkové měření se provádí pomocí Teslametru 7030 od firmy F.W.BELL (Obrázek 9) a k němu připojené Hallově sondě, díky které dokáží změřit požadovanou informaci, kterou přenáším pomocí RS-232. Komunikace se od předešlé podstatně liší a bude o ní pojednáno v další kapitole (viz 2.3.1). [9]



Obrázek 9: Teslametr model 7030

2.4.1 Princip komunikace

Sériová RS-232 komunikace s Teslametrem 7030 je podstatně jednodušší, než s již zmíněnou impulsní magnetizační jednotkou. Tato komunikace spočívá na principu posílání sérii kódů, ke kterým má Teslametr již předem definované úkoly a příkazy. Poté již stačí vyčítat údaje ať ohledně teploty Hallové sondy, nebo magnetické indukce. [9]

Každá série posílaných příkazů má již definované podmínky pro správnou funkčnost komunikace:

- Každý začátek příkazu musí začínat znaménkem „*“.
- Pro každý čtyřmístný příkaz na Teslametr musí kód končit znaménkem „?“.
- Při posílání sérii příkazů musíme každý příkaz oddělit znaménkem „;“.
- Aby mohl Teslametr přečíst odesílanou sérii příkazů, musí na konci obsahovat přidaný ASCII znak konce řádku „\n“.

Příklad: Při odeslání tří příkazů typu „*IDN?;MEASURE:FLUX;MEASURE:TEMP?\n“ (základní seznam použitých příkazů viz Tab. 1.0), můžeme z Teslametru vyčíst „F.W.BELL,7030 GAUSS-TESLAMETER,V3.5;5E-05;20“. [9]

PŘÍKAZ	POPIS
:MEASure#:FLUX?	Měření magnetické indukce
:MEASure#:TIME?	Měření periody nebo frekvence magnetické indukce
:MEASure#:TEMPerature?	Měření teplot Hallovy sondy
*REN	Zakázání manuálního ovládání
*GTL	Povolení manuálního ovládání
*RST	Resetování zařízení
*IDN?	Identifikace zařízení
*CLS	Vymaže error zprávy
*OPT?	Identifikace sond

Tabulka 1: Seznam použitých příkazů

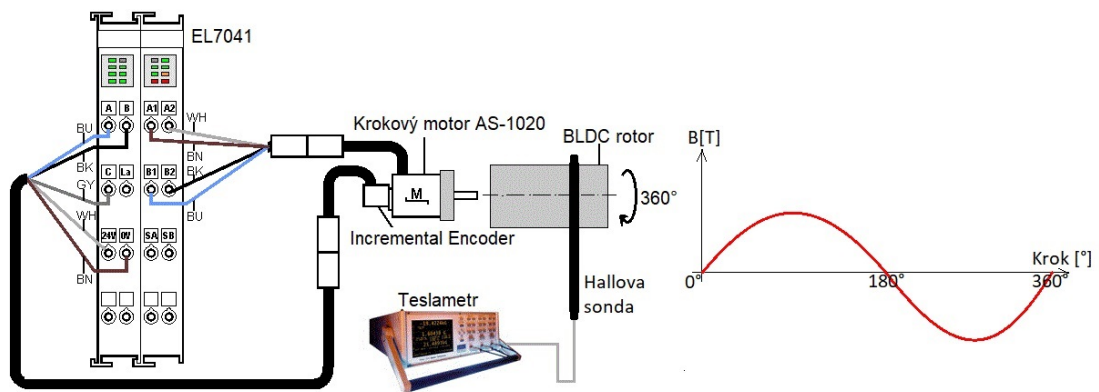
2.4.2 Krokový motor a čtení dat

Pro hybnou část, tedy pohon, který bude otáčet vzorkem rotoru pro celoplošné měření magnetické indukce, jsem použil krokový motor od firmy Beckhoff AS-1020, který ovládám pomocí integrované funkce Motion přímo v programu Twincat 3. (viz 1.1)



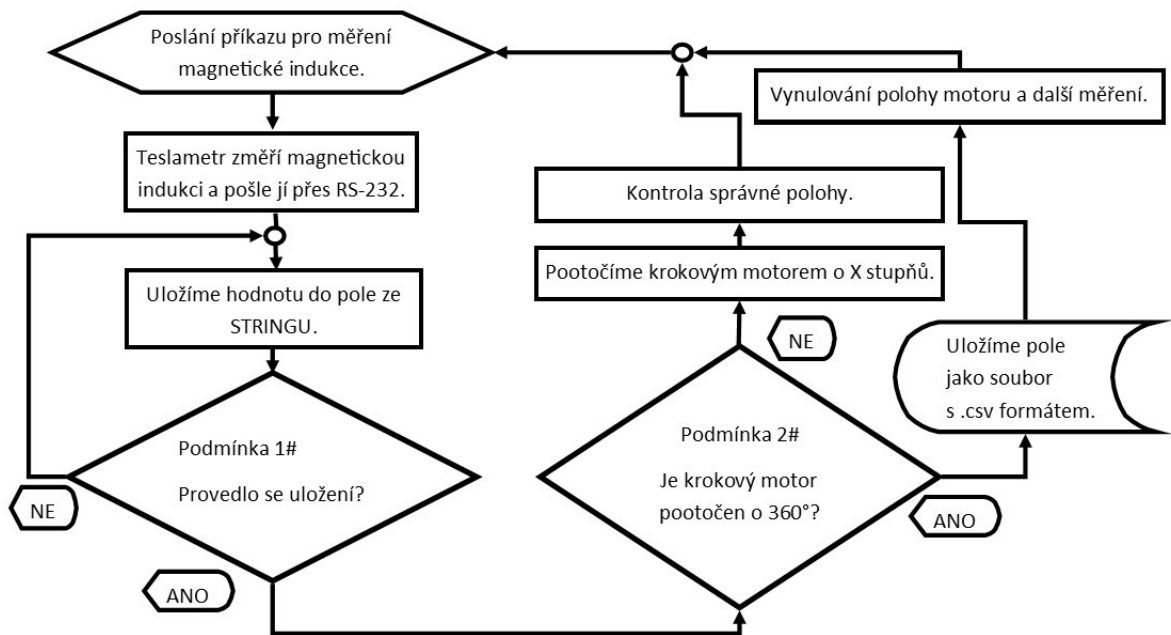
Obrázek 10: Krokový motor AS-1020

Každým pootočením krokového motoru posílám do Teslametru příkaz pro změření magnetické indukce (Obrázek 11). Po uložení dat pootočím znovu a pokračuji do doby, než změřím celou plochu rotoru, tedy 360° otočení motoru.



Obrázek 11: Otočení rotoru BLDC motoru

Ve výsledku tedy máme data o magnetické indukci celé plochy rotoru BLDC motoru, které můžeme uložit jako soubor s CSV formátem, nebo přímo v programu vykreslit graf. (viz příloha D)



Obrázek 12: Vývojový diagram měření magnetické indukce

2.4.3 Řešení zbylých problémů při měření magnetické indukce

V této komunikaci jsem měl podobný problém ohledně kombinací znakové řady operačního systému a využití v programu. Díky řešení tohoto problému v přechozí komunikaci (viz 2.2.4) se problém, s využitím funkce „F_ToCHR“, vyřešil rychle. [10]

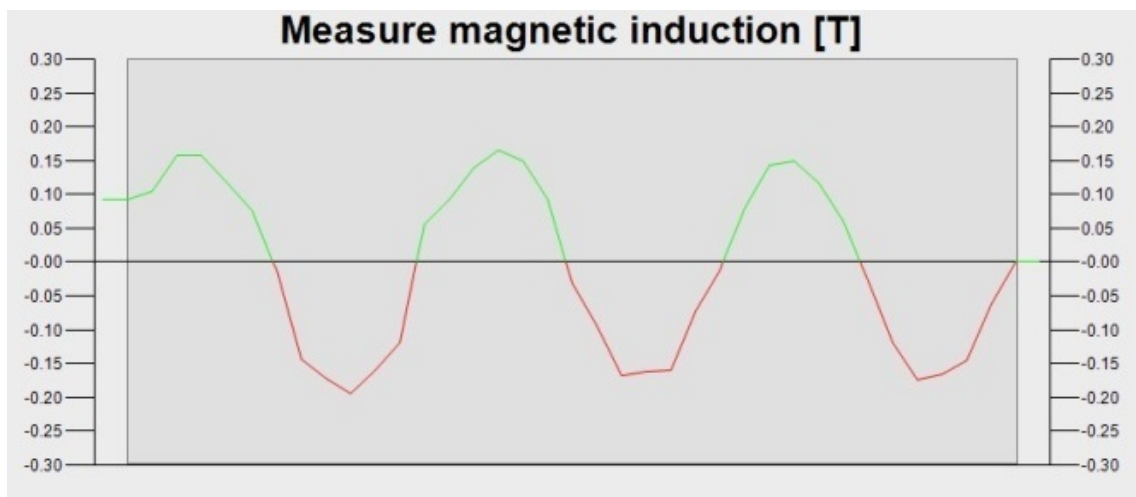
Další problém se týkal spíše vyladění krokového motoru, kde jsem s Beckhoff podporou řešil správné nastavení motoru a enkodéru, aby prováděné kroky byly technicky správně.

3 Vylepšení, data, porovnání

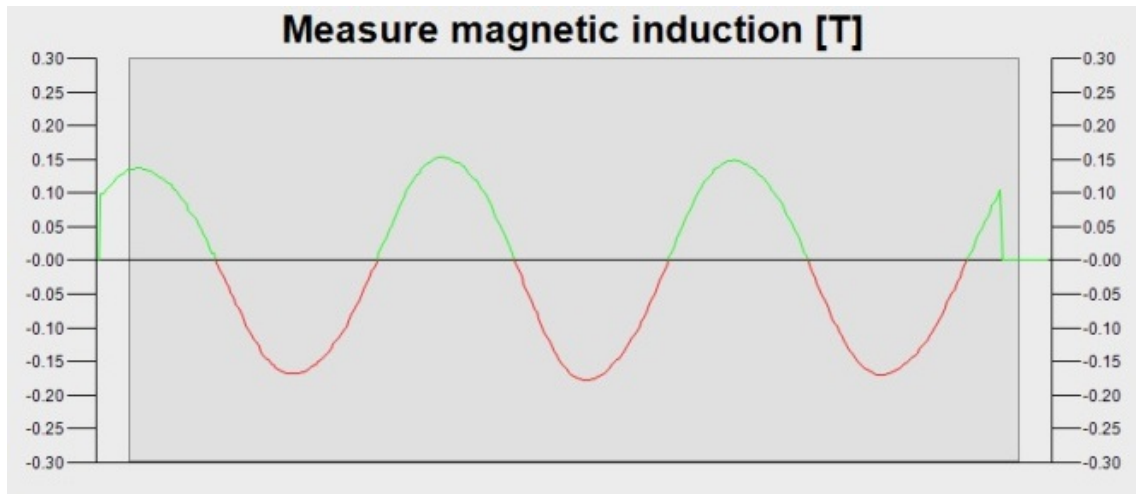
V případě vylepšení celé automatizace máme k dispozici hned několik řešení.

První možností vylepšení automatizace by se týkalo celkového zrychlení čtení kroků a otáčení motoru, tedy zmenšení časové náročnosti měření. Při pokusech o realizaci jsem narazil na problém ohledně posílání a přijímání kódu, kde zrychlení nebylo možné z důvodu dokončení komunikace mezi Teslametrem a naším programem. Při zrychlení otáčení motoru byl problém v narůstající nepřesnosti krokového motoru, kde zrychlením otáčení se také zvětšila nepřesnost kroků a výsledné pozice.

Další prováděná vylepšení byla ohledně vzorkování, tedy o kolik stupňů se otočí krokový motor, než se provede další měření magnetické indukce. Na obrázku 13 a 14 můžeme vidět velký rozdíl v přesnosti a celkové použitelnosti měření, kdy jsem zmenšil krok z 10° (Obrázek 13) na 1° (Obrázek 14).



Obrázek 13: Magnetická indukce BLDC rotoru při 10° kroku



Obrázek 14: Magnetická indukce BLDC rotoru při 1° kroku

Nevýhoda zmenšení kroku je výrazné zvětšení časové náročnosti měření, kde při 10° krocích měříme 360 vzorků a v případě 1° kroku by se jednalo už o 3600 vzorků.

Při pokusech o další zmenšení kroku, tedy zpřesnění měření, jsem narazil na problémy v přesnosti kroků. Pro další vylepšení by bylo potřeba předělat program a přenastavit krokový motor.

Poslední vylepšení se týkalo přidání podmínky správné komunikace a změření magnetické indukce. Snažil jsem se zamezit nesprávnému změření magnetické indukce pomocí podmínky pro dokončení kroku, zajištění správně přijaté hodnoty magnetické indukce z Teslametru a zamezení přístupu na ovládací terminál Teslametru.

Závěr

V průběhu celé práce jsem vyvíjel automatizační program a v jejím průběhu vyplynula nutnost přidání dalších funkcí nad rámec zadání. Celý automatizační program je napsán ve strukturovaném programovacím jazyku a je úspěšně aplikovatelný a použitelný pro laboratorní měření jak pro magnetizaci rotoru BLDC motoru, tak pro měření jeho magnetické indukce.

Při vytváření v této práci popisovaného automatizačního procesu jsem byl nucen řešit technické problémy. Jeden z největších byl paradoxně nevhodně navržený RS-232 kabel. Přes jeho triviálnost bylo řešení časově náročné. Totéž mohu nyní říci o problému s rozběhovým a závěrným prvkem (viz kap. 2.3.4), kde mi jeho řešení, i za podpory ze strany firmy Beckhoff, zabralo mnoho času.

Proces a jeho strukturu je potřeba vylepšovat a měnit podle použitých materiálů, vzorků a samozřejmě v závislosti na technickém vývoji. Z důvodu, že se jedná o automatizovaný laboratorní program, bude i v budoucnu například snaha zjemnit vzorkování, tedy krok motoru zmenšit a snažit se dosáhnout technické hranice měření.

V průběhu psaní této práce se měnily a upravovaly požadavky zadávající firmy na automatizovaný proces, což je při vývoji programů a procesů přirozené. Základní struktura projektu popsaná v této práci, zůstala zachována.

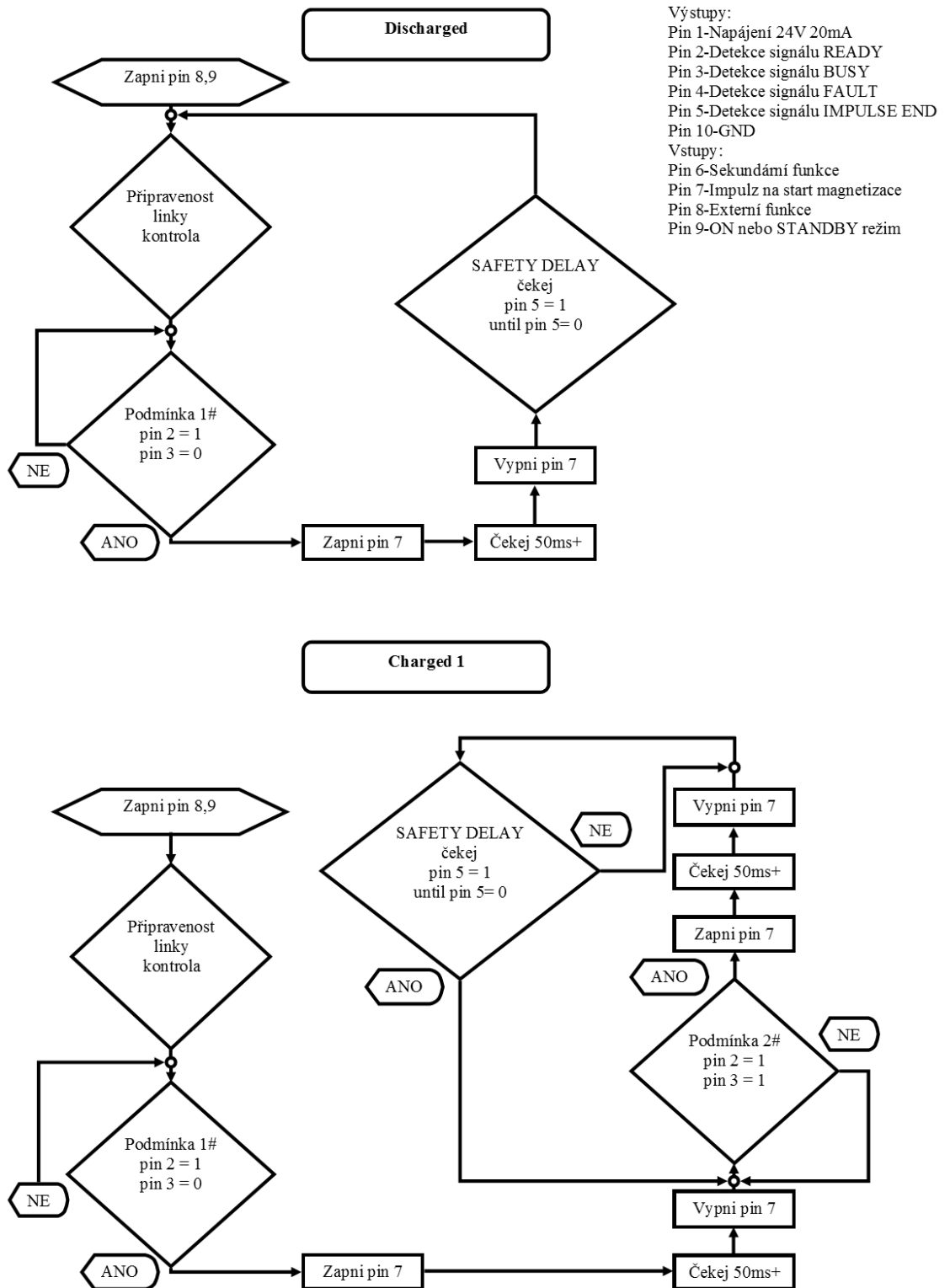
Mám v plánu tuto práci dále rozvíjet a rozšiřovat, příkladem může být použití automatizovaného ramena k předávání vzorků z magnetické jednotky k Hallově sondě a dále pomocí tohoto ramena provádět měření magnetické indukce po celém obvodu rotoru.

Seznam literatury a informačních zdrojů

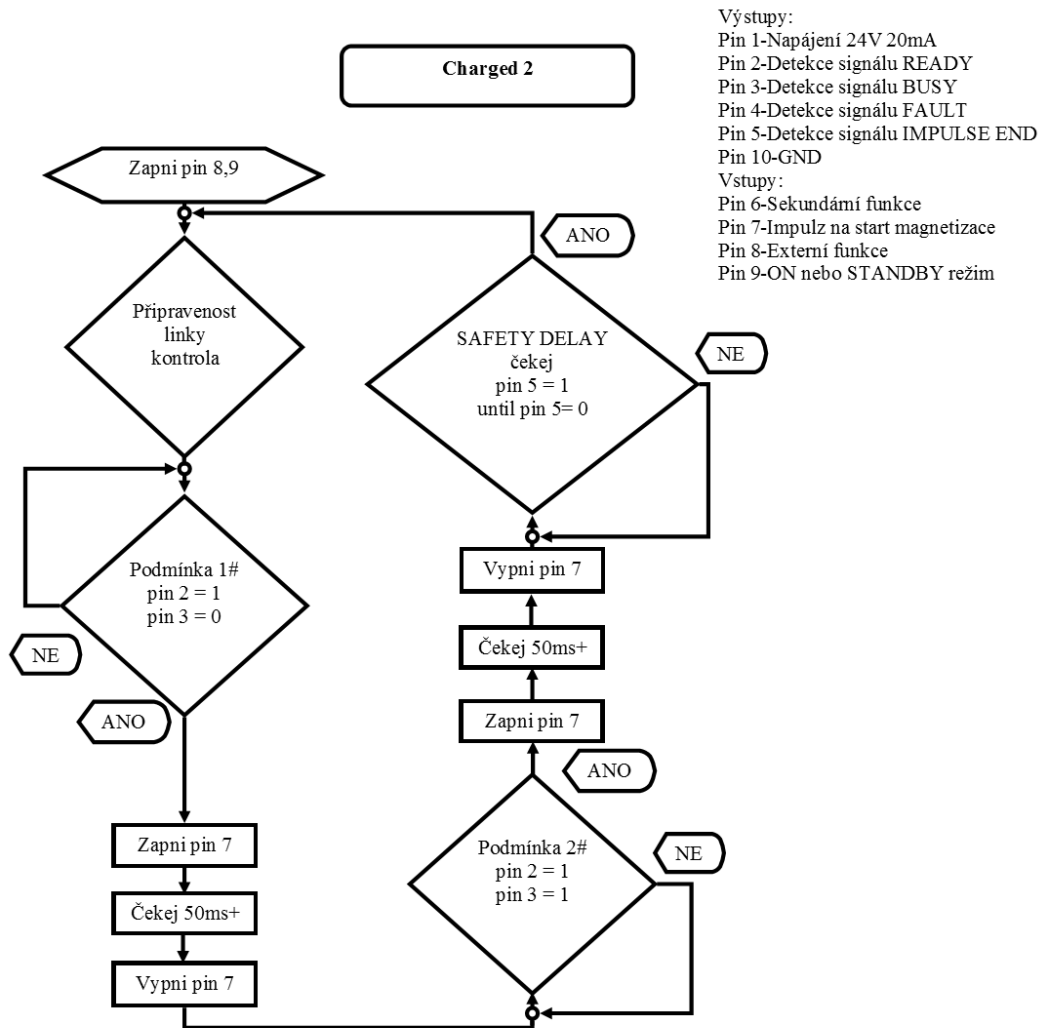
- [1] Martinek R. *Senzory v průmyslové praxi*, BEN, Praha, 2004, ISBN 80-7300-114-4
- [2] Šmejkal L., Martinásková M. *PLC a automatizace - 1. Díl*, BEN, Praha, 1999, ISBN 80-86056-58-9
- [3] Mayer D. *Aplikovaný elektromagnetismus*, KOPP, České Budějovice, 2012, ISBN 978-80-7232-436-1
- [4] Programování PLC podle normy IEC 61 131-3 v prostředí Mosaic [online]. [cit. 21.5.2017]. Dostupné z: <http://www.tecomat.com/index.php?ID=318>
- [5] Impulse magnetizer U-Series [online]. [cit. 10.5.2017]. Dostupné z: http://www.magnet-physik.de/fileadmin/Mediendatenbank/1_Produkte/1_Magnetisieretechnik/IM-U_e_3061.pdf
- [6] El. motory a jejich řízení - základní přehled - 1.díl [online]. [cit. 12.5.2017]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/el-pohony-mereni-a-regulace/el-motory-a-jejich-rizeni-zakladni-prehled.html>
- [7] Bezsenzorové řízení BLDC motorů pro široké využití [online]. [cit. 20.5.2017]. Dostupné z: <http://www.dps-az.cz/soucastky/id:2700/bezsenzorove-rizeni-bldc-motoru-pro-siroke-vyuziti>
- [8] Princip optických enkodérů polohy pro řízení motorů [online]. [cit. 20.5.2017]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2006022801>
- [9] Instruction Manual - 7030 GAUSS/TESLA METER [online]. [cit. 20.5.2017]. Dostupné z: https://www.atecorp.com/ATECorp/media/pdfs/data-sheets/FWBell_7030_Manual.pdf
- [10] BECKHOFF *Beckhoff Information system* [online]. [cit. 21.5.2017]. Dostupné z: <http://infosys.beckhoff.com/>
- [11] BECKHOFF CX2030 [online]. In: . [cit. 2017-05-31]. Dostupné z: https://www.beckhoff.com/images/embedded_pc/CX2030_web.jpg
- [12] BLDC-pumpa [online]. In: . [cit. 2017-05-31]. Dostupné z: <https://www.bldcpump.com/wp-content/uploads/2015/05/Structure-of-BLDC-Pump.jpg>
- [13] Bosch-pumpa-full [online]. In: . [cit. 2017-05-31]. Dostupné z: http://mechlab.fme.vutbr.cz/wp-content/uploads/2015/10/bosh_pumpa.jpg
- [14] Impulse magnetizer U-series [online]. In: . [cit. 2017-05-31]. Dostupné z: <http://www.sinetechnologies.in/images/magnetizer2.jpg>

Přílohy

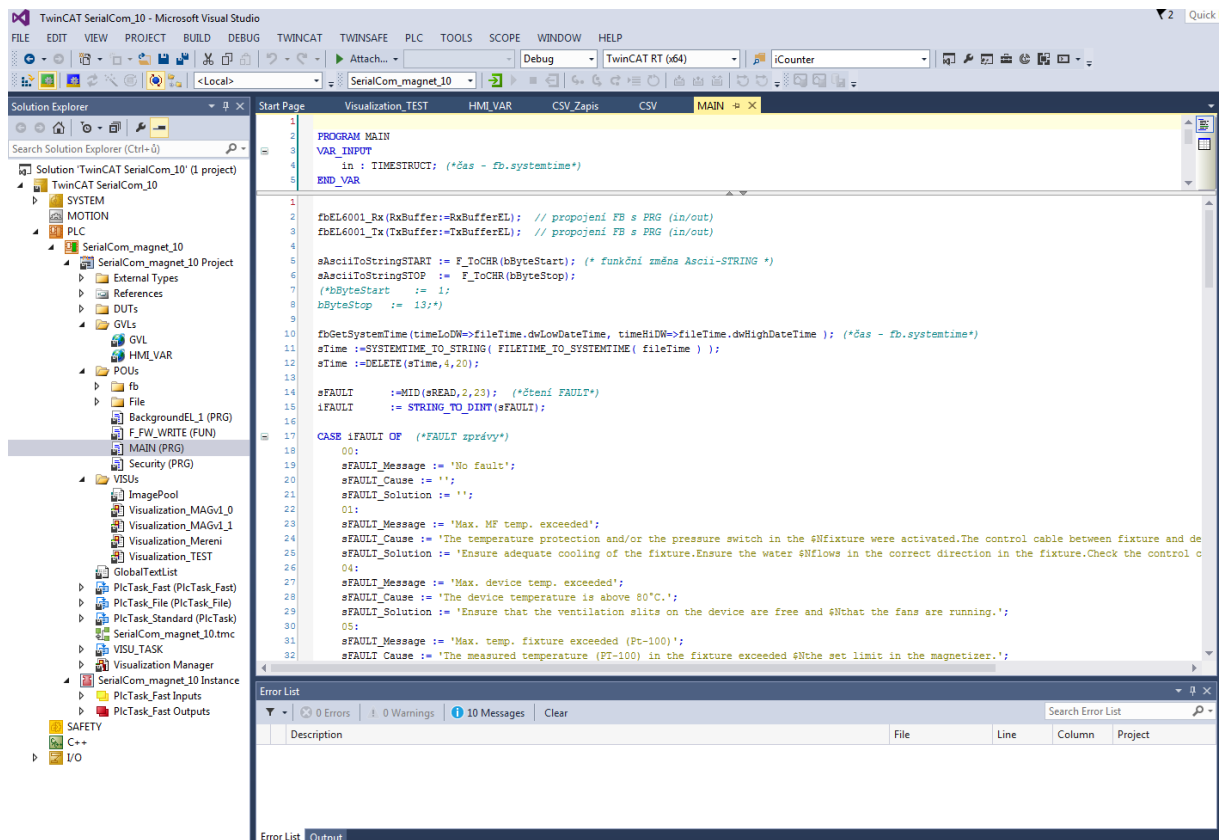
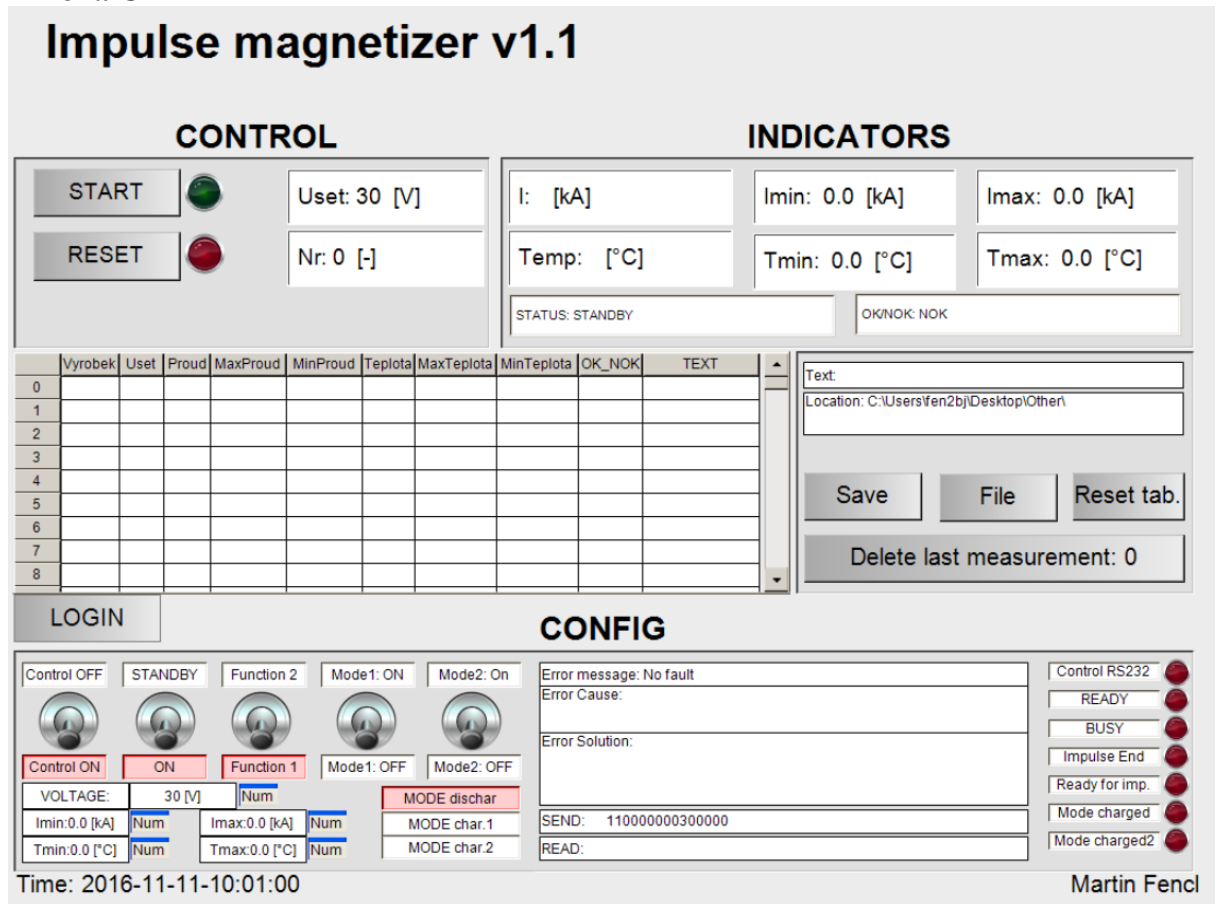
Příloha A



Příloha B



Příloha C



Příloha D

