

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Jednofázový soft-startér

Originál (kopie) zadání BP/DP

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je vytvoření funkčního vzorku jednofázového soft-startéru s možností nastavení maximálního povoleného proudu při rozběhu, nebo času, po který bude rozběh probíhat. Dále s možností ručního nebo automatického spuštění rozběhu.

Klíčová slova

Soft-startér, měkký start, rozběh motoru, mikrokontrolér, triak, řízení triaku, by-pass, mplab, asynchronní motor, komutátorový motor, synchronizace, detekce průchodu nulou.

Abstract

The aim of this bachelor's thesis is to create a functional sample of a single-phase soft starter with the possibility of setting the maximum permitted current at startup or the time that the startup will take place. Furthermore, with manual or automatic start-up.

Key words

Soft starter, soft start, engine start, microcontroller, triac, triac control, bypass, mplab, asynchronous motor, commutator motor, synchronization, zero pass detection.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou/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 práci, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 8.6.2017 Ondřej Suchý

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Janu Molnárovy Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD.....	11
1 TEORETICKÝ ÚVOD.....	13
1.1 JEDNOFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ MOTOR.....	13
1.1.1 Momentová charakteristika	14
1.1.2 Rozdělení asynchronních motorů.....	14
1.1.3 Vlastnosti asynchronních jednofázových motorů	14
1.2 KOMUTÁTOROVÝ MOTOR NA STŘÍDAVÝ PROUD	15
1.2.1 Konstrukce jednofázových komutátorových motorů.....	15
1.2.2 Princip komutátorového motoru.....	16
1.2.3 Momentová charakteristika	16
1.2.4 Rozdělení komutátorových motorů	17
1.2.5 Vlastnosti komutátorových motorů	18
1.3 ROZBĚHY ASYNCHRONNÍCH MOTORŮ.....	18
1.3.1 Přímé připojení k síti	18
1.3.2 Sníženým napětím	18
1.3.3 Změnou rotorového odporu	19
1.3.4 Rozběhová spojka	20
1.3.5 Změnou frekvence napájecího napětí	20
1.4 SOUČÁSTKY POUŽITÉ VE VÝKONOVÉ ČÁSTI	20
1.4.1 Triak.....	20
1.4.2 Snímač proudu	21
1.5 1 FÁZOVÝ SOFT-STARTÉR.....	23
1.5.1 Soft-startéry dostupné na trhu	25
2 REALIZACE JEDNOFÁZOVÉHO SOFT-STARTÉRU	30
2.1 TECHNICKÁ SPECIFIKACE ZAŘÍZENÍ	30
2.2 SCHÉMA A POPIS SOFT-STARTÉRU.....	31
2.2.1 Mikroprocesor	32

2.2.2	<i>Ovládání</i>	34
2.2.3	<i>Displej</i>	34
2.2.4	<i>Detekce nuly</i>	36
2.2.5	<i>Snímání proudu</i>	38
2.2.6	<i>Spínání triaku a relé</i>	40
2.3	REALIZACE DPS	42
2.4	POPIS FUNKCE SOFT-STARTÉRU PRO VYTVOŘENÍ ALGORITMU ŘÍZENÍ	42
2.5	IMPLEMENTACE ALGORITMU ŘÍZENÍ	44
2.5.1	<i>Vývojové prostředí a nástroje</i>	44
2.5.2	<i>Popis dílčích částí programu</i>	45
2.6	UŽIVATELSKÝ MANUÁL	47
3	ZÁVĚR	49
4	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	50
5	PŘÍLOHY	1

Seznam symbolů a zkratek

U_I [V].....	indukované napětí
PM.....	pomocná fáze
M_{AC} [Nm].....	střídavý moment
M_{DC} [Nm].....	stejnoseměrný moment
M_{MAX} [Nm].....	maximální moment
U [V].....	napětí
I [A].....	proud
P_{AC} [W].....	výkon ve střídavé síti
P_{DC} [W].....	výkon ve stejnosměrné síti
φ [°].....	fázový posuv
Φ [Wb].....	magnetický tok
R_D [Ω].....	předřadný odpor
U_N [V]	napájecí napětí
U_D [V]	provozní napětí segmentu displeje
I_D [A]	proud segmentem displeje
T_{ACQ} [s].....	nabíjecí prodleva
T_{AMP} [s]	doba ustálení zesilovače ve vzorkovači
T_C [s].....	nabíjecí čas vzorkovacího kondenzátoru
T_{COFF} [s].....	teplotní koeficient
U_H [V]	Hallovo napětí
R_H [m^3/As]	Hallův činitel
I_C [A]	řídící proud
B [T]	magnetická indukce
d [m]	tloušťka vrstvy polovodiče
O_V [V].....	výstupní napětí
I_F [A].....	vstupní proud
DPS.....	deska plošných spojů
I_B [A].....	bázový proud
I_{BS} [A]	bázový proud v režimu spínače
I_C [A]	kolektorový proud
U_{CC} [V].....	napájecí napětí

U_{BE} [V].....,,napětí báze-kolektor

h_{21} [-].....proudový zesilovací činitel

Úvod

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na realizaci jednofázového soft-startéru pro použití primárně s ručním elektrickým náradím napájených ze sítě 230V. Práce je rozdělena do části teoretického úvodu a do samotné realizace zařízení s konkrétními požadovanými parametry.

V části teoretického úvodu se zabývám možnými, způsoby spouštění střídavých motorů, principem fungování komutátorového a jednofázového asynchronního motoru. Dále je v této části věnována pozornost principům součástek používaných v soft-startéru.

V části realizace jednofázového soft-startéru je popsán výběr součástek a jejich funkce v jednotlivých funkčních blocích, realizace DPS. Dále se zaměřuji na popis programu pro soft-startér a na uživatelský manuál.

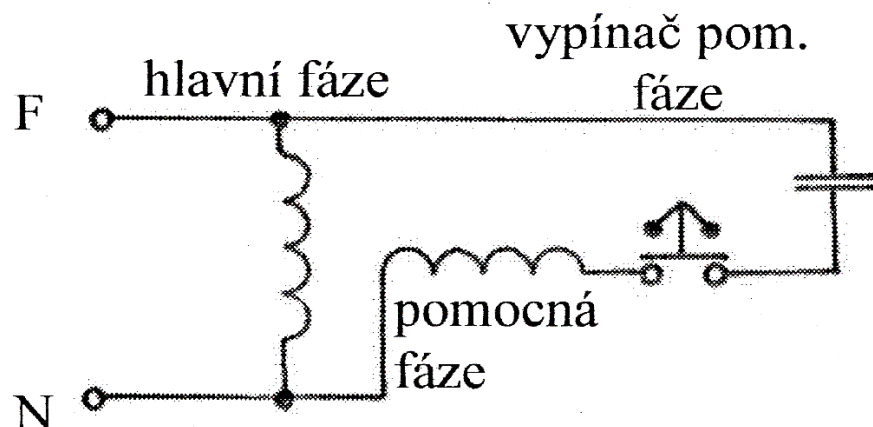
1 Teoretický úvod

1.1 Jednofázový asynchronní motor

Jednofázové asynchronní motory se nejčastěji používají v domácnostech, kde není všude 3.fázový rozvod ale pouze 1. fázový. Obvykle jsou tyto motory využívány pro domácí spotřebiče, k různým pohonům (např. elektrické pračky, kompresorové chladničky, apod.). Jednofázové asynchronní motory mají střídavé pulzační magnetické pole, což znamená, že se sami nerozběhnou. Aby se motor rozběhl je potřeba dodat určitou rychlost ve směru, ve kterém se má motor otáčet anebo vytvořit takovou nesymetrii, která způsobí, že v požadovaném směru bude symetrická složka proudu větší než ve směru opačném.[2][3]

Jednofázové motory bývají dvou druhů, s rozběhovou fází nebo se stíněnými póly. Vynutí rozběhové fáze je uloženo v motoru tak, že má jinou magnetickou osu než hlavní vinutí. Rozběhová (pomocná) fáze je napájena napětím, které je fázově posunuté proti napětí na hlavním vinutí. Tohoto posunu lze dosáhnout připojením vhodné impedance (např. kondenzátor nebo odpor) do obvodu rozběhového vinutí. Po rozběhu již není rozběhové vinutí potřeba a může se odpojit pomocí dvojitého spínače nebo odstředivým vypínačem.[1][3]

Pro změnu směru otáčení u jednofázových motorů je zapotřebí prohodit přívody mezi hlavní a pomocnou fází. Pouze tímto způsobem je možné změnit smysl otáčení motoru.[3]

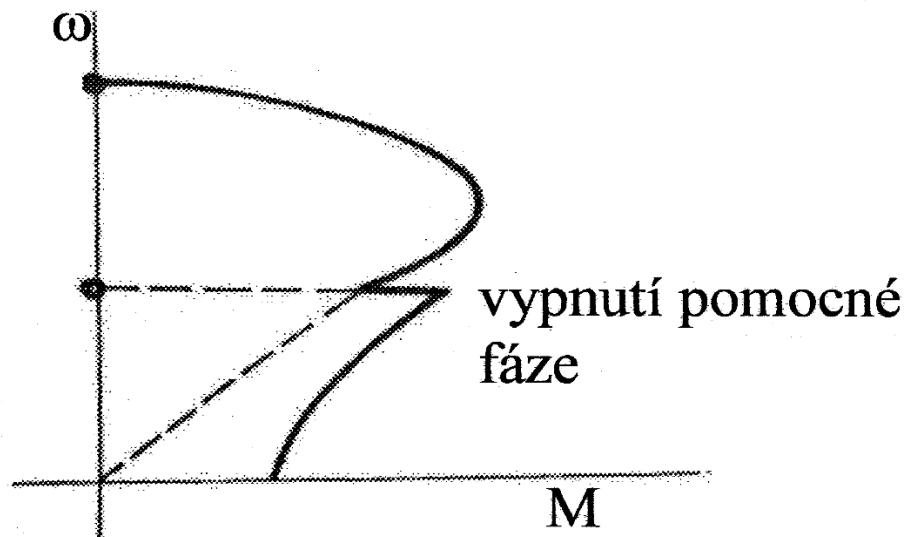


Obr. 1.1: Schéma možného zapojení jednofázového motoru s rozběhovým vinutím (PF), převzato z [3]

Motory se stíněnými póly mají stator s vyniklými póly. Část průřezu každého pólu je obepnuta závitem nakrátko z neizolovaného měděného vodiče, vytvářejícím v magnetickém poli zpožděnou složku. Jejím přispěním vzniká eliptické točivé magnetické pole, takže motor vyvozuje jistý, poměrně malý záběrový moment, postačující k rozběhu s přiměřenou zátěží.[1]

1.1.1 Momentová charakteristika

Jednofázový motor se sám z klidového stavu nerozběhne, protože U_i pohybové je posunuté od U_i transformační o 180° . Roztočíme-li rotor ručně nebo pomocí pomocné fáze získáme posun jiný než 180° a motor se rozběhne.



Obr. 1.2: Závislost momentu na otáčkách, zvýrazněné s pomocnou fází, upraveno z [3]

1.1.2 Rozdělení asynchronních motorů

- Podle počtu fází – trojfázové
 - dvoufázové
 - jednofázové
- Podle rotorového vinutí – s kotvou nakrátko – v drážkách rotoru jsou tyče vyráběné nejčastěji z hliníku na čelních stranách jsou spojeny kruhy nakrátko
 - s kotvou kroužkovou – v rotorových drážkách jsou vinutí vyvedené na nalisované kroužky upevněné na hřídeli, na které dosedají kartáče umožňující vyvedení vedení na svorkovnici

1.1.3 Vlastnosti asynchronních jednofázových motorů

Výhody

- Jednoduchá údržba, dlouhá životnost
- Levná výroba
- Dobrý účinník

Nevýhody

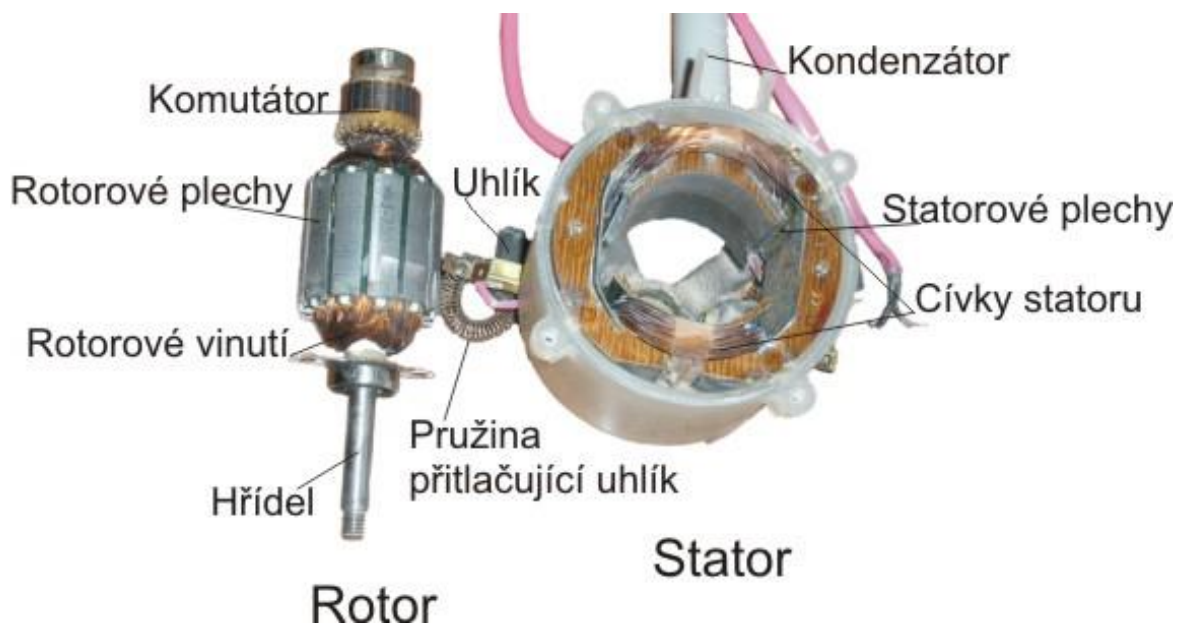
- Sám se nerozběhne
- Má pomocné vinutí, které po startu nevyužíváme
- Vyšší vibrace než třífázový motor
- Hlučnější
- Proměnný točivý moment

1.2 Komutátorový motor na střídavý proud

Tento typ motoru vznikl, protože bylo potřeba malých vysokootáčkových malých motorů s jednoduchou možností regulace. Asynchronní motory nemají takovou variabilitu a jednoduchost řízení otáček, synchronní motory lze provozovat pouze na synchronních otáčkách což také není vhodné. Komutátorové motory pro střídavou síť slouží k pohonu elektrického ručního nářadí, vysavačů, kuchyňských mixérů, šicích strojů a podobných malých spotřebičů. Komutátorové motory lze provozovat také na stejnosměrný proud, proto se jim také říká univerzální motory.

1.2.1 Konstrukce jednofázových komutátorových motorů

Tyto motory jsou konstrukčně velmi podobné stejnosměrným motorům, ale na rozdíl od nich musí mít tyto motory satorový magnetický obvod vždy složený z plechů, protože v něm dochází ke střídavé magnetizaci. Rotor je vyráběn podobně jako u stejnosměrného motoru má však více vinutí a lamel na komutátoru. Na komutátor dosedají kartáče většinou vyráběné z uhlíku, jejich počet se odvíjí od počtu pólů a fází. [10]

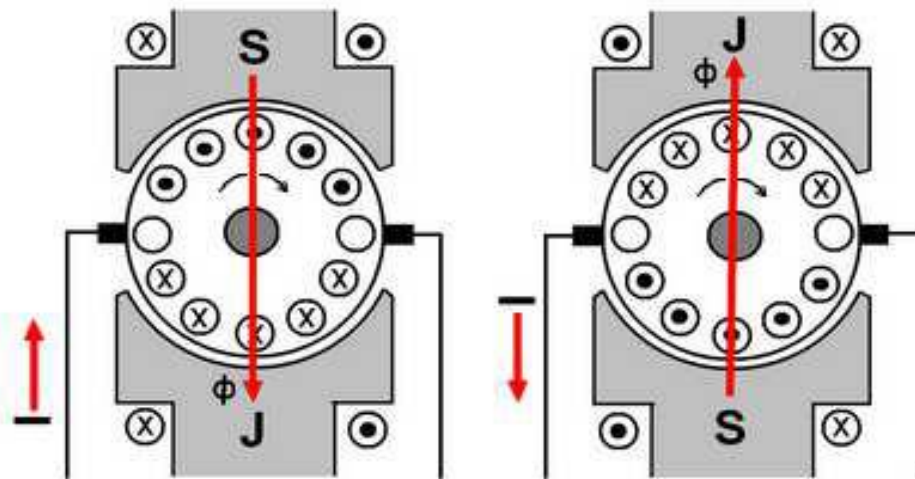


Obr. 1.3: Rozložený komutátorový motor, převzato z [9]

1.2.2 Princip komutátorového motoru

Po připojení napájení vytvoří střídavý proud budící vinutí střídavý magnetický tok se síťovým kmitočtem. Komutátor zajišťuje, že kotvou prochází proud se stejným kmitočtem. Čímž vznikne točivý moment.[10]

Při změně polarity proudu se mění současně polarita budícího proudu i proudu kotvy. Směr točivého momentu se však nemění. Tato podmínka platí pouze u motoru se sériovým buzením. U paralelního buzení dochází vlivem induktivního charakteru budícího vinutí a činného charakteru vinutí kotvy k fázovému posunu proudů, což je příčinou nerovnoměrného chodu motorů. Z toho důvodu se v praxi používají výhradně sériové jednofázové komutátorové motory. [10]



Obr. 1.4: Tvorba točivého momentu v komutátorovém motoru [10]

Problémem komutátorových strojů je komutace, neboť proud v cívce je střídavý, má kmitočet sítě. Komutaci nepříznivě ovlivňuje tzv. transformační napětí, které se ve vinutí kotvy indukuje vlivem střídavého magnetického toku. Komutace tak neprobíhá při nulové hodnotě napětí, což se projevuje větším jiskřením kartáčů. Proto se u střídavých komutátorových motorů používají kotvy s 2x až 3x větším počtem cívek a tím i lamel na komutátoru. Na jednu cívku pak připadá menší napětí, čímž se jiskření kartáčů omezí. [10]

1.2.3 Momentová charakteristika

Moment motoru při střídavém napětí je:

$$M_{AC} = \frac{60}{2\pi n_{AC}} UI \cos\varphi \quad (1)$$

Moment motoru při stejnosměrném proudu je:

$$M_{DC} = \frac{60}{2\pi n_{DC}} UI \quad (2)$$

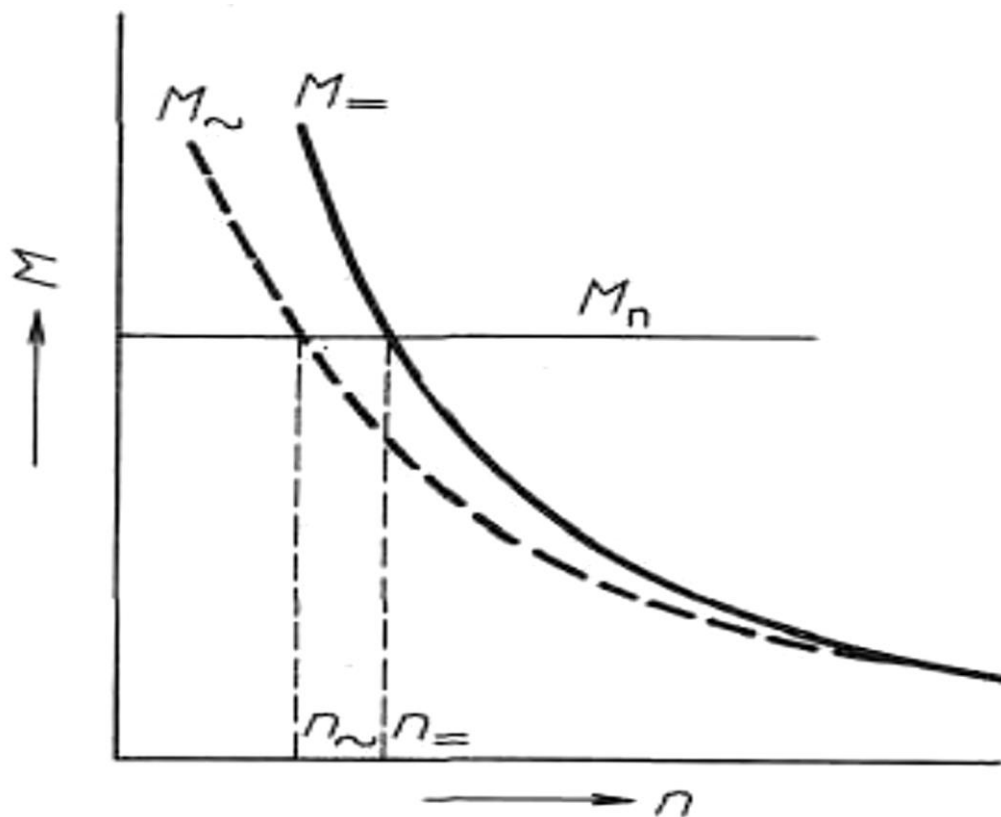
Výkon při napájení střídavým napětím je:

$$P_{AC} = UI \cos \varphi \quad (3)$$

Výkon při napájení stejnosměrným proudem je:

$$P_{DC} = UI \quad (4)$$

Jak je z rovnic pro moment patrné moment při stejnosměrném napájení bude vyšší než moment při střídavém napájení o $\cos \varphi$.



Obr. 1.5: Momentová charakteristika sériového komutátorového motoru [11]

1.2.4 Rozdělení komutátorových motorů

Komutátorové motory se dělí na:

- Jednofázové: - sériové univerzální motory
 - sériové trakční motory
 - repulzní motory
- Trojfázové: - třífázový derivační motor napájený do statoru
 - třífázový derivační motor napájený do rotoru

1.2.5 Vlastnosti komutátorových motorů

Výhody

- Velký záběrný moment, malý záběrný proud
- Jmenovité otáčky od 2000ot/min až do 20000ot/min
- Lepší účinník
- Jednoduché řízení otáček změnou střední resp. efektivní hodnoty napájecího napětí

Nevýhody

- Nižší životnost v porovnání s ostatními typy motorů
- Menší účinnost
- Potřeba časté údržby zejména komutátoru a kartáčů
- Vysoká úroveň rušení způsobená komutací

1.3 Rozběhy asynchronních motorů

Rozběh asynchronního motoru je přechodný děj, kdy se motor rozbíhá z nulových otáček na jeho provozní otáčky. Asynchronní motor s kotvou nakrátko se v okamžiku připojení na síť chová jako transformátor nakrátko. V tomto okamžiku protéká motorem záběrný proud, který je omezen jen impedancí motoru nakrátko.[2]

1.3.1 Přímé připojení k síti

Nejjednodušším a nejlevnějším způsobem rozběhu motoru je přímé připojení k síti. Motor se připojí přímo k napájení, tím vznikne velký záběrný proud okolo 5 až 8 In, který je omezen pouze impedancí nakrátko motoru. Tento typ rozběhu však lze použít pouze pro motory malého výkonu cca do 3kW zapojené k síti nízkého napětí. V sítích vysokého napětí lze tímto způsobem spouštět i motory s výkonem až několik MW. Pro zlepšení rozběhu motoru s vinutým rotorem lze též využít dvojitou (Bouchelovu) nebo vírovou klec.

1.3.2 Sníženým napětím

Spouštěním AS motoru sníženým napětím lineárně snižujeme záběrný proud. Ale zároveň klesá záběrný moment s druhou mocninou sníženého napětí. Z tohoto důvodu se takto rozbíhají motory s malým zatěžovacím momentem při rozběhu nebo motory, které jsou při rozběhu nezatížené. [2]

1.3.2.1 Hvězda- trojúhelník

Jednou z možností rozběhu AS motoru sníženým napětím je použití přepínání hvězda-trojúhelník. Při rozběhu je motor zapojen do hvězdy, čímž je záběrový moment a proud 3x menší a napětí je menší o $\sqrt{3}$. Po rozběhnutí na maximální otáčky se přepne na trojúhelník. Výhodou při tomto typu rozběhu jsou nízké náklady na zrealizování. Ale nevýhodou je proudový a momentový ráz při přepínání kdy je statorové vinutí po dobu přepínání rozpojeno. [1] [2]

1.3.2.2 Připojením odporů na statorové vinutí

Další možností je připojení AS motoru přes odpory. Ty jsou připojeny přes stykač na stator motoru. Na odporech se vytváří úbytek napětí. Na statoru je snížené napětí tím i záběrový proud. Po rozběhnutí se stykačem odpojí odpory a na statoru je jmenovité napětí. Nevýhodou jsou velké ztráty na odporech a jejich velikost. [1] [2]

1.3.2.3 Autotransfornátorem

Autotransfornátorem můžeme plynule regulovat rozběh motoru od nulového napětí až po jmenovité napětí. Po naběhnutí motoru do jmenovitých otáček můžeme autotransfornátor odpojit. Jelikož autotransfornátor odpojujeme po dosažení jmenovitých otáček, můžeme použít levnější a méně výkonný stroj z důvodu pouze krátkodobého zatížení. [1] [2]

1.3.2.4 Soft-startér

Pro tento typ rozběhu se používají polovodičové prvky, které ovládají velikost efektivního svorkového napětí. Pro řízení se používají tyristory v antiparalelním zapojení nebo triaky. [3] Bližší seznámení se soft-startérem v kapitole 1.5.

1.3.3 Změnou rotorového odporu

Tento typ rozběhu lze využít u AS motorů s vinutým rotorem. Rozběh změnou rotorového odporu získáme snížení záběrného proudu a zvýšení záběrového momentu, což je vhodné u zařízení kde potřebujeme co největší moment již od nulových otáček. Odpory jsou připojeny pomocí kroužků a kartáčů na rotoru. Na začátku rozběhu jsou připojeny všechny odpory, aby se motor rozbíhal s M_{max} . Postupně se začnou odpory vyřazovat a momentová charakteristika se mění podle velikosti připojených odporů. [2]

1.3.4 Rozběhová spojka

Rozběhové spojky se používají hlavně u motorů s kotvou nakrátko. Motor se rozbíhá nezatížený a teprve při dosažení nastavené rychlosti otáčení je samočinně působící spojkou pozvolna spojován s poháněným zařízením. Výhodou je rychlé dosažení provozní rychlosti otáčení motoru a omezení doby trvání záběrového proudu.[1]

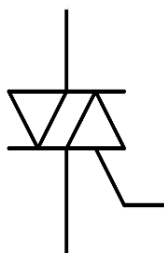
1.3.5 Změnou frekvence napájecího napětí

Změna frekvence napájecího napětí představuje nepoužívanější a nejdokonalejší bezetrátový způsob řízení v dnešní době. Regulace otáček se docílí změnou frekvence a napětí až do jmenovitých hodnot motoru při dalším zvyšování už jen frekvencí, protože napětí je již maximální a dochází k odbuzování stroje. Tento typ rozběhu se používá i pro řízení otáček stroje. Použitím frekvenčního měniče lze jednoduše měnit otáčky motoru, měnit rychlost rozběhu a doběhu (omezí se tím proudový náraz), měnit směr otáčení apod. [1][32]

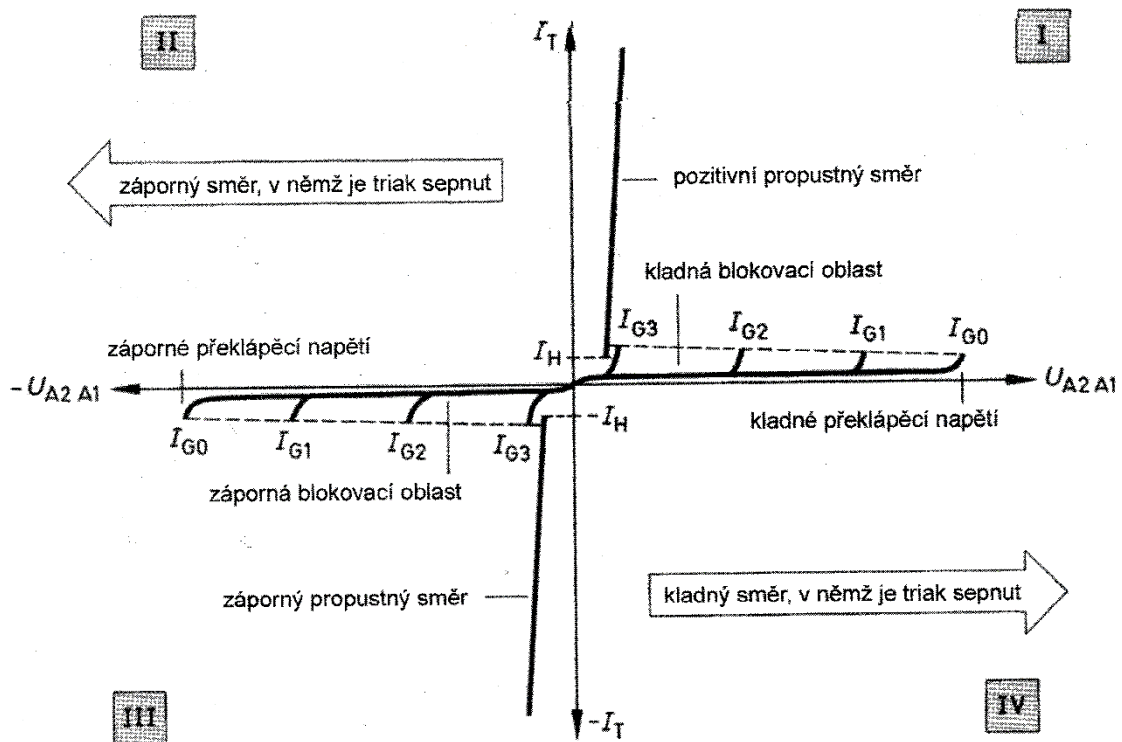
1.4 Součástky použité ve výkonové části

1.4.1 Triak

Triak je polovodičová součástka, která svým uspořádáním jednotlivých vrstev může být považována za antiparalelní zapojení dvou tyristorů. Jedná se o bipolární součástku, kterou je možné sepnout proudovým impulzem do řídicí elektrody. Oproti tranzistorům je ale triak sepnut až do doby nulového napětí. Triak je pětivrstvá nesymetrická součástka.



K tomu aby triak sepnul je potřeba mít na hlavních elektrodách dostatečně velké napětí, a na řídicí elektrodu musí být ve správný okamžik přiveden proudový impulz, který bude větší, než je minimální proud pro sepnutí triaku. Poté co se triak sepne, zůstává v sepnutém stavu do doby, kdy procházející proud na hlavních elektrodách klesne pod hodnotu vratného proudu. Uzavření triaku nastane při poklesu proudu k nule a to vždy, i když bude proud na řídicí elektrodě.



Obr. 1.6: V-A charakteristika triaku [4]

1.4.2 Snímač proudu

Existuje velké množství metod pro měření elektrického proudu. Zde si představíme tři časté metody měření proudu, což jsou bočníky, proudové transformátory a senzory s hallovou sondou.[15]

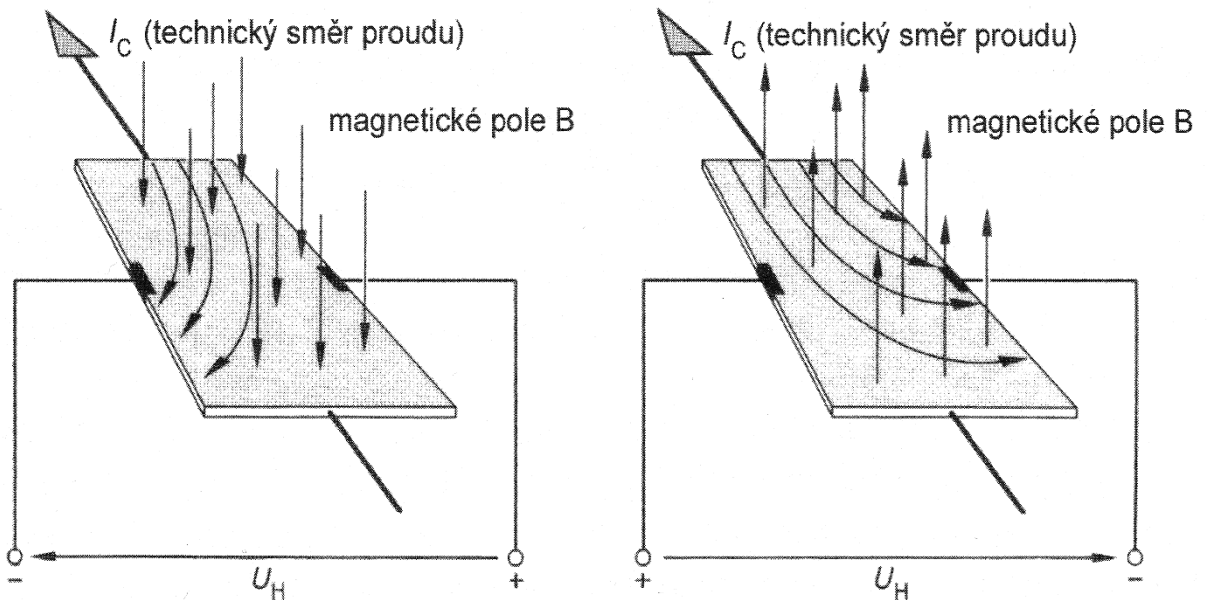
Metoda měření proudu na odpor je založena na ohmově zákoně. Proud procházející přes odpor vytváří úbytek napětí na odporu, který je poté měřen. Tato metoda není příliš vhodná, jelikož přidáváme další prvek (rezistor) do uzavřené smyčky a měřením ovlivňujeme samotný měřený proud. Snižuje se přesnost měření a v horším případě to může ovlivňovat i samotný obvod. Proto je důležité vhodně zvolit hodnotu rezistoru tak, aby byla dostatečně veliká z pohledu generovaného úbytku napětí, ale zároveň tak malá, aby příliš neovlivňovala samotný proud a také aby zahříváním samotného snímacího rezistoru se v průběhu měření příliš neměnil jeho odpor a tím i přesnost měření. Mezi hlavní nevýhody patří velký ztrátový výkon a nemožnost galvanického oddělení výkonové části od vyhodnocovací části.[15]

Další metoda pro měření proudu je proudový transformátor. Činnost proudového transformátoru je založena na principu elektromagnetické indukce. Průchodem proudu primárním vinutím se v jádře transformátoru vybudí magnetický tok Φ , který indukuje proud v

sekundárním vinutí. Napětí se transformují v přímém poměru k počtu závitů. Proudů se transformují v převráceném poměru.[14]

$$K_n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (5)$$

A třetí častou možností při měření proudu jsou senzory a hallovou sondou. Hallova sonda je tvořena destičkou se čtyřmi vývody a chová se tedy jako dvojbran. Jestliže umístíme Hallovu sondu, kterou protéká proud do magnetického pole tak aby jeho siločáry byly kolmé k destičce a tedy i ke směru procházejícího proudu, budou elektrony, které destičkou procházejí, působením magnetického pole vychylovány. Tak vznikne na jedné straně destičky nedostatek, na její druhé podélné straně naopak přebytek elektronů. Mezi oběma Hallovými vývody se tak objeví Halovo napětí U_H . [4]



Obr. 1.7 : Závislosti mezi řídicím proudem I_C , magnetickou indukcí B a Hallovým napětím U_H [4]

Velikost Hallova napětí je určena vztahem

$$U_H = \frac{R_H}{d} * I_C * B \quad (6)$$

kde: U_H [V] = Hallovo napětí

R_H [m^3/As] = Hallův činitel

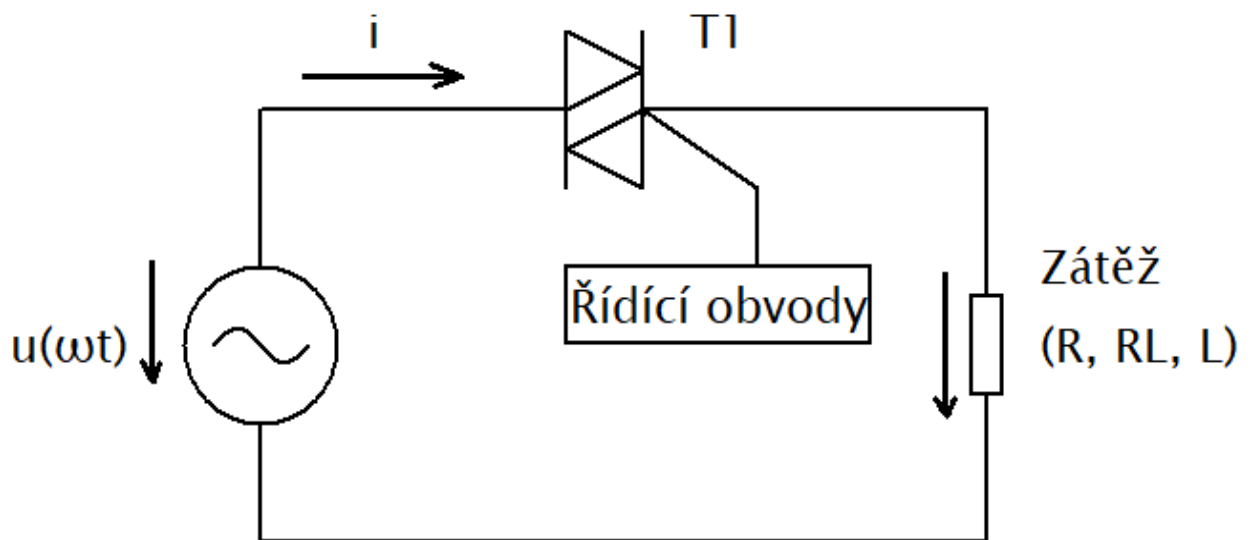
I_C [A] = řídicí proud

B [T] = magnetická indukce

d [m] = tloušťka vrstvy polovodiče

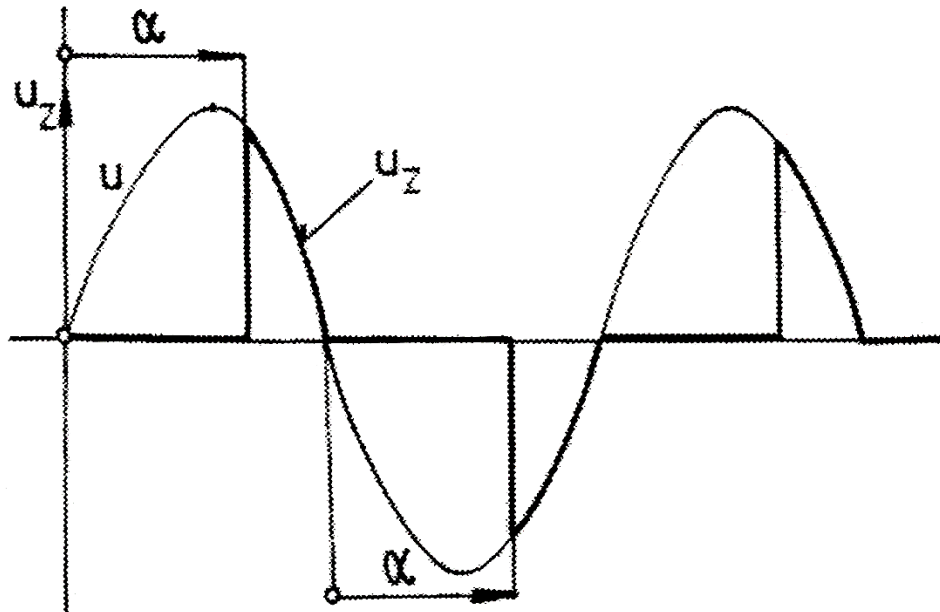
1.5 1 fázový soft-startér

Soft-startér neboli měkký start je většinou střídavý měnič napětí, který se používá k řízení napětí (tedy i proudu a výkonu) u střídavé zátěže pouze po dobu rozběhu za účelem snížení rozběhového proudu nebo momentu. K řízení napětí zátěže se používají dva antiparalelně zapojené tyristory nebo jeden triak viz. obrázek 1.8. Vhodným řízením polovodičových součástek můžeme zvyšovat/snižovat efektivní hodnotu napětí a tím i proud a moment. Tento princip se obecně používá pro řízení výkonu, momentu, otáček, elektrotepelných spotřebičů (el. odporové pece, domácí spotřebiče), pro řízení výkonu indukčních motorů menších a středních výkonů (ventilátory, čerpadla, jeřáby) a drobné pohony s komutátorovými motory (náradí, vysavače apod.).[3]

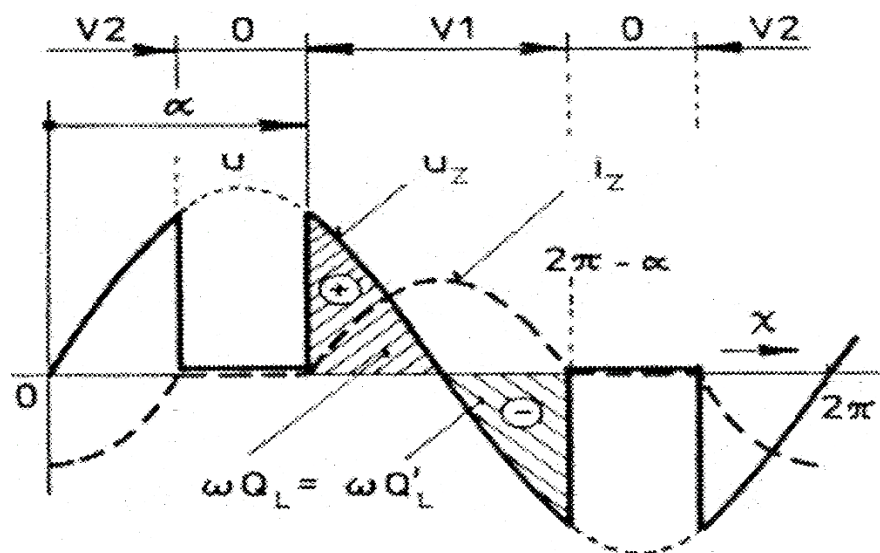


Obr. 1.8: Schématické zapojení soft-startéru, převzato z [3]

Soft-startér může být jednofázový nebo třífázový s připojenou zátěží typu R, RL nebo L. Podle charakteru zátěže se volí úhel řízení α , který je pro odporovou zátěž ($0^\circ; 180^\circ$) a pro RL zátěž ($90^\circ; 180^\circ$). Snížení velikosti úhlu řízení u RL zátěže je způsobeno fázovým posunem proudu, které způsobuje vypínání triaku až v další půlperiodě. (viz. obrázek 1.10).[3]



Obr. 1.9: Průběh napětí soft-startéru při odporové zátěži, převzato z [3]

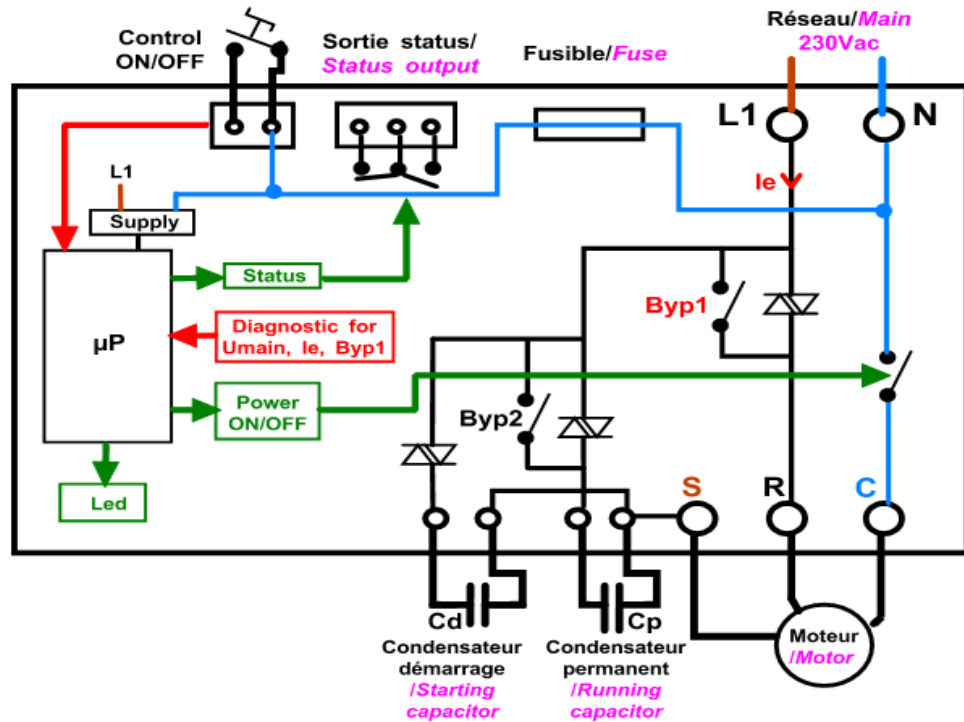


Obr. 1.10: Průběh napětí a proudu na RL zátěži, převzato z [3]

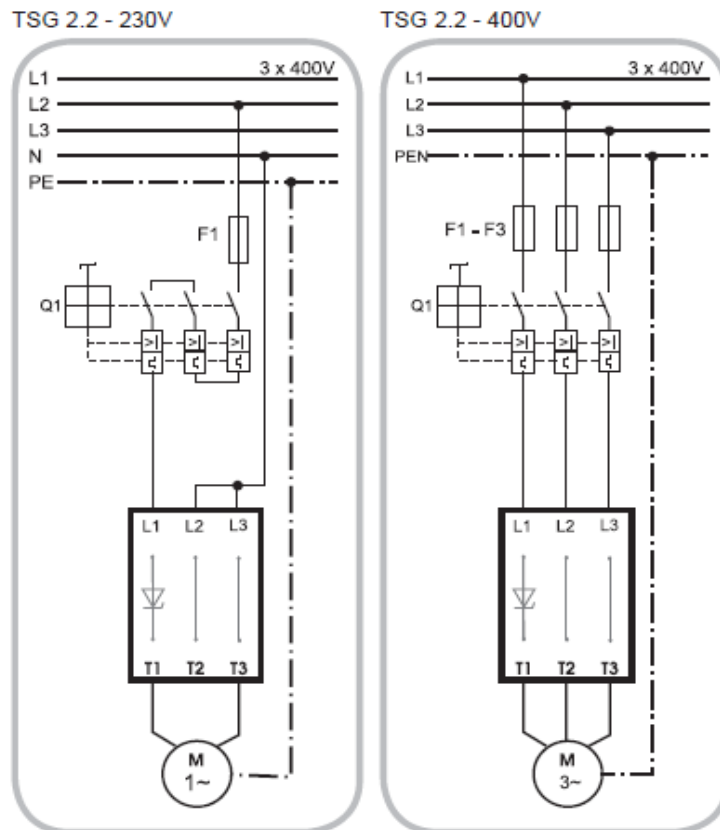
Rozběh motoru soft-startérem se provádí pomocí úhlu alfa, který je postupně snižován po zadaný čas po tzv. rampě. Po dosažení maximálního napětí je polovodič překlenut kontaktem tzv. by-pass, tím se eliminují vodivostní ztráty na polovodičích. Kromě základních funkcí je také možné implementovat další funkce, jako např. kick-start, který pro start připojí na pár ms plné napájecí napětí, tím dostaneme maximální moment pro utržení motoru z klidového stavu, následovaný zmenšeným točivým momentem pro standartní rozběh, atd.[1]

1.5.1 Soft-startéry dostupné na trhu

Na trhu je mnoho druhů soft-startérů od veliké škály různých výrobců, které se prodávají. V tomto odstavci jsou představeny některé jednofázové ale i trojfázové soft-startéry dostupné na českém trhu a některé typy elektrického nářadí, které tento typ rozběhu využívají ve svých zařízeních.



Obr. 1.11: Schéma zapojení SYMC0001[25]



Obr. 1.12: Schéma zapojení Tele TSG pro jednu nebo tři fáze [26]

1.5.1.1 Jednofázové soft-startéry do rozvaděčových skříní



Emerson CSS-25U (32U)

Provozní napětí: 230 V AC, 50/60Hz

Maximální provozní proud: 25A (32A)

Maximální startovací proud: 45A

Startér řady CSS je určen ke snížení záběrového momentu jednofázového motoru při jeho startu. Pro zvýšení záběrového momentu při startu je ve startéru vestavěn pomocný kondenzátor, který se připojí souběžně s běhovým kondenzátorem. Po rozběhu se odpojí. Napájení je průběžně kontrolováno. V případě podpětí je kompresor automaticky vypnut. Opakovaný start je možný až po určitém zpoždění a je oznamován blikající zelenou LED.[24]



Celduc SYMC0001

Provozní napětí: 190-255V AC, 50/60Hz

Maximální provozní proud: 25A

Maximální startovací proud: 45A

Výstupní ztrátový výkon: 0W (by-pass)

Maximální doba soft-startu: 600-800ms

SYMC0001 je soft-startér speciálně navržený pro motory jako jsou kompresory. Soft-startér je vybaven funkcí by-pass kde při najetí na provozní napětí dojde k přemostění tyristorů pomocí relé (by-passu). Doplněno obr. 1.11. [25]

Tele TSG



Provozní napětí: 230V AC, 50/60Hz

Maximální startovací proud: 16A (max. 5s)

Výstupní ztrátový výkon: 0W (by-pass)

Maximální výkon motoru: 1,3kW

Počet zapínacích cyklů: 30/hodina

Tele TSG je 3-fázový soft-startér, který umožňuje zapojení i pro jednofázové motory. Soft-startér je vybaven by-passem pro nulové ztráty při provozním napětí. Doplněno obr. 1.12.[26]

1.5.1.2 Třífázové soft-startéry na DIN lištu



Siemens 3RW3013

Jmenovitý napětí: 400 V/AC

Jmenovitý proud: 3.6A

Výkon: 1.5kW

Počet fází: 1,3

[27]



Schneider Electric ATS01N109FT

Jmenovité napětí 110-480V

Jmenovitý proud: 9A

Proud při jmenovitém zatížení: 45A

Výkon: 4kW 400V 3fáze

1,1kW 230V 1fáze

Ztrátový výkon: 46W při přechodném stavu

1W při plné zátěži[28]



Triakový regulátor 2200W

Maximální zátěž: 2200 W

Plynulá regulace otáček od 0 do 100%

Napájení: 230V AC 50Hz

Pracovní teplota: -20° až 70°C

Přívodní šňůra s vidlicí: 3metry

Jištěno pojistkou: 16A [30]

1.5.1.3 Elektronické omezení proudu v nářadí

Úhlová bruska BOSCH GWS 26-230 LVI Professional



Jmenovitý příkon: 2600W

Cena: 7890 Kč

Funkce: Omezovač rozběhového proudu a pozvolný rozběh, Ochrana proti opětovnému zapnutí při odpojení napájení, Rozpoznání zablokování kotouče a okamžité vypnutí brusky[29]

Úhlová bruska Makita GA5021C



Jmenovitý příkon: 1450W

Cena: 3330 Kč

Funkce: Nastavení konstantní rychlosti, Měkký start, Elektronická ochrana proti přetížení, Ochrana proti opětovnému zapnutí při odpojení napájení [23]



Kotoučová pila Makita 5104S

Jmenovitý příkon: 2100W

Cena: 12590 Kč

Funkce: Elektronické omezení rozběhového proudu, Elektronická ochrana proti přetížení[23]



Dělicí kotoučová pila na kov

Typ motoru: 230 V / 50 Hz

Výkon: 2000 W

Průměr kotouče: 355 mm

Vnitřní průměr kotouče: 25.4 mm

Otáčky: 3000 ot/min

Nastavení úhlu pokosu: 30 - 0 - 45 °[31]

2 Realizace jednofázového soft-startéru

V této kapitole je popsán návrh jednofázového soft-startéru. Pro vytvoření technické specifikace zařízení byly porovnány soft-startéry dostupné na trhu (viz kapitola 1.5.1) a podle nich byly vybrány požadované vlastnosti, od kterých se odvíjel celý vývoj soft-startéru. Zajímavostí, kterou se popisovaný soft-startér odlišuje od konkurence, je možnost automatického rozběhu popsáném v kapitole 2.5.2. Zařízení využívá displej na zobrazování důležitých informací a menu.

2.1 Technická specifikace zařízení

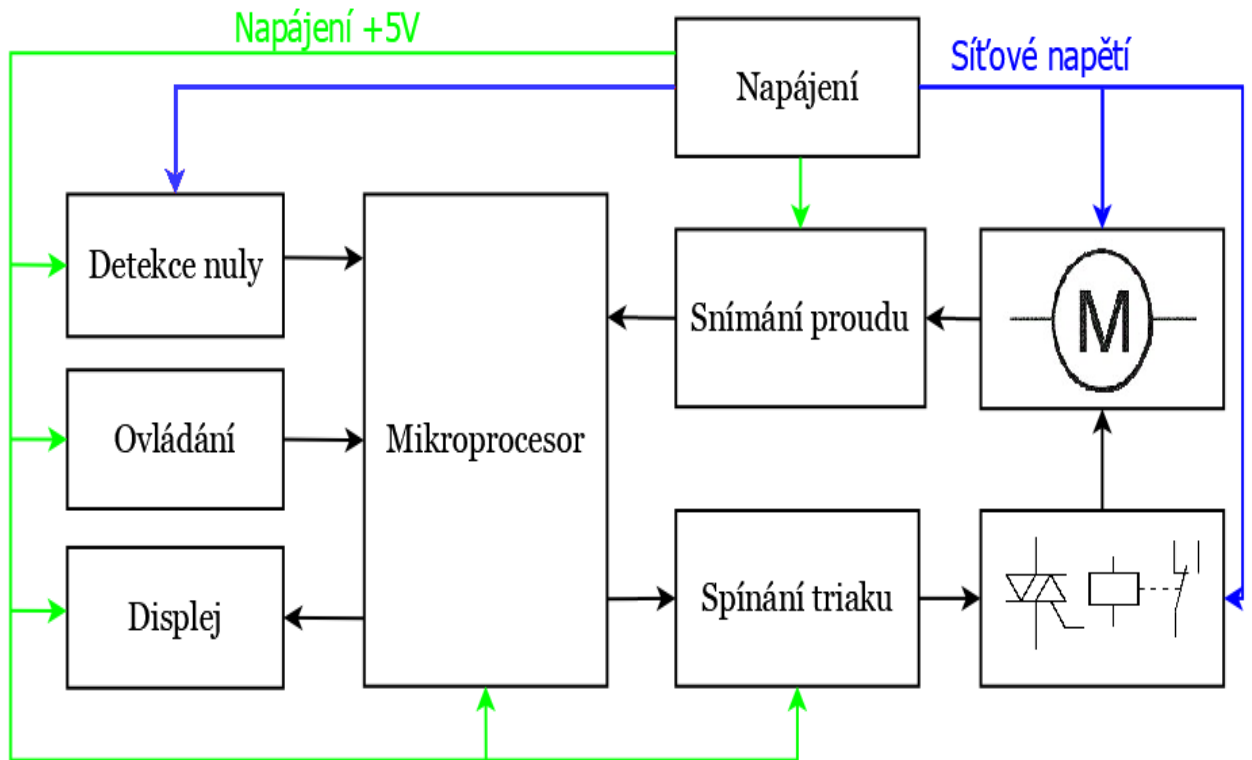
Parametry jednofázového soft-startéru	
Jmenovité napětí	230V ± 10%
Jmenovitý kmitočet	50 Hz
Maximální proud	20A (okamžitá hodnota)
Typy motorů	Asynchronní indukční, komutátorový motor
Doba rozběhu	1s - 30s
Typ rozběhu	1) Rozběh s napěťovou rampou 2) Rozběh s omezením proudu
Způsob spuštění	1) Automatické (aktivuje rozběh při detekci proudu větším než 0,6Ap) 2) Ruční (zapnutí soft-startéru pomocí tlačítka)
Nadproudová ochrana	ANO
Integrovaný bypass	ANO
Výška	120mm

Šířka	65mm
Hloubka	40mm
Hmotnost	<0,5kg
Zobrazovací jednotka	Úhlopříčka 2cm, LED 2x7-segmentového displej
Indikace stavu zařízení	LED 5mm zelená 1) Stand-by – LED nesvítí 2) Rozběh – blikání 2Hz 3) By-pass – trvalé svícení
Menu	Hlavní zobrazování režimu → AU – automatický řízení → “- -“ - ruční řízení Menu: P1 → rozběhový čas → 1s-30s P2 → maximální proud → 4-16A P3 → auto/manual → F1 = Auto → F0 = Manual P4 → rozběh → F1 = rozběh po rampě → F0 = rozběh s omezením proudu P5 → aktivace bypassu → F1 = Ano → F0 = Ne
Ovládání	Čtyři tlačítka – T1 → OK, – T2 → P procházení menu – T3 → +, START – T4 → -, STOP

Tab. 2.1: Technická specifikace soft-startéru

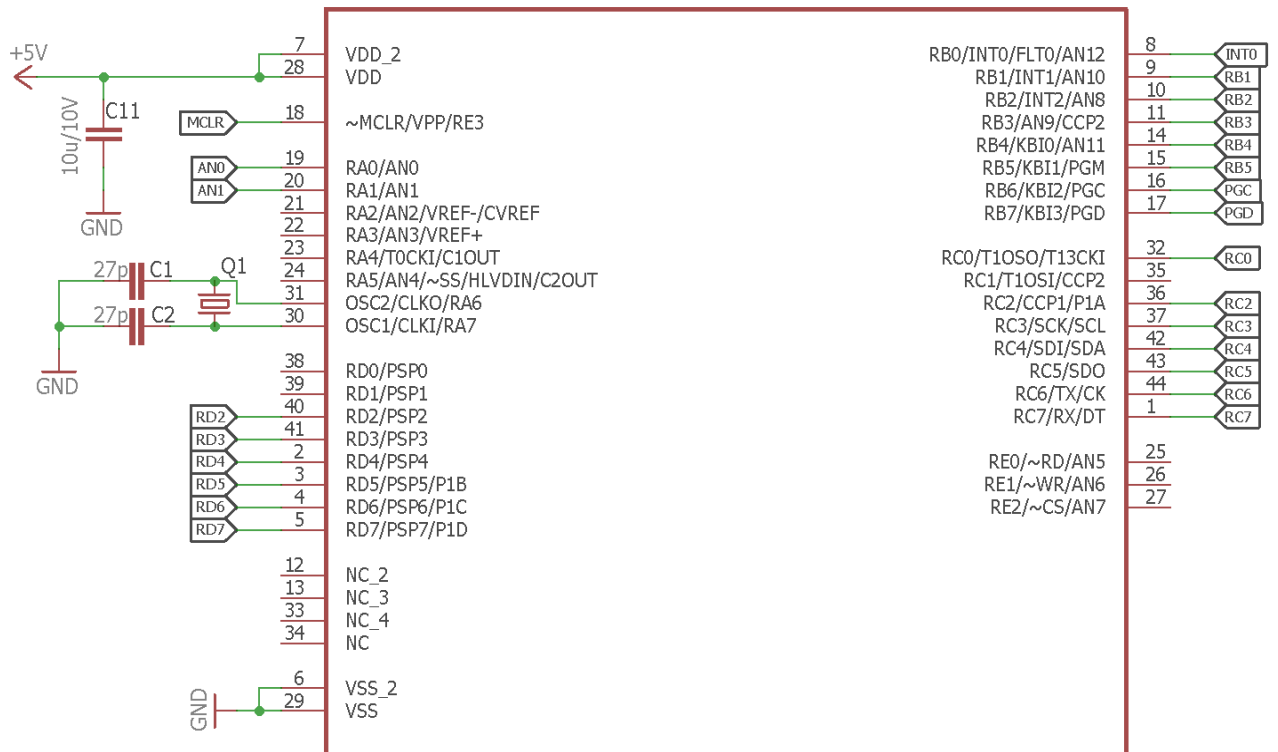
2.2 Schéma a popis soft-startéru

V této kapitole je podrobně pojednáváno o funkcích jednotlivých bloků, které jsou detekce průchodu nulou, spínání triaku a relé, snímání proudu, ovládání a také displeji viz obrázek 2.1.



Obr. 2.1: Blokové schéma jednofázového soft-startéru [19][20][21]

2.2.1 Mikroprocesor



Obr. 2.2: Schéma zapojení procesoru

Veškeré řízení se provádí pomocí mikroprocesoru. Při výběru mikroprocesoru byl dán důraz zejména na počet vstupně/výstupních vývodů, velikosti paměti FLASH, vhodných periferních obvodů, a také na kompatibilitu se SW a HW vybavení používaným na katedře KEV. Proto byl zvolen jednočipový mikroprocesor od firmy Microchip PIC18F4420. Je to 8-bitový mikroprocesor s 16kB FLASH programové paměti, 768B SRAM datové paměti, 256B EEPROM paměti což je naprosto dostačující pro vývoj celého programu pro soft-startér. Obsahuje 36 I/O vývodů, kde funkce jednotlivých vývodů je specifikovaná v tab. 2.2. Všechny vývody mají několik funkcí, které se nastavují pomocí multiplexerů uvnitř mikroprocesoru, mezi tyto přídavné funkce patří 13-ti kanálový A/D převodník, jeden 8-bitový časovač, tři 16-ti bitové časovače, dva komparátory, tři interruptové vstupy a komunikace USART.

K mikroprocesoru je připojen krystalový oscilátor o frekvenci 16MHz, od této frekvence jsou odvozeny veškeré časovače a další periferní obvody. Rychlost vykonání instrukce trvá jeden strojový takt, což jsou čtyři hodinové impulzy. Při použití 16MHz krystalu tedy trvá jedna instrukce 250ns.

pin	Název pinu	funkce	pin	Název pinu	funkce
1	RC7	Displej 7-seg	23	RA4	*
2	RD4	Displej 7-seg	24	RA5	*
3	RD5	Displej 7-seg	25	RE0	*
4	RD6	Displej 7-seg	26	RE1	*
5	RD7	Displej 7-seg	27	RE2	*
6	Vss	GND	28	Vdd	+5V
7	Vdd	+5V	29	Vss	GND
8	RB0/INT0	Detekce nuly	30	RA7/OSC1	Oscilátor 16MHz
9	RB1	Tlačítko MENU	31	RA6/OSC2	Oscilátor 16MHz
10	RB2	Tlačítko MENU	32	RC0	Spínání relé
11	RB3	Tlačítko MENU	33	NC	*
12	NC	*	34	NC	*
13	NC	*	35	RC1	*
14	RB4	*	36	RC2	Tlačítko MENU
15	RB5	*	37	RC3	LED signalizace
16	RB6	PGC	38	RD0	*
17	RB7	PGD	39	RD1	*
18	RE3	*	40	RD2	Multiplex 7-seg. LED
19	RA0/AN0	Snímání proudu	41	RD3	Multiplex 7-seg. LED
20	RA1	Spínání triaku	42	RC4	Displej 7-seg
21	RA2	*	43	RC5	Displej 7-seg
22	RA3	*	44	RC6	Displej 7-seg

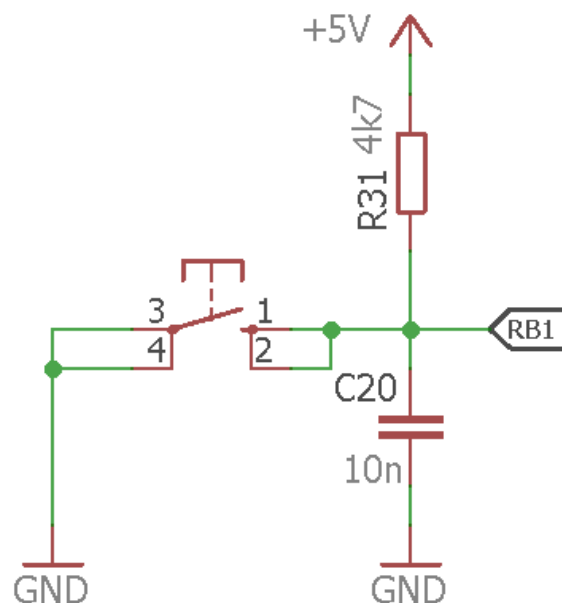
„*“=nezapojený vývod

Tab.2.2: Funkce jednotlivých vývodů u mikroprocesoru PIC 18F4420

2.2.2 Ovládání

Nedílnou součástí každého zařízení, které je třeba konfigurovat je ovládání. Menu soft-startéru je ovládáno čtyřmi tlačítky, která slouží jak k ovládání menu, tak i ke spouštění rozběhu v ručním ovládání.

Logická "1" je vytvořena odporem připojeným na 5V (pull-up). K vytvoření log."0" je zapotřebí stisknout tlačítko realizované mikrosplínačem připojeným na zem. Jelikož proud jde vždy cestou nejnižšího odporu, zvolí si cestu přes tlačítko, čímž na vývodu mikroprocesoru vytvoří log."0". Obvod ovládání je ještě vybaven kondenzátorem, který eliminuje zátkmity způsobované tlačítkem.

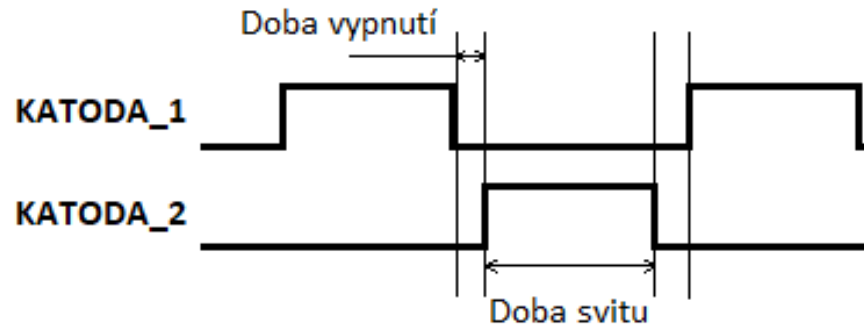


Obr. 2.3: Schéma zapojení jednoho tlačítka

2.2.3 Displej

K tomu aby bylo ovládání menu možné je zapotřebí zobrazovače, který nám umožní vizualizovat stav a konfiguraci zařízení. Proto jsem se rozhodl pro dvoumístný 7-segmentový displej ovládaný multiplexně, na kterém lze zobrazovat jak číslice, tak i některá písmena což je uživatelsky mnohem přívětivější přístup.

Aby bylo možné dosáhnout kompaktních rozměrů byla zvolena velikost s úhlopříčkou 2cm. Displej má společné katody a je řízen časovým multiplexním spínáním katod viz obrázek 2.4.



Obr. 2.4: Spínání katod časovým multiplexem

Displej má provozní napětí 1,6V při 2mA proto byly zvoleny odpory 2k Ω vypočítaný podle vztahu (7)

$$R_D = \frac{U_N - U_D}{I_D} \quad (7)$$

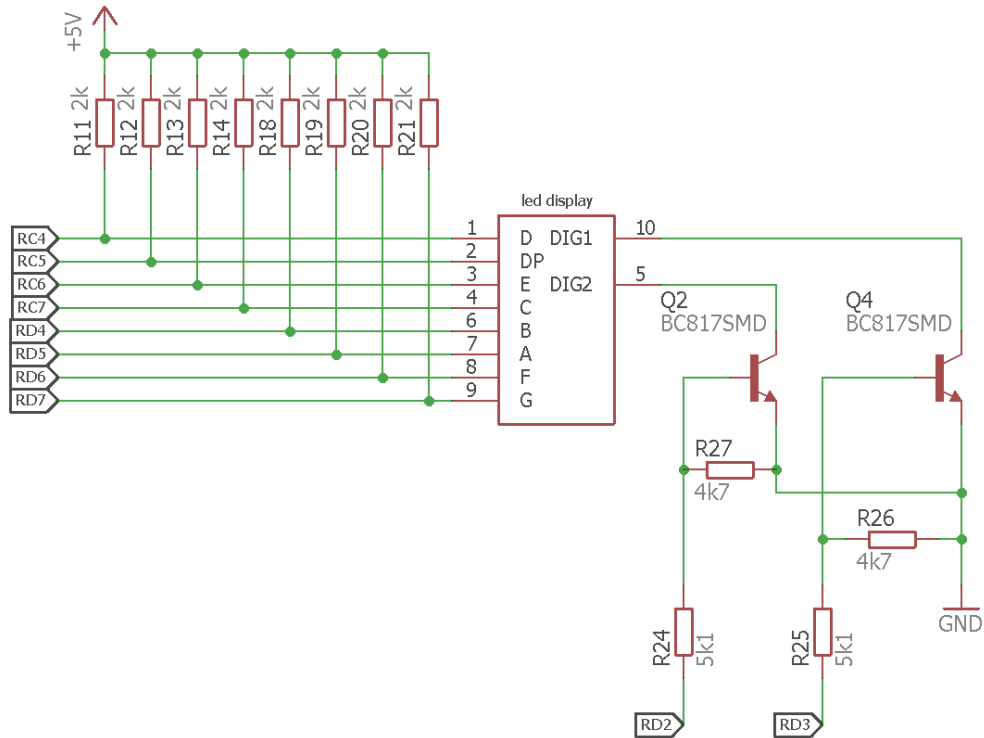
kde: R_D = předřadný odpor

U_N = napájecí napětí

U_D = provozní napětí segmentu displeje

I_D = proud segmentem displeje

Pro spínání katod bylo využito bipolárních tranzistorů BC817SMD, které jsou využívány v režimu spínače. Což znamená, že jsou buď plně otevřeny, nebo naopak plně zavřeny. Odpory R24, R25 slouží k nastavení proudu do bází tranzistorů a odpory R26, R27 jsou zapojeny pro případ, kdyby byl vývod procesoru ve stavu vysoké impedance tak aby došlo k uzavření tranzistoru i při nedefinovaném stavu viz obrázek 2.5.

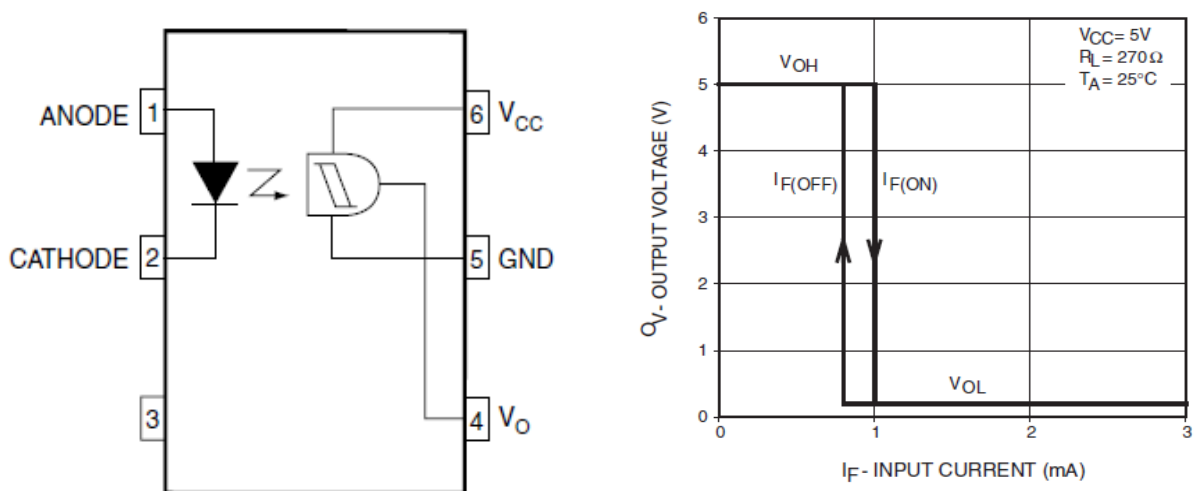


Obr. 2.5: Schéma zapojení displeje

2.2.4 Detekce nuly

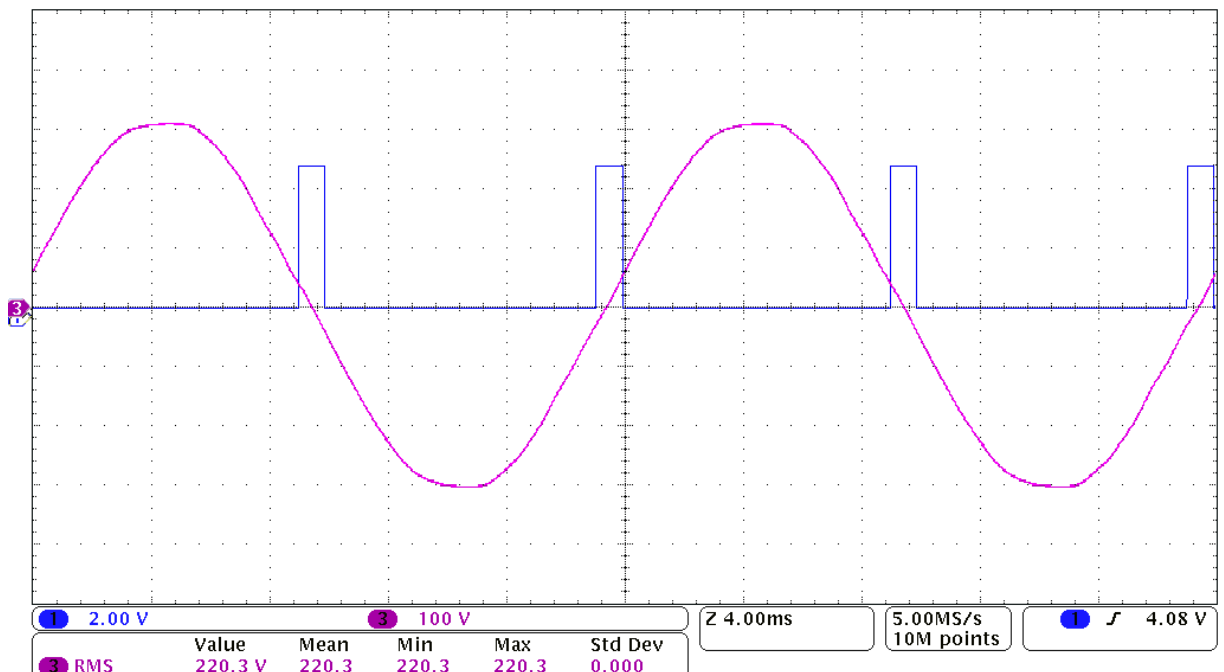
Nezbytnou součástí soft-startéru je tzv. synchronizace, která detekuje průchody nulou sinusového napětí sítě (v angličtině zero-crossing detection), protože se od tohoto okamžiku odměřuje čas zpoždění sepnutí (úhel řízení α) triaku viz obrázek 2.7.

Jelikož potřebujeme snímat střídavý napětí tak byly vybrány dva totožné optočleny od firmy Fairchild Semiconductor pod označením H11L1MS.



Obr. 2.6: Vnitřní uspořádání optočlenu H11L1 (vlevo), graf závislosti výstupního napětí O_V na vstupním proudu I_F (vpravo)

Tento typ optočlenu má v sobě hysterzní komparátor, pomocí něj získáváme, již kvalitní číslicový signál pro mikroprocesor bez nedefinovaných stavů viz obrázek. 2.5. Fialový průběh zobrazuje síťové napětí a modrý průběh je výstup označený INT0. Po dobu, kdy je jedna z diod v propustném stavu je napětí na INT0 0V ale jakmile síťové napětí klesne k nule, dojde ke zhasnutí diody. Komparátor se přeploží a na výstupu INT0 je log. "1" tedy 5V. Výstup INT0 je přiveden do mikroprocesoru, kde je zpracován (kapitola 2.5.2). Šířka pulzů je závislá na velikosti síťového napětí. Síťové napětí se může pohybovat v rozmezí $\pm 10\%$, a proto soft-startér musí v tomto rozmezí dokázat fungovat. Při napětí 210V je šířka celého pulzu 1,4ms a při napětí 250V je šířka pulzu 1,2ms. Tato šířka se musí v programu kompenzovat, to se provádí tak, že se k hodnotě alfa α přičte polovina šířky pulzu pro síťové napětí 210V. Tato zvolená hodnota odpovídá největší možné šířce pulzu, která v síti může nastat. (viz. kapitola 2.5.2).

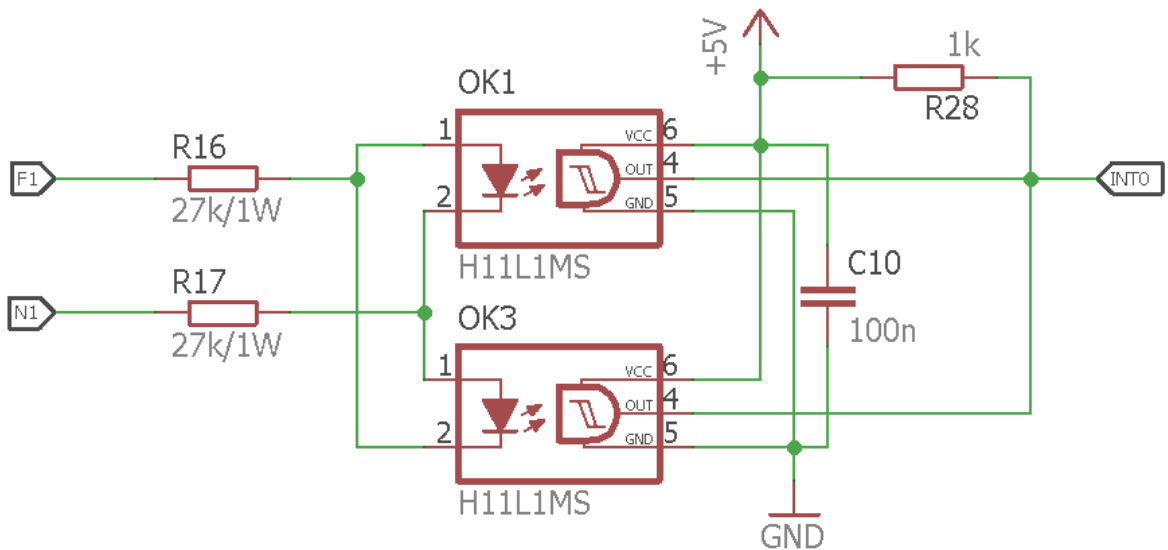


Obr. 2.7: Průběh reakce detekce nuly na síťové napětí

Samotné snímání je připojeno přímo na síťové napětí, kde k omezení proudu na prahovou hodnotu optočlenu dochází pomocí odporů R16 a R17. Velikost prahového proudu u H11L1 je podle dokumentace 2mA z důvodu zvýšení přesnosti jsem však pro výpočet odporů volil hodnotu dvojnásobnou tedy 4mA. Ze zvoleného proudu a síťového napětí už není problém vypočítat velikost odporů podle vztahu (8). Ztrátový výkon na obou rezistorech dohromady je tedy 0,928W podle vztahu (9), z tohoto důvodu byly použity dva rezistory kde každý je dimenzován na 1W. Tím se zajistí, že se rezistory nebudou zahřívat ani při dlouhodobě zapojeném zařízení.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{230}{0,004} = 57500 \approx 57k\Omega \quad (8)$$

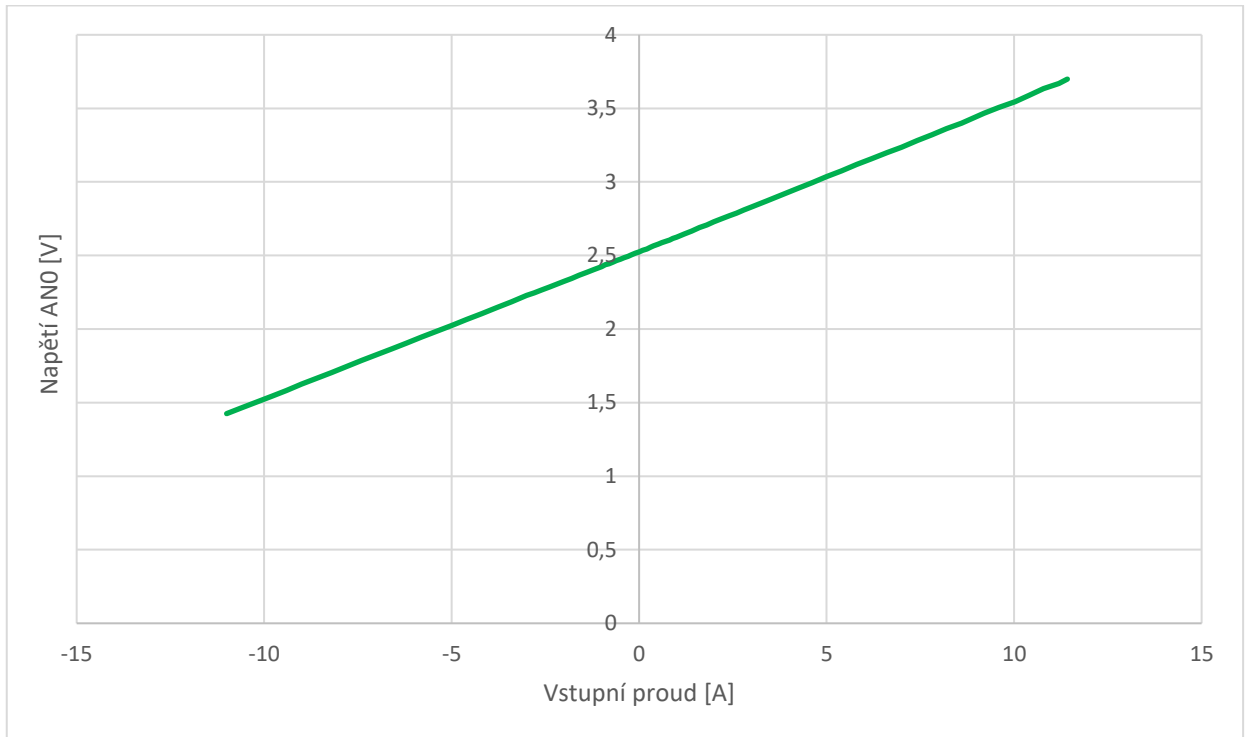
$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{230^2}{57000} = 0,928W \quad (9)$$



Obr. 2.8: Schéma zapojení pro detekování napětí při průchodu nulou

2.2.5 Snímání proudu

Pro účely soft-startéru byl vybrán snímač od firmy Allegro MicroSystems s označením ACS712-20A-T. Funguje na principu Hallova jevu, který je popsán v kapitole 1.4.2. Hallova sonda je osazena s pomocnými obvody v jednom pouzdru a připojuje se k němu pouze filtrační kondenzátor. Snímač měří stejnosměrný i střídavý proud v rozsahu $\pm 20A$, s tím že mu nedělá problém snést i vyšší proudy ty však již ale nedokáže změřit. Výstup z ACS712 je v podobě napětí, které je v rozsahu 0,5V – 4,5V. Při nulovém vstupním proudu je výstupní napětí AN0 rovno 2,5V. Citlivost převodu je 100mV/A a je lineární v celém rozsahu měření viz obr. 2.9.



Obr. 2.9: Závislost měřeného proudu na výstupním napětí VIOUT pro ACS712

Výstup AN0 je přiveden na vývod A/D převodníku kde je signál zpracováván. A/D převodník signál zpracuje a naměřenou hodnotu v podobě 10-ti bitového slova zapíše do příslušného registru. Převod trvá po dobu nabíjecí prodlevy, kdy dochází k ustálení napětí na kondenzátoru T_{ACQ} a dobu převodu. Doba nabíjecí prodlevy lze spočítat pomocí vztahu:

$$T_{ACQ} = T_{AMP} + T_C + T_{COFF} \quad (10)$$

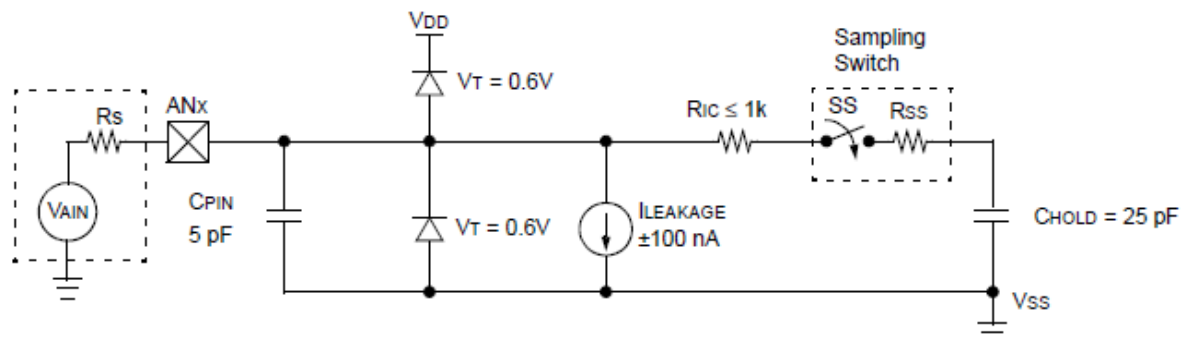
kde: $T_C = C_{HOLD} * (R_S + R_{IC} + R_{SS}) * \ln(2048) \quad (11)$

T_{ACQ} = nabíjecí prodleva

T_{AMP} = doba ustálení zesilovače ve vzorkovači

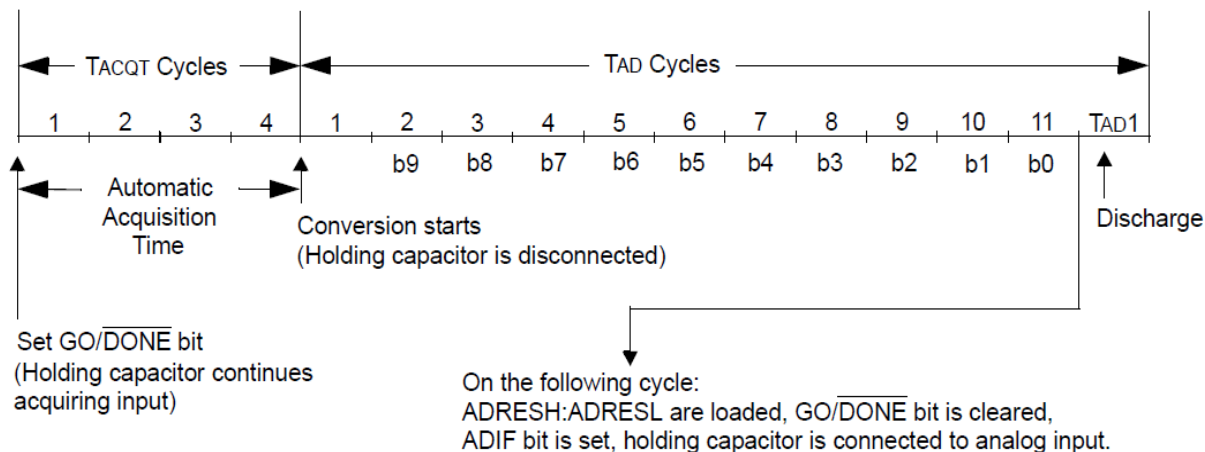
T_C = nabíjecí čas vzorkovacího kondenzátoru

T_{COFF} = teplotní koeficient



Obr. 2.10: Vnitřní zapojení jednoho analogového vstupu[22]

Po dosažení všech proměnných vychází nabíjecí čas vzorkovacího kondenzátoru $T_C = 1,6\mu s$ a tedy nabíjecí prodleva $T_{ACQ} = 3,6\mu s$ což se v programu nastaví pomocí bitů $ACQT\langle 2:0 \rangle$ na hodnotu $4T_{AD} = 4\mu s$. Celková doba převodu je $15\mu s$.



Obr. 2.11: Celková doba převodu v A/D převodníku[22]

2.2.6 Spínání triaku a relé

Spínání triaku je hlavní částí celého soft-startéru. Triak byl vybrán BTA140 od firmy Philips Semiconductors. Parametry tohoto triaku jsou $800V_{MAX}$ a $25A_{RMS}$.

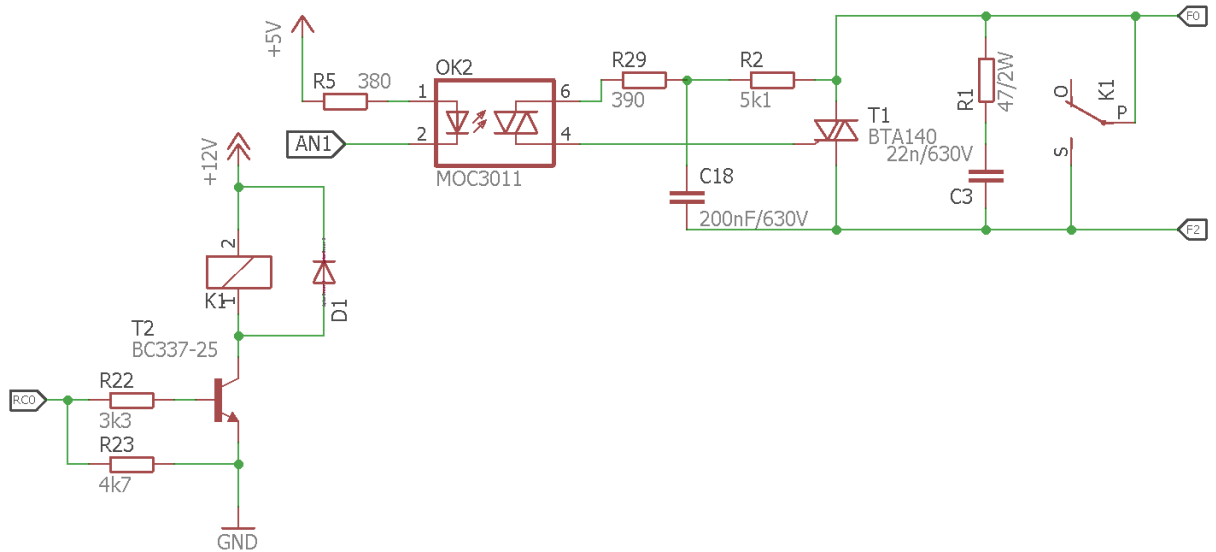
Spínání a zároveň galvanické oddělení výkonové řídicí části zajišťuje budič triaku MOC3011 od firmy Motorola. Schéma zapojení je převzato z datasheetu výrobce a uzpůsobeno pro použití na síťové napětí 230V. R_1 a C_3 tvoří tzv. RC ochranu, která omezuje přepětí na triaku a snižuje rušení při rozpínání triaku. K řízení triaku se používá fázové řízení, které při rozběhu postupně snižuje úhel alfa a tím se zvyšuje doba, po kterou zůstává triak sepnut a napětí se tím zvyšuje, viz kapitola 1.5.

Relé se spíná bipolárním tranzistorem BC337, který pracuje jako spínač. Proto se bázevý proud I_B (12) volí minimálně 4x větší než proud minimální (13). Rezistor R_{22} , který určuje proud do báze I_{BS} se vypočítá podle vztahu (14).

$$I_B = \frac{I_C}{h_{21}} = \frac{0,1}{300} = 334nA \quad (12)$$

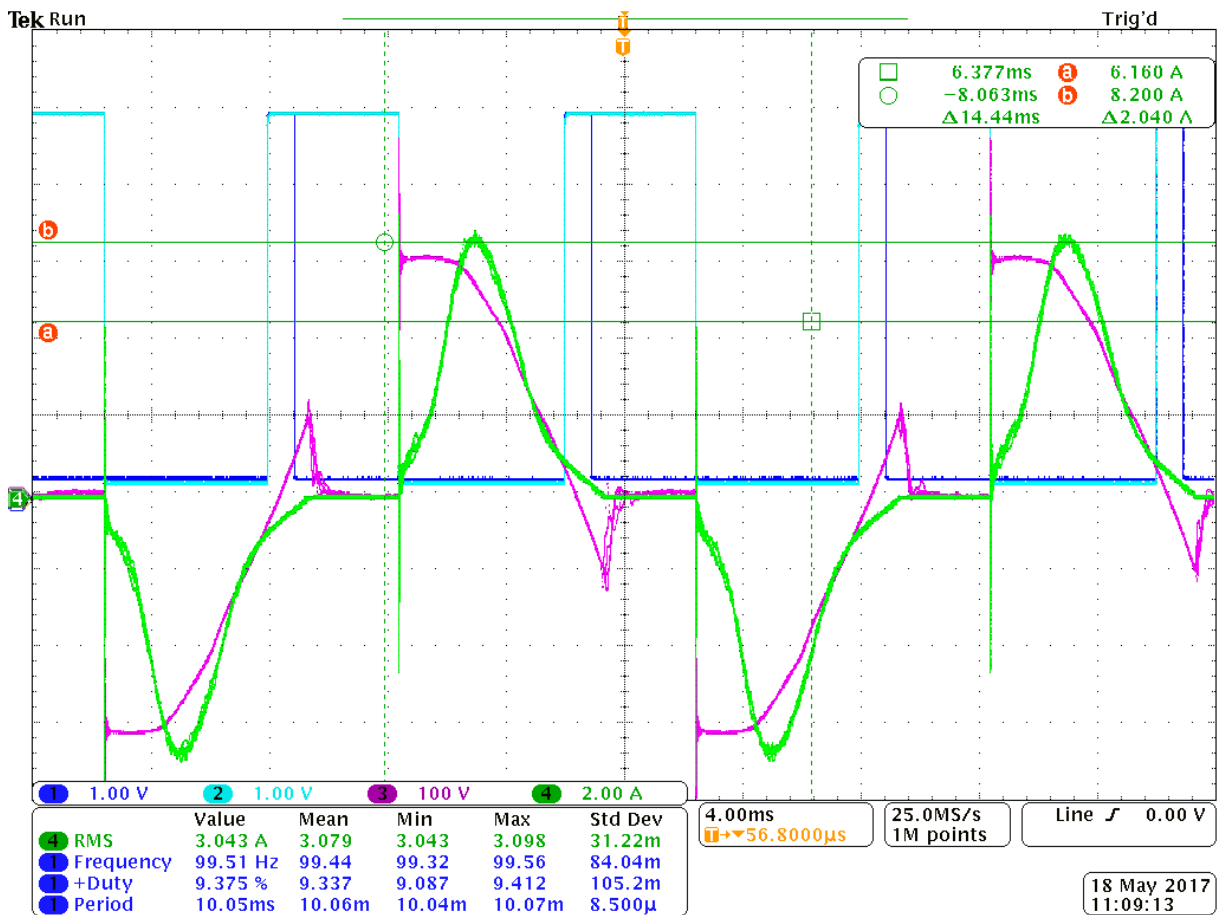
$$I_{BS} = 4 * I_B = 1,3mA \quad (13)$$

$$R_1 = \frac{U_{R1}}{I_{BS}} = \frac{(U_{CC} - U_{BE})}{I_{BS}} = \frac{(5 - 0,7)}{0,0013} = 3308 \approx 3300\Omega \quad (14)$$



Obr. 2.12: Schéma zapojení pro spínání triaku a relé

Na obr. 2.13 je vidět část rozběhu při úhlu řízení $\alpha = 67^\circ$. Jako zátěž byl použit vysavač. Tmavě modrý průběh zobrazuje impulzy ze snímače pro detekci nuly. Světle modrý průběh znázorňuje spínání triaku, které má opačnou logiku tedy při 0V je triak sepnut a při 5V rozepnut. Fialový průběh je výstupní napětí na zátěži a zelený průběh je proud zátěží. Jak je z obrázku vidět není vypnutí triaku okamžité, ale dojde k němu, až když proud zátěží klesne k nule. To že je triak vede i v části záporné půlvlny napětí způsobuje indukivní zátěž viz kapitola 1.5.



Obr. 2.13: Průběhy získané z měření na komutátorovém motoru (vysavači)

2.3 Realizace DPS

Po výběru součástek, odzkoušení jejich zapojení a vytvoření kompletního schématu zapojení viz přílohy D, E, F, přišel na řadu návrh desky plošných spojů DPS. Rozměry DPS byly odvozeny od rozměrů krabičky, kterou jsem zvolil na základě již vyráběných soft-startérů. Při rozvržení součástek jsem se snažil o oddělení silové a řídicí části s jasně definovanou izolační bariérou. V řídicí části je z převážné části využíváno součástek SMD. DPS je oboustranné s prokovenými otvory viz přílohy G, H, CH.

2.4 Popis funkce soft-startéru pro vytvoření algoritmu řízení

číslo	Název funkce	Popis funkce	Stav indikačních prvků a nastavení
1	Režim rozbíhání po rampě	Výstupní napětí je lineárně zvyšováno po přednastavenou dobu do hodnoty jmenovitého napětí. Implicitně po doběhnutí rampy je aktivován by-pass.	Volitelná funkce v menu, indikace LED dioda bliká s frekvencí 2Hz.

2	Režim rozbíhání s omezeným proudem	Měří se proud zátěže a napětí se zvyšuje tak, aby nebyla překročena přednastavená hodnota proudu (rozsah 4-16A). Pokud není dosaženo plné napětí na zátěži do přednastaveného času (rozsah 1-30s) zablokování spínání triaku, odpojí se by-pass. Vyhlášení alarmu. Opětovné spuštění je možné po resetu zařízení.	Volitelná funkce v menu, indikace LED dioda bliká s frekvencí 2Hz. V případě poruchy se na displeji objeví "r2", LED dioda nesvítí.
3	Režim startu ruční	Spuštění zařízení je možné pouze tlačítkem START. Vypnutí tlačítkem STOP. Nezávisí na režimu rozbíhání viz bod 1 a 2.	Volitelná funkce v menu. Na displeji svítí "--"
4	Režim startu automatický	Spuštění zařízení se provádí automaticky v okamžiku připojení zátěže (například stisku vypínače na ručním náradí, apod.) Detekce stavu zapnutí je prováděna čidlem proudu a prahová hodnota je 0,6Ap, To je možné za předpokladu, že se na zátěž připojí malé bezpečné napětí a proteče proud. Vypnutí zařízení se provádí automaticky při odpojení zátěže. Detekce vypnutí se provádí vzorkováním proudu po softwarově nastavenou dobu, kdy proud nesmí být větší než 0,2Ap až poté dojde k obnovení malého bezpečného napětí pro opětovnou detekci zapnutí.	Volitelná funkce v menu. Na displeji svítí "AU"
5	By-pass	Aktivace při dosažení maximálního napětí po dokončení rozběhu. Možno uživatelsky vypnout.	Volitelná funkce v menu, indikace LED dioda trvale svítí.
6	Nadproudová ochrana	Měří se proud po celou dobu práce soft-startéru a kdykoliv je překročena okamžitá hodnota proudu 20A zablokuje se spínání triaku, odpojí se by-pass. Vyhlášení	Na displeji se objeví "r1". LED dioda nesvítí.

		alarmu. Opětovné spuštění je možné po resetu zařízení.	
--	--	--	--

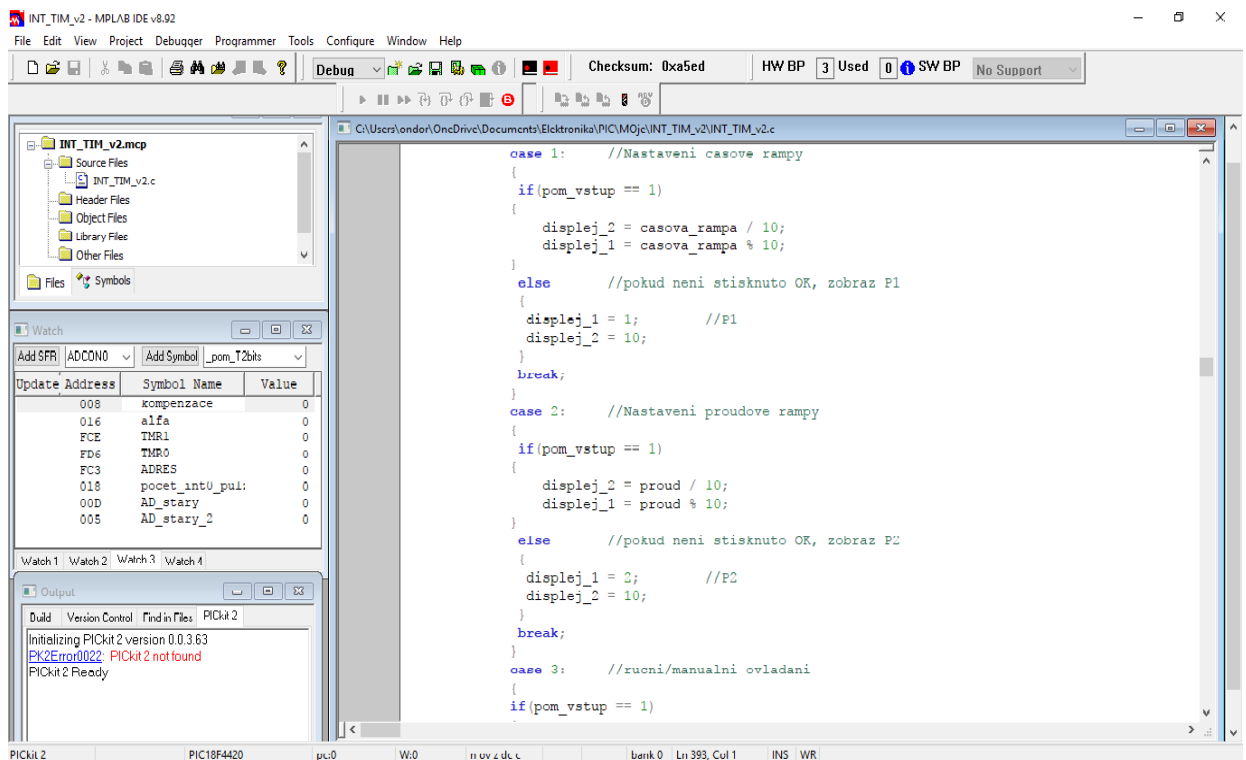
Tab. 2.3: Popis funkce pro vytvoření algoritmu řízení

2.5 Implementace algoritmu řízení

Programem jsou určeny veškeré inicializace A/D převodníku, časovačů, interruptů a vývodů. Potom samotné vykonávané instrukce zajišťují plynulost a správné fungování zařízení. Tyto věci jsou probírány v této kapitole.

2.5.1 Vývojové prostředí a nástroje

Při realizaci jsem používal SW a HW od společnosti Microchip, která je výrobcem vybraného mikrokontroléru. Vývojové prostředí se jmenuje MPLab IDE použitá verze 8.92, která je zdarma ke stažení ze stránek výrobce a lze v něm vytvářet programy v assembleru nebo v jazyce C. Kompilátor jazyka C byl použit software Hitech ve verzi PIC-18 PRO 9.66. Programování se provádí přes programátor PICKit2, který využívá sériové komunikační vstupy (MCLR, PGD a PGC). Prostředí MPLab je snadno ovladatelné a přehledné, nabízí celou řadu pomocných nástrojů, které usnadňují obsluhu například nastavení základních konfiguračních bitů, ladění programu (debugging), atd.



Obr. 2.14: Vývojové prostředí Microchip MPLab v.8.92

2.5.2 Popis dílčích částí programu

Po zapnutí soft-startéru se jako první provedou inicializace A/D převodníku (v programu pod názvem *Init_AD*), kde se nastavují registry ADCON0, ADCON1, ADCON2 pro určení referenčních napěťových úrovní, výběr nabíjecí prodlevy od $0 T_{AD}$ až po hodnotu $20 T_{AD}$, výběr analogových výstupů a zvolení frekvence A/D převodníku. Další inicializace, která se provede je inicializace časovačů a přerušení (*Init_Interrupt_Timer*) v ní jsou nastaveny předděličky pro časovače, čtení hodnoty je ve dvou 8-bitových slovech nebo v jednom 16-ti bitovém a v přerušení reakce na náběžnou nebo sestupnou hranu, výběr zdrojů přerušení. A třetí inicializace, která se provede je nastavení portů (*Init_Port*) na vstup nebo výstup pro vývody, které jsou používané A/D převodníkem musí být nastaveny na vstup a jako analogový vstup. Po dokončení těchto inicializací a nastavení výchozích hodnot se program dostává do nekonečné smyčky **while**(). V této smyčce jsou postupně procházeny veškeré podprogramy a vykonávány jednotlivé instrukce.

Podprogram s názvem *Hlídaní_Nadproudu* slouží k okamžité reakci, pokud zaznamená vyšší proud, než který je v dovolených mezích tak nahodí pomocnou proměnnou. Tato proměnná (*pom_max_proud*) provede vypnutí relé, vypnutí triaku to trvá po dobu, než triak projde nulou dříve ho není možné vypnout a na displeji zobrazí "r1". Tento stav nelze vypnout tlačítkem musí se soft-startér odpojit od napájení.

Zapnutí nebo vypnutí se využívá tlačítek nebo automatického rozpoznání rozběhu. U varianty s tlačítky je realizace zapínání v celku jednoduchá, protože stačí jeden pomocný bit (*start_stop*), kterým je rozběh spouštěn / vypínám. Automatický rozběh hlídá velikost proudu pokud je větší než $0,6A_p$ dojde k rozběhu. Jakmile ale klesne pod $0,2A_p$ a uplyne předem nastavený časový interval dojde k vypnutí. Časový interval je tam z toho důvodu, že při samotném rozběhu nebo i při sepnutém relé dochází k průchodu nulou a na tento stav nesmí automatické vypnutí reagovat.

Po zapnutí regulace se povolí přerušení od vývodu INT0, na který je přivedena detekce průchodu nulou. V podprogramu pro přerušení se vypne triak a začne se inkrementovat pomocná *počet_int0_pulzu*, která se používá při výpočtu časové rampy. *Počet_int0_pulzu* je inkrementován pouze tehdy, když proud nepřekročí stanovenou mez nastavenou v menu.

```
void interrupt preruseni (void)
{
    GIE = 0;
    if(INT0IF)                //INT0IF nutno schazovat v programu
    {
        INTOIE = 0;
        proud0 = 1;
    }
}
```

```

        SPINANI_TRIAKU = 1;    //vypnuti triaku
        if((poloauto == 1)&&(zapnuti_automaticke == 0))
        {
            pocet_int0_pulzu = 0;
        }
        else
        {
if((AD_stary<bit_hodnota_proudu[proud])&&(AD_stary_2>bit_hodnota_proudu2[proud]))
        {
            if(w<=38000)pocet_int0_pulzu++;
        }
        }
        TMR1H = 0;                //vynulovani registru => zacne pocitat od 0
        TMR1L = 0;
        TMR1ON = 1;                //start timer1
        INT0IF = 0;                //schozeni FLAG bitu na 0
        INT0IE = 1;                //povoleni preruseni od INT0
        AD_stary = 0;
        AD_stary_2 = 512;
    }
    GIE = 1;    //globalni povoleni preruseni
}

```

Samotný výpočet je prováděn ve funkci *Vypocet*, která provádí přepočítání času nastavovaného v menu (*casova_rampa*) na velikost (*LSB*) o kterou bude alfa snížena.

```

void Vypocet (void)
{
    if((poloauto == 1)&&(zapnuti_automaticke == 0)) //pouzivano pri automatickem chodu
    {
        INT0IE = 1;
        alfa = 30000;
    }
    else
    {
        q = (casova_rampa * 100); //urceni poctu moznych kroku
        LSB = (37000 / q); //hodnota o kterou budu snizovat alfu
        w = (pocet_int0_pulzu * LSB); //hodnota odecitana od max uhlu alfa
        alfa = ((37000 - w) + kompenzace); //rampa pro alfu i s kompenzací impulzu nuly
    }
}

```

Samotné spínání triaku je ve funkci *Rizeni*, kde dojde k sepnutí triaku, když *alfa* je menší než hodnota timeru 1 a zároveň dojde k zastavení a vynulování timeru 1.

```

void Rizeni (void)
{
    if (TMR1 > alfa)
    {
        SPINANI_TRIAKU = 0;    //sepnuti triaku=0, k vypnuti dojde pri int0
        TMR1ON = 0;            //stop timer1
        TMR1H = 0;            //vynulovani registru => zacne pocitat od 0
    }
}

```

```

    TMR1L = 0;
  }
}

```

2.6 Uživatelský manuál

Popis menu a nastavení parametrů	
Připojení napájení	Soft-startér je zapnut okamžitě po připojení napájení. Na displeji se zobrazí "--" což označuje, že je zařízení v ručním režimu. V tomto režimu je okamžitě možné zapnout rozběh tlačítkem označeným "+" nebo v kteroukoliv dobu vypnout tlačítkem "-".
Procházení menu	Po stisknutí tlačítka "P" se dostáváme do menu a pohybujeme se v něm opětovnými stisky tlačítka "P". Menu má pět možností výběru parametrů P1-P5. Editace vybraného parametru se provede tlačítkem OK.
Nastavení rampy	Parametr P1 slouží k nastavení délky časové rampy od 1s do 30s s možností nastavení po 1s. Změna času se provádí tlačítky označenými "+" a "-" a potvrzení nastaveného času tlačítkem "OK"
Nastavení maximální hodnoty proudu v režimu auto	Parametr P2 slouží k nastavení maximální hodnoty proudu, který při automatickém rozběhu nebude překročen. Rozsah nastavení je od 4A do 20A s nastavením po 1A. Doba rozběhu je určena časem nastavené rampy. Při překročení nastaveného času z důvodu příliš nízké hodnoty maximálního proudu dojde k ukončení rozběhu a na displeji se zobrazí "r2"
Nastavení režimu startu	Parametr P3 je výběr ručního nebo automatického režimu startu. Hodnota F0 - ruční režim (start stisknutím tlačítka "-") Hodnota F1 - automatický (start stisknutím tlačítka "+"), (detekce zapnutí zařízení je provedena připojením malého bezpečného napětí a proteče proud minimální detekovaný proud 0,6A)
Nastavení režimu rozbíhání	Parametr P4 je výběr ručního nebo automatického režimu rozběhu. Hodnota F0 - rozběh po rampě (start stisknutím tlačítka "-") Hodnota F1 - rozběh s omezeným proudem dle P2 v časovém limitu

	dle P1 (start stisknutím tlačítka “+“)
Nastavení by-pass	Parametr P5 nastavuje zapnutí nebo vypnutí by-passu. Implicitně zapnuto. Nedoručuje se měnit!

Tab.2.4: Uživatelský manuál

Chyby		
Název	Popis chyby	Zobrazení na displeji
Nadproud	Při překročení proudu 20Ap dojde k vypnutí triaku i relé a není možný už další start, nutný reset	r1
Timeout	Nastavený maximální proud v automatickém režimu je příliš nízký a není možné splnit nastavený čas rozběhu dojde k vypnutí triaku a relé, nutný reset	r2

Tab. 2.5: Popis chyby

Při nastaveném automatickém režimu je zobrazováno “AU“ a je primárně určen pro zařízení, která mají na svém těle vypínač (např. brusky, vysavače, vrtačky a další ruční nářadí). V tomto režimu nezapínáme připojené zařízení tlačítky, ale systém sám rozpozná kdy je sepnut vypínač například na brusce a začne s regulací, po vypnutí zařízení se sám opět vypne.

Zařízení je vybaveno pojistkou pro řídicí část a softwarovou ochranou proti nadproudu pro výkonovou část, která reaguje do 128 μ s, ale k úplnému vypnutí dojde, až když proud triaku klesne k nule což je rychlejší než jistič, ale soft-startér stačí vytáhnout z napájení a opět připojit.

3 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnutí, naprogramování a odzkoušení funkčního vzorku jednofázového soft-startéru. Velkou předností tohoto vzorku oproti soft-startérům dostupným na trhu je možnost automatického spouštění rozběhu použitelného pro všechny typy domácích spotřebičů, které mají vypínač. Pro zajištění rozběhu zařízení není nutné zasahovat do elektroinstalace a měnit hodnoty nebo charakteristiky již instalovaných jističů. Podařilo se mi navrhnout plošný spoj, ze kterého bude vyrobeno zařízení, které již bude schopné každodenního používání. Vzorek se podařilo vytvořit s deklarovanými parametry a jejich správnost byla ověřena řadou měření a experimentů.

Během vývoje soft-startéru jsem narazil na dvě části, které by bylo možné v budoucnu vylepšit. První věc, která by stála za vyzkoušení je využití grafického displeje. Jelikož se postupem ukázalo, že by bylo výhodné stále vidět nastavené hodnoty proudu a času a případně i graficky rozlišit v jakém stádiu rozběhu se soft-startér nachází hlavně u dlouhých nastavených časů. A druhou věcí na další vývoj je změna pouzdra ze 44 vývodového na 28 vývodový. Protože během vývoje se počítalo s větším počtem použitých vývodů, které ale po odzkoušení nebyly plně využity a počet potřebných vývodů se snížil na tolik, že by bylo možné využít menší pouzdro.

4 Seznam literatury a informačních zdrojů

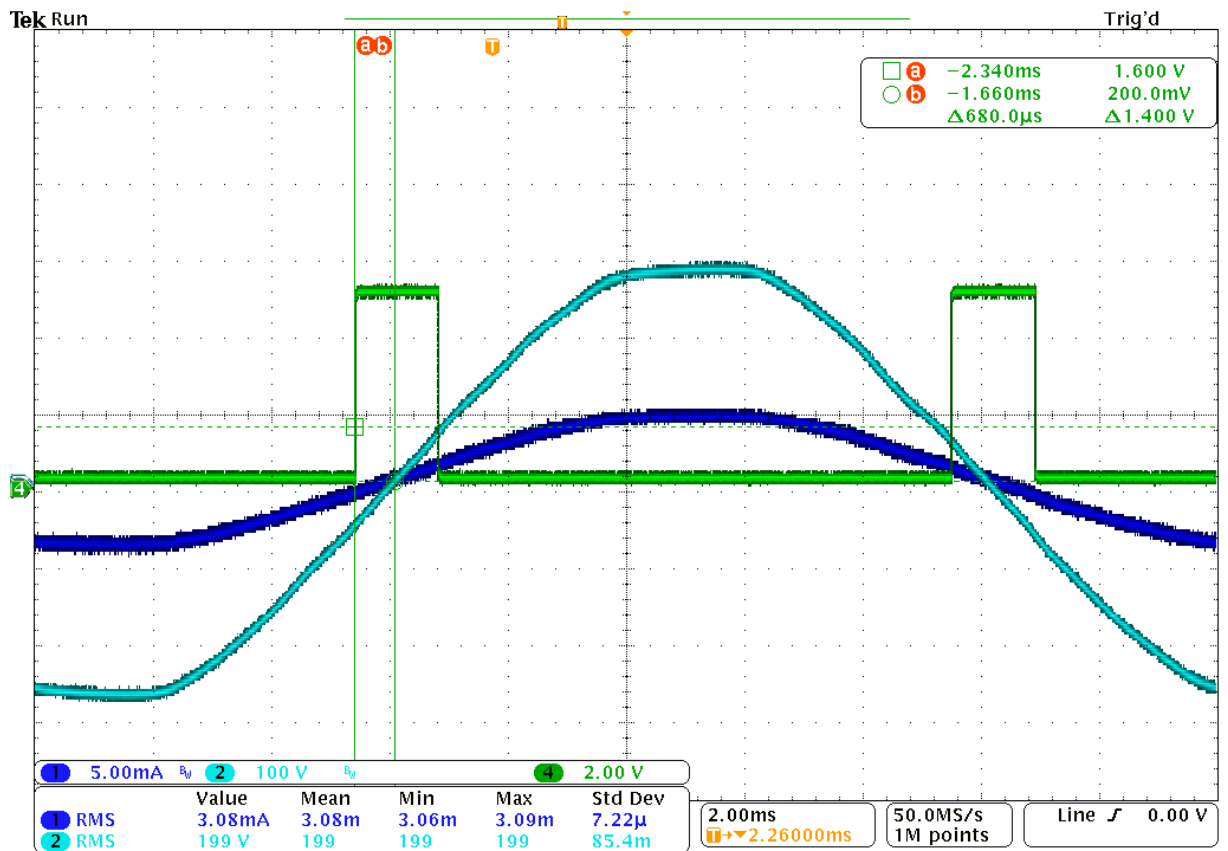
- [1] ROUBÍČEK, Ota. *Elektrické motory a pohony: příručka techniky, volby a užití vybraných druhů*. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-092-X.
- [2] MĚŘIČKA, Jiří, Václav HAMATA a Petr VOŽENÍLEK. *Elektrické stroje*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02109-2.
- [3] KŮS, Václav. *Elektrické pohony a výkonová elektronika*. Druhé vydání. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2016. ISBN 978-80-261-0639-5.
- [4] FROHN, Manfred. *Elektronika: polovodičové součástky a základní zapojení*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-123-3.
- [5] MATOUŠEK, David. *C pro mikrokontroléry PIC: práce s PIC18F452 a PIC18F1220 v jazyce C*. Praha: BEN - technická literatura, 2011. μ C & praxe. ISBN 978-80-7300-413-2.
- [6] BARTOŠ, Václav. *Elektrické stroje*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2006. ISBN 80-7043-444-9.
- [7] FLAJTINGR, Jiří a Lumír KULE. *Elektrické pohony se střídavými motory a polovodičovými měniči*. 2., upr. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2005. ISBN 80-7043-354-x.
- [8] JAVŮREK, Jiří. *Regulace moderních elektrických pohonů*. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0507-9.
- [9] FyzWeb - Jak funguje vysavač. [online]. Dostupné z: http://fyzweb.cz/clanky/index.php?id=90&id_casti=31
- [10] [online]. Copyright © [cit. 03.06.2017]. Dostupné z: <http://web.sstzr.cz/download/cat1/elektrotechnika/ez5-komutatorove-stroje.pdf>
- [11] [online]. Copyright © [cit. 03.06.2017]. Dostupné z: <http://fei1.vsb.cz/kat430/old/Studium/Materialy/VS/kap25.pdf>

- [12] Elektromagnetické relé | Učíme v prostoru - Encyklopedie Rodinný dům. Učíme v prostoru - vzdělávací 3D encyklopedie [online]. Dostupné z: http://uvp3d.cz/dum/?page_id=2619
- [13] Elektromagnetické relé :: MEF. Fyzika :: MEF [online]. Copyright © 2006 [cit. 03.06.2017]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/298-elektromagneticke-rele>
- [14] PETROV, G. N. Elektrické stroje 1 : Úvod - transformátory . 1. vyd. Praha : Academia, 1980. 385 s.
- [15] Integrované senzory proudu a problematika použití – 1.část | Automatizace.HW.cz. Automatizace.HW.cz | Elektronika v automatizaci [online]. Copyright © 1997 [cit. 03.06.2017]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/integrované-senzory-proudu-a-problematika-pouziti-1cast>
- [16] Elektrotechnická měření. Praha: BEN - technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-022-9.
- [17] PINKER, Jiří. Mikroprocesory a mikropočítače. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-110-1.
- [18] KREJČÍŘÍK, Alexandr. Lineární napájecí zdroje. Praha: BEN - technická literatura, 2001. ISBN 80-7300-002-4.
- [19] Elektromagnetické relé – Wikipedie. [online]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_rel%C3%A9
- [20] Triak – Wikipedie. [online]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Triak>
- [21] Elektromotor – Wikipedie. [online]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromotor>
- [22] Home | Microchip Technology Inc.. Home | Microchip Technology Inc. [online]. Copyright © Copyright 1998 [cit. 04.06.2017]. Dostupné z: <http://www.microchip.com/>
- [23] Úvodní stránka | Makita spol. s r.o.. Úvodní stránka | Makita spol. s r.o. [online]. Copyright © [cit. 04.06.2017]. Dostupné z: <https://www.makita.cz/>

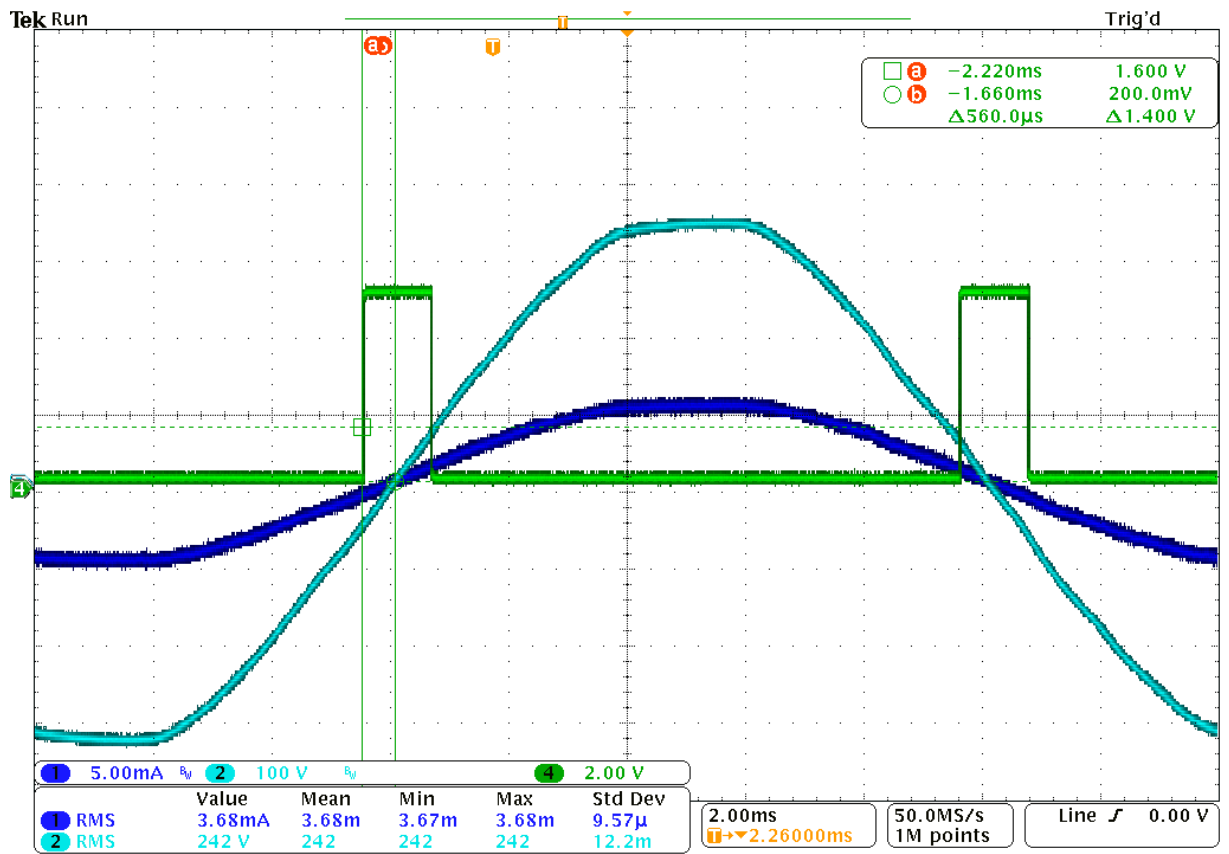
- [24] Document Moved [online]. Copyright © [cit. 04.06.2017]. Dostupné z: http://www.emersonclimate.com/europe/ProductDocuments/AlcoLiterature/EN_CS_S%20TB.pdf
- [25] Home - celduc® relais [online]. Copyright © [cit. 04.06.2017]. Dostupné z: <http://www.celduc-relais.com/wp-content/PDF/SYMC0001.pdf>
- [26] Tele - mehr Sicherheit mit Überwachungslösungen, Zeitrelais, Lastwächter [online]. Dostupné z: https://www.tele-online.com/resources/data-sheets/en_tsg.pdf
- [27] Home - English - Siemens Global Website. [online]. Copyright © Siemens AG, 1996 [cit. 04.06.2017]. Dostupné z: <https://www.siemens.com/global/en/home.html>
- [28] Globální specialista na efektivní hospodaření s energiemi a průmyslovou automatizací | Schneider Electric. 301 Moved Permanently [online]. Copyright ©2016, Schneider Electric [cit. 04.06.2017]. Dostupné z: <http://www.schneider-electric.cz/cs/>
- [29] Bosch in Czech Republic | Bosch Czech Republic . Document Moved [online]. Copyright © Robert Bosch odbytová s.r.o. [cit. 04.06.2017]. Dostupné z: http://www.bosch.cz/en/cz/startpage_7/country-landingpage.php
- [30] TR20 - triakový regulátor 2200W. 301 Moved Permanently [online]. Dostupné z: <http://barelygrow.com/cs/controladores-de-potencia/1036-tr20-triakovy-regulator-2200w.html>
- [31] MT 140 - dělicí kotoučová pila na kov-Kotoučové pily. Pily - řezání dřeva i kovu [online]. Copyright © 2008 [cit. 04.06.2017]. Dostupné z: <http://www.pily-obchod.com/pily/pily-na-kov/kotoucove-pily-na-kov/30050-mt-140-delici-kotoucova-pila-na-kov.htm>
- [32] Zapojení a základní nastavení frekvenčního měniče - mylms. mylms [online]. Copyright © mylms.cz 2006 [cit. 07.06.2017]. Dostupné z: <https://www.mylms.cz/text-zapojeni-a-zakladni-nastaveni-frekvencniho-menice/>

5 Přílohy

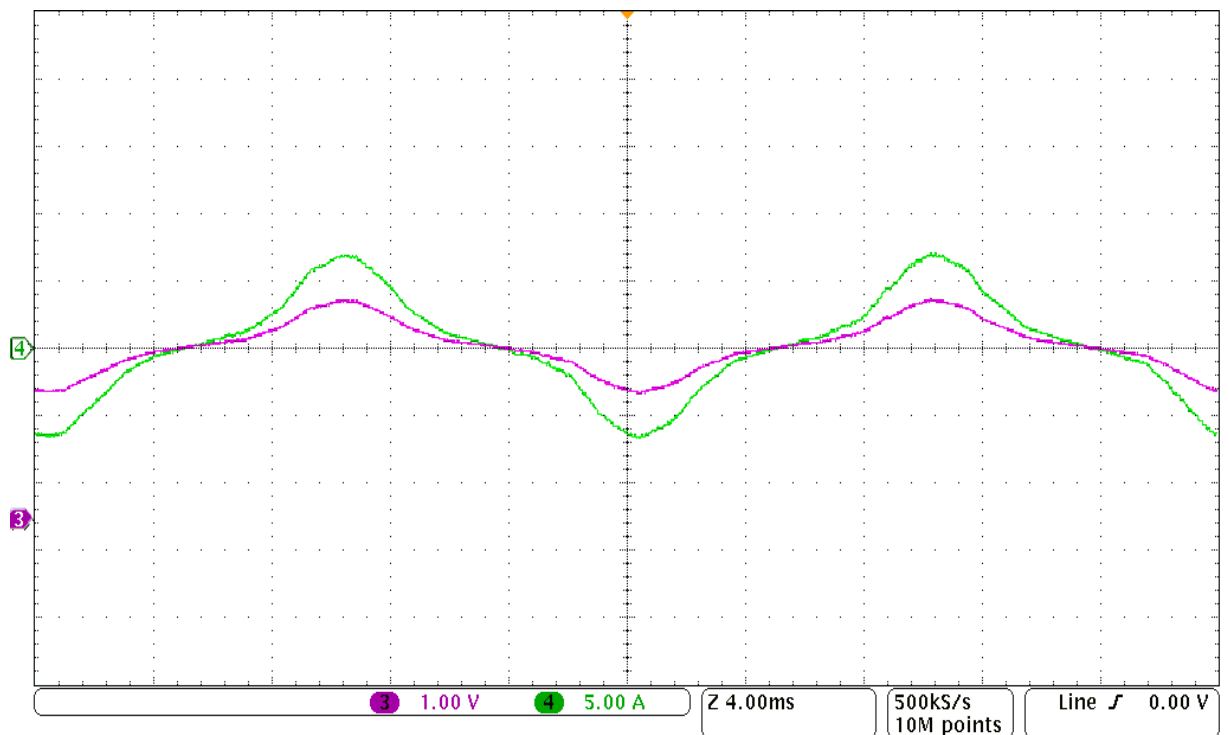
Příloha A – Zelená výstup INT0 od detekce nuly, světle modrá síťový napětí pro 199V, tmavě modrá proud na vstupu detekce nuly



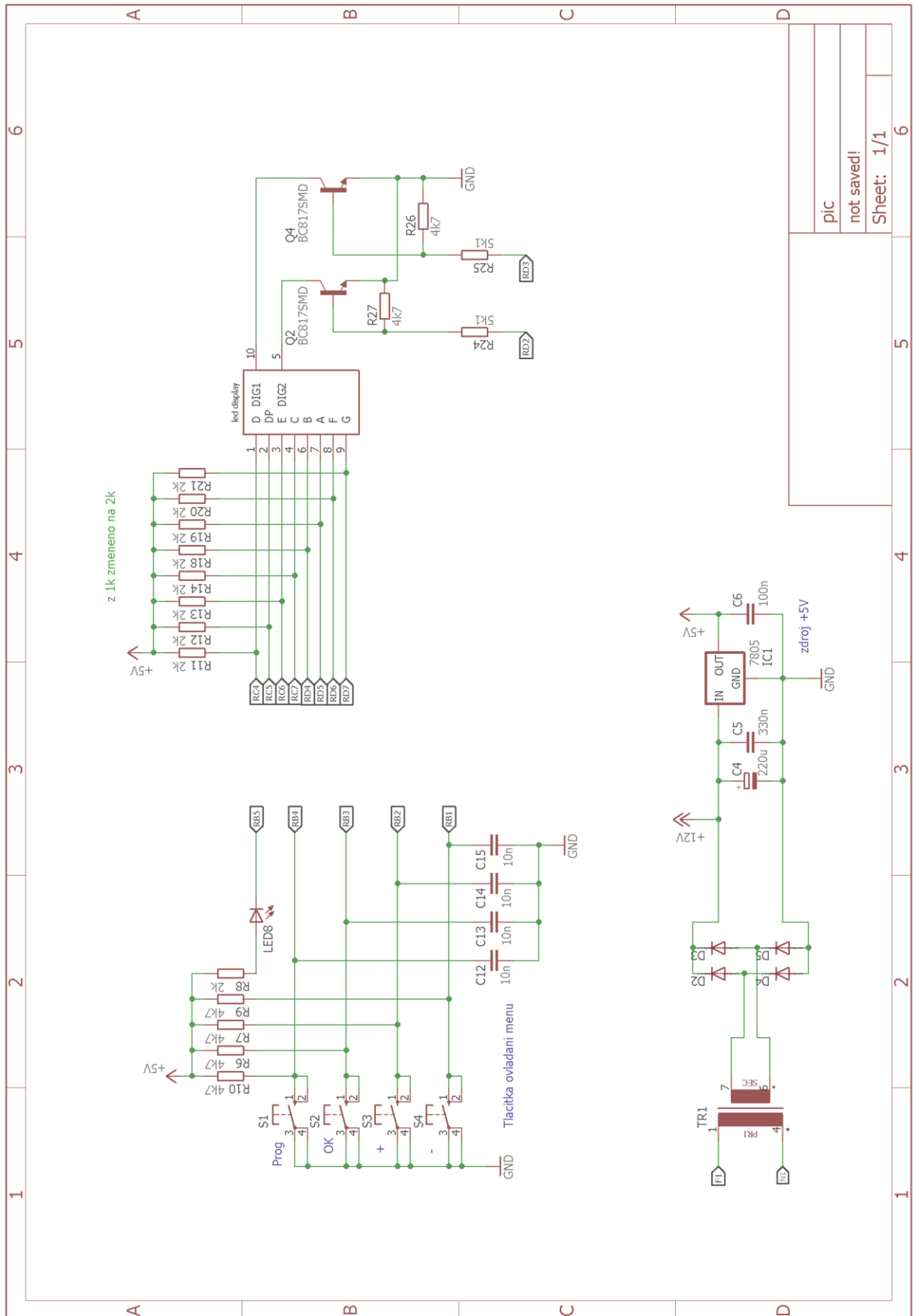
Příloha B - Zelená výstup INT0 od detekce nuly, světle modrá síťový napětí pro 242V, tmavě modrá proud na vstupu detekce nuly



Příloha C – Zelená proud na zátěži, fialová výstupní napětí ze snímače proudu AN0

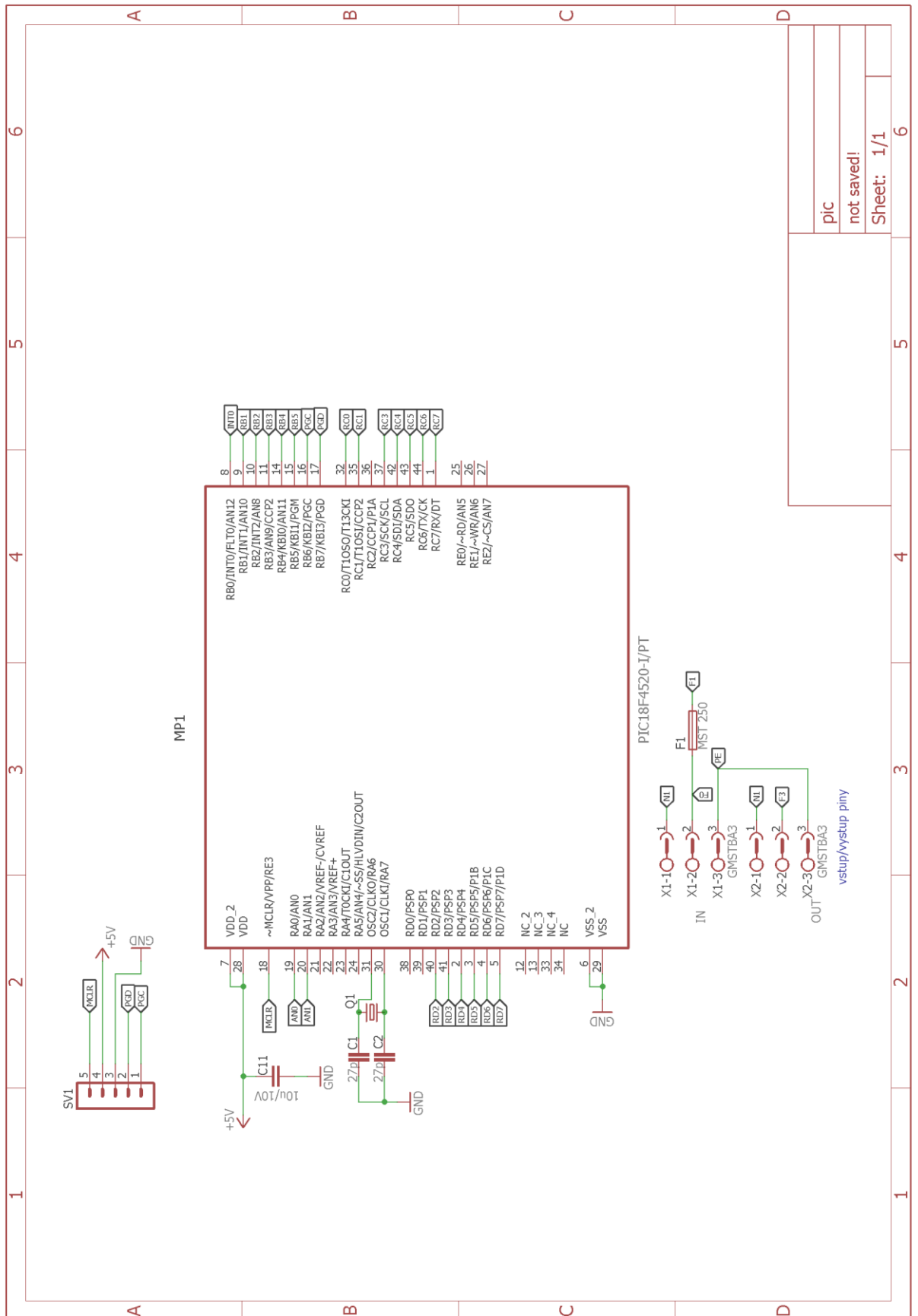


Příloha D – Schéma zapojení tlačítek, displeje, zdroje

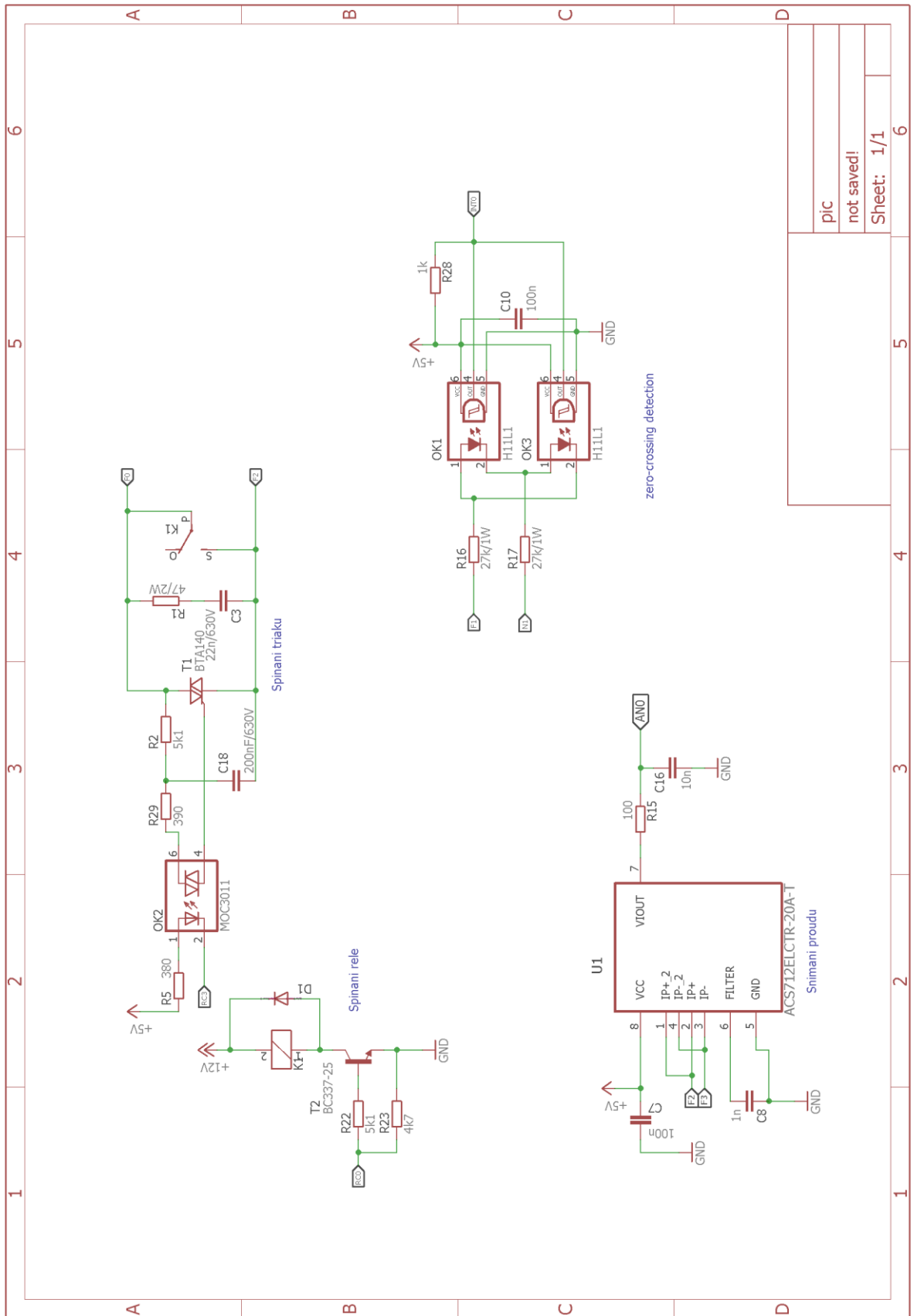


pic	
not saved!	
Sheet:	1/1

Příloha E - Schéma zapojení mikroprocesoru, připojení PICkit2, napájecí svorky

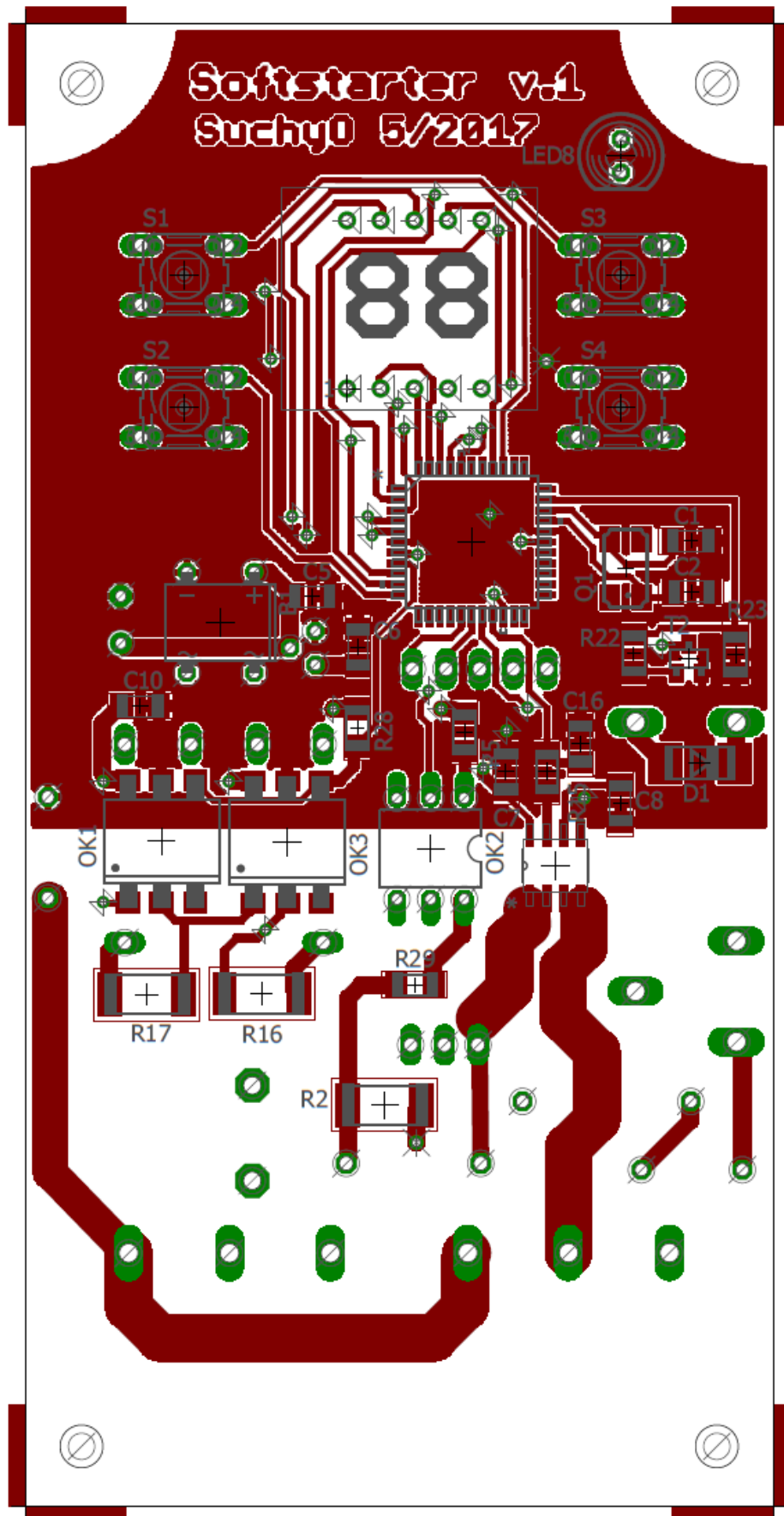


Příloha F - Schéma zapojení spínání triaku a relé, detekce nuly, snímače proudu

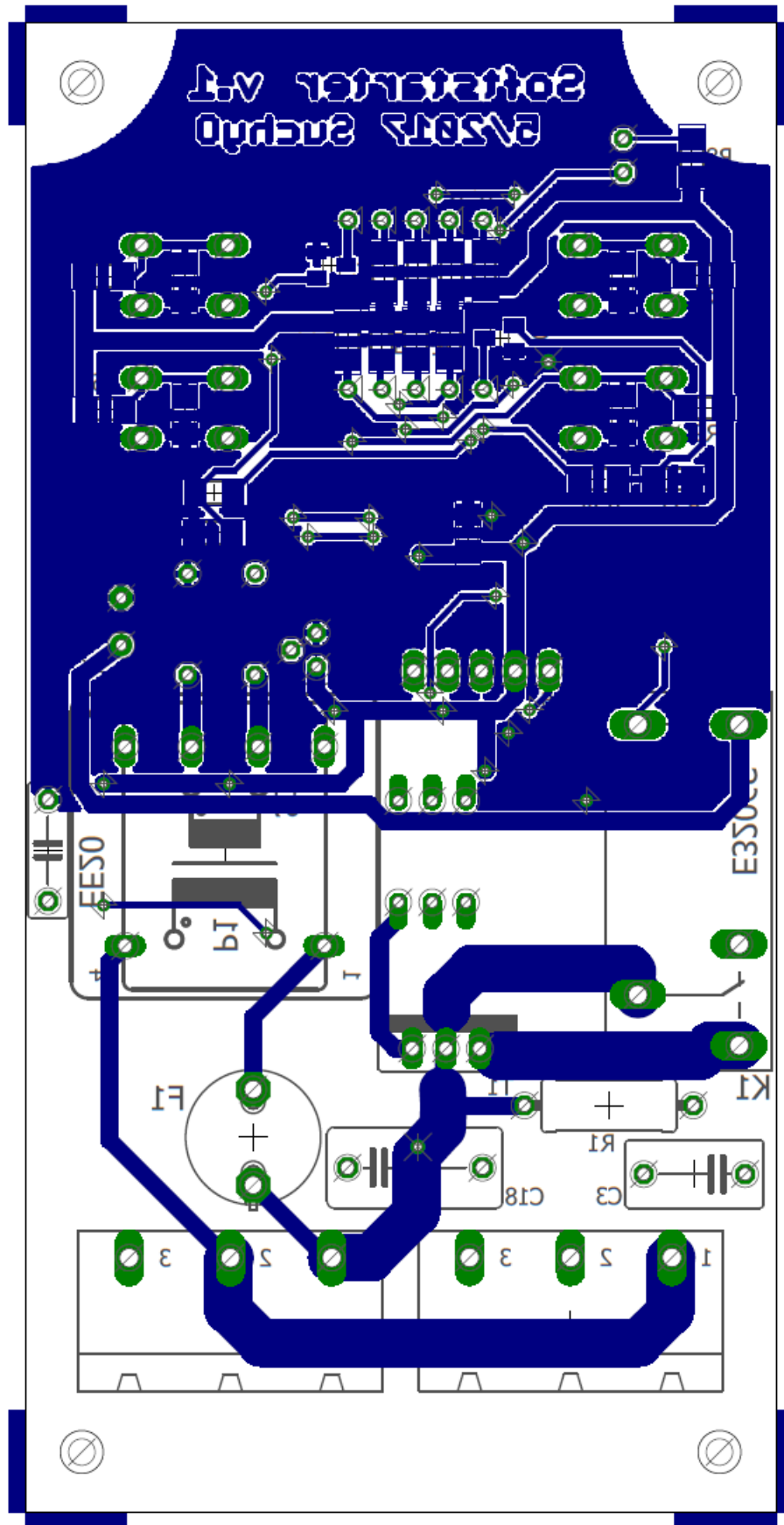


pic	
not saved!	
Sheet: 1/1	

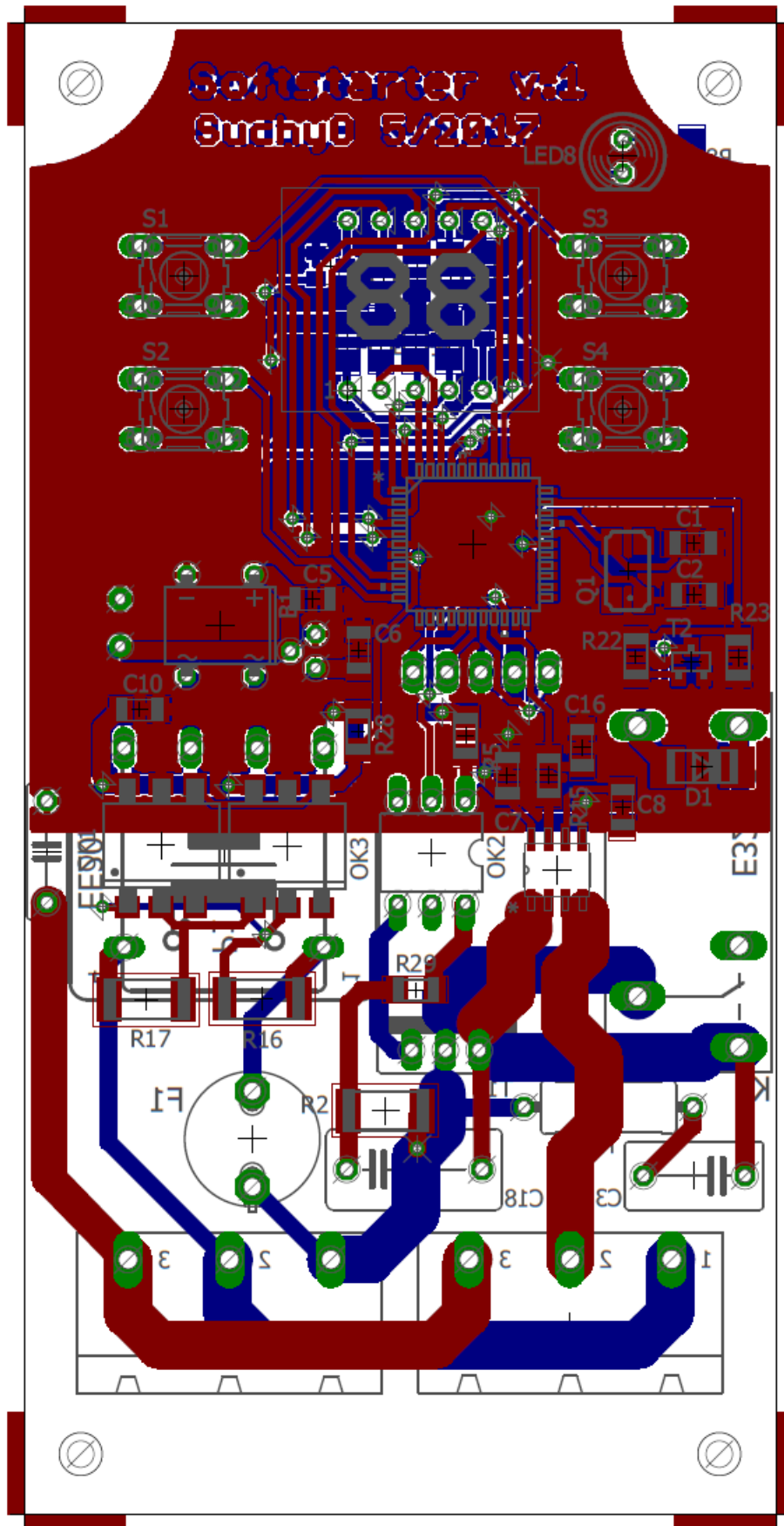
Příloha G – DPS strana top



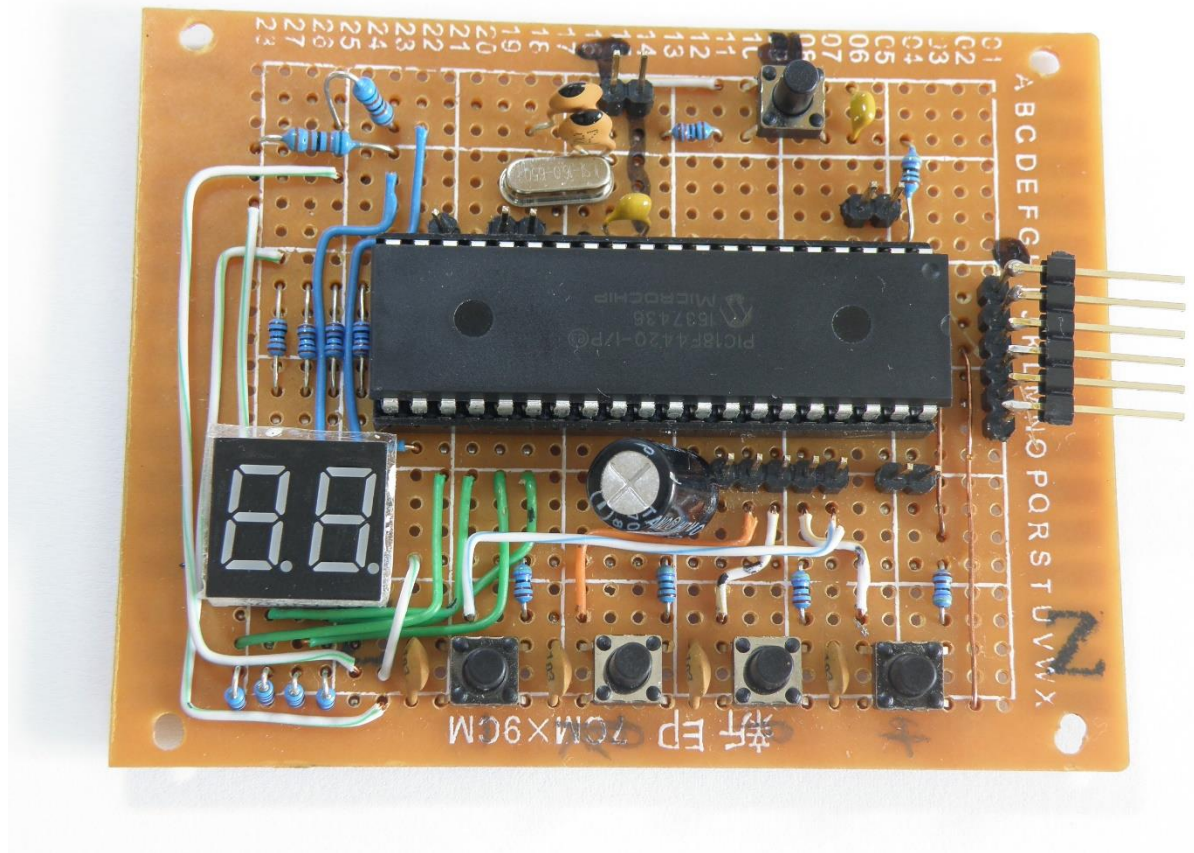
Příloha H – DPS strana bottom



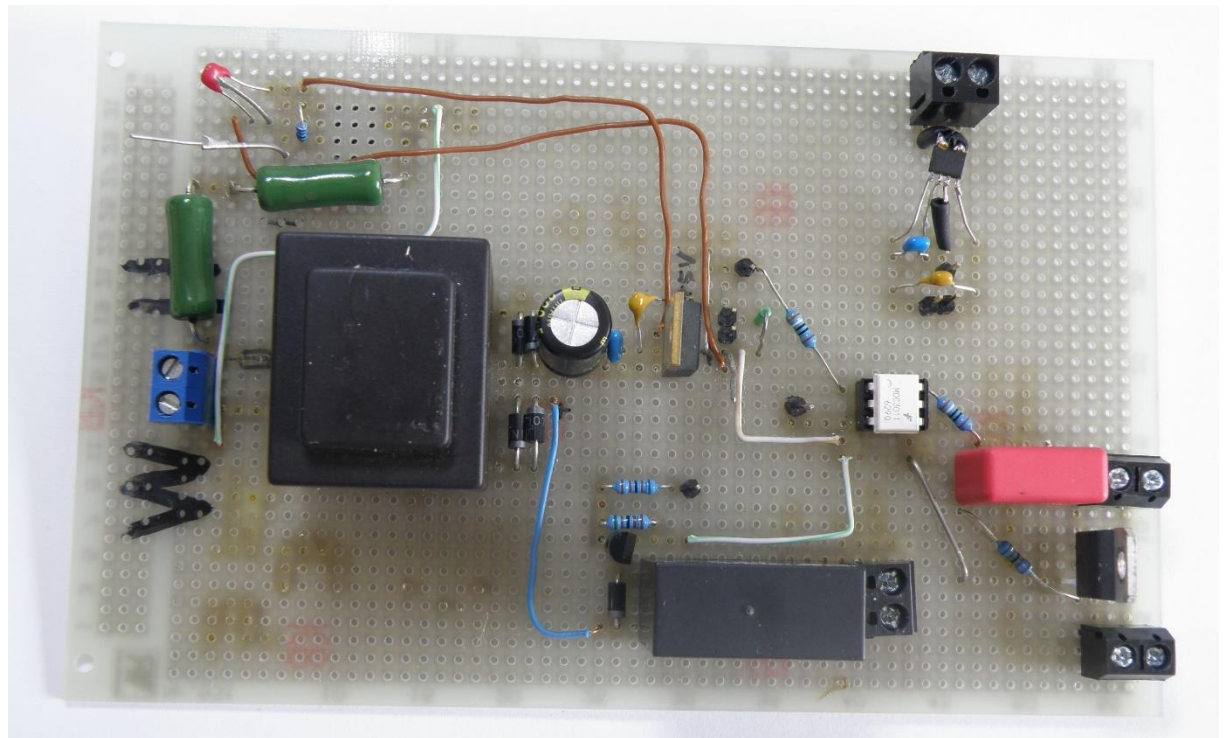
Příloha CH - DPS



Příloha I – Přípravek s ovládací částí



Příloha J – Přípravek s výkonovou a napájecí částí



Příloha K – Zapojený přípravek pro měření

