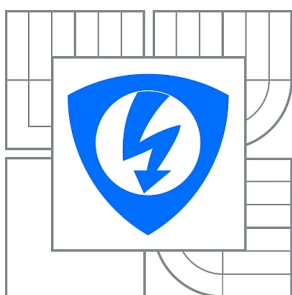




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

ŘÍZENÍ KOGENERAČNÍ JEDNOTKY

CONTROL OF C.H.P. UNIT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MARTIN ULVER

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Dr. Ing. ZDENĚK KOLKA

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Bc. Martin Ulver

ID: 106845

Ročník: 2

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Řízení kogenerační jednotky

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte řídicí jednotku, která reguluje kogeneračního zařízení tak, aby byl výkon odebíraný z veřejné sítě minimální. Navrhněte strukturu, detailní implementaci i způsob komunikace jednotlivých bloků. Realizujte a oživte hardwarovou část zařízení. Ověřte dosaženou přesnost snímání veličin. Realizujte software pro všechny části zařízení. Provedte a vyhodnoťte provozní zkoušku.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MARTIN, T. The Insider's Guide to the STM32 ARM Based Microcontroller. Coventry (UK): Hitex Ltd., 2008. ISBN: 0-9549988 8.

[2] JUNG, W. Op Amp Applications Handbook. Burlington (USA): Newnes (Elsevier), 2005.

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 18.5.2012

Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Zdeněk Kolka

Konzultanti diplomové práce:

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá kogenerační jednotkou a jejím řízením. Kogenerační jednotka slouží k výrobě elektrické energie a výrobě tepla. Výkon kogeneračního zařízení se řídí podle aktuální spotřeby objektu, tak aby odebíraný výkon z veřejné sítě byl co nejmenší. Řídící jednotka se skládá ze dvou samostatných částí, které spolu budou komunikovat po jedné fázi sítě ~230V. Jedna část měří odebíraný výkon ze sítě a druhá řídí kogenerační jednotku.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kogenerační jednotka, měření výkonu, řízení výkonu, komunikace po ~230V.

ABSTRACT

Master's thesis deals with cogeneration unit and its control. Cogeneration unit used to energy production and heat production. Power of cogeneration unit is controlled by current consumption of the building, so that the absorbed power from the public network to a minimum. The control unit is composed of two individual part, which is communicated together along single phase of the ~230V. One part measure absorbed power of the network and the second control a cogeneration unit.

KEYWORDS

Cogeneration unit, measure power, control power, communication over ~230V.

ULVER, M. *Řízení kogenerační jednotky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2011. 56 s., 12 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Zdeněk Kolka

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Řízení kogenerační jednotky jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce prof. Dr. Ing. Zdeňku Kolkovy, za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

Obsah

Seznam obrázků	8
Seznam tabulek	10
1 Úvod	11
2 Celková koncepce	12
3 Měřicí část	13
3.1 Napájecí blok	13
3.2 Řídící blok	14
3.3 Zobrazovací blok	15
3.4 Ovládací část	15
3.5 Měřicí blok	15
3.5.1 Měření napětí	15
3.5.2 Měření proudu	17
3.6 Vysílací blok	18
4 Řídící část	19
4.1 Kontrolní blok	20
4.2 Spínací blok	21
5 Popis řídicího softwaru	24
5.1 Software měřicí desky	24
5.1.1 Možné případy fázového posuvu	25
5.2 Software řídicí desky	28
5.3 Popis zobrazování údajů na LCD	30
5.3.1 LCD Měřicí části	30
5.3.2 LCD Řídící části	31
6 Naměřené hodnoty	32
6.1 Úprava měřeného napětí	32
6.2 Chyba měření napětí	33
6.2 Chyba měření proudu	34
6.3 Chyba měření výkonu	36
6.4 Závislost otáček na výkonu	37
7 Regulační systém	38
7.1 Odezva na jednotkový skok	39

7.2 Měření spotřeby PHM.....	41
8 Závěr.....	42
Seznam použité literatury.....	43
Seznam příloh.....	44

Seznam obrázků

Obrázek 1. Principiální zapojení	12
Obrázek 2. Blokové schéma Měřicí části	13
Obrázek 3. Napájecí blok	14
Obrázek 4. Měření napětí	16
Obrázek 5. Měření proudu	17
Obrázek 6. Vysílací část	18
Obrázek 7 Blokové schéma Řídící části	19
Obrázek 8. Kontrolní blok	20
Obrázek 9 Schéma krokového motorku	21
Obrázek 10 Řízení krokového motorku	22
Obrázek 11 Spínání krokového motorku	23
Obrázek 12 Spínání stykače	23
Obrázek 13. Princip regulace	24
Obrázek 14. Fázový posuv $+ 0^{\circ} \dots + 90^{\circ}$ = Spotřebič	25
Obrázek 15. Fázový posuv $- 0^{\circ} \dots - 90^{\circ}$ = Spotřebič	25
Obrázek 16. Fázový posuv $+ 90^{\circ} \dots + 180^{\circ}$ = Generátor	26
Obrázek 17. Fázový posuv $- 90^{\circ} \dots - 180^{\circ}$ = Generátor	26
Obrázek 18. Ukázka komunikace po fázi	27
Obrázek 19. Ukázka komunikace pro nastavení počáteční pozice	28
Obrázek 20. Ukázka komunikace při regulaci	29
Obrázek 21. LCD Měřicí desky	30
Obrázek 22. LCD Řídící desky	31
Obrázek 23. Úprava měřeného napětí	32
Obrázek 24. Měřené napětí	32
Obrázek 25. Měřené napětí	32
Obrázek 26 . Závislost absolutní chyby na měřeném napětí	33
Obrázek 27. Závislost relativní chyby na měřeném napětí	34
Obrázek 28. Závislost absolutní chyby na měřeném proudu	35
Obrázek 29. Závislost relativní chyby na měřeném proudu	35
Obrázek 30. Závislost otáček na výkonu	37
Obrázek 31. Blokové schéma regulace	38
Obrázek 32. Odezva na jednotkový skok pro 2kW	39

Obrázek 33. Odezva na jednotkový skok pro 4kW	40
Obrázek 34. DPS Měřicí část	53
Obrázek 35. DPS Řídící deska	54
Obrázek 36. DPS Řízení krokového motorku	55
Obrázek 37. Krokový motorek.....	55
Obrázek 38. Kogenerační jednotka	56

Seznam tabulek

Tabulka 1. Možnost fázového posuvu.....	26
Tabulka 2. Popis LCD Měřící části – První řádek = Celkový výkon.....	30
Tabulka 3. Popis LCD Měřící části – Druhý řádek = Výkon jednotlivých fází.....	30
Tabulka 4. Popis LCD Řídící části – První řádek = Celkový výkon	31
Tabulka 5. Popis LCD Řídící části – Druhý řádek = Stav jednotky	31
Tabulka 6. Chyba měření napětí	33
Tabulka 7. Chyba měření proudu	34
Tabulka 8. Závislost otáček na výkonu	37
Tabulka 9. Odezva na jednotkový skok pro 2kW	39
Tabulka 10. Odezva na jednotkový skok pro 4kW	40

1 Úvod

Pojem kogenerace znamená kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla. Oproti klasickým elektrárnám, ve kterých je teplo vzniklé při výrobě elektrické energie vypouštěno do okolí, využívá kogenerační jednotka teplo k vytápění a šetří tak palivo i finanční prostředky potřebné na jeho nákup.

Elektrická energie vzniká ve všech elektrárnách roztočením elektrického generátoru pomocí turbíny. Teplo nutné k výrobě páry, která turbínu pohání, se většinou získává spalováním uhlí nebo štěpením jader uranu. Velká část tepla však není využita a je bez užitku vypouštěna do ovzduší. Účinnost výroby v tepelných elektrárnách se pohybuje kolem 30%, nejmodernější paroplynové elektrárny pak mají účinnost kolem 50%, ovšem k dalším ztrátám ve výši asi 11% dochází při transformaci a dálkovém přenosu elektrické energie.

V kogenerační jednotce vzniká elektrická energie stejným způsobem jako v jiných elektrárnách - roztočením elektrického generátoru, a to pomocí pístového spalovacího motoru. Motory v kogeneračních jednotkách jsou standardně konstruovány na zemní plyn, mohou však spalovat i jiná kapalná či plynná paliva.

Teplo, které se ve spalovacím motoru uvolňuje, je prostřednictvím chlazení motoru, oleje a spalin efektivně využíváno a díky tomu se **účinnost kogeneračních jednotek** pohybuje v rozmezí **80 - 90 %**.

Pomocí absorpčního výměníku je vyrobené teplo možno využít i k výrobě chladu pro technologické účely nebo klimatizaci. V takovém případě se hovoří o tzv. trigeneraci, kombinované výrobě elektrické energie, tepla a chladu [4].

Řízení (regulace výkonu) takové jednotky spočívá v „přidávání plynu“. Tato regulace je možná např. otáčením krokového motorku. Aby bylo možné regulovat výkon jednotky dle aktuální spotřeby, je nutné znát aktuální spotřebu nebo informaci, podle které se bude výkon jednotky zvětšovat nebo zmenšovat. Touto informací může být právě odebíraný výkon z veřejné sítě.

2 Celková koncepce

Řídící jednotka je navržena tak, aby generátor mohl být umístěn na vzdálenějším místě. Jednotka má dvě části. Jedna část je „měřicí“ a druhá část je „řídící“.

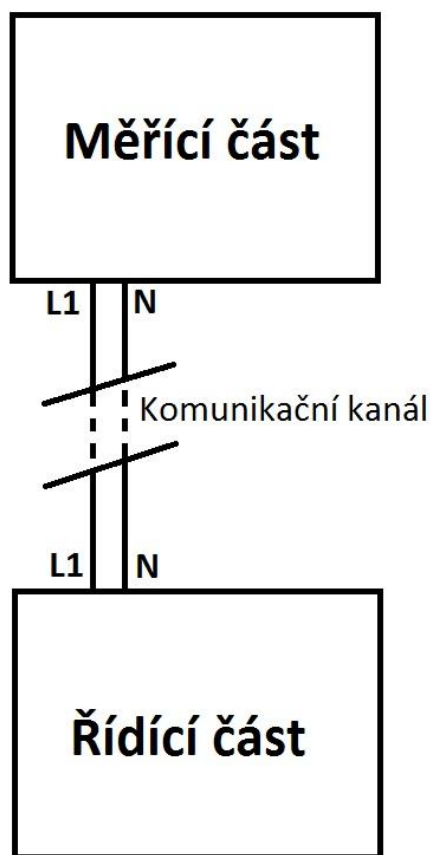
Měřicí část je umístěna v elektroměrovém rozvaděči domu a měří přímo odebíraný výkon z veřejné sítě, případně výkon, který je dodáván do veřejné sítě. Naměřená data vyhodnotí a odešle do řídící části.

Komunikace je zvolena po jedné fázi ~230V. Tuto komunikaci zajišťuje IO TDA5051 [2].

Řídící část vyhodnotí přijatá data a zvětší či zmenší výkon generátoru.

Kogenerační jednotka je tvořena motorem z automobilu Škoda 120 a k tomu je připevněný asynchronní motor 12kW přes hřídel s hardy spojkou. Kogenerační jednotka se neřídí podle otáček ani se nehlídá fázování. Motor pracuje v nadsynchronním režimu a pouze dodává energii do rozvodné sítě domu dle požadované hodnoty a je synchronizován a fázován sítí. V případě výpadku sítě musí být jednotka vypnuta. Spalovací motor byl v průběhu zkoušek poháněn plynem z PB lahve.

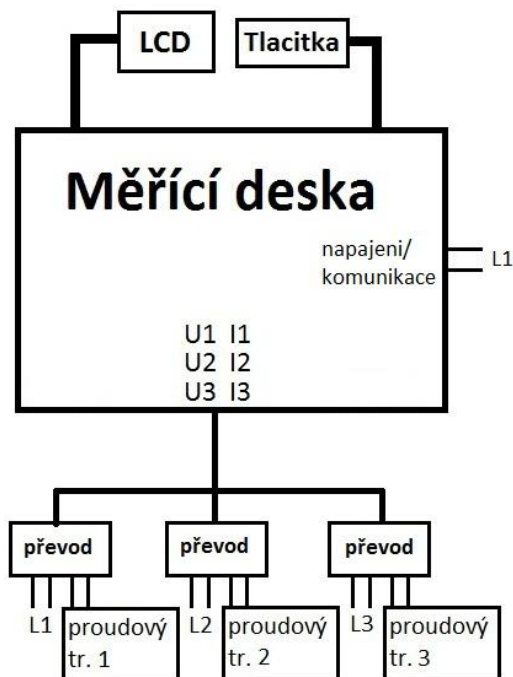
Řídící část dále ještě hlídá správnou funkčnost motoru.



Obrázek 1. Principiální zapojení

3 Měřicí část

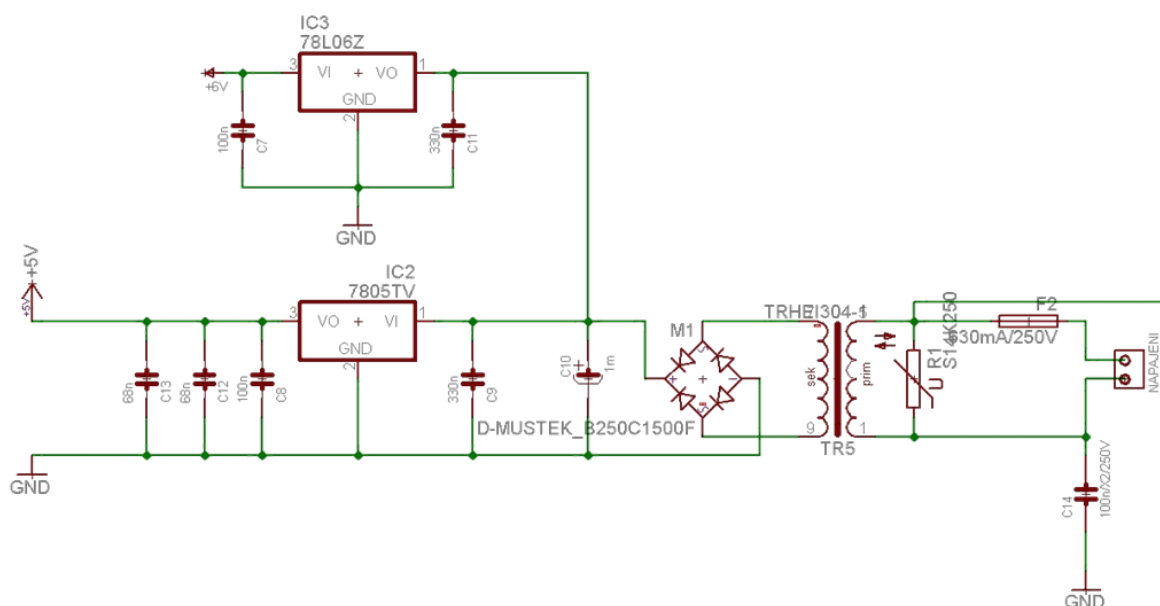
Měřicí část obsahuje blok napájecí, řídicí, ovládací, zobrazovací, měřicí a komunikační.



Obrázek 2. Blokové schéma Měřicí části

3.1 Napájecí blok

Napájení měřicí desky je navrženo klasicky s transformátorem, usměrňovačem a stabilizátorem. Před transformátor je ještě zařazena ochranná pojistka a varistor. Transformátor je do DPS se sekundárním napětím 6V a výkonem 2,6VA. Předpokládaný odběr desky je 100...200mA. Filtrační kondenzátor o kapacitě 1mF na 15V. Integrovaný stabilizátor 7805 v doporučeném zapojení a pouzdru TO220. Na výstup přidány kondenzátory pro případné odstranění rušení. Pro napájení Měřicího bloku je použit jiný stabilizátor s výstupním napětí 6V v pouzdru TO92. Je použit z důvodu potřebného většího napájení OZ.



Obrázek 3. Napájecí blok

3.2 Řídící blok

K řízení měřící části byl vybrán procesor Atmel MEGA168 [1]. Procesor obsahuje dostatečný počet vstupně/výstupních pinů a má potřebný A/D převodník. Hodinový signál je přiváděn z obvodu TDA5051A, kde je připojený krystal o hodnotě 6.144MHz. Tento obvod dává na výstupní pin poloviční kmitočet, teda kmitočet 3,072MHz a tento kmitočet je přiváděn na procesor. Tato volba technického řešení je z důvodu úspory výstupního pinu na procesoru proti řešení s krystalem u procesoru. Volba kmitočtu je z důvodu maximální vzorkovací frekvence A/D převodníku. Ten pro 10-ti bitové rozlišení může mít maximální kmitočet 200kHz. Po přivedení kmitočtu 3,072MHz a použití předděličky, s hodnotou 16 u A/D převodníku, bude kmitočet 192kHz.

Počet vzorků na jednu periodu:

Počet vzorkovaných signálů $n=6 \dots 3$ fázová napětí + 3 fázové proudy

$$\text{Perioda signálu } T_s = \frac{1}{f_s} = \frac{1}{50} = 20ms \quad (3.1)$$

$$\text{Perioda hodinové signálu A/D převodníku } T_{AD} = \frac{1}{f_{AD}} = \frac{1}{192 \cdot 10^3} = 5,208\mu s \quad (3.2)$$

Převod jedné hodnoty A/D převodníkem trvá 13,5 cyklu jeho periody

$$\text{Doba převodu jednoho vzorku } T_{VZ} = 13,5 \cdot T_{AD} = 13,5 \cdot 5,208 \cdot 10^{-6} = 70,3125\mu s \quad (3.3)$$

$$\text{Počet vzorků za periodu signálu } n_p = \frac{T_s}{T_{vz}} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{70,3125 \cdot 10^{-6}} = 284,4 \Rightarrow 284 \text{ vzorků} \quad (3.4)$$

$$\text{Počet vzorků na jeden signál za periodu } N = \frac{n_p}{n} = \frac{284}{6} = 47,3 \Rightarrow \underline{\underline{47 \text{ vzorků}}} \quad (3.5)$$

3.3 Zobrazovací blok

K zobrazování údajů byl zvolen znakový LCD s řadičem. Komunikace probíhá ve 4-bitovém modu s 3-mi řídícími bity. K LCD je připojen potenciometr pro nastavení kontrastu. Kontrast, který je viditelný, se nastaví cca do 1V.

3.4 Ovládací část

K ovládání jsou zapojena 4 tlačítka. Jsou zapojena klasicky z $U_{CC}=5V$ přes odpor na GND a ze středu děliče je výstup na procesor. Proud odporem byl zvolen cca 1mA.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{5}{1 \cdot 10^{-3}} = 5k\Omega \Rightarrow 5k6 \dots \text{Odpor zvolen z řady E12 } R=5,6k\Omega \quad (3.6)$$

3.5 Měřicí blok

Tento blok je rozdělen na 3 části podle fází. Každá část měří jedno fázové napětí a jeden proud. Tyto části jsou naprosto totožné a jsou připojeny pomocí sběrnice k měřicí desce. Na každé části je pomocí propojky zvoleno, na které piny je přivedeno napětí, které procesor měří.

3.5.1 Měření napětí

Měřené fázové napětí se přivede na primární vinutí transformátoru. Transformátor měřené napětí galvanicky oddělí a sníží na hodnotu cca 6Vpp. Toto napětí se na děliči (odpor 1kΩ a trimr 10kΩ) doladí na hodnotu cca 4,8Vpp.

$$U_{in} = \frac{10 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^3} \cdot U_{sec} = \frac{10 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^3} \cdot 6 = 5,45V \dots \text{max nastavitelná hodnota} \quad (3.7)$$

U_{sec}sekundární napětí na transformátoru

Na děliči napětí (odpor 2,2kΩ a trimr 5kΩ) se vytvoří „offset“ 2,4V.

$$U_{offset} = \frac{5 \cdot 10^3}{2,2 \cdot 10^3 + 5 \cdot 10^3} \cdot U_{cc} = \frac{5 \cdot 10^3}{2,2 \cdot 10^3 + 5 \cdot 10^3} \cdot 6 = 4,16V \dots \text{max nastavitelná hodnota} \quad (3.8)$$

Tato stejnosměrná složka se na odporech 100kΩ přičte k měřenému napětí. Jelikož se sečtené napětí zmenší na polovinu, tak se zesílí v operačním zesilovači na patřičnou úroveň. A/D převodník měří signál 4,8Vpp se stejnosměrnou složkou 2,4V. Na vstup OZ je ještě připojen kondenzátor na odfiltrování případného rušení a diody pro ochranu OZ v případě, že by měřené napětí přesáhlo napájecí meze OZ.

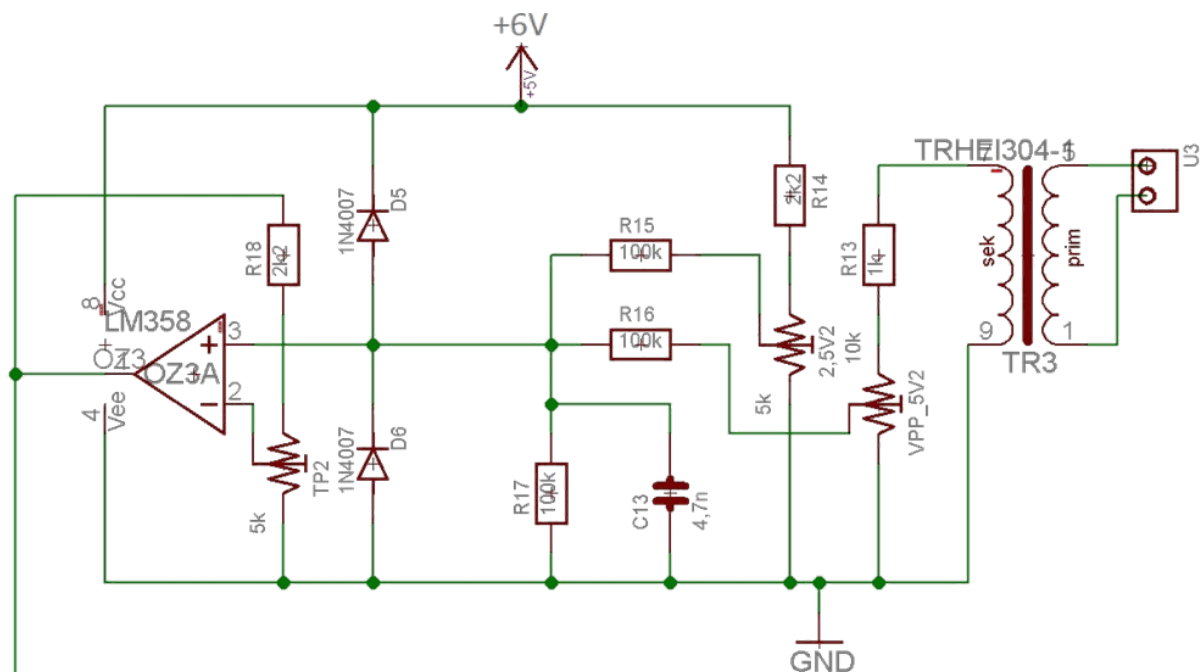
Volba odrušovacího kondenzátoru:

Zvolená frekvence, která má být odfiltrována $f=1\text{kHz}$

$$\text{Napěťové špičky kratší než: } t = \frac{1}{f} = \frac{1}{1 \cdot 10^3} = 1\text{ms} \quad (3.9)$$

$$\text{Výpočet kondenzátoru: } C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot f} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 33 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^3} = 4,82\text{nF} \quad (3.10)$$

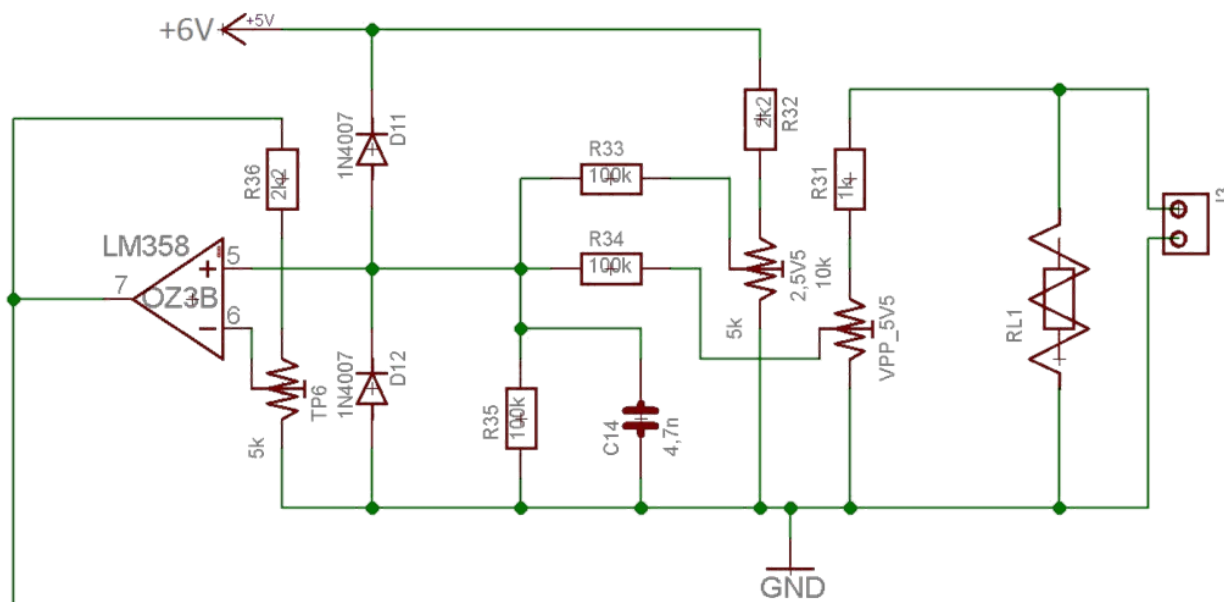
Kondenzátor zvolen z řady E6 $C=4,7\text{nF}$



Obrázek 4. Měření napětí

3.5.2 Měření proudu

Měření proudu je principiálně stejné jako měření napětí. Pouze vstupní hodnotou je výstup z proudového transformátoru. K výstupu z transformátoru je paralelně zařazen výkonový odpor, na kterém vzniká měřený úbytek napětí.



Obrázek 5. Měření proudu

Maximální proud $I=25A$

Převod proudového transformátoru 50:1

$$\text{Sekundární proud transformátoru } I_s = \frac{I}{50} = \frac{25}{50} = 0,5A \quad (3.11)$$

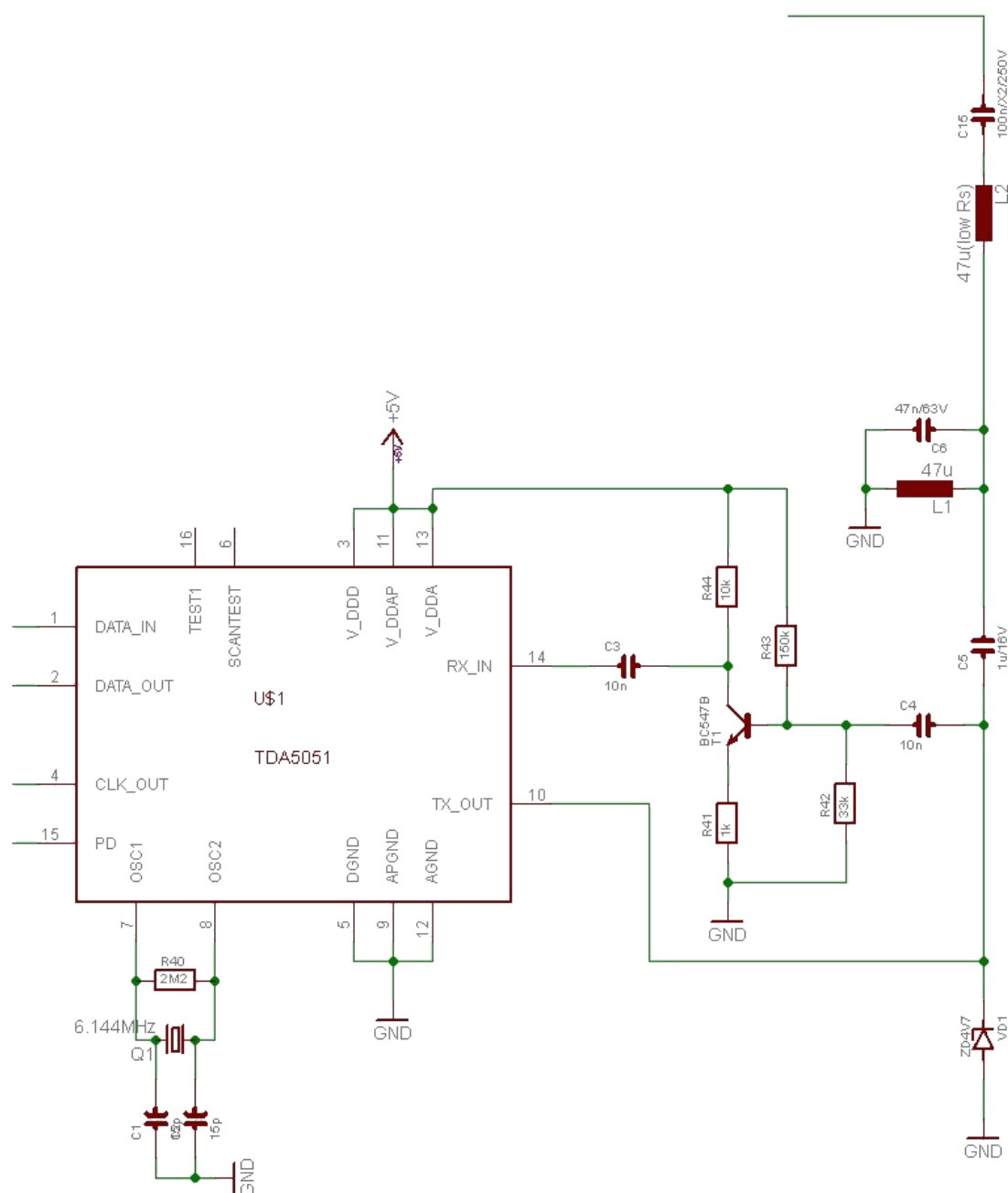
$$\text{Odpor, na kterém je měřený úbytek } RL1 \geq \frac{U}{I_s} = \frac{5}{0,5} = 10\Omega \quad (3.12)$$

$$RL1 \text{ zvolen } 15\Omega. \Rightarrow U = I_s \cdot RL1 = 0,5 \cdot 15 = 7,5V \quad (3.13)$$

Měřená hodnota (při maximálním proudu hodnota 7,5V) je dále upravena přesně na 4,8V_{p-p}

3.6 Vysílací blok

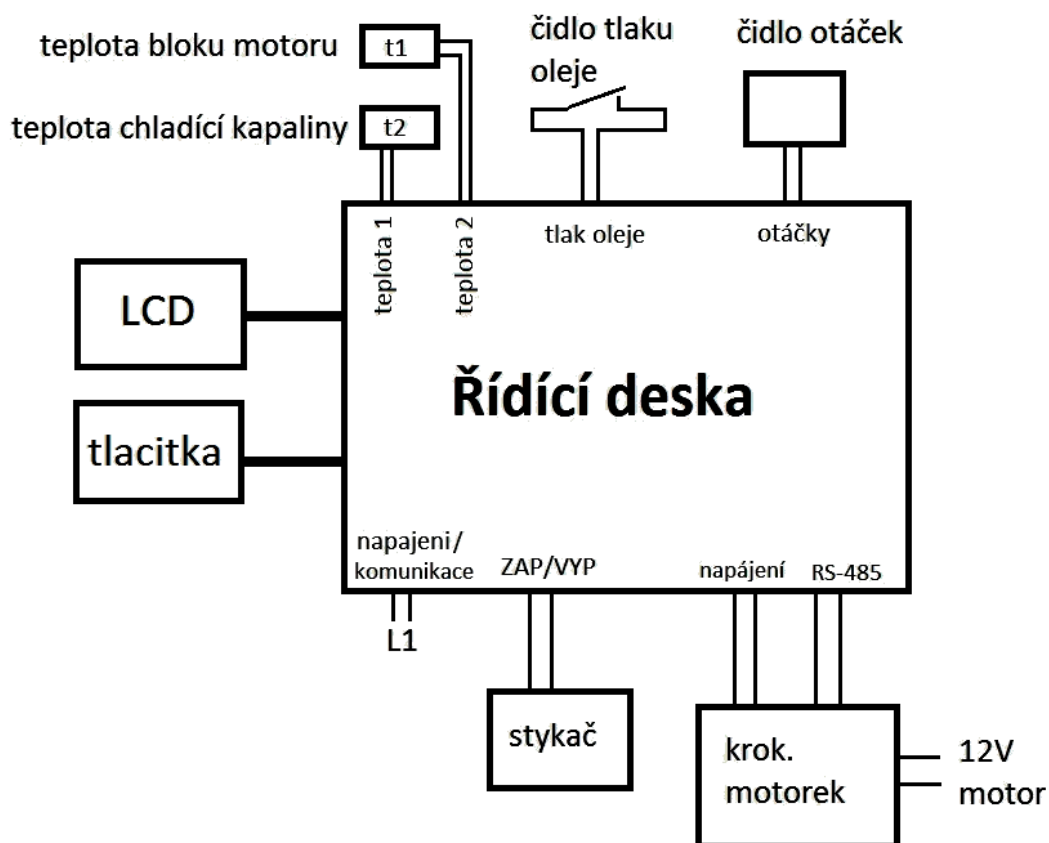
Komunikace mezi jednotlivými částmi probíhá po jedné fázi ~230V. To zajišťuje IO TDA5051A [2]. Tento obvod přijme vyslaná data procesorem a pomocí ASK modulace namoduluje vysílaná data na ~230V. Obvod je zapojen v doporučeném zapojení výrobce s tranzistorem pro lepší citlivost.



Obrázek 6. Vysílací část

4 Řídící část

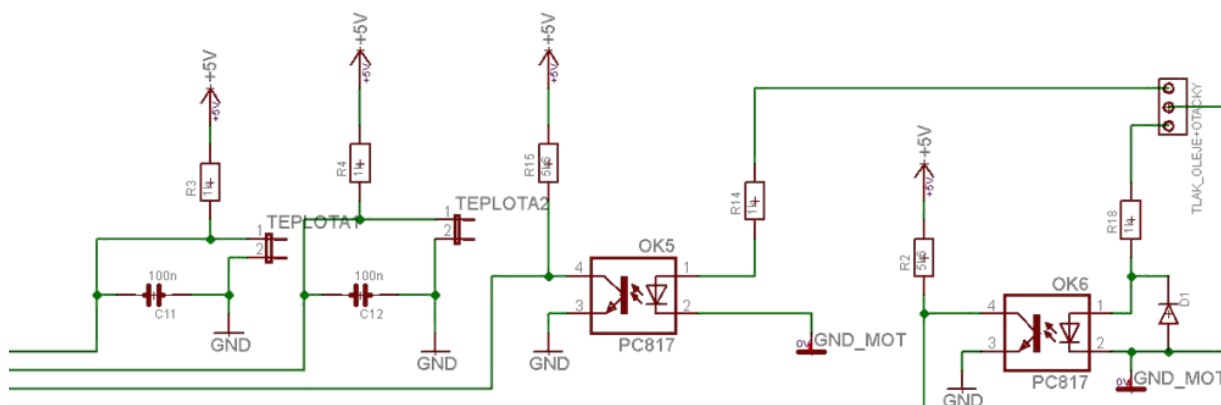
Řídící část obsahuje blok napájecí, řídicí, zobrazovací, spínací, kontrolní a komunikační. Všechny bloky, až na spínací a kontrolní, jsou shodné s bloky z měřicí desky.



Obrázek 7 Blokové schéma Řídící části

4.1 Kontrolní blok

Funkcí tohoto bloku je kontrolovat správnou činnost zařízení a hlídání dovolených mezí měřených veličin. Hlídá teplotu chladicí kapaliny a teplotu bloku motoru. Dále kontroluje tlak oleje a otáčky motoru. Na desce krokového motorku jsou dva koncové spínače na krajní polohy plynu. Jsou zapojeny jako ostatní tlačítka.



Obrázek 8. Kontrolní blok

Teplota je měřena teplotním čidlem LM335. Je to lineární teplotní čidlo se závislostí 10mV/°C. Čidlo pracuje na principu Zenerovy diody v závěrném směru. Při teplotě 0°C je na čidle úbytek 2,73V. Pracovní oblast proudu čidla je od 400μA do 5mA.

Výpočet odporu pro teplotní čidlo:

$$R3 = \frac{U_{cc} - U_{\dot{c}}}{I} = \frac{5 - 2,93}{2 \cdot 10^{-3}} = 1,035k\Omega \quad (4.1)$$

$$U_{\dot{c}_{\min}} = 2,53V \dots \text{při } -20^{\circ}C, \quad U_{\dot{c}_{\max}} = 3,93V \dots \text{při } 120^{\circ}C \quad (4.2)$$

$$I_{\max} = \frac{U_{cc} - U_{\dot{c}_{\min}}}{R28} = \frac{5 - 2,53}{1 \cdot 10^3} = 2,47mA \quad (4.3)$$

$$I_{\min} = \frac{U_{cc} - U_{\dot{c}_{\max}}}{R28} = \frac{5 - 3,93}{1 \cdot 10^3} = 1,07mA \quad (4.4)$$

Při volbě odporu 1kΩ čidlo nepřekročí pracovní oblast.

Při použití čidla v tomto jednoduchém zapojení s 10-ti bitovým A/D převodníkem s referenčním napětím 5V (krok 5mV) je přesnost měření teploty 0,5°C. Pro tento účel je tato přesnost dostačující.

Měření tlaku oleje a otáček je pouze spínání oddělené optočlenem, který obvod galvanicky oddělí a převede úroveň 12V na logiku 5V. Jako čidlo otáček je použit snímač pro ABS z automobilu. Tento snímač při průchodu kovového předmětu před ním, vytvoří sinusový průběh. Sinusový průběh je tvarován v optočlenu, k němuž je přidána antiparalelně dioda pro

odfiltrování záporných půlvln, protože fotodiody v optočlenu má malé závěrné napětí. Měřený průběh je tedy jeden impuls na jednu otáčku.

Volba odporu do anody diody optočlenu:

zvolen proud diodou pro dostatečné sepnutí $I_F=10\text{mA}$

$$R_{14} = \frac{U - U_F}{I_F} = \frac{12 - 1,4}{10 \cdot 10^{-3}} = 1060\Omega \Rightarrow 1\text{k}\Omega \dots \text{Odpor zvolen z řady E12 } R=1\text{k}\Omega \quad (4.5)$$

Volba odporu do kolektoru foto-tranzistoru:

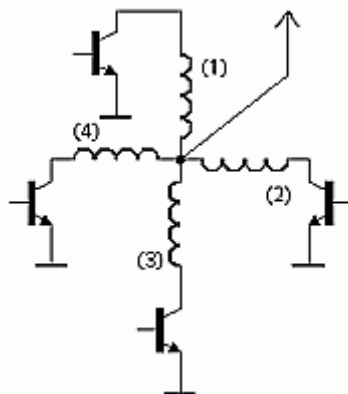
zvolen proud kolektorem $I_C=1\text{mA}$

$$R_{15} = \frac{U - U_{CEsat}}{I_C} = \frac{5 - 0,1}{1 \cdot 10^{-3}} = 4,9\text{k}\Omega \Rightarrow 5,6\text{k}\Omega \dots \text{Odpor zvolen z řady E12 } R=5,6\text{k}\Omega \quad (4.6)$$

4.2 Spínací blok

Tento blok obsahuje řízení krokového motorku a spínání stykače, který zapíná motor s generátorem.

Krokový motorek je použit ze staré tiskárny. K ovládání motorku je použito unipolární řízení.



Obrázek 9 Schéma krokového motorku

Krokový motorek je ovládán samostatným procesorem, který je řízen po RS-485. Toto řízení bylo zvoleno z důvodu možného dalšího přidávání krokových motorků. Samotný procesor spíná optočlen, který spíná unipolární tranzistor IRF2807. Tento tranzistor je dimenzovaný na 82A, což je silně předimenzováno. Byl volen z důvodu dobré dostupnosti pro majitele zařízení. Při takovémto předimenzování není nutné na tranzistor použít chladič. Mechanicky je převod z motorku na plynové lanko řešen pomocí závitové tyče. Motorek otáčí maticí, závitová tyč se posouvá a přidává či ubírá plyn. Při tomto řešení neteče cívkami motorku v klidu žádný proud.

Volba odporu do anody diody optočlenu:

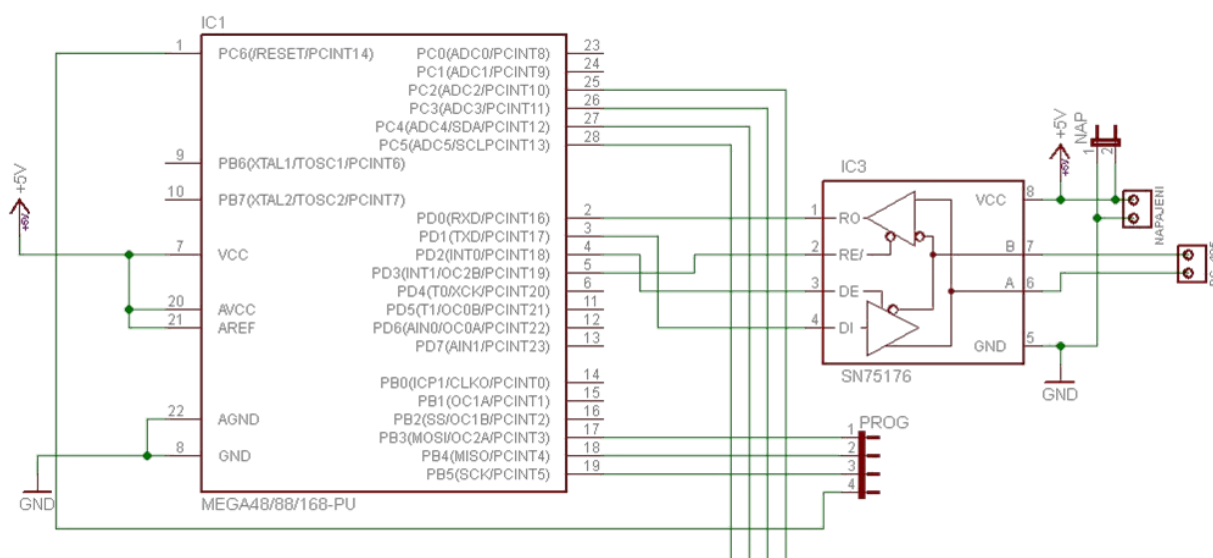
zvolen minimální proud diodou z procesoru pro sepnutí $I_F=5\text{mA}$

$$R_{46} = \frac{U}{I_F} = \frac{5}{5 \cdot 10^{-3}} = 1\text{k}\Omega \quad (4.7)$$

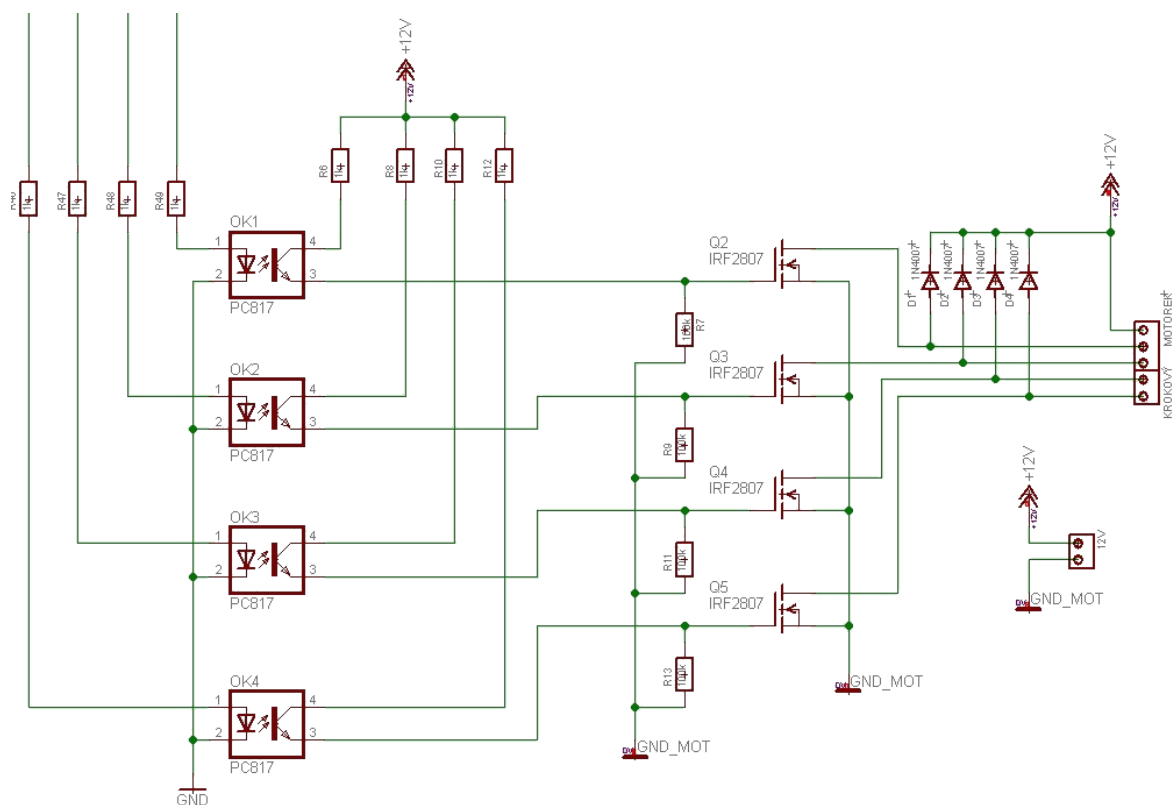
Po sepnutí tranzistoru v optočlenu je na GATE unipolárního tranzistoru přivedeno napětí z odporového děliče R6,R7. Odpory byly zvoleny pro velký dělicí poměr a malý proud děličem.

$$U_{GS} = \frac{R7}{R6 + R7} \cdot U = \frac{100}{100 + 1} \cdot 12 = 11,88\text{V} \quad (4.8)$$

Tranzistor IRF2807 sepne cívku motorku na zem. Její druhý vývod je připojen na 12V. Napájení 12V je přivedeno z motoru. Mezi DRAIN tranzistoru a 12V je připojena dioda v závěrném směru, která odvede vysoké napětí, které vznikne rozpojením cívky.



Obrázek 10 Řízení krokového motorku



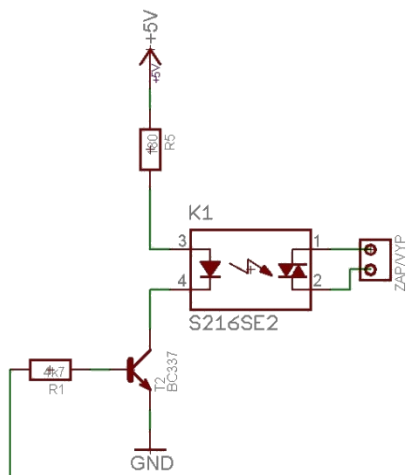
Obrázek 11 Spínání krokového motorku

Spínání stykače se provádí pomocí bezkontaktního SSR relé. Byl zvolen typ S216SE2 [3] z důvodu dobré dostupnosti i pro jeho dobré vlastnosti. Jde o opto-triak. Jeho výhodou je galvanické oddělení a spínání v nule. Pro zaručené sepnutí byl zvolen proud diodou $I_F=20\text{mA}$.

$$R5 = \frac{U_{CC} - U_F - U_{CEsat}}{I_F} = \frac{5 - 1,2 - 0,2}{20 \cdot 10^{-3}} = 180\Omega \quad (4.9)$$

Pro zaručení stavu saturace byl zvolen mnohonásobně menší činitel zesílení $h_{21}=20 \Rightarrow I_B=1\text{mA}$.

$$R5 = \frac{U - U_{BE}}{I_B} = \frac{5 - 0,7}{1 \cdot 10^{-3}} = 4,3k\Omega \Rightarrow 4,7k\Omega \quad (4.10)$$

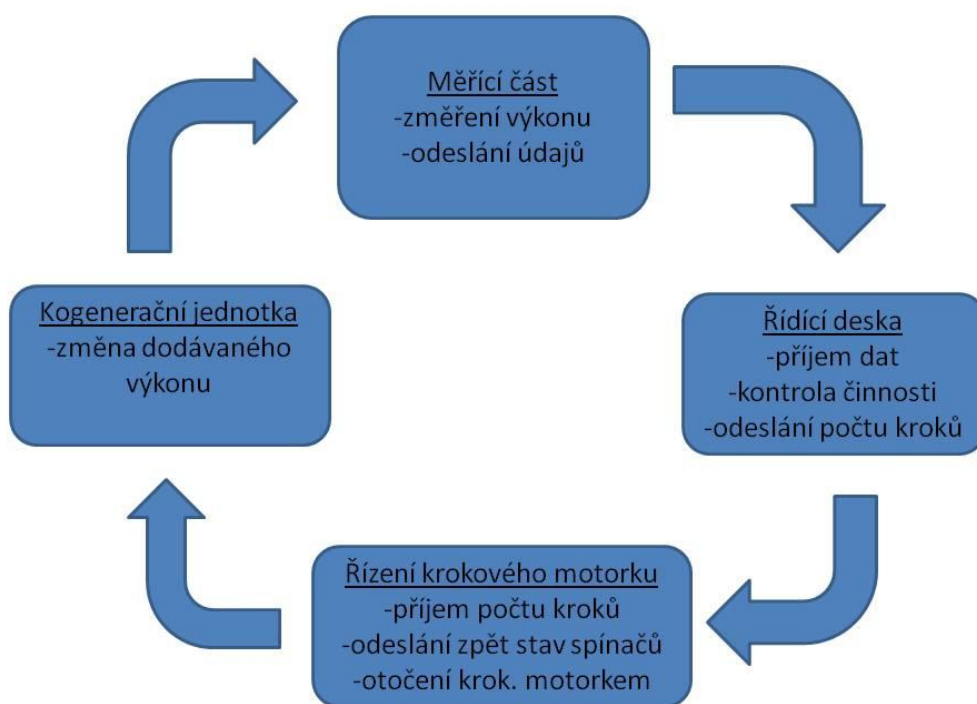


Obrázek 12 Spínání stykače

5 Popis řídicího softwaru

Měřicí část u elektroměrového rozvaděče analyzuje napájecí síť. Naměřené údaje stále odesílá po jedné fázi ~230V Řídící části u motoru. Ta vyhodnotí přijatá data a v případě zapnutého generátoru pošle jednotce krokového motorku počet kroků a směr otočení. Jednotka zpět odešle Řídící desce stav koncových spínačů polohy plynu.

Veškerá komunikace probíhá rychlostí 600 bit/s. Nízká rychlost je nastavena kvůli komunikaci po jedné fázi ~230V (TDA5051).



Obrázek 13. Princip regulace

5.1 Software měřicí desky

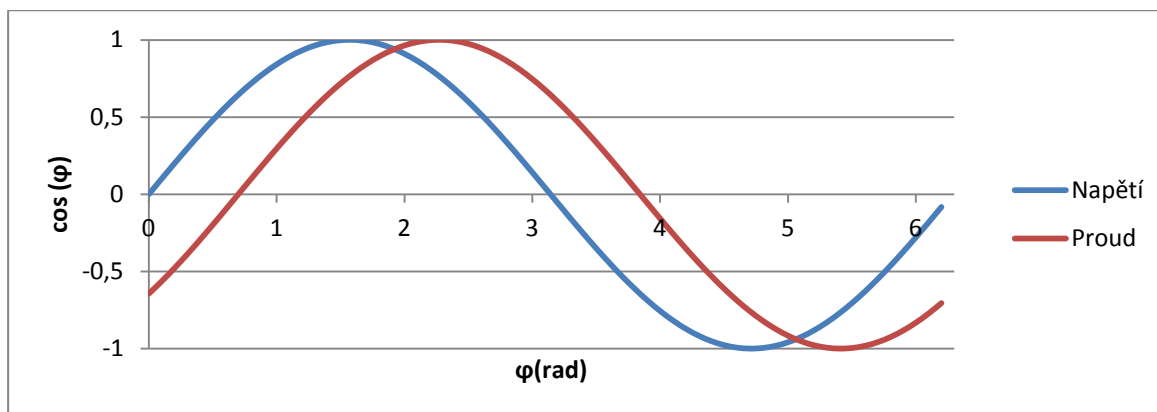
Procesor na základě snímání vstupních veličin zjistí aktuální tarif (Denní / Noční). Program měří maximální hodnotu každého fázového napětí a proudu – Amplitudu. Změřené maximální hodnoty převede na efektivní. Z vypočtených hodnot se ještě určí, zda není na některé z fází podpětí. Dále je potřebné zjistit směr proudu a účinník, protože je potřebné měřit činný výkon[8].

$$P = U * I * \cos(\varphi) = S * \cos(\varphi) \quad (5.1)$$

Ze změřeného fázového posuvu se vypočte účinník a z tendence okamžitého proudu při fázovém posuvu se určí směr proudu.

5.1.1 Možné případy fázového posuvu

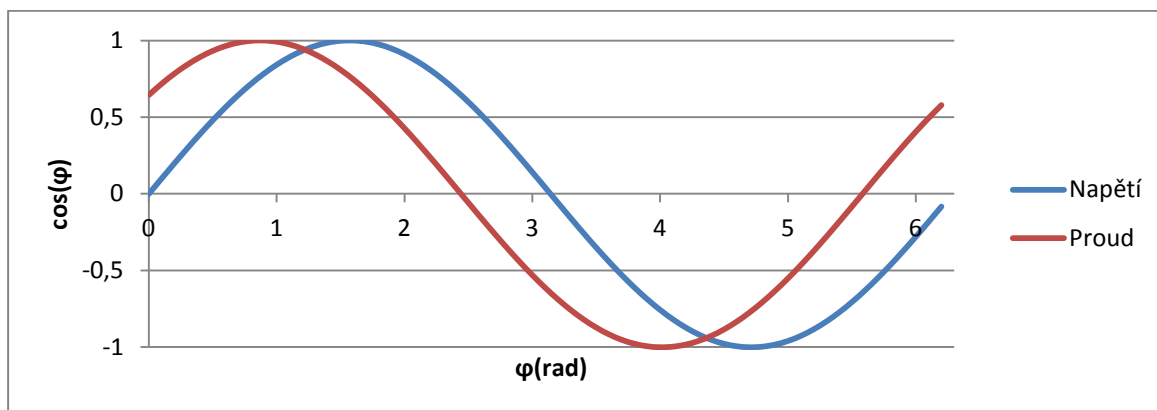
Fázový posuv $+0^\circ \dots +90^\circ$ = Spotřebič



Obrázek 14. Fázový posuv $+0^\circ \dots +90^\circ$ = Spotřebič

Proud je zpožděn za napětím. Jedná se o induktivní zátěž. Pro účely měření je fázový posuv $0^\circ \dots 90^\circ$ a tendence proudu zpožděného za stoupajícím napětím je stoupající.

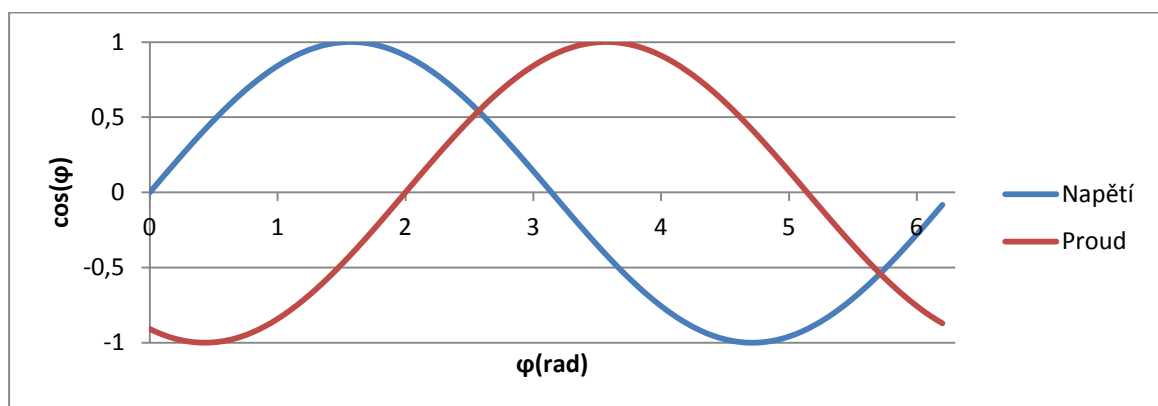
Fázový posuv $-0^\circ \dots -90^\circ$ = Spotřebič



Obrázek 15. Fázový posuv $-0^\circ \dots -90^\circ$ = Spotřebič

Proud předbíhá napětí. Jedná se o kapacitní zátěž. Pro účely měření je fázový posuv $90^\circ \dots 180^\circ$ a tendence proudu zpožděného za stoupajícím napětím je klesající.

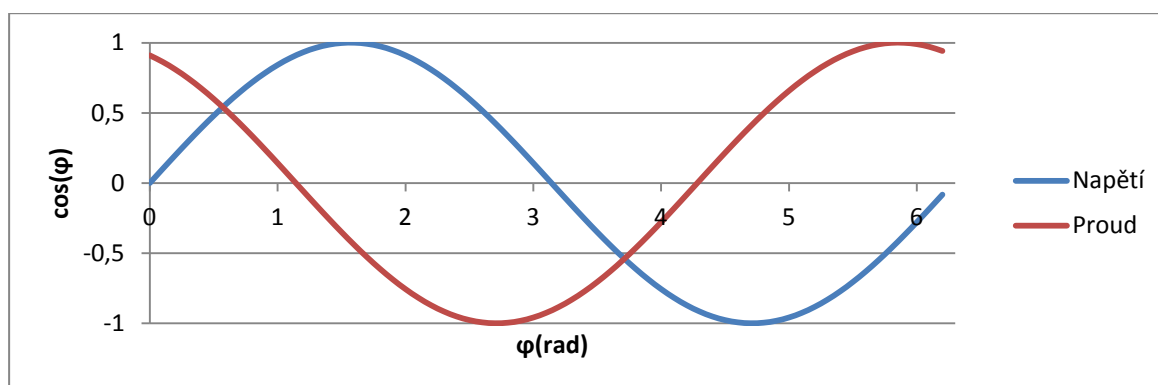
Fázový posuv + 90°...+180° = Generátor



Obrázek 16. Fázový posuv + 90°...+180° = Generátor

Proud předbíhá napětí. Jedná se o kapacitní zdroj. Pro účely měření je fázový posuv 90°...180° a tendence proudu zpožděného za stoupajícím napětím je stoupající.

Fázový posuv - 90°...-180° = Generátor



Obrázek 17. Fázový posuv - 90°...-180° = Generátor

Proud je zpožděn za napětím. Jedná se o induktivní zdroj. Pro účely měření je fázový posuv 0°...90° a tendence proudu zpožděného za stoupajícím napětím je klesající.

Tabulka 1. Možnost fázového posuvu

Fázový posuv	Tendence proudu	Chod motoru
0° - 90°	Stoupající	Spotřebič
0° - 90°	Klesající	Generátor
90° - 180°	Stoupající	Generátor
90° - 180°	Klesající	Spotřebič

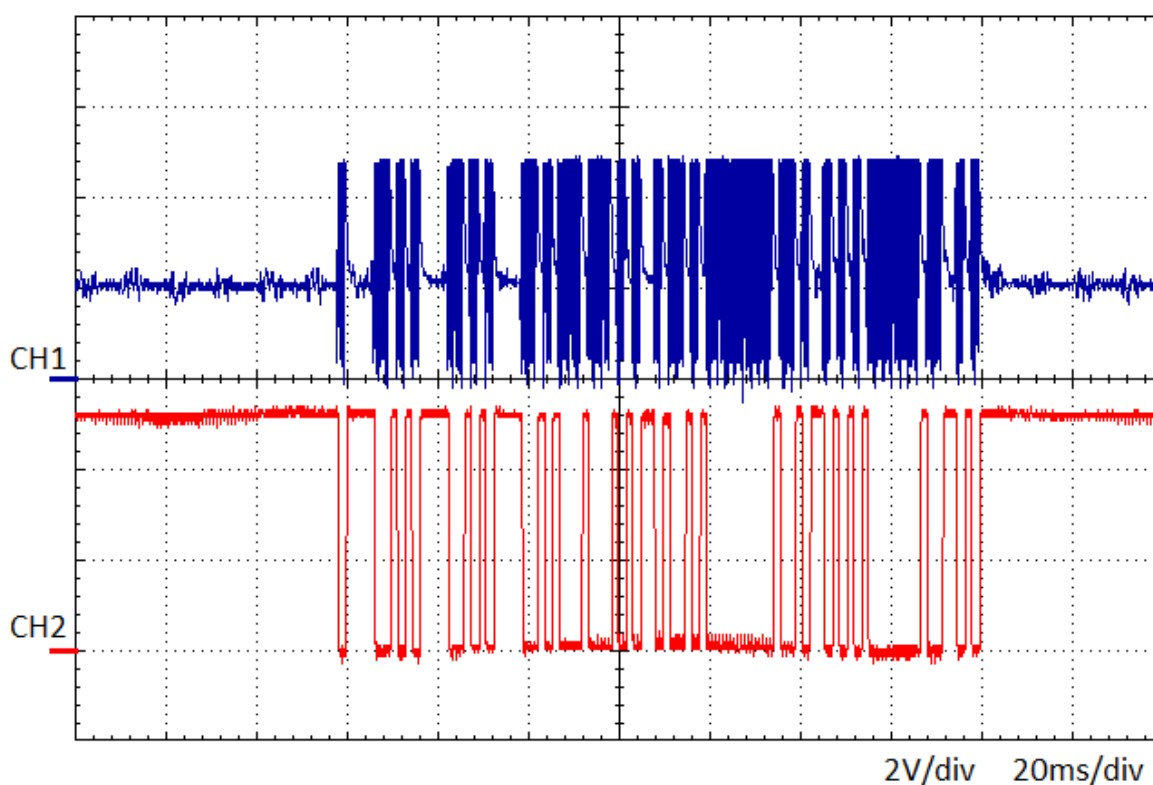
Ze změřených hodnot napětí, proudů a účinníků se vypočítají výkony jednotlivých fází.

Z vypočítaných hodnot a určených směrů výkonů se vypočte celkový výkon co do směru a velikosti. Vypočte se kontrolní součet pro odesílání dat.

Získané údaje se odešlou řídicí jednotce v této podobě:

- | | |
|---|----------------------|
| 1. Byte – stav 1.fáze | O=ok / V=výpadek |
| 2. Byte – stav 2.fáze | O=ok / V=výpadek |
| 3. Byte – stav 3.fáze | O=ok / V=výpadek |
| 4. Byte – tarif | D=denní / N=noční |
| 5. Byte – směr celkového výkonu | K=kladný / Z=záporný |
| 6. Byte – horní byte celkového výkonu | |
| 7. Byte – dolní byte celkového výkonu | |
| 8. Byte – horní byte kontrolního součtu | |
| 9. Byte – dolní byte kontrolního součtu | |

Z důvodu možné náhodné změny výkonu objektu a setrvačnosti změny výkonu generátoru se při chybném přijetí dat nevyžaduje opětovné poslání. Čeká se na další poslaná data, která se odesílají cca každých 700ms.



Obrázek 18. Ukázka komunikace po fázi

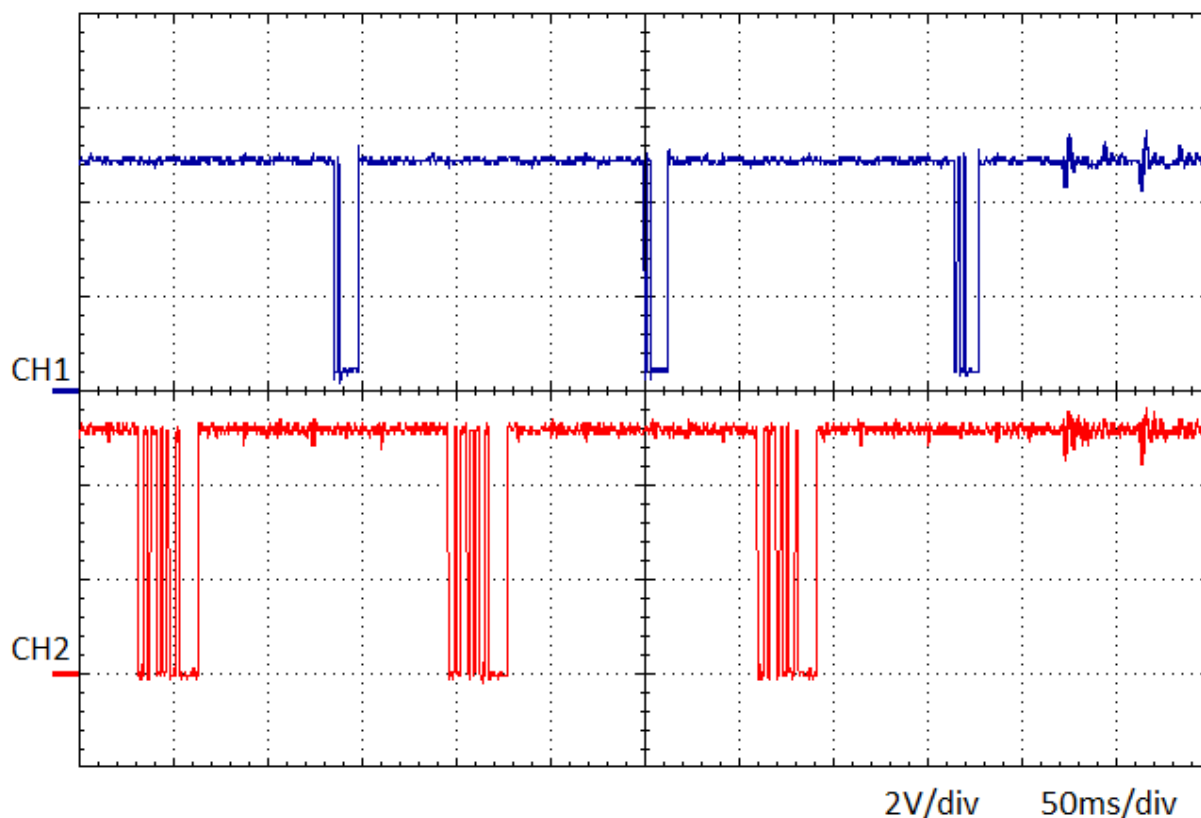
CH2 – TX procesoru

CH1 – po ASK modulaci

5.2 Software řídicí desky

Software neustále kontroluje stisk tlačítek, tlak oleje, měří otáčky motoru a přijímá data od Měřící části.

Po stisku tlačítka na zapnutí kogenerační jednotky začne Řídicí část posílat Krokovému motorku příkaz, aby ubral plyn. Ten ubere plyn a odešle zpět informaci o stavu koncových spínačů. Tato smyčka trvá tak dlouho, dokud plyn není v počáteční poloze.



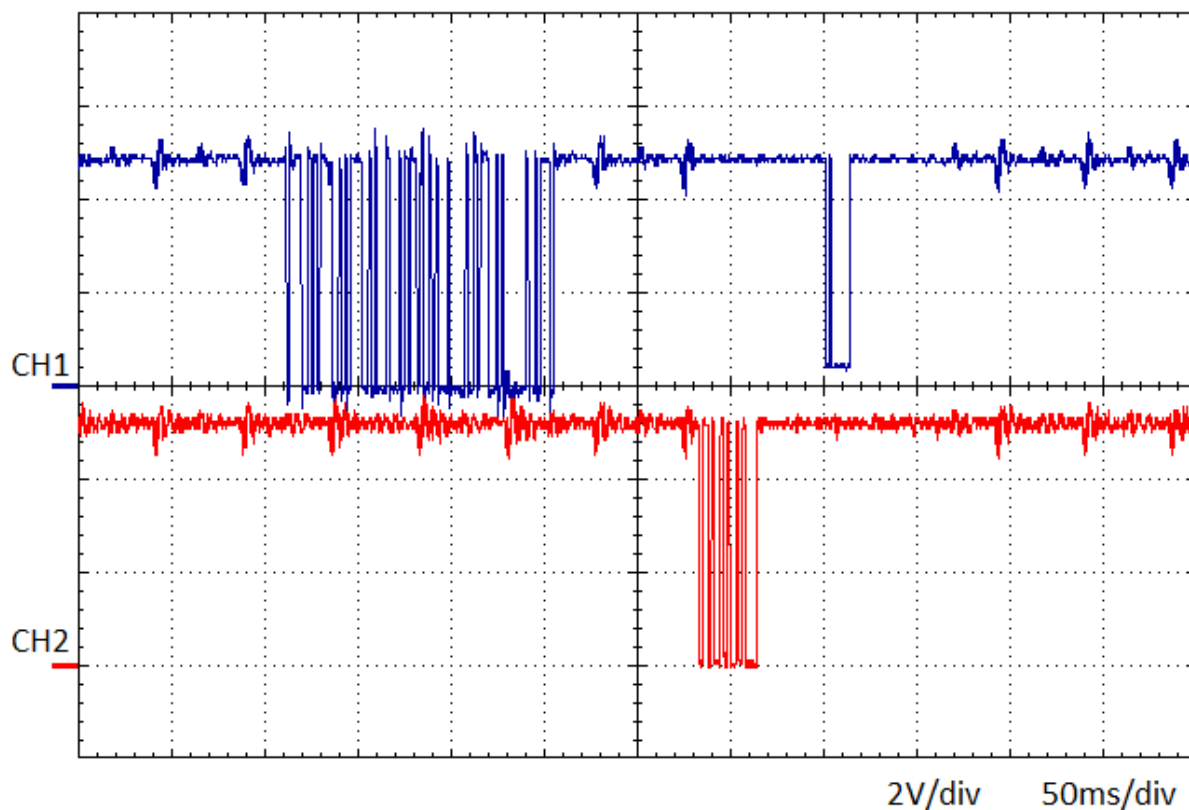
Obrázek 19. Ukázka komunikace pro nastavení počáteční pozice

CH2 – odesílání příkazu ke krokovému motorku

CH1 – příjem odpovědi od krokového motorku

Když je plyn ve výchozí pozici, sepne se SSR relé, které sepne hlavní stykač. Stykač připne motor na síť a ten se začne točit. Současně se sepne i napájení spalovacího motoru. Pokud nenastala chyba, motor by měl spalovat a po přidání plynu by měl vyrábět elektrickou energii. Správná funkce se vyhodnocuje dle otáček. V našem případě má motor synchronní otáčky 1500ot/min. Pokud jsou otáčky rovny 1500, motor nespotřebovává ani nedodává energii. Pokud jsou otáčky menší než 1500 motor je v motorickém chodu a spotřebovává energii. Pokud jsou otáčky větší než 1500, motor je v generátorickém chodu a energii dodává.

Při regulaci výkonu jednotka přijímá data od Měřicí části. Po přijetí dat vyhodnotí kontrolní součet a pokud je v pořádku, do paměti uloží nové hodnoty. Po každém třetím přijatém paketu přepočte výkon na určitý počet kroků krokového motorku a se správným směrem otočení pošle po RS-485 data desce Řízení krokového motorku. Ta data přijme a odešle zpět stav koncových spínačů. Po přijetí stavu spínačů program opět přijímá data od Měřicí části.



Obrázek 20. Ukázka komunikace při regulaci

CH1 – příjem dat od Měřicí části (1.paket), příjem odpovědi od krokového motorku (2.paket)

CH2 – odesílání příkazu ke krokovému motorku

Po nastartování a ustálení veličin (tlak oleje a otáčky) po cca 3 sekundách kontroluje program dovolené meze těchto veličin a to zda není překročena některá teplota a otáčky nejsou příliš vysoké. Otáčky motoru přímo souvisejí s vyráběným výkonem. Překročení maximálního výkonu motoru se kontroluje pomocí otáček. Dále se hlídá výpadek fáze. V případě jakékoli chyby se jednotka vypne.

Po zvolené době cca 30 sekund po startu se stále kontroluje, zda otáčky nejsou menší než synchronní (1500ot/min). V takovém případě je motor v režimu spotřebiče, nevyrábí energii a je potřeba jej vypnout.

5.3 Popis zobrazování údajů na LCD

5.3.1 LCD Měřicí části



Obrázek 21. LCD Měřicí desky

Tabulka 2. Popis LCD Měřicí části – První řádek = Celkový výkon

Zobrazený údaj	Význam údaje	Možné varianty
123	Stav fázového napětí (L1,L2,L3)	1 – L1 v pořádku V – výpadek fáze L1
D	Tarif	D – Denní N - Noční
K	Směr výkonu	K – Kladný (odebíráný ze sítě) Z – Záporný (dodávaný do sítě)
116W	Velikost výkonu [W]	

Tabulka 3. Popis LCD Měřicí části – Druhý řádek = Výkon jednotlivých fází

Zobrazený údaj	Význam údaje	Možné varianty
L1	Zobrazovaná fáze	L1 – první fáze L2 – druhá fáze L3 – třetí fáze
K	Směr výkonu	K – Kladný (odebíráný ze sítě) Z – Záporný (dodávaný do sítě)
048W	Velikost výkonu [W]	
1.00	Cos φ (účinnost) [-]	

5.3.2 LCD Řídící části



Obrázek 22. LCD Řídící desky

Tabulka 4. Popis LCD Řídící části – První řádek = Celkový výkon

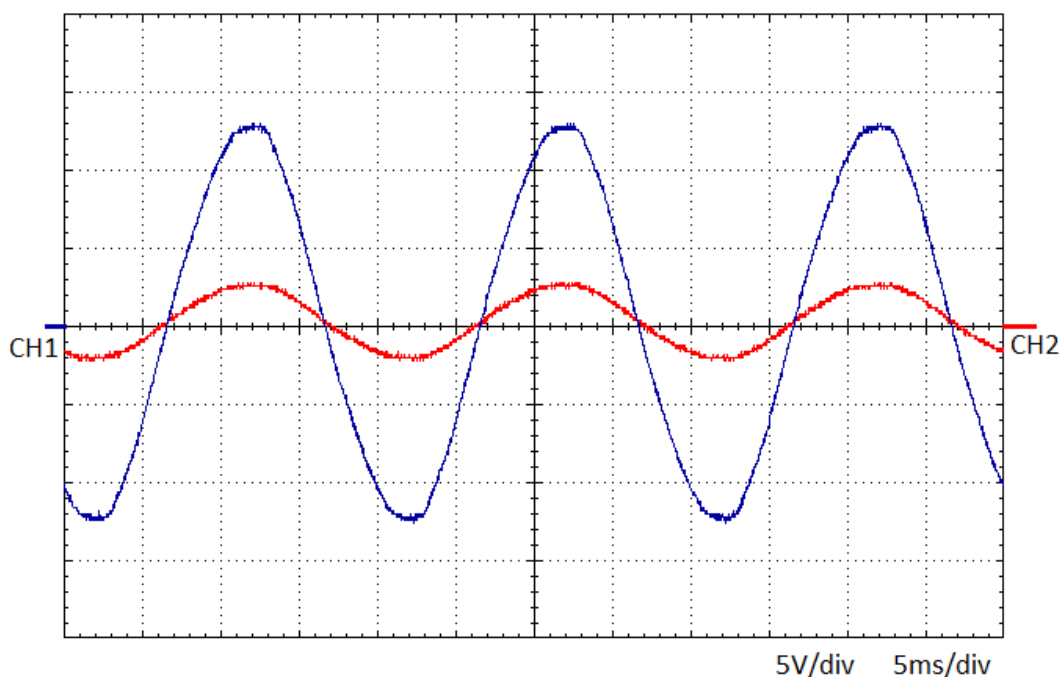
Zobrazený údaj	Význam údaje	Možné varianty
123	Stav fázového napětí (L1,L2,L3)	1 – L1 v pořádku V – výpadek fáze L1
D	Tarif	D – Denní N - Noční
K	Směr výkonu	K – Kladný (odebíraný ze sítě) Z – Záporný (dodávaný do sítě)
Číslo	Velikost výkonu [W]	
*	Příjem dat	* - příjem v pořádku ! – chybný příjem

Tabulka 5. Popis LCD Řídící části – Druhý řádek = Stav jednotky

Zobrazený údaj	Význam údaje	Možné varianty
63.0C	Teplota chladicí kapaliny [°C]	
1596	Otáčky motoru	
vyp	Komunikace s krokovým motorkem	Vyp – řízení motorku vypnuto Zap – řízení motorku zapnuto Min – plyn je ve výchozí poloze Max – plyn je v maximální poloze

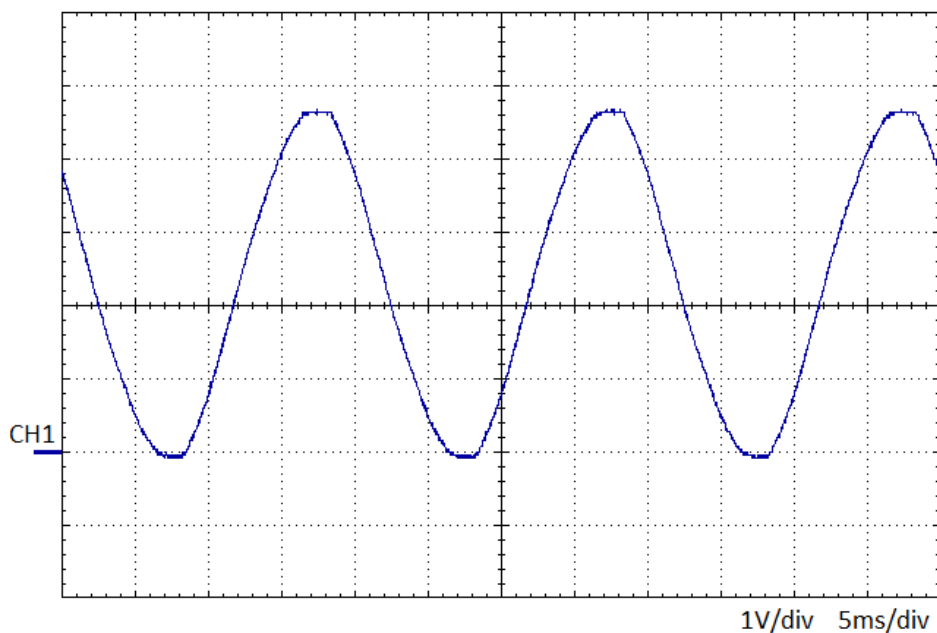
6 Naměřené hodnoty

6.1 Úprava měřeného napětí



Obrázek 23. Úprava měřeného napětí

Měřené napětí je galvanicky odděleno od sítě $\sim 230\text{V}$ a sníženo na hodnotu $V=25\text{Vp-p}$ (CH1). Dále se napětí přesně nastaví na hodnotu $4,8\text{Vp-p}$ (CH2).



Obrázek 24. Měřené napětí

Ke zmenšenému a galvanicky oddělenému napětí se přidá stejnosměrná složka 2.4V . (CH1) Takto upravené napětí se posílá po sběrnici do CPU, který ho bude vyhodnocovat.

6.2 Chyba měření napětí

Program měří maximální hodnotu. Ta je poté vynásobena konstantou a převedena na efektivní.

K regulaci napětí byl použit autotransformátor.

Skutečná hodnota byla měřena multimetrem RANGE RE330FC.

Tabulka 6. Chyba měření napětí

$U_M[V]$	$U_S[V]$	$\Delta[V]$	$\delta[\%]$
0	0	0	0
20	20,9	0,9	4,31
40	41,4	1,4	3,38
60	61,9	1,9	3,07
80	82,3	2,3	2,79
100	101,8	1,8	1,77
120	122,2	2,2	1,80
140	142,1	2,1	1,48
160	161,6	1,6	0,99
180	182,1	2,1	1,15
200	201,1	1,1	0,55
220	221,1	1,1	0,50
240	241,8	1,8	0,74

U_Mnaměřená hodnota

U_Sskutečná hodnota

Δabsolutní chyba

δrelativní chyba

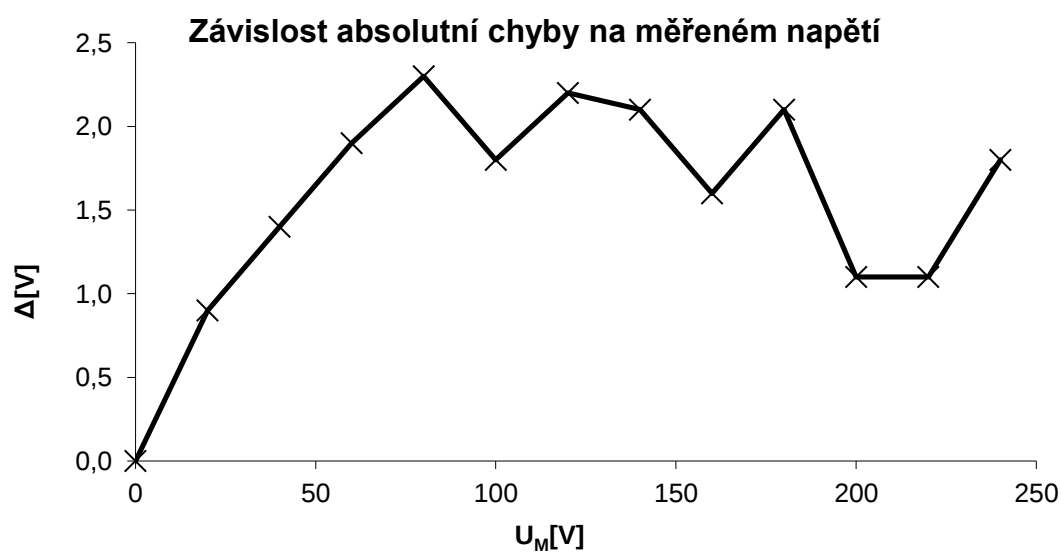
$$\Delta = U_S - U_M = 20,9 - 20 = 0,9V$$

(6.1)

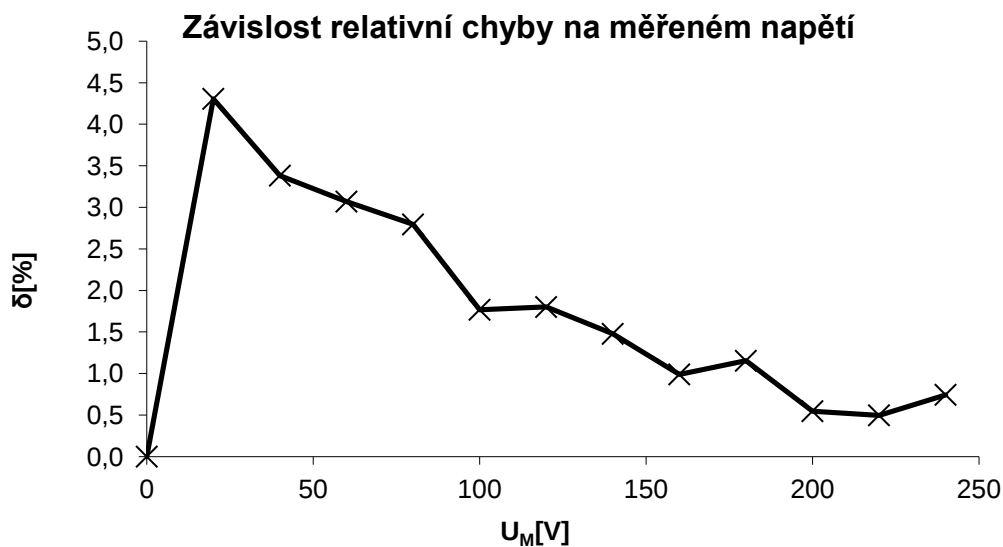
$$\delta = \frac{\Delta}{U_S} = \frac{0,9}{20,9} * 100 = 4,31\%$$

(6.2)

Naměřené závislosti:



Obrázek 26 . Závislost absolutní chyby na měřeném napětí



Obrázek 27. Závislost relativní chyby na měřeném napětí

Absolutní chyba je v rozmezí 0,9V až 2,3V. Relativní chyba měření napětí, v oblasti předpokládané hodnoty, je menší než 1%.

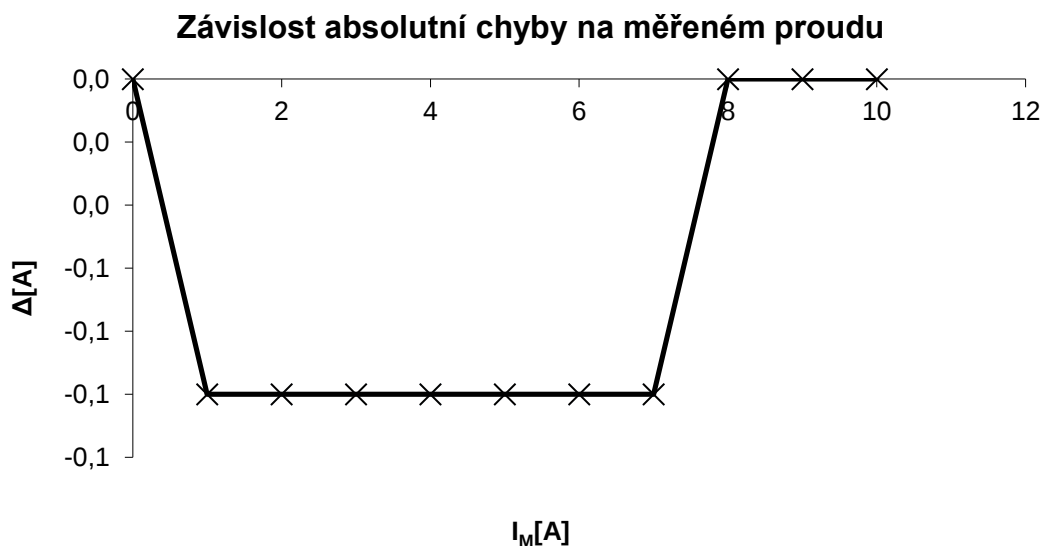
6.2 Chyba měření proudu

Chyba měření proudu byla experimentálně změřena pomocí transformátoru se sekundárním napětím 25V~ a zatěžovacím reostatem.

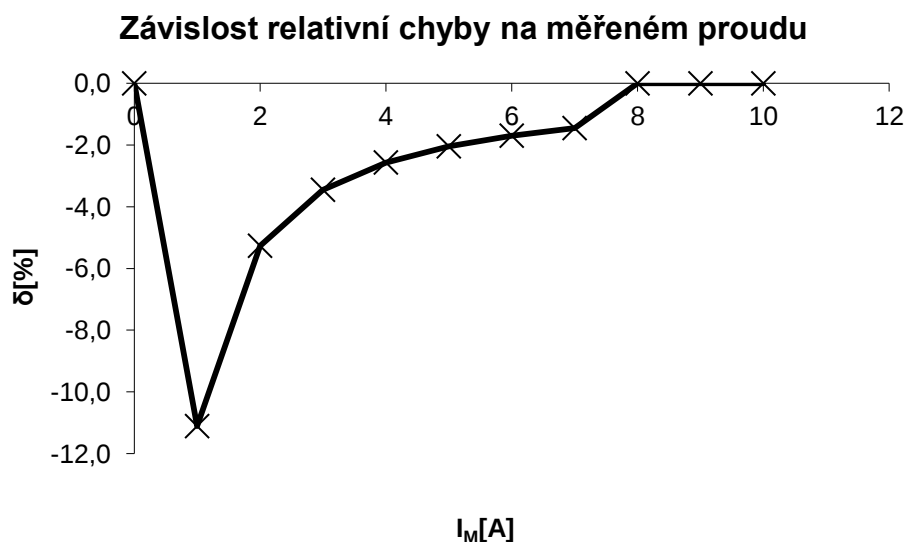
Skutečná hodnota proudu byla měřena multimetrem RANGE RE330FC.

Tabulka 7. Chyba měření proudu

$I_M [A]$	$I_S [A]$	$\Delta [A]$	$\delta [%]$
0	0	0	0,00
1	0,9	-0,1	-11,11
2	1,9	-0,1	-5,26
3	2,9	-0,1	-3,45
4	3,9	-0,1	-2,56
5	4,9	-0,1	-2,04
6	5,9	-0,1	-1,69
7	6,9	-0,1	-1,45
8	8	0	0,00
9	9	0	0,00
10	10	0	0,00



Obrázek 28. Závislost absolutní chyby na měřeném proudu



Obrázek 29. Závislost relativní chyby na měřeném proudu

Relativní chyba měření proudu je poměrně vysoká (10%) při malých hodnotách (1 A). Je to z toho důvodu, že je potřeba velký rozsah měření proudu. Rozsah měření je 25 A. Chyba je také způsobena chybou LSB.

Při regulaci výkonu na hodnotu menší než požadovanou, v našem případě 100 W, je chyba měření proudu 0,1 A, což představuje 22 W, malá.

6.3 Chyba měření výkonu

Odebíraný výkon ze sítě nebylo možné plynule regulovat a proto nebylo možné změřit závislost chyby měření výkonu.

Výkon byl pouze změřen při zapnutí několika spotřebičů.

- Činní zátěž – elektrické topení 2kW, $\cos\varphi=1,0$.
- Induktivní zátěž – elektrická stojanová vrtačka 1kW, $\cos\varphi=0,3$.

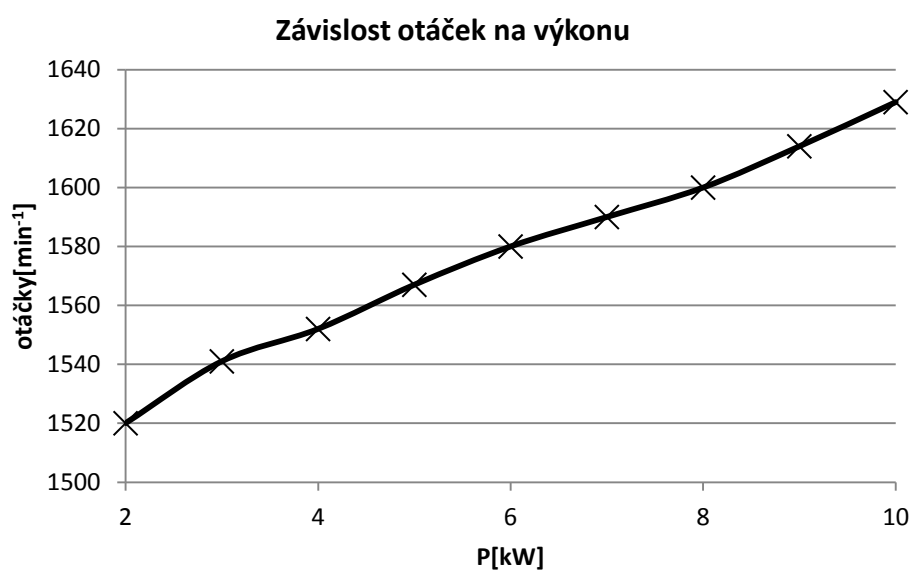
Při zapnutí těchto spotřebičů naměřené údaje odpovídaly jejich parametrům.

6.4 Závislost otáček na výkonu

Výkon motoru je přímo úměrný jeho otáčkám.

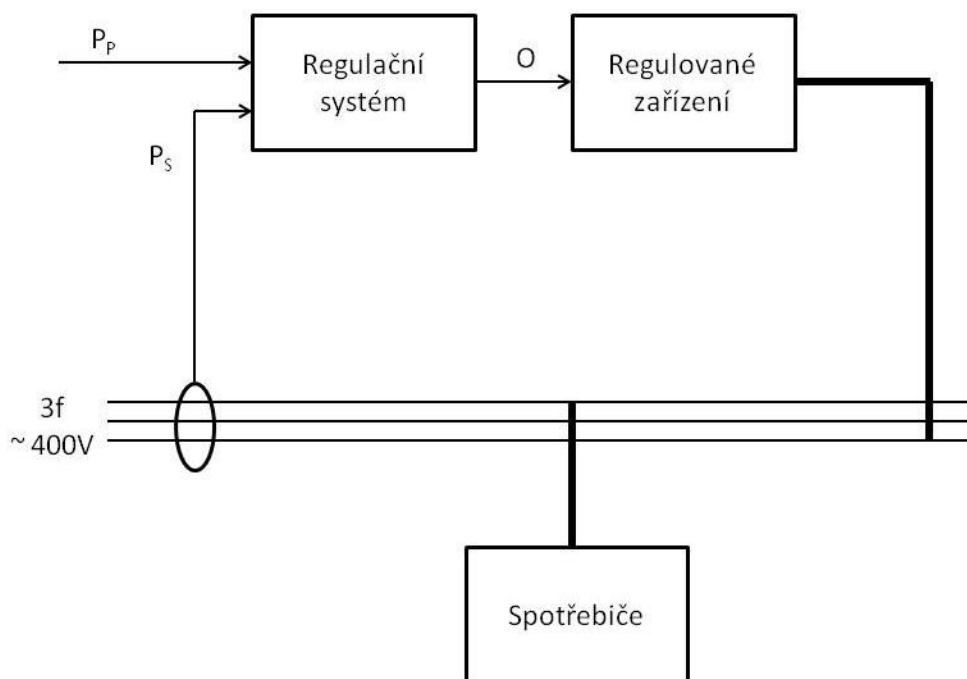
Tabulka 8. Závislost otáček na výkonu

P[kW]	otáčky[min^{-1}]
2	1520
3	1541
4	1552
5	1567
6	1580
7	1590
8	1600
9	1614
10	1629



Obrázek 30. Závislost otáček na výkonu

7 Regulační systém



Obrázek 31. Blokové schéma regulace

P_ppožadovaný výkon

P_sskutečný výkon

Ootáčky krokového motorku

Regulační systém.....Měřicí deska, Řídící deska a deska řízení krokového motorku

Regulované zařízení...Spalovací motor a asynchronní motor

Systém reguluje výkon motoru tak, aby odebíraný výkon ze sítě byl menší než požadovaná hodnota.

Po stisku tlačítka na zapnutí jednotky se nastaví plyn a sepne se stykač. Motor je připraven vyrábět energii po **15** sekundách.

Systém má nastavené pásmo necitlivosti na **100W**. Tato hodnota byla experimentálně odvozena od nejmenšího kroku motorku. Toto je proto nejmenší hodnota výkonu, na který se jednotka reguluje.

Při chodu generátoru naprázdno spalovací motor vyrábí energii rovnou mechanickým ztrátám motoru a generátoru. Tato energie je v poměru s výkonem motoru tak malá, že ji nelze regulovat.

U elektrického motoru dochází k přechodům z režimu spotřebiče přes synchronní otáčky do režimu generátoru a zpět. V tomto režimu motor setrvává pouze do doby zapnutí spotřebiče. Z toho

vyplývá, že motor potřebuje minimální zátěž. Tato zátěž byla experimentálně odzkoušena na 2kW, což je 5 % výkonu motoru.

$$P_{\min} = \frac{P_{\min}}{P_{\text{motor}}} = \frac{2 \cdot 10^3}{40 \cdot 10^3} \cdot 100 = 5\% \quad (7.1)$$

Tato skutečnost ničemu nevadí, protože kogenerační jednotka není určena k chodu naprázdno.

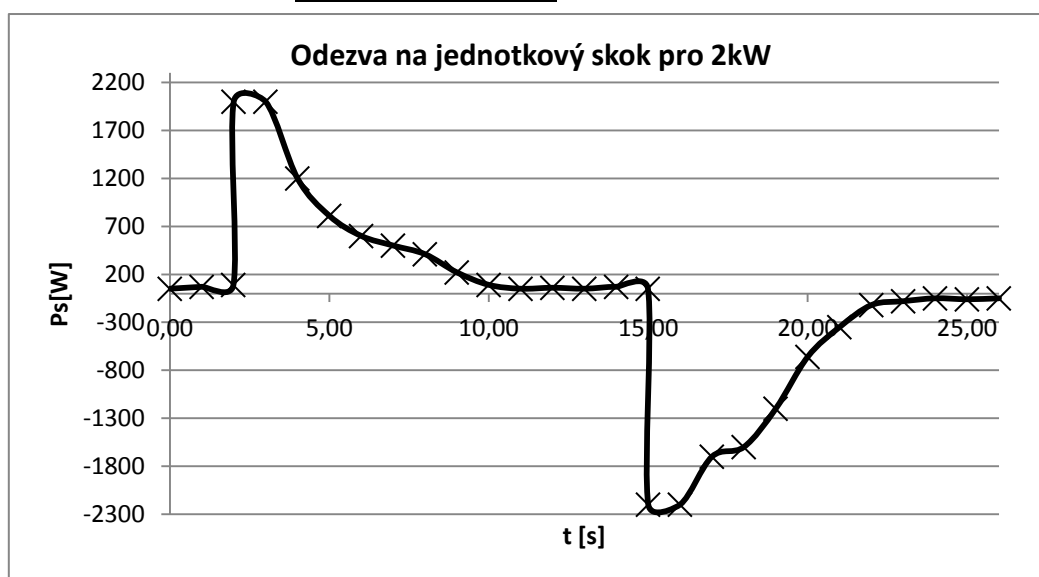
7.1 Odezva na jednotkový skok

Měření přenosu regulované soustavy při zapnutí spotřebiče o výkonu **2kW**.

V čase $t=2\text{s}$ byl spotřebič zapnut a v čase $t=15\text{s}$ byl spotřebič vypnut.

Tabulka 9. Odezva na jednotkový skok pro 2kW

t[s]	P[W]	t[s]	P[W]
0,00	50	13,00	50
1,00	70	14,00	70
1,99	90	14,99	50
2,00	2000	15,00	-2200
3,00	2000	16,00	-2200
4,00	1200	17,00	-1700
5,00	810	18,00	-1600
6,00	600	19,00	-1200
7,00	500	20,00	-660
8,00	410	21,00	-350
9,00	220	22,00	-120
10,00	90	23,00	-80
11,00	50	24,00	-50
12,00	60	25,00	-60
		26,00	-50



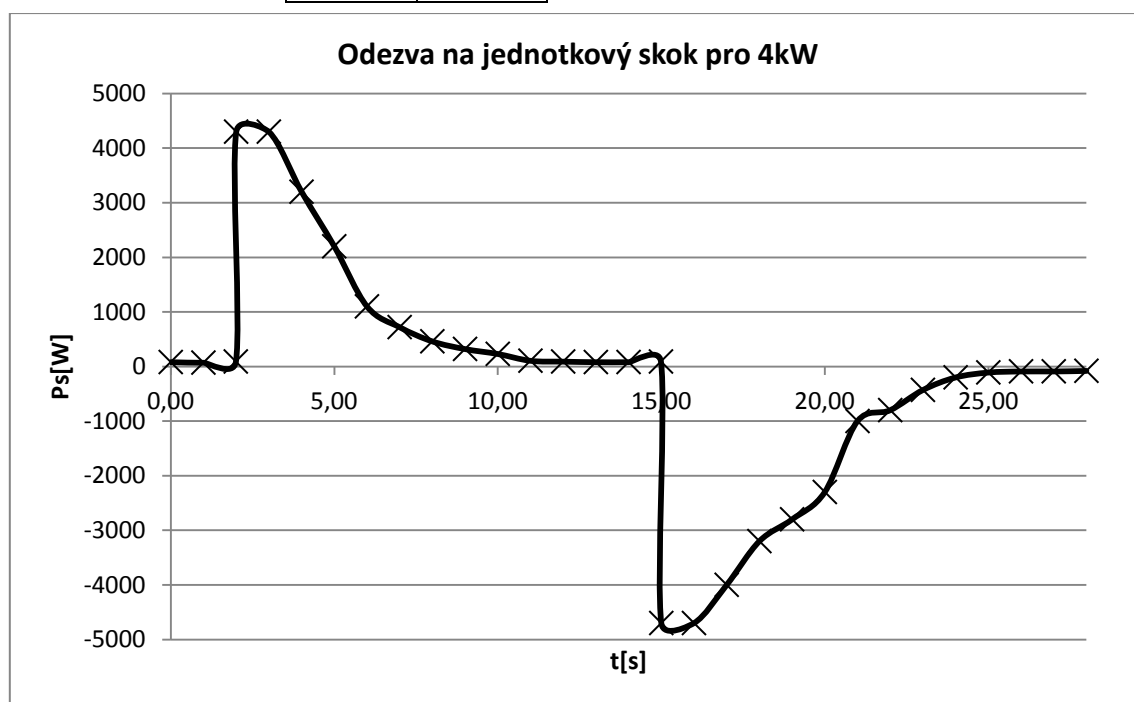
Obrázek 32. Odezva na jednotkový skok pro 2kW

Měření přenosu regulované soustavy při zapnutí spotřebiče o výkonu **4kW**.

V čase $t=2s$ byl spotřebič zapnut a v čase $t=15s$ byl spotřebič vypnut.

Tabulka 10. Odezva na jednotkový skok pro 4kW

t[s]	P[W]	t[s]	P[W]
0,00	80	14,00	80
1,00	70	14,99	90
1,99	90	15,00	-4700
2,00	4300	16,00	-4700
3,00	4300	17,00	-4000
4,00	3200	18,00	-3200
5,00	2200	19,00	-2800
6,00	1100	20,00	-2300
7,00	720	21,00	-1000
8,00	460	22,00	-800
9,00	320	23,00	-430
10,00	230	24,00	-200
11,00	105	25,00	-110
12,00	90	26,00	-90
13,00	80	27,00	-90
		28,00	-80



Obrázek 33. Odezva na jednotkový skok pro 4kW

Po zapnutí či vypnutí zátěže 2kW nebo 4kW výkon odebíraný z veřejné sítě klesl pod požadovanou hodnotu do **10** sekund.

7.2 Měření spotřeby PHM

Při měření bylo vypnuto řízení krokového motorku a nastaven výkon generátoru ručně.

Test probíhal po dobu $T=15$ minut.

Výkon generátoru byl nastaven na $P=7\text{kW}$, což odpovídalo 1600ot/min.

$$W = \frac{P}{60} \cdot T = \frac{7 \cdot 10^3}{60} \cdot 15 = 1,75\text{kWh} \dots \text{vyrobená energie za čas } T \quad (7.2)$$

Byla zvážena PB lahev před testem a po testu. Úbytek plynu byl **0,5kg**.

Cena 10kg PB lahve je 350Kč => cena 1kg je 35Kč

cena za vyrobenou energii $C = 35 \cdot 0,5 = 17,5\text{Kč}$

$$C_{kWh} = \frac{C}{W} = \frac{17,5}{1,75} = \underline{\underline{10\text{Kč}}} \dots \text{cena za kWh} \quad (7.3)$$

Motor nebyl ještě zcela seřízen, tudíž neměl největší tah a nejmenší spotřebu. Po přesném seřízení se očekává ještě pokles spotřeby. Při využití jiných paliv (LPG, zemní plyn) a nového spalovacího motoru by náklady měly ještě klesnout. Poté by se zařízení mohlo přiblížit jednotkám TEDOM, MotorGas či jiným mikrokogeneracím a níže uvedenému tvrzení.

„Kogenerační jednotka spotřebuje na výrobu jedné kWh elektřiny zemní plyn v ceně cca 2,50 Kč/kWh, servisní náklady jsou cca 0,40 až 0,60 Kč/kWh. Je-li cena elektřiny ze sítě vyšší než 3 Kč/kWh, je už výhodné provozovat kogenerační jednotku pro krytí vlastní potřeby a teplo navíc je "zdarma" “. [5]

I v případě vypočtené ceny za kWh se to vyplatí, když se bude počítat i vyrobené teplo. Účinnost spalovacího motoru je cca 30%. Dalších 30% energie je převedeno do chladicí kapaliny a 30% do výfuku jako spaliny. V našem případě využíváme veškeré teplo. Účinnost se bude blížit 90%. 1/3 energie je přeměněna na elektřinu a 2/3 na teplo.

8 Závěr

Cílem této práce bylo navržení speciálního ovládání kogenerační jednotky pro minimalizaci odběru elektrické energie z rozvodné sítě. Navržené řešení bylo realizováno spolu s vlastní kogenerační jednotkou v prostředí dílny malého šikovného podnikatele. Při provádění mnoha zkoušek byla postupně prověřena funkčnost jednotlivých prvků a jejich dopracování dle potřeb. Software byl odladěn tak, aby zařízení splňovalo požadované vlastnosti. Zkoušky kompletního zařízení prokázaly efektivnost provozu kogenerační jednotky a jeho přínos pro majitele.

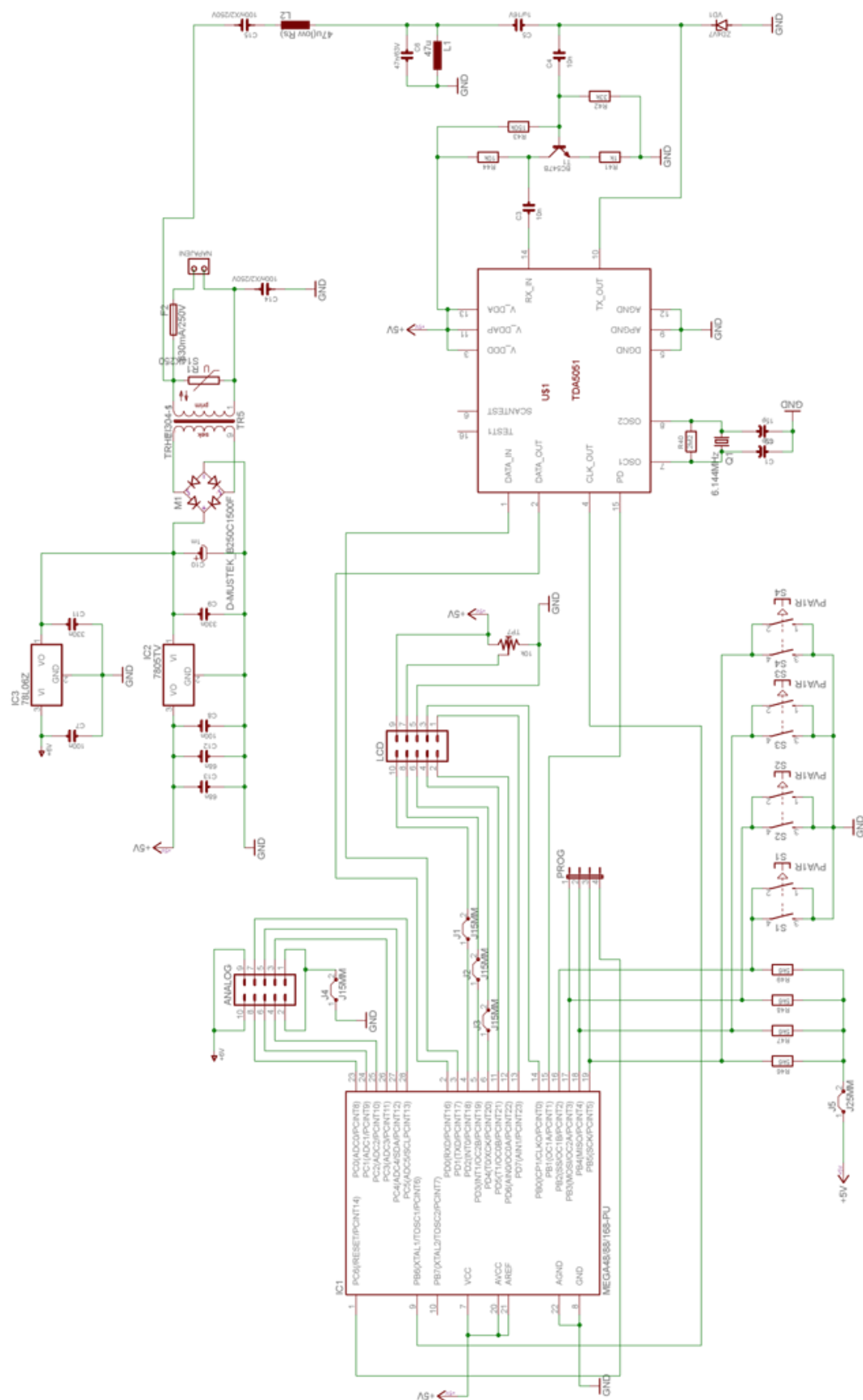
Seznam použité literatury

- [1] Atmel *ATMEGA88 datasheet* [online]. [cit. 2011-5-3]
Dostupné z URL:
<http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/432/432-190/dsh.432-190.1.pdf>
- [2] PHILIPS *TDA5051 datasheet* [online]. [cit. 2011-5-3]
Dostupné z URL:
< <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/19368/PHILIPS/TDA5051.html> >
- [3] SHARP *S216SE2 datasheet* [online]. [cit. 2011-5-3]
Dostupné z URL:
< http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/523/523-186/dsh.523-186.1.pdf >
- [4] Kogenerace TEDOM [online]. [cit. 2011-3-21]
Dostupné z URL:<http://kogenerace.tedom.cz/princip-a-vyhody.html>
- [5] EkoWATT kogenerace [online]. [cit. 2012-5-7]
Dostupné z URL: <http://www.ekowatt.cz/uspory/kogenerace.shtml>
- [6] Krbek J., Polesný B., *Kogenerační jednotky - Zřizování a provoz*.
GAS s.r.o., Praha.2007.206s. ISBN 978-80-7328-151-9
- [7] Dvorský E., Hejtmánková P., *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*
BEN, Praha. 2006, 288s. ISBN 80-7300-118-7
- [8] Mayer D., *Elektrodynamika v energetice*, BEN, Praha 2005, 280s, ISBN 80-7300-164-0

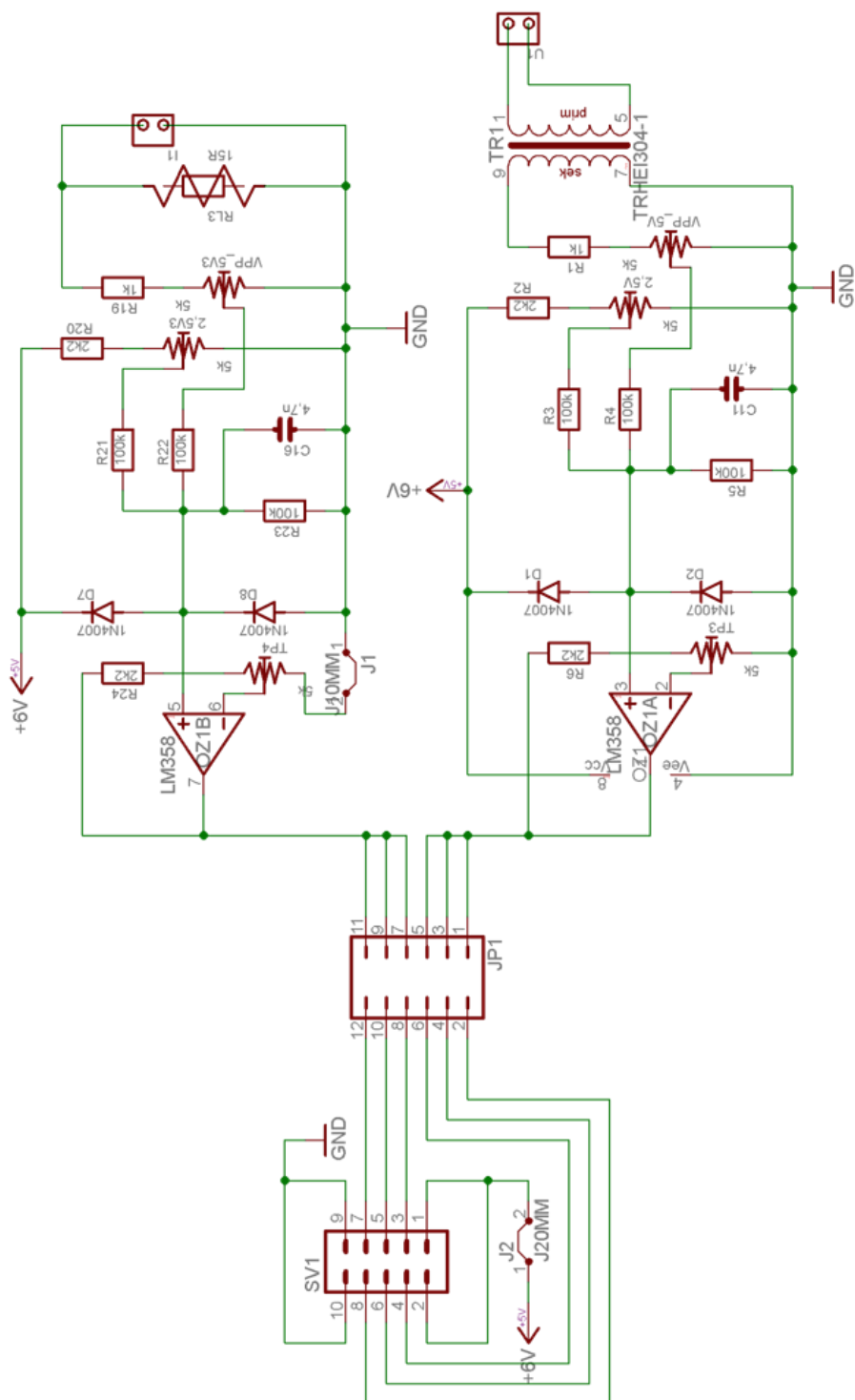
Seznam příloh

1A Schéma Měřicí desky	45
1B Schéma měření U a I	46
1C Schéma Řídící desky	47
1D Schéma Řízení krokového motorku	48
2A DPS Měřicí desky.....	49
2B DPS měření U a I.....	50
2C DPS Řídící desky.....	51
2D DPS Schéma Řízení krokového motorku	52
3 Foto výrobku	53

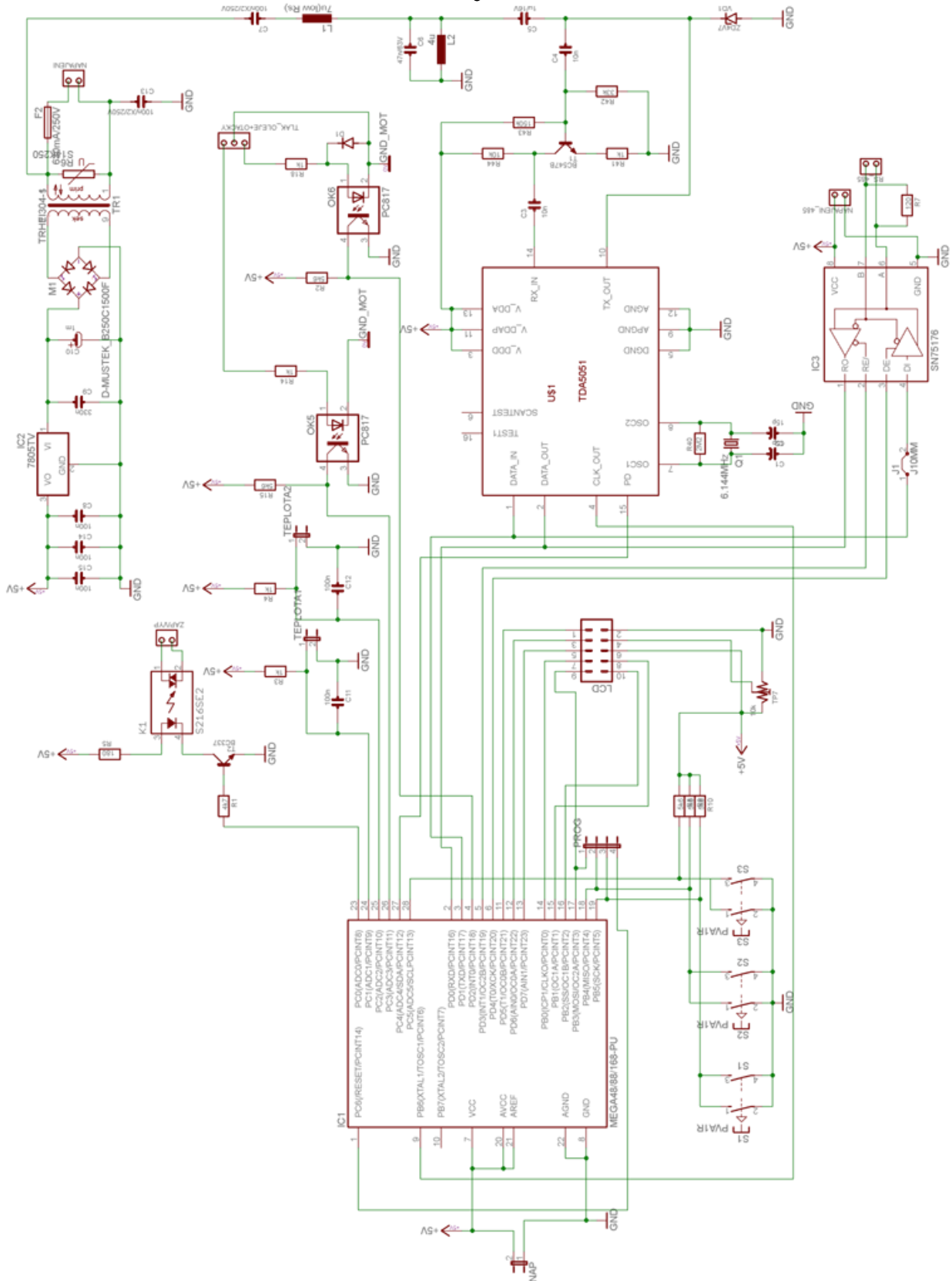
1A Schéma Měřicí desky



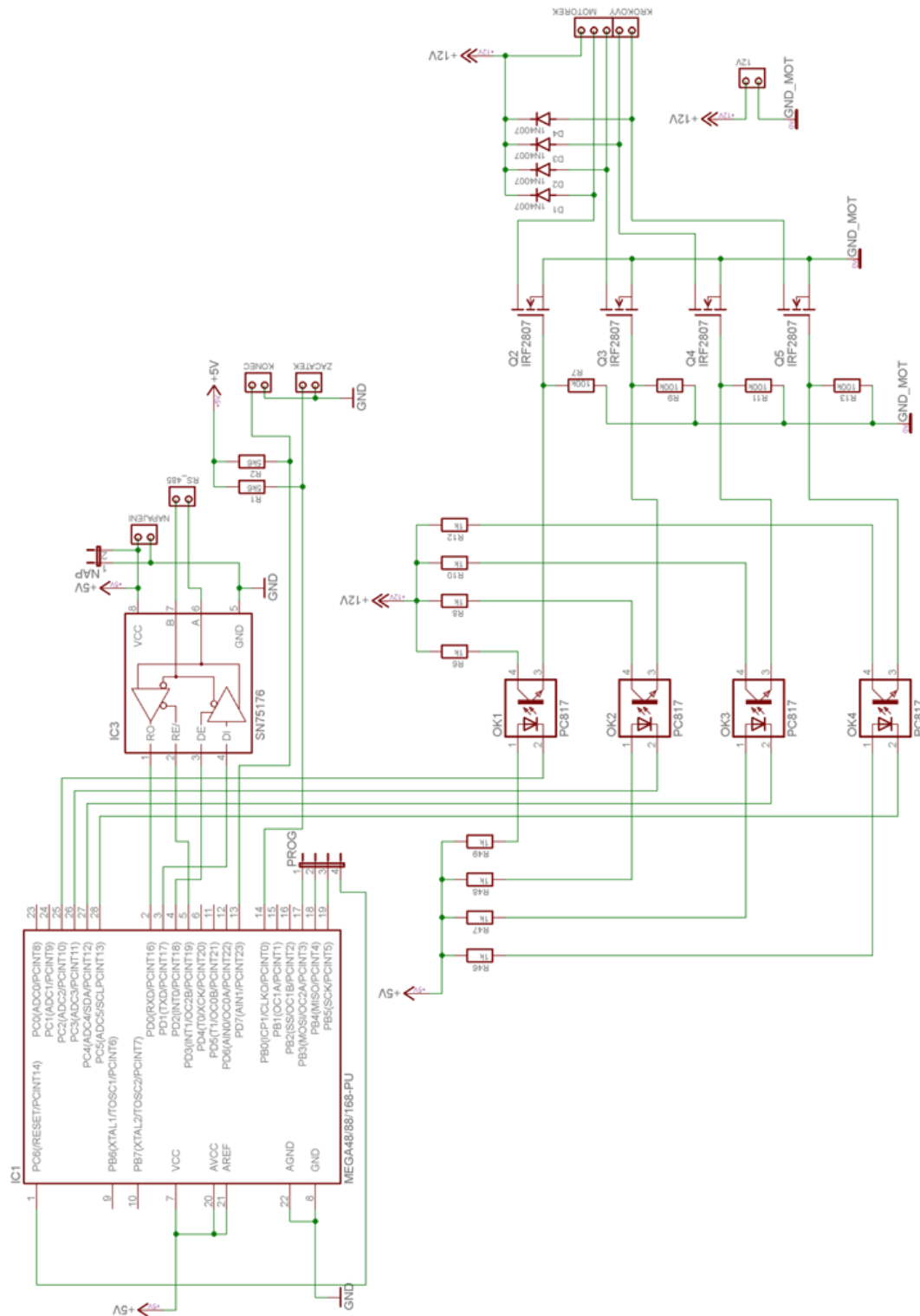
1B Schéma měření U a I



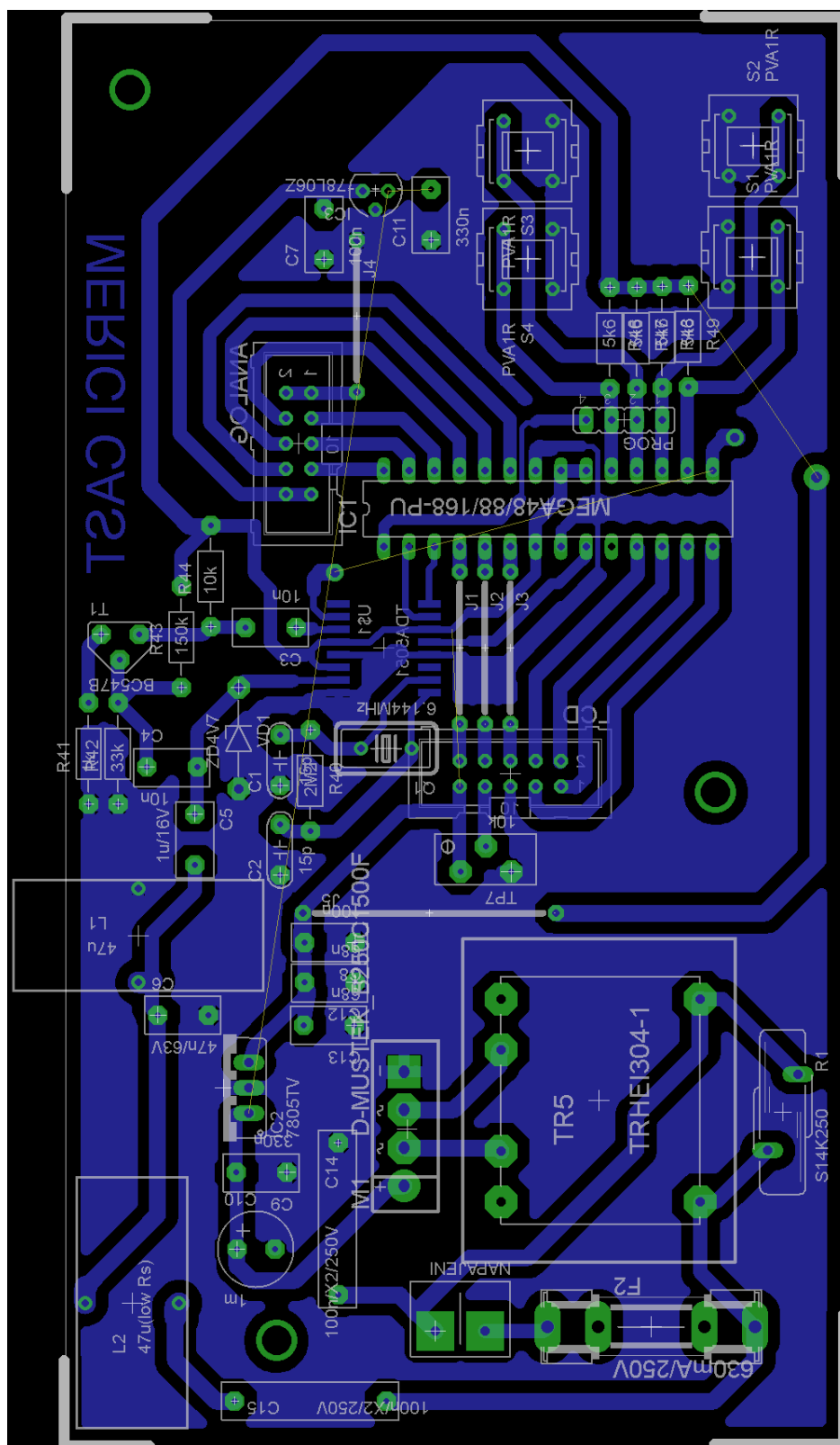
1C Schéma Řídící desky



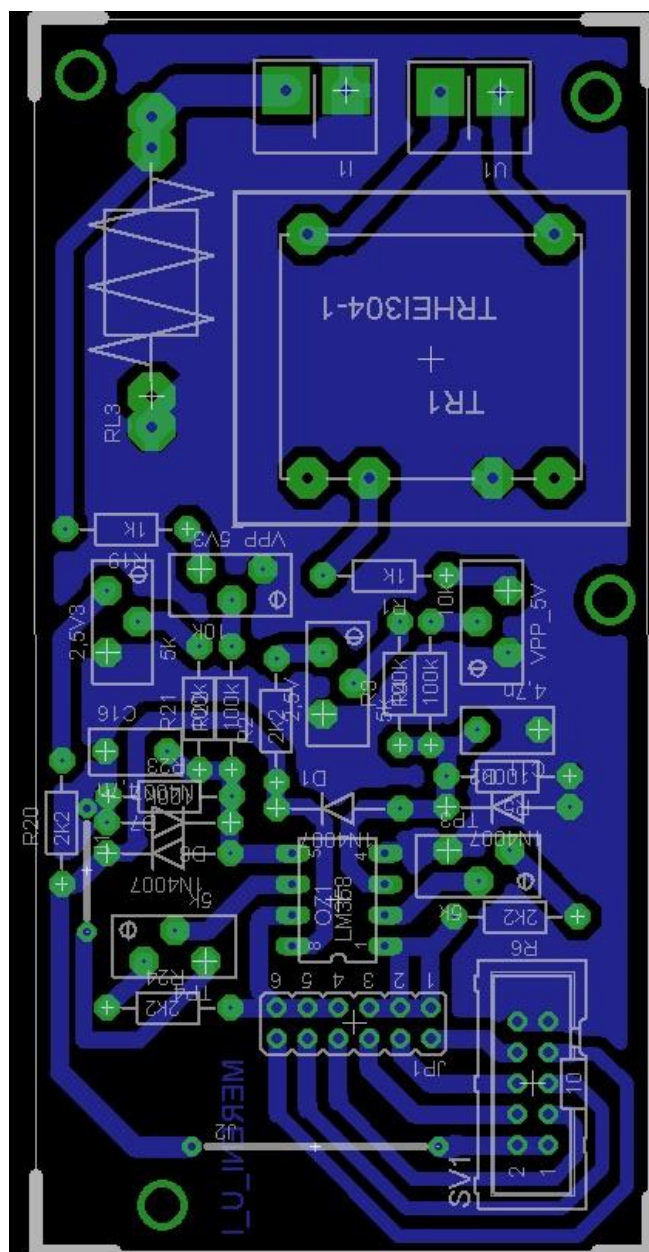
1D Schéma Řízení krokového motorku



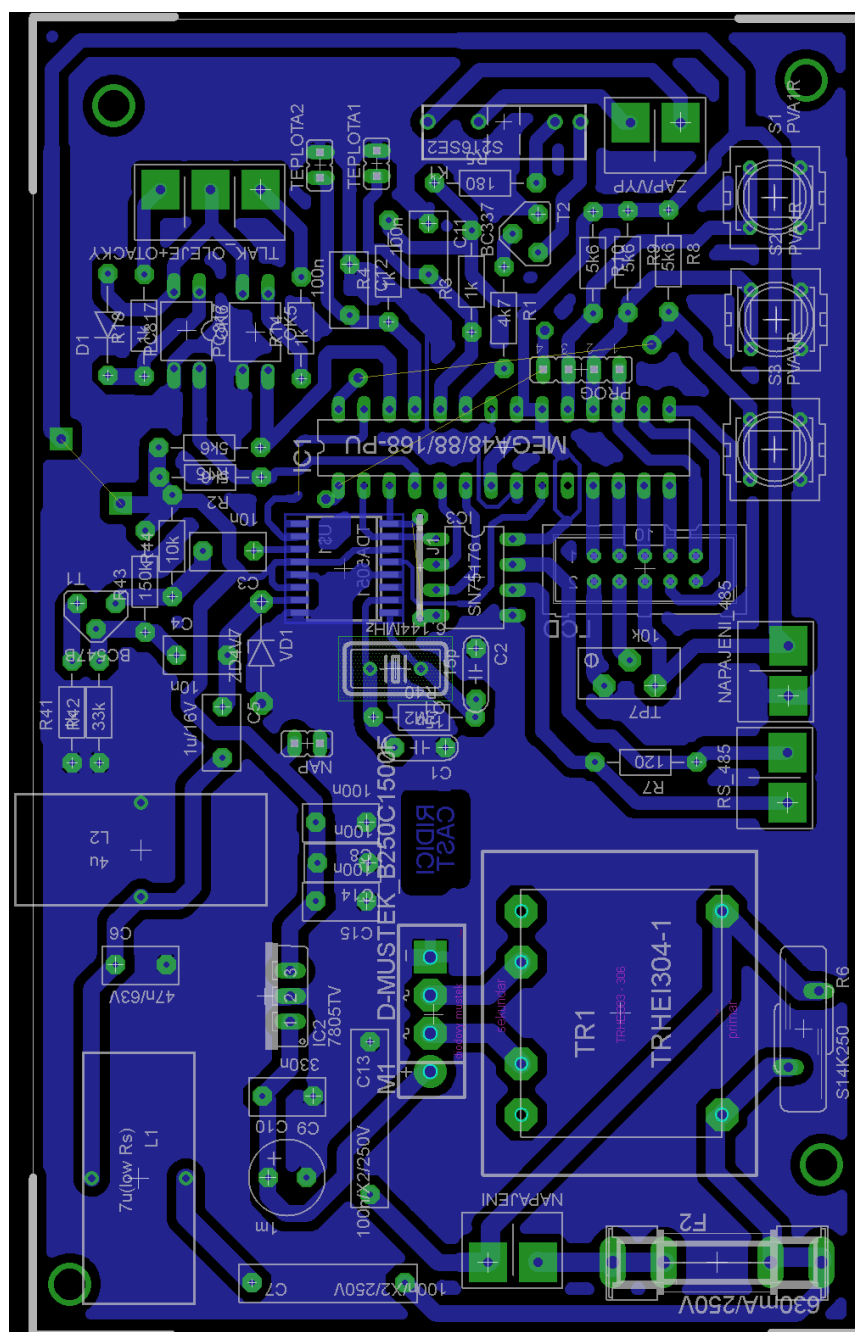
2A DPS Měřicí desky



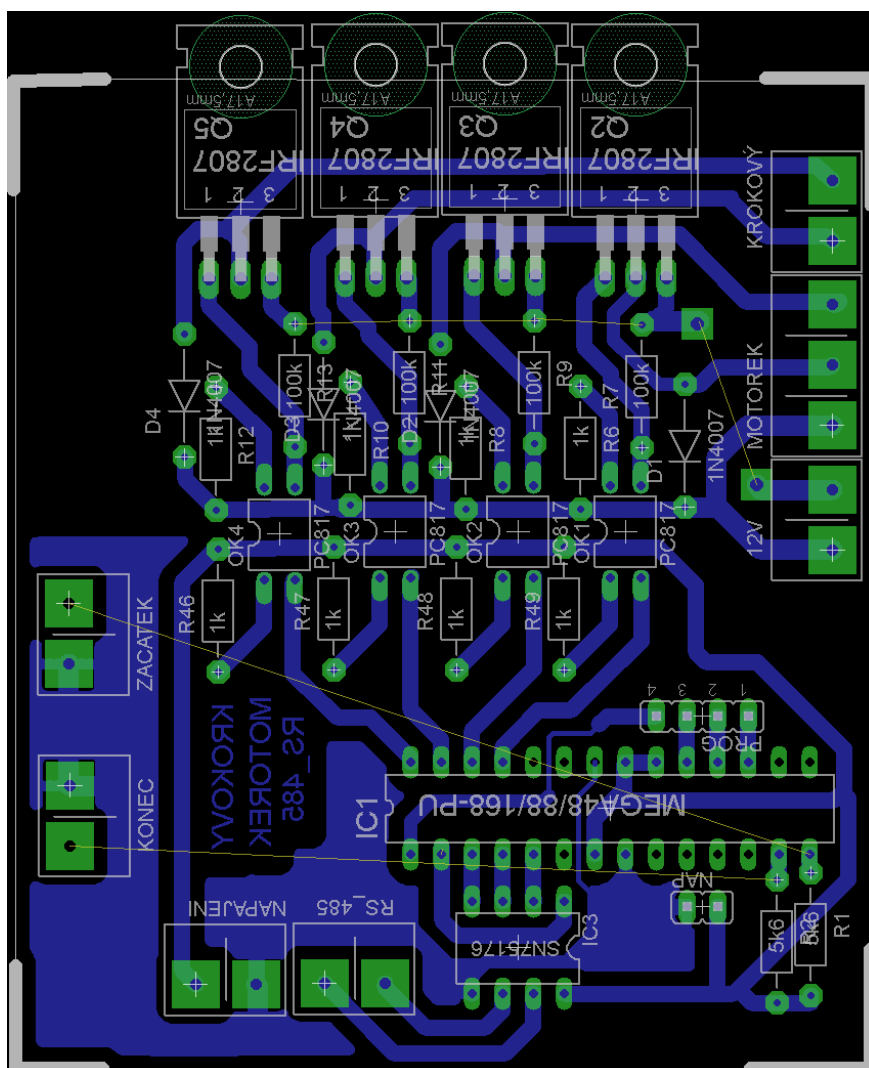
2B DPS měření U a I



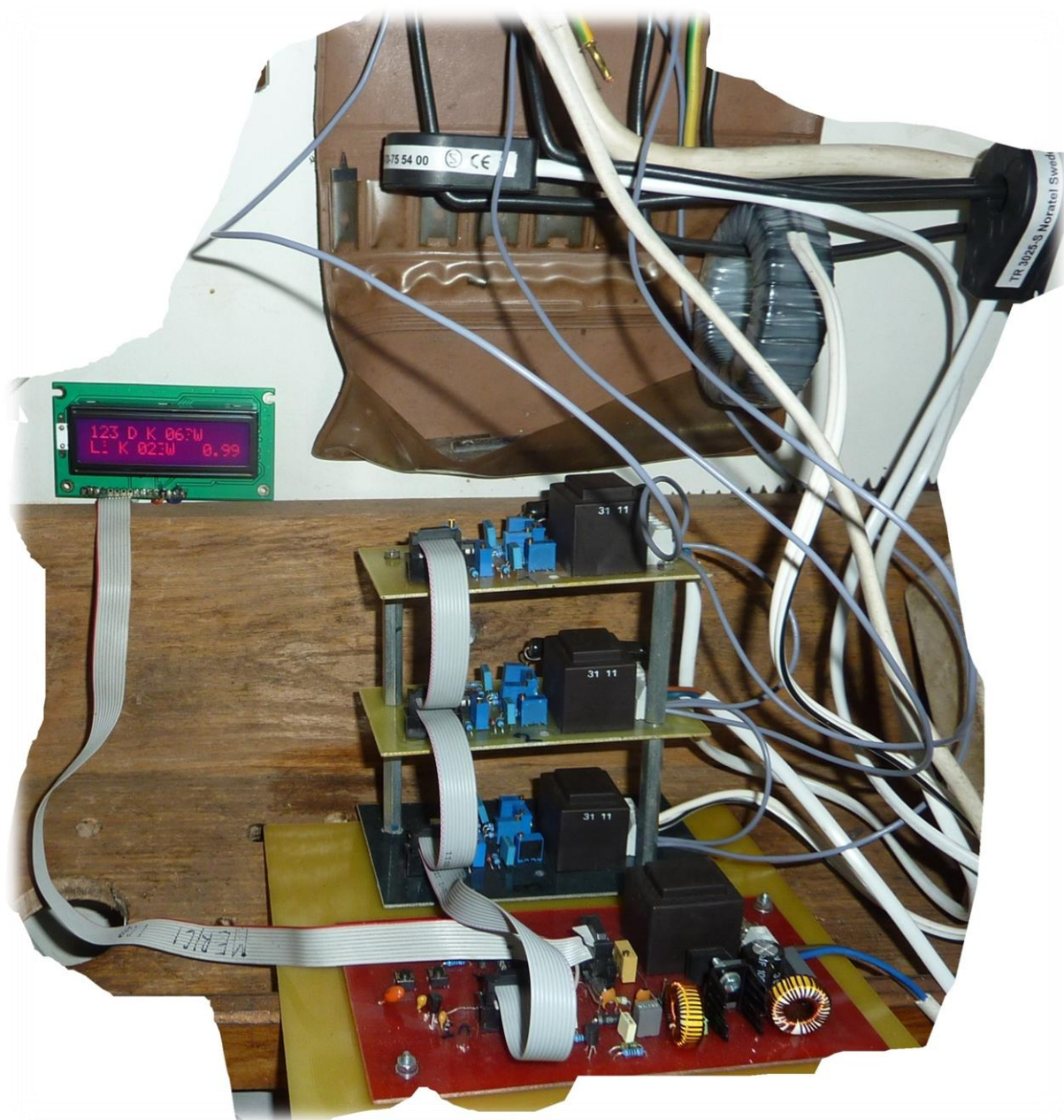
2C DPS Řídící desky



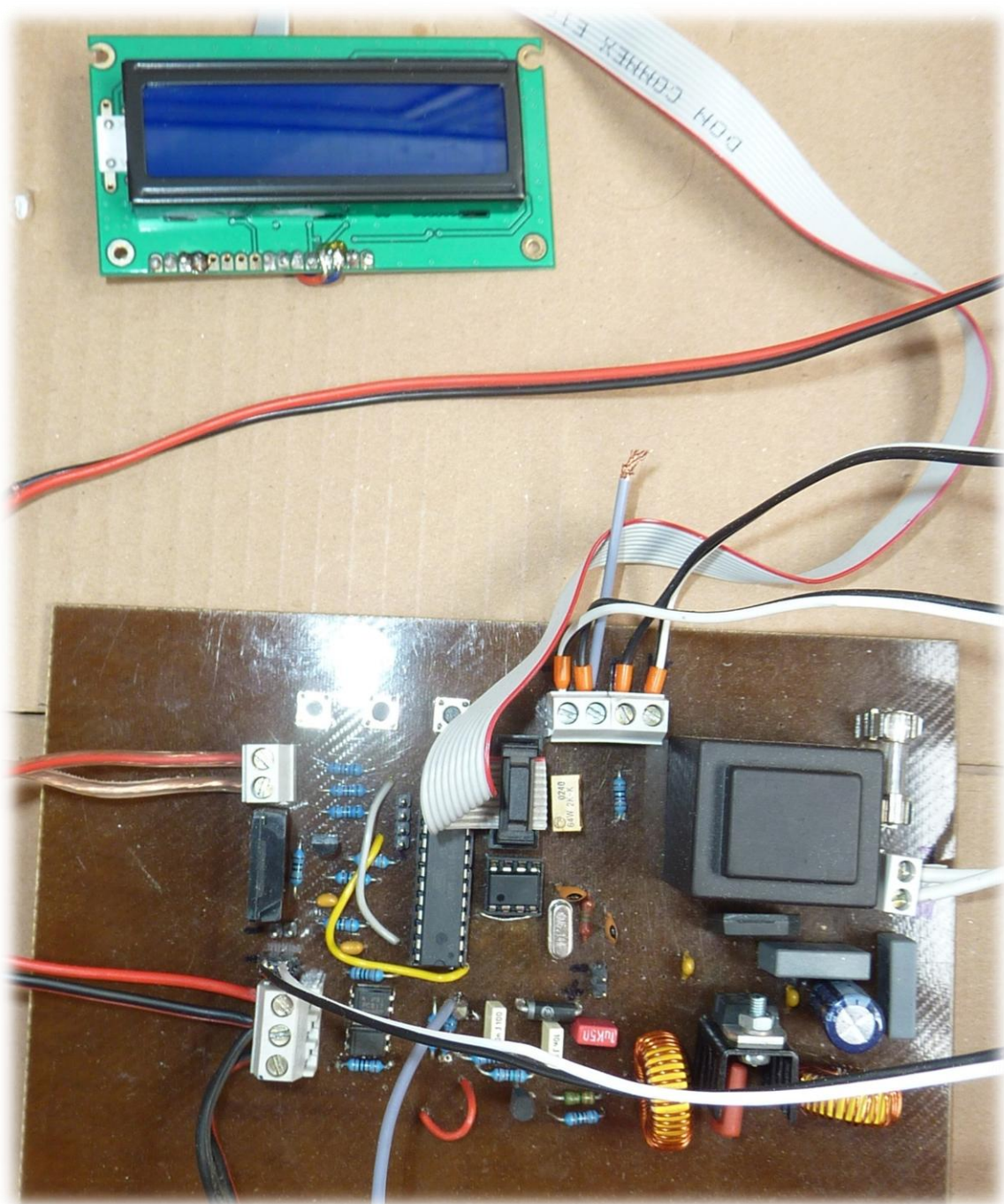
2D DPS Schéma Řízení krokového motorku



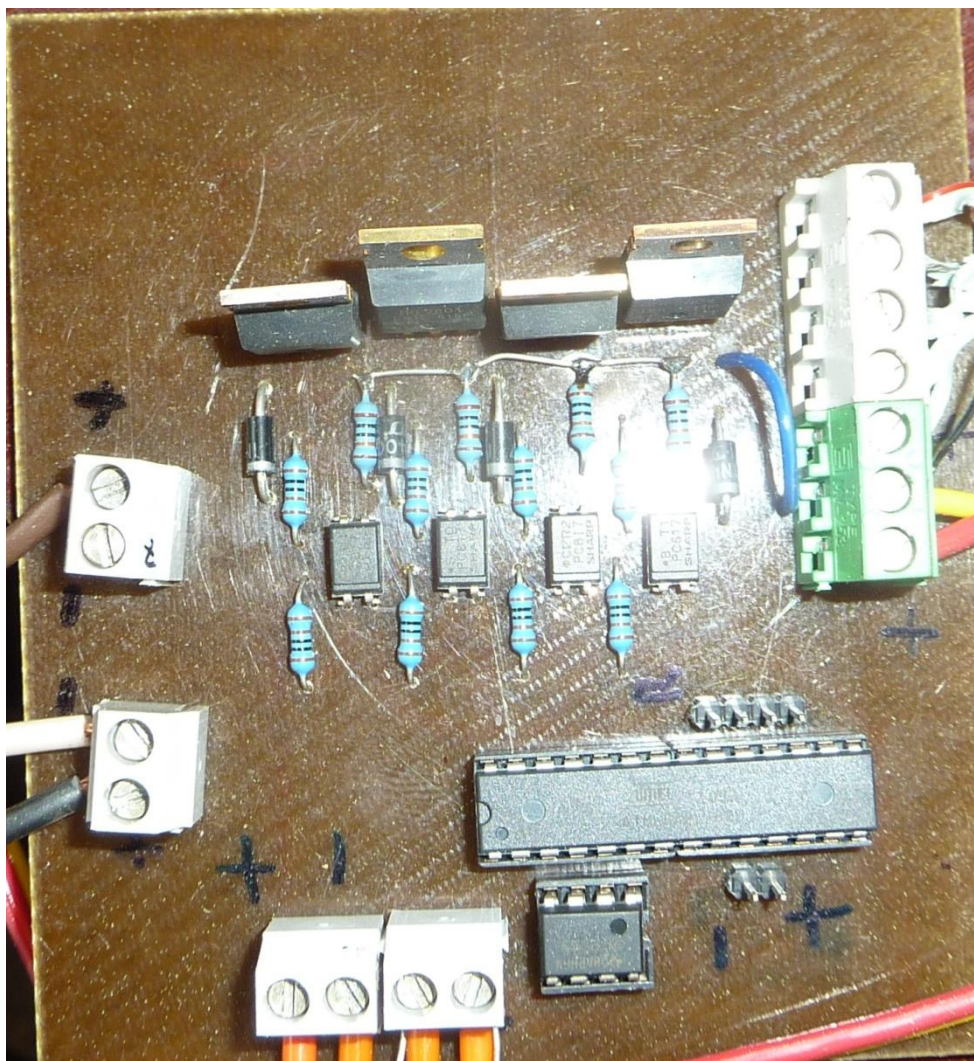
3 Foto výrobku



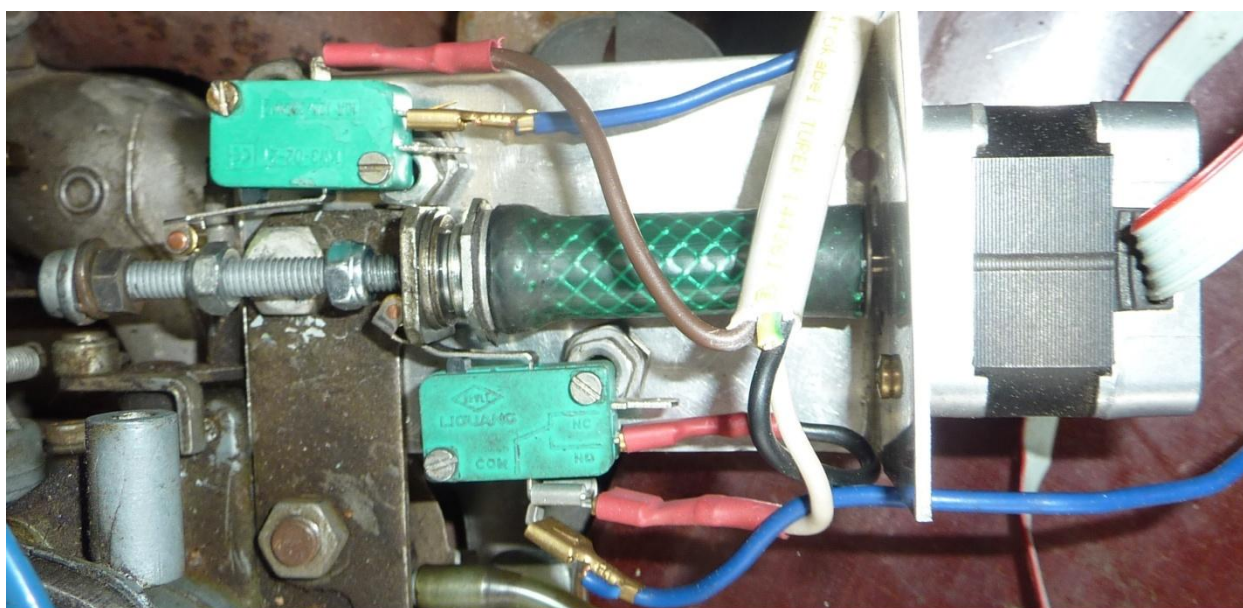
Obrázek 34. DPS Měřicí část



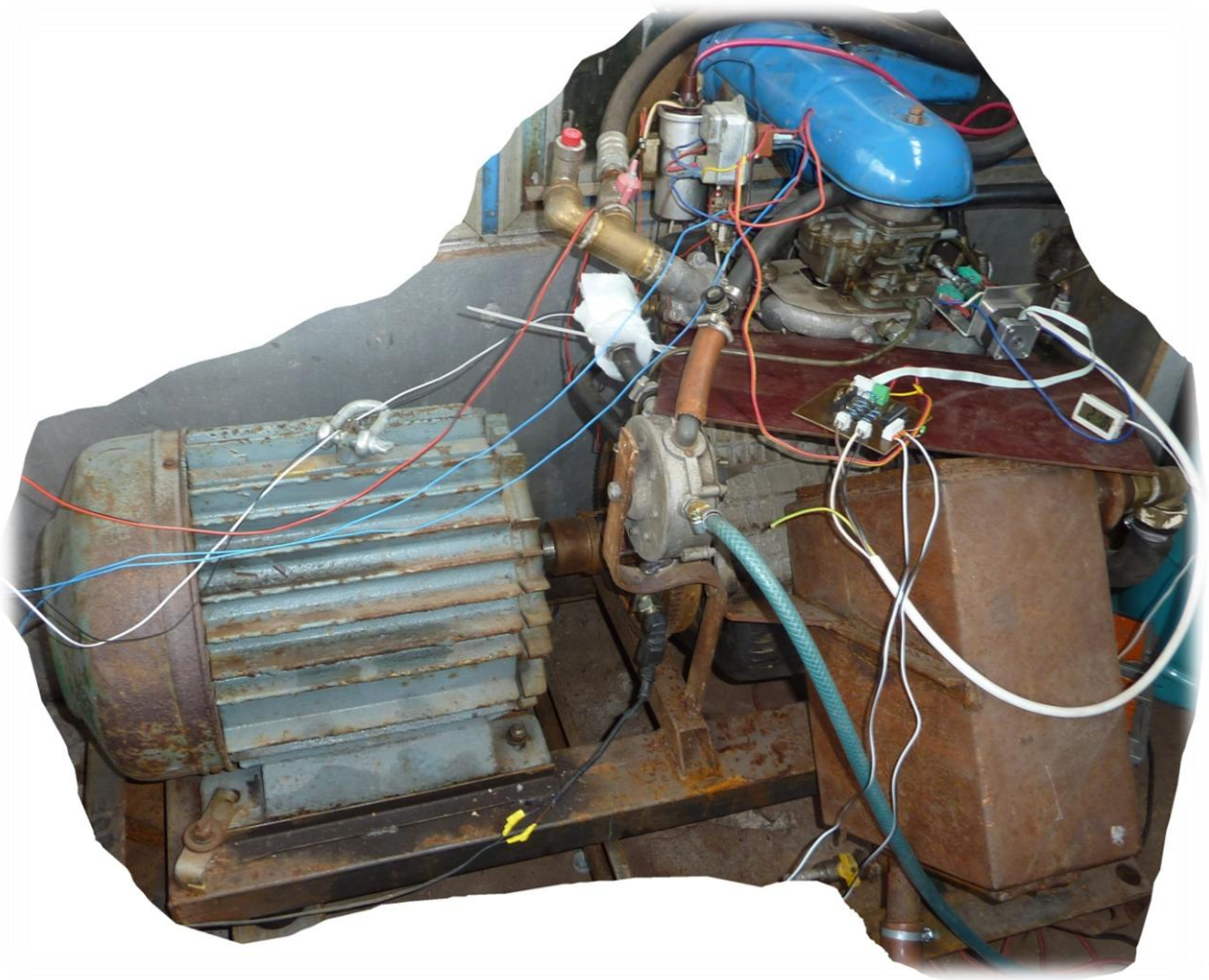
Obrázek 35. DPS Řídící deska



Obrázek 36. DPS Řízení krokového motorku



Obrázek 37. Krokový motorek



Obrázek 38. Kogenerační jednotka