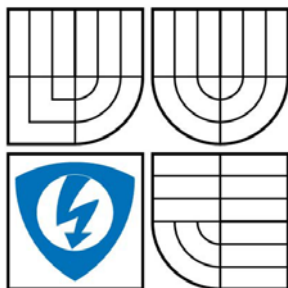


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

ŘÍZENÍ KROKOVÉHO MOTORU MIKROKONTROLÉREM

MICROCONTROLLER STEPPING MOTOR CONTROL

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

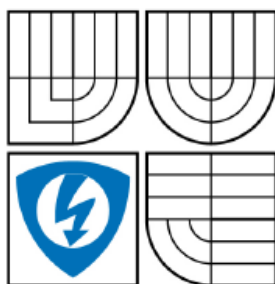
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. David Bělíček

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Ladislav Káňa

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a
komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. David Bělíček
Ročník: 2

ID: 83874
Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Řízení krokového motoru mikrokontrolérem

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte koncepci řízení malého krokového motoru pro pohon otočného zařízení. Seznamte se s konstrukcí a principem řízení krokových motorů. Navrhněte základní koncepci výkonového řídícího obvodu. Navrhněte uživatelské prostředí pro zadávání požadovaných parametrů otáčení. Předpokládá se: zadávání počtu kroků, počtu dávek o zadaný počet kroků, rychlost a směr otáčení. Navrhněte řídící obvod s mikroprocesorem. Předpokládejte řízení motoru o výkonu max. 100W.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] NOVÁK, P.: Mobilní roboty - pohony, senzory, řízení. BEN, Praha, 2005. ISBN 80-7300-141-1.
- [2] MATOUŠEK, D.: Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR. BEN, Praha, 2006, ISBN 80-7300-209-4.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 26.5.2009

Vedoucí práce: Ing. Ladislav Káňa

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.
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 následku porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Abstrakt

Předmětem práce je úvod do problematiky řízení krokových motorů. Jsou popsány základní principy jednotlivých typů krokových motorů, jejich vlastnosti a způsoby řízení. Uvedených poznatků je dále využito pro návrh koncepce řídicího obvodu pro buzení krokového motoru s využitím mikrokontroleru.

Abstract

Subject of this thesis is introduction to questions of stepping motors control. The thesis characterizes basic principles some types of stepping motor, their features and control methods. These knowledges are consequently used for proposition of controlling circuit for driving stepping motor using microcontroller.

Klíčová slova

Krokový motor, mikrokontroler, momentová charakteristika, chopper

Keywords

Stepping motor, microcontroller, torque characteristic, chopper

BĚLÍČEK, D. *Řízení krokového motoru mikrokontrolérem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 66 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Ladislav Káňa.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Řízení krokového motoru mikrokontrolérem 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 práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 22. května 2009

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Ladislavu Káňovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování této práce.

V Brně dne 22. května 2009

.....
podpis autora

Obsah

Cíle projektu	9
1. Krokové motory.....	9
1.1 Základní principy krokových motorů.....	10
1.2 Typy krokových motorů.....	11
1.2.1 Krokový motor s pasivním rotorem	11
1.2.2 Krokový motor s permanentním magnetem.....	12
1.2.3 Hybridní krokový motor.....	12
1.3 Charakteristiky krokových motorů.....	15
1.3.1 Statická momentová charakteristika krokového motoru	15
1.3.2 Momentová charakteristika krokového motoru	16
1.3.3 Rezonance a nestabilita	17
2. Způsoby řízení krokových motorů	18
2.1 Čtyřtaktní řízení s magnetizací jedné fáze	18
2.2 Čtyřtaktní řízení s magnetizací dvou fází.....	18
2.3 Osmitaktní řízení krokového motoru	20
2.4 Mikrokrokování.....	20
2.5 Řízení krokového motoru se sníženou energetickou náročností.....	22
3. Budicí obvody krokových motorů	22
3.1 Buzení z napěťového zdroje.....	22
3.2 Buzení vnuceným proudem.....	24
3.3 Pulzní proudový zdroj – chopper	25
3.4 Budicí obvody pro mikrokrokování	27
4. Návrh koncepce řídicího obvodu pro ovládání krokového motoru.....	28
4.1 Modul napájecího zdroje.....	29
4.2 Modul pro vstup povelů	30
4.3 Řídicí modul.....	32
4.4 Zobrazovací modul.....	34
4.5 Modul výkonového budiče.....	35
5. Řídicí program mikrokontroleru.....	38
5.1 Spuštění programu.....	38
5.2 Inicializace LCD displeje	39
5.3 Hlavní program	41
5.4 Zápis dat na LCD displej.....	43
5.5 Čtení dat z klávesnice.....	45
5.6 Nastavení počtu kroků.....	48
5.7 Spuštění krokování.....	53
5.8 Zastavení krokování	55
5.9 Počítadlo provedených kroků.....	56
5.10 Nastavení rychlosti krokování.....	58
5.11 Zpoždovací smyčka	59
5.12 Zobrazení textu na displeji	61
6. Popis uživatelského rozhraní.....	62
7. Závěr.....	63
Použitá literatura.....	65
Seznam příloh	66

Seznam obrázků

Obr. 1: Řez čtyřfázovým krokovým motorem s pasivním rotorem	11
Obr. 2: Hybridní krokový motor	13
Obr. 3: Čtyřtaktí řízení dvoufázového hybridního KM (bipolární buzení).....	13
Obr. 4: a) Bipolární buzení z unipolárního zdroje napětí – H můstek	14
b) Bipolární buzení z bipolárního zdroje napětí	14
Obr. 5: Zapojení vinutí dvoufázového hybridního KM s možností bip./ unip. buzení	15
Obr. 6: Ideální průběh statické momentové charakteristiky KM	16
Obr. 7: Momentová charakteristika krokového motoru	17
Obr. 8: Čtyřtaktí řízení s magnetizací dvou fází	19
Obr. 9: První (vlevo) a druhý krok pro čtyřtaktí řízení s magnetizací dvou fází	19
Obr. 10: Osmiaktí řízení pro čtyřfázový krokový motor	20
Obr. 11: Buzení KM z napětového zdroje	23
Obr. 12: Průběhy proudu pro buzení KM z napětového zdroje	23
Obr. 13: Momentová charakteristika KM pro: a) buzení z napětového zdroje	23
b) buzení proudem, c) chopper	23
Obr. 14: Buzení KM proudem	24
Obr. 15: Průběhy proudu pro buzení KM vnuceným proudem	24
Obr. 16: Principální schéma budiče typu chopper	25
Obr. 17: Průběhy proudu pro buzení budičem chopper	25
Obr. 18: Zapojení budiče typu chopper	26
Obr. 19: Blokové schéma koncepce navrhovaného řídicího obvodu	28
Obr. 20: Schéma zapojení modulu napájecího zdroje	29
Obr. 21: Schéma zapojení tlačítkové části modulu pro vstup povelů	30
Obr. 22: Funkce tlačítek pro ovládání KM	30
Obr. 23: Zapojení maticové klávesnice	31
Obr. 24: Schéma zapojení řídicího modulu	33
Obr. 25: Schéma zapojení modulu pro LCD displej	34
Obr. 26: Princip buzení KM z napětového zdroje	36
Obr. 27: Schéma zapojení modulu výk.budiče KM	37
Obr. 28: Vývojový diagram pro spuštění programu	38
Obr. 29: Vývojový diagram pro inicializaci LCD displeje	40
Obr. 30: Vývojový diagram pro hlavní smyčku programu	42
Obr. 31: Vývojový diagram pro zápis dat na LCD displej	44
Obr. 32: Vývojový diagram pro četní znaků z maticové klávesnice (1).....	46
Obr. 33: Vývojový diagram pro četní znaků z maticové klávesnice (2).....	47
Obr. 34: Vývojový diagram pro zobrazení nastavované hodnoty počtu kroků	49
Obr. 35: Vývojový diagram pro načtení a uložení hodnoty počtu kroků	50
Obr. 36: Vývojový diagram pro převod kódu znaku klávesnice	52
Obr. 37: Vývojový diagram pro spuštění krokování (1)	54
Obr. 38: Vývojový diagram pro spuštění krokování (2)	55
Obr. 39: Vývojový diagram pro zastavení krokování	56
Obr. 40: Vývojový diagram pro počítání provenených kroků	57
Obr. 41: Vývojový diagram pro snížení rychlosti krokování	59
Obr. 42: Vývojový diagram pro zpožďovací smyčku	60
Obr. 43: Vývojový diagram pro zobrazení textu na displeji	61

Seznam tabulek

Tab. 1: Poměry budících proudů pro mikrokrokování	21
Tab. 2: Tabulka pro převod kódu při změně nastavení rychlosti KM.....	58

Cíle projektu

Tato práce si dává za cíl teoreticky rozebrat základní principy, typy a způsoby řízení krokových motorů a toto pak následně aplikovat při návrhu modulu pro řízení vybraného konkrétního typu krokového motoru pomocí mikrokontroleru. V projektu jsou shrnuty nejdůležitější poznatky týkající se popisu činnosti krokového motoru a způsobu jeho řízení. Existuje několik základních způsobů ovládání činnosti krokového motoru, které jsou v praxi používány nejčastěji. Je rozebrán čtyřtaktní i osmitaktní způsob řízení KM a také způsob řízení označovaný jako mikrokorokování. Jednotlivé typy řízení KM jsou srovnány z hlediska svých vlastností a vhodnosti použití pro konkrétní aplikace s KM. Práce se zabývá i způsoby realizace budících obvodů pro KM a řeší způsob výběru konkrétního typu zapojení takového budiče na základě typu a vlastností KM.

Stěžejní částí projektu je návrh koncepce řídicího obvodu pro ovládání konkrétního typu krokového motoru. Celý koncept tohoto zařízení je rozdělen do několika bloků. Projekt řeší napájení celého zařízení, blok pro zadávání vstupních povelů, zobrazovací modul. Základem celého zařízení je řídicí modul. Jako řídicí prvek byl zvolen jednočipový mikropočítač výrobce Atmel. Samotný krokový motor je ovládán výkonovým modulem – budičem KM. V projektu je rovněž zpracováno řešení uživatelského rozhraní pro zadávání nastavovaných parametrů. Celá práce slouží jako teoretický podklad pro pozdější praktickou realizaci uvedeného zařízení.

1. Krokové motory

Krokový motor je elektromechanické zařízení, které mění elektrické pulzy na diskrétní mechanické pohyby. Osa nebo hřídel krokového motoru se otáčí po diskrétních krocích, přivádíme-li na vstup krok. motoru elektrické pulzy ve správných sekvencích. Rotace hřídele takového motoru má několik přímých vztahů k těmto přivedeným el. pulzům. Sekvence vstupních el. pulzů přímo souvisí se směrem rotace hřídele KM. Rychlost otáčení hřídele je přímo dána frekvencí přivedených el. pulzů a počet otáček přímo souvisí s počtem těchto impulzů.

Uveďme zde nyní několik hlavních výhod a nevýhod při použití krokových motorů[4].

Výhody:

- úhel natočení hřídele KM je úměrný vstupním pulzům
- motor má plný točivý moment v klidové poloze (je-li na cívky přiveden proud)
- přesné polohování a opakovatelnost přesného pohybu
- velmi dobrá odezva při roztáčení, brzdění i změny na reverzní chod
- vysoká spolehlivost – motor neobsahuje žádné kontaktní kartáčky. Životnost motoru je závislá na životnosti ložisek.

- odezva motoru na digitální vstup poskytuje tzv. otevřenou smyčku řízení, čímž je takový motor v jistém smyslu relativně jednodušší na ovládání
- je možné dosáhnout velmi nízkých rychlostí spojitého otáčení i při zátěži hřídele
- velký rozsah rychlostí otáčení – tato rychlost je dána frekvencí vstupních pulzů

Nevýhody:

- v případě nesprávného řízení může nastat rezonance
- složitější ovládání při velmi vysokých rychlostech
- často v aplikacích trvalý odběr proudu i když se motor netočí
- poměr výkonu (kroutícího momentu) vůči hmotnosti motoru
- vyšší cena ve srovnání s DC motory

1.1 Základní principy krokových motorů

Krokový motor je bezkomutátorový stejnosměrný synchronní elektrický motor, který dokáže rozdělit celou otáčku na množství malých kroků. Pozice hřídele KM může být přesně kontrolována bez jakéhokoliv mechanismu zpětné vazby (tzv. řízení s otevřenou smyčkou). [6]

Základními částmi krokového motoru jsou obdobně jako u jiných typů motorů stator a rotor. Stator KM je tvořen sadou cívek. Pólové nadstavce statoru jsou vroubkovány se stejnou roztečí jako je rozteč magnetů na rotoru. Toto je jedna z částí zvyšující přesnost motoru při stejném počtu cívek. Rotor je tvořen hřídelí usazenou na kuličkových ložiscích a prstencem permanentních magnetů.

Základní princip krokového motoru je jednoduchý. Proud procházející cívkou statoru vytvoří magnetické pole, které přitáhne opačný pól rotoru. Vhodným zapojováním cívek dosáhneme vytvoření magnetického pole, které otáčí rotorem. Podle požadovaného kroutícího momentu, přesnosti nastavení polohy a přípustného odběru volíme některou z variant řízení. Možnosti řízení KM budou probrány později. Kvůli přechodovým magnetickým jevům je omezena rychlost otáčení motoru obvykle na několik stovek kroků za sekundu. Toto je závislé na typu motoru a zatížení. Při překročení této maximální rychlosti nebo při příliš velké zátěži motor začíná ztrácet kroky. [4]

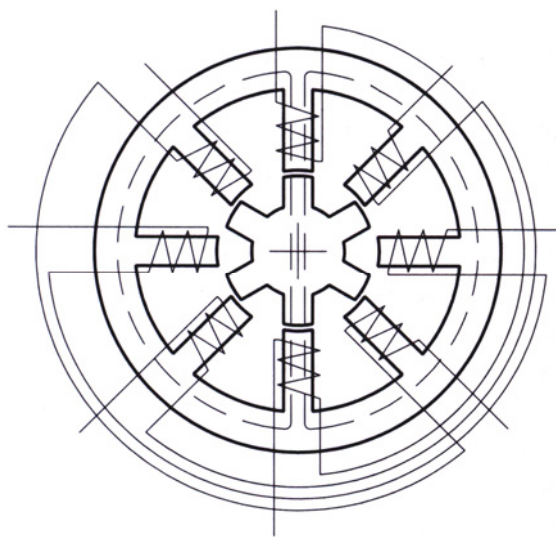
Krokové motory pracují na odlišném principu než klasické stejnosměrné (DC) motory, které se roztočí po přivedení napětí na vstupní terminál. Tyto motory mají ozubené elektromagnety uspořádané kolem středového profilovaného kovového ozubeného kola. Elektromagnety jsou buzeny externími obvody, které jsou řízeny zpravidla mikrokontrolerem. Aby se hřídel motoru roztočila, je potřeba nejprve jednomu elektromagnetu dodat energii. Toto způsobí magnetické přitahování, a tedy natočení, ozubeného kola k ozubenému elektromagnetu. Když se zuby středového kola (rotor KM) natáčí k prvnímu elektromagnetu, jsou odchylovány od druhého elektromagnetu. Pokud je tedy druhý elektromagnet aktivován a první vypnut, ozubené kolo se natočí ke druhému elektromagnetu a dále se pro další elektromagnety statoru KM obdobně tento proces opakuje.

Každý z těchto pohybů – natočení rotorového ozubeného kola se nazývá krok. Tím je dáno, že hřídel krokového motoru může být natočena na přesně definovaný úhel. [5], [6]

1.2 Typy krokových motorů

1.2.1 Krokový motor s pasivním rotorem

Jedná se o jeden z prvních typů krokových motorů. Tento typ krokového motoru je označován také jako reakční nebo reluktanční (případně s proměnnou reluktancí). Můžeme se setkat také s označením VR podle Variable Reluctance. KM je složen z ozubeného rotoru z měkkých železných materiálů a z vinutého statoru. Stator tohoto KM je tvořen svazkem ocelových plechů s osmi pólovými nadstavci, které nesou jednoduchá vinutí jednotlivých fází. Rotor může být tvořen jedním kusem ocele, nebo také podobně jako stator svazkem plechů. Pak má šest pólových nadstavců o stejné šířce jako statorové plechy. Mezi pólovými nadstavci statoru a rotorem je velmi malá vzduchová mezera, standardně 0,02 až 0,2mm. Protilehlé páry statorových vinutí jsou zapojeny v sérii a při napájení tvoří severní a jižní pól. Fázová vinutí statoru jsou zde tedy tvořena 4 nezávislými vinutími. Přivedeme-li na vinutí cívek statoru stejnosměrný proud, póly se zmagnetizují. Rotace nastává když jsou zuby rotoru přitahovány ke zmagnetizovaným pólům statoru. [3]



Obr. 1: Řez čtyřfázovým krokovým motorem s pasivním rotorem

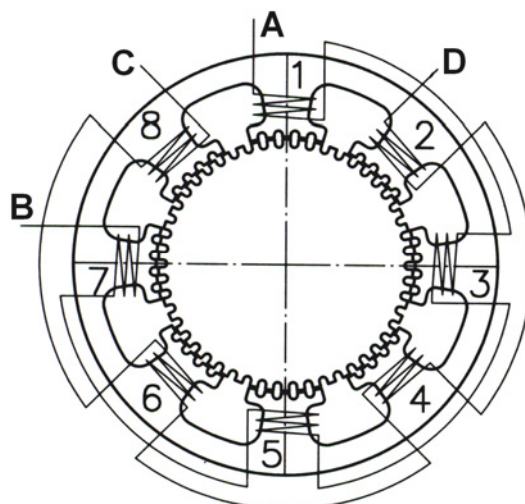
1.2.2 Krokový motor s permanentním magnetem

Tyto typy krokových motorů bývají často označovány jako „plechovka“ (v angl. ozn. tin can, canstock). Jedná se o relativně levné KM s nízkým rozlišením kroků. Obvyklé jsou úhly od $7,5^\circ$ do 15° na krok (48 – 24 kroků na otáčku). [4] PM motory, jak již název naznačuje, mají ve své struktuře obsaženy permanentní magnety. Rotor již neobsahuje zuby jako krokový motor VR. Namísto toho je rotor složen se střídajících se magnetických severních a jižních pólů, které jsou umístěny v jedné linii rotorové hřídele. Tyto magnetizované póly rotoru poskytují větší intenzitu magnetického toku a proto tyto typy PM motorů vykazují lepší momentovou charakteristiku ve srovnání s VR krokovými motory.

1.2.3 Hybridní krokový motor

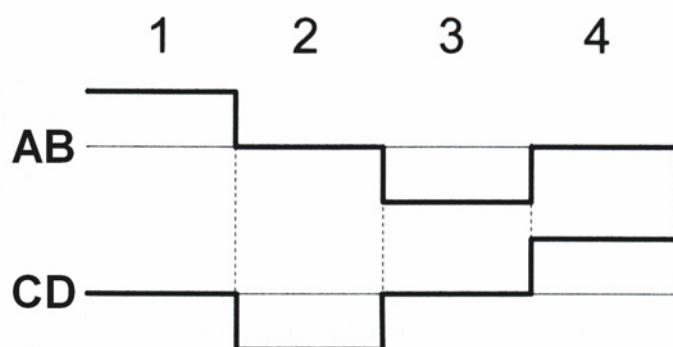
Hybridní krokový motor je mnohem dražší než krokový motor typu PM, ovšem poskytuje lepší parametry co se týká krokového rozlišení, krouticího momentu a rychlosti. Typické krokovací úhly pro hybridní (HB) krokový motor jsou v rozmezí od $3,6^\circ$ do $0,9^\circ$ (100 až 400 kroků na otáčku). [3] Hybridní krokový motor je kombinací nejlepších vlastností obou typů KM – VR i PM. Rotor je u tohoto krokového motoru ozubený jako u VR motoru a obsahuje axiálně magnetizované soustředné magnety kolem osy hřídele. Ozubení na rotoru má za následek zlepšení magnetického toku ve vzduchové mezeře. Toto pak způsobuje zlepšení krokování, statické a dynamické momentové charakteristiky tohoto motoru ve srovnání s krok. motory typu VR a PM. [8]

Hybridní krokový motor je v současnosti nejpoužívanějším typem KM. Stator je tvořen osmi hlavními pólovými nadstavci, přičemž každý z nich je rozdělen na 5 zubů. Na každém hlavním pólovém nadstavci je navinuta cívka. Rotor tohoto typu krokového motoru je tvořen hřídelí vyrobené z nemagnetické oceli, na ni jsou nalisované dva pólové nadstavce složené z plechů. Mezi těmito pólovými nadstavci je uložen permanentní magnet, který je axiálně polarizován. [5] Rotorové nadstavce mají každý různou magnetickou polaritu. Z tohoto důvodu se u těchto typů KM můžeme setkat s označením KM s aktivním rotorem a axiálně polarizovaným permanentním magnetem. Pólové nadstavce jsou rozděleny na 50 zubů o stejné šířce jako rotorové. Pro správnou činnost KM je podstatné, že rotorové pólové nadstavce jsou vzájemně osově natočeny tak, že proti osám zubu jednoho jsou osy drážek druhého – natočení o polovinu rotorové drážkové rozteče. [3]



Obr. 2: Hybridní krokový motor

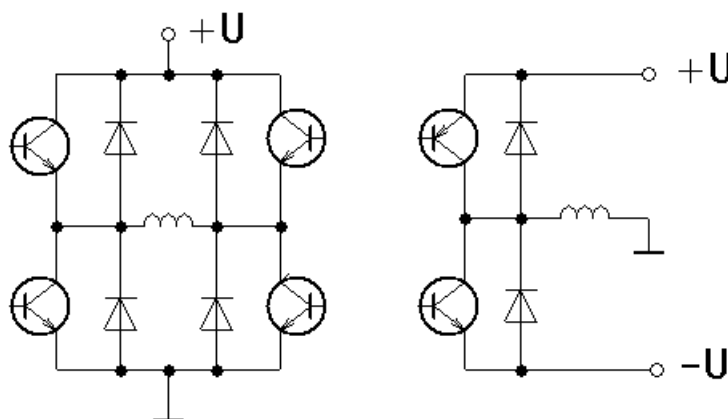
Pokud žádným z fázových vinutí satoru KM neprotéká proud, je magnetický tok tvořen pouze permanentním magnetem a rotor je tímto magnetickým polem aretován v určité klidové poloze. V tomto případě je celkem všech 8 cívek zapojeno do dvoufázového vinutí. [3] Dle obr. 2 tvoří cívky na pólových nadstavcích 1, 3, 5 a 7 fázi AB a cívky na zbývajících pólových nadstavcích tvoří fázi CD. Pokud fázi A protéká proud kladného smyslu, jsou satorové póly 1 a 5 magnetizovány jižně a 3 a 7 jsou magnetizovány severně. Zuby na severním konci rotoru jsou přitahovány póly 1 a 5 a posunuté zuby na jižním konci rotoru jsou přitahovány zuby na pólech 3 a 7.



Obr. 3: Čtyřtaktní řízení dvoufázového hybridního KM (bipolární buzení)

K pootočení rotoru o jeden krok je třeba, aby se fázové vinutí AB přestalo napájet a začalo se napájet fázové vinutí CD proudem kladné nebo záporné polarity podle požadovaného směru otáčení hřídele. Hřídel KM se tedy otáčí – krokuje v důsledku spínání fází v sekvenci +AB, -CD, -AB, +CD, +AB pro otáčení ve směru hodinových ručiček, nebo +AB, +CD, -AB, -CD, +AB pro opačný smysl otáčení. Z uvedeného je zřejmé, že je potřeba budit jednotlivé fáze bipolárně. Tento způsob činnosti se nazývá dvoufázový s bipolárním napájením. [3] Kromě dvoufázových KM, které jsou nejrozšířenější, existují také vícefázové hybridní KM. Jejich hlavní výhodou je větší počet kroků na otáčku a tedy i přesnost. Nevýhodou je pak použití složitějších budících obvodů a také cena.

Dvoufázový hybridní krokový motor obsahuje tedy dvě fáze. Jak bylo zmíněno výše, je nutné tyto fáze budit bipolárně, tzn. že je třeba zajistit kromě buzení dané fáze také i změnu polarity protékajícího proudu (budícího napětí). Tímto pak měníme směr magnetického toku generovaného fázovým vinutím – s ohledem na polaritu protékajícího proudu a smysl fázového vinutí. Polaritu protékajícího proudu ovládáme nejčastěji H-můstkovým spínačem s unipolárním napájením – viz. obr. 4a. Jiným způsobem je použití jednoduchých spínačů, je však třeba bipolární zdroj napájení – viz. obr. 4b. Tento druhý způsob se dnes obvykle nepoužívá.



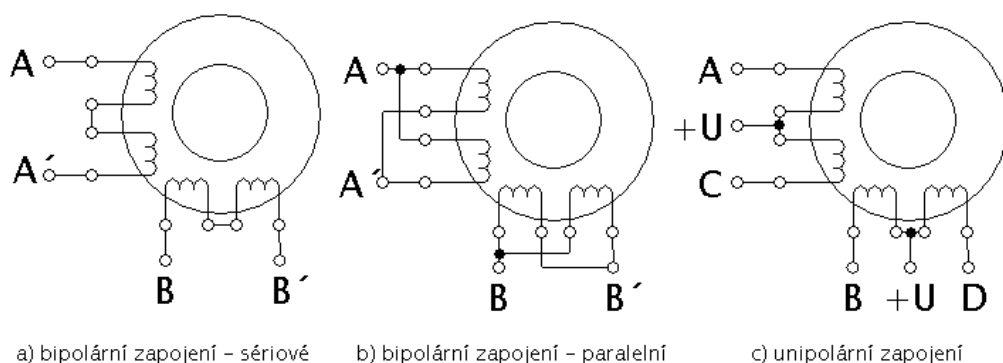
Obr. 4: a) Bipolární buzení z unipolárního zdroje napětí – H můstek
b) Bipolární buzení z bipolárního zdroje napětí

Vzhledem k tomu, že směr magnetického toku je také závislý na smyslu fázového vinutí, je možné směr tohoto magnetického toku měnit i tímto způsobem, tedy bez potřeby můstkového spínače nebo bipolárního napájecího zdroje. Takový druh hybridního motor má pak každou fázi rozdělen na dvě části, poloviny.

Podle způsobu vyvedení jednotlivých konců polovin těchto vinutí vně motoru má pak takový dvoufázový krokový motor: [3]

- a) 8 vodičů – každá polovina fáze vyvedena samostatně
- b) 6 vodičů – dva a dva konce obou vinutí plus dva samostatně vyvedené středy
- c) 5 vodičů – dva a dva konce obou vinutí plus jejich spojené středy

Možností, která poskytuje největší univerzálnost zapojení fázového vinutí, je vyvedení všech jeho částí. Budeme-li KM budit bipolárně, můžeme jednotlivé poloviny fází zapojit sériově nebo paralelně. Při sériovém zapojení je výsledný odpor i indukčnost vinutí čtyřnásobná proti paralelnímu zapojení. Toto je projevím tím, že velikost momentu je vyšší v oblastech nižších krokovacích frekvencí momentové charakteristiky. Paralelní zapojení je vhodné použít pro oblast vyšších krokovacích frekvencí. [3]



Obr. 5: Zapojení vinutí dvoufázového hybridního KM s možností bip./ unip. buzení

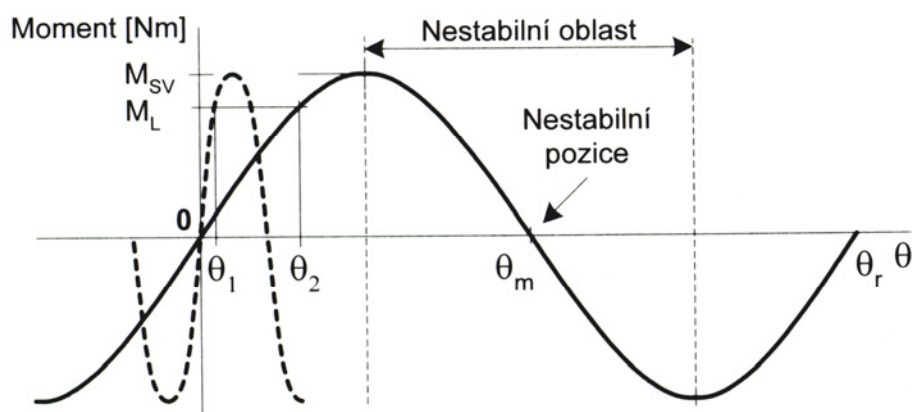
Obr. 5c znázorňuje zapojení fázových vinutí pro unipolární buzení. Krokový motor s unipolárním vinutím je možné také budit unipolárně. V tomto případě budíme jednotlivé poloviny jeho fázových vinutí. Možnost volby způsobu buzení krokového motoru dává otázku, jaké buzení fází je vhodnější použít – bipolární nebo unipolární. Pro aplikace s ohledem na vyšší krouticí moment při nižších krokovacích kmitočtech bude vhodnější použít bipolární způsob buzení. Naopak, pokud bude stejný KM buzen unipolárně, bude v oblasti nižších krokovacích frekvencí vykazovat nižší krouticí moment, ovšem v oblasti vyšších krokovacích frekvencí bude jeho krouticí moment vyšší než v případě bipolárního způsobu buzení. [3], [4], [8]

1.3 Charakteristiky krokových motorů

Uvedme nyní několik základních charakteristik popisujících vlastnosti krokových motorů.

1.3.1 Statická momentová charakteristika krokového motoru

Statická momentová charakteristika udává závislost úhlu rozladění hřídele θ od rovnovážné polohy (pro kterou $\theta=0$) na kroutícím momentu zátěže. Tvar této charakteristiky je pro ideální KM sinusový.



Obr. 6: Ideální průběh statické momentové charakteristiky KM, převzato z [3]

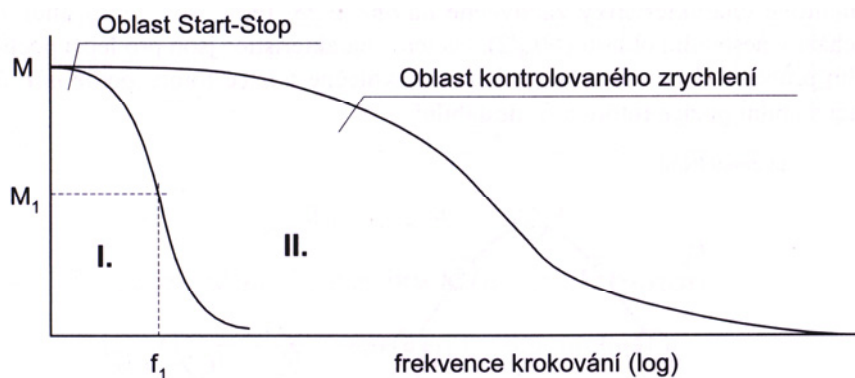
Obr. 6 znázorňuje průběhy momentových charakteristik pro dva KM. Na tomto obrázku je plnou čarou znázorněn průběh pro KM s větší velikostí kroku a přerušovanou čarou průběh pro KM s menší velikostí kroku. Obr. 6 také ukazuje případ, kdy jsou oba KM zatíženy stejnými momenty M_L . [3]

U krokového motoru s menší velikostí kroku se hřídel pootočí o úhel θ_1 a pro druhý KM s větší velikostí kroku o úhel θ_2 . Při výběru typu KM má tedy smysl uvažovat velikost kroku nejen z pohledu rozlišitelnosti polohy, ale také z důvodu velikosti úhlu rozladění. KM s menším krokem má strmější průběh momentové charakteristiky. Při změně natočení hřídele se její poloha rychleji ustálí díky lepším tlumícím účinkům mechanických oscilací rotoru.

Maximální hodnota kroutícího momentu se nazývá statický vazební moment M_{sv} . Tímto momentem lze působit na hřídel stojícího buzeného krokového motoru, aniž by došlo k roztržení magnetické vazby a přeskoku rotoru směrem k následující rovnovážné poloze dané fáze – na obr. 6 označeno jako θ_r . Velikost maximálního úhlu rozladění je větší než velikost jednoho kroku a závisí na průběhu reálné momentové charakteristiky (nemívá sinusový průběh) a počtu fází krokového motoru. [3], [8]

1.3.2 Momentová charakteristika krokového motoru

Momentová charakteristika znázorňuje závislost momentu na krokovací frekvenci, tedy otáčkách (na rozdíl od statické momentové charakteristiky). Bývá uváděna v katalogovém listu krokového motoru a často bývá zobrazena pro různé zapojení vinutí a pro různá napájecí napětí (nebo pro různé proudy). Momentovou charakteristiku krokového motoru ukazuje obr. 7. Pro tuto char. je typické rozdělení na dvě oblasti. [3]



Obr. 7: Momentová charakteristika krokového motoru,
převzato z [3]

Oblast I se nazývá start-stop nebo také rozběhová a jsou zde stavy, do kterých se může krokový motor dostat z klidu po připojení řídicích impulsů bez ztráty kroku. Při zatěžovacím momentu M_1 můžeme ihned přivést řídicí kmitočet f_1 .

Oblast II se nazývá oblast kontrolovaného zrychlení nebo také provozní oblast. Do této oblasti se KM dostane při plynulém zvyšování řídicí frekvence. Složitějším způsobem řízení lze docílit lepšího využití KM.

1.3.3 Rezonance a nestabilita

Katalogové průběhy momentových charakteristik neodpovídají zcela přesně průběhům zjištěným praktickým měřením. Tyto odlišnosti se projevují jako poklesy momentové charakteristiky při určitých krokovacích frekvencích. Poloha a velikost poklesů závisí na vlastnostech motoru, budiče, pracovním režimu a také na zátěži. Tento jev má 2 hlavní příčiny: [3]

- 1) Vlastní rezonance, která se projevuje především v nízkých oblastech krokovacích kmitočtů. Pokud se krokovací kmitočet shoduje s vlastní frekvencí oscilace rotoru, mohou oscilace postupně narůstat.
- 2) Pro určité oblasti krokovacích kmitočtů se může dostat do nestability celý systém. Základní příčinou je kladná zpětná vazba mezi krok. motorem a budičem. Obvykle takový jev nastává v oblastech vyšších kmitočtů momentové charakteristiky. Poklesy jsou trvale přítomný jev a jejich existence není důležitá není-li požadována trvalá činnost krok. motoru v těchto konkrétních oblastech. Je možné KM postupně zrychlovat i přes oblast těchto poklesů bez nežádoucího účinku. [3], [8]

Vlivy rezonancí a nestabilit lze eliminovat použitím speciálních budících obvodů nebo přizpůsobit tlumič hřídeli (při otevřené zpětné vazbě). [3], [4], [8]

2. Způsoby řízení krokových motorů

Následující část popisuje základní typy řízení krokových motorů, nejvíce se zaměřuje na tzv. mikrokrokování. Dále pak je zde pojednáno o napájecích a spínacích obvodech KM a jejich vlivu na vlastnosti pohonu.

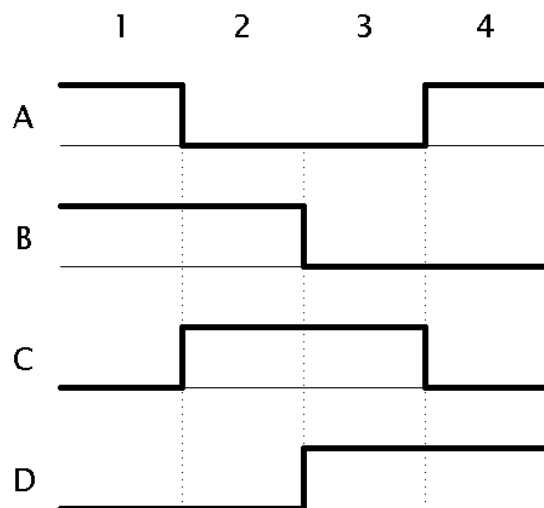
Podle toho kolik fází budíme v jednotlivých krocích, rozlišujeme následující základní režimy.

2.1 Čtyřtaktní řízení s magnetizací jedné fáze

Tento způsob je nejjednodušším způsobem řízení KM a bývá používán pro čtyřfázový reakční KM, nebo případně pro dvoufázový hybridní KM v zapojení pro unipolární buzení fází – viz obr. 5c. Je-li fáze A buzena, vytvoří se elektromagnetické pole v ose pólových nadstavců nesoucích vinutí fáze A. Nejbližší pár pólových nadstavců na rotoru se pak bude natáčet do místa s největší intenzitou magnetického pole vytvořeném fází A. Po vypnutí buzení fáze A se začne napájet fáze B a druhý pólový pár rotoru se pak pootočí o 15° proti směru hod. ručiček. Další pootočení rotoru nastane při vypnutí napájení fáze B a připojení fáze C, poté i fáze D. [3] Krokování se tedy provádí postupným spínáním fází A, B, C, D, A... Opačného smyslu otáčení docílíme spínáním fází v opačném pořadí, tedy A, D, C, B, A. Na vzájemné polaritě napájecího napětí (nebo proudu) jednotlivých fází nezáleží.

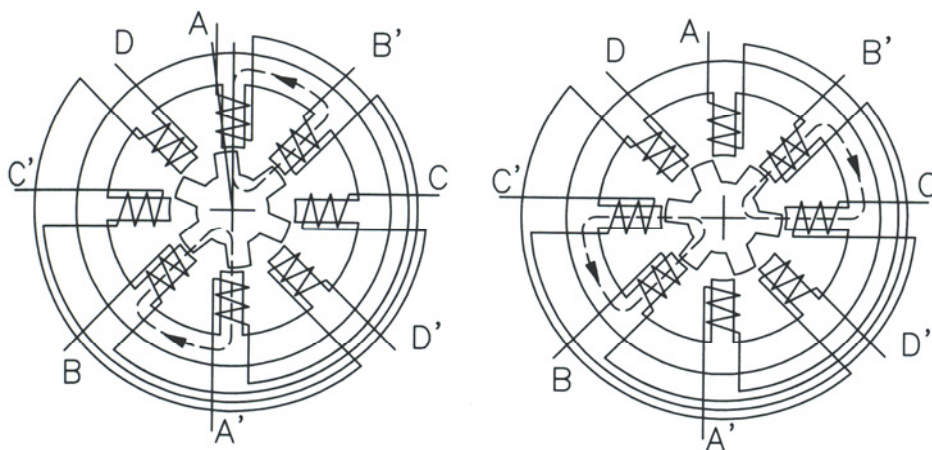
2.2 Čtyřtaktní řízení s magnetizací dvou fází

Jedná se o způsob buzení fází, kdy jsou vždy napájeny dvě sousední fáze. U tohoto způsobu řízení leží rovnovážná poloha rotoru vždy mezi vybuzenými sousedními pólovými nadstavci statoru. Proti způsobu řízení s magnetizací jedné fáze zmíněného výše se rotor vychýlí o polovinu kroku, tedy o $7,5^\circ$. Velikost kroku je však stejná, tedy 15° . Fáze jsou spínány v pořadí AB-BC-CD-DA pro jeden směr otáčení a AD-CD-BC-AB pro opačný směr otáčení. Na obr. 8 je zobrazena posloupnost spínání fází pro jeden směr otáčení. [3]



Obr. 8: Čtyřtaktní řízení s magnetizací dvou fází

Obr. 9 ukazuje první a druhý krok čtyřtaktního řízení s magnetizací dvou fází pro čtyřfázový krokový motor. Na obr. 9 vlevo jsou napájeny fáze AB. Do další rovnovážné polohy se rotor dostane sepnutím fází BC – viz obr. 9 vpravo. U tohoto způsobu řízení již závisí na polaritě napětí jednotlivých fázových vinutí. Prakticky je to však vyřešeno konstrukčně – smyslem vinutí jednotlivých fází. [3]



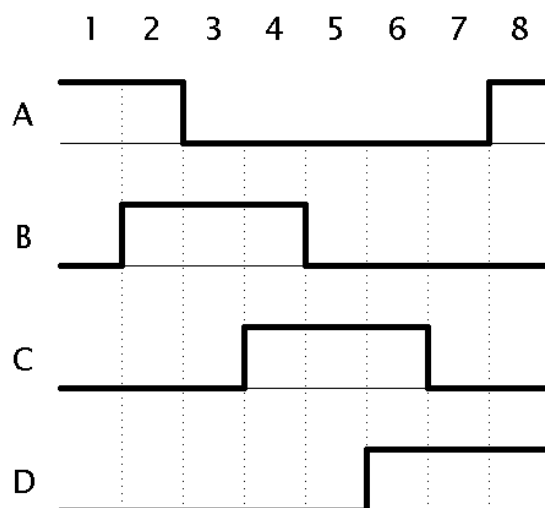
Obr. 9: První (vlevo) a druhý krok pro čtyřtaktní řízení s magnetizací dvou fází, převzato z [3]

Výhodou tohoto způsobu řízení KM je zvýšení statického vazebního momentu. Další výhodou je zvýšení tlumících účinků mechanických oscilací rotoru při krokování. Toto je způsobeno vyšší strmostí výsledné statické momentové charakteristiky, což umožňuje dosažení vyšších krokovacích frekvencí.

2.3 Osmitaktní řízení krokového motoru

Tento způsob řízení KM je v podstatě složením čtyřtakovního řízení s buzením jedné fáze a dvou fází. Proto bývá také označován jako osmitaktní řízení s buzením jedné a dvou fází. Toto řízení spočívá v tom, že se postupně střídá buzení jedné a dvou fází v pořadí A-AB-B-BC-C-CD-D-AD pro jeden směr otáčení, případně v opačném pořadí pro druhý směr otáčení. Rotor se však v tomto případě pootáčí o polovinu kroku, tedy o $7,5^\circ$. Sekvenci kroků ukazuje obr. 10.

Výhodou tohoto způsobu řízení je dvojnásobný počet kroků na otáčku, čehož lze dosáhnout bez jakékoliv úpravy budících obvodů. Nevýhodou je různá velikost maximálního momentu u statické momentové charakteristiky pro napájení jedné fáze a pro napájení dvou fází. Tento jev je však možné odstranit tak, že v krocích kdy jsou buzeny dvě fáze současně, budeme tyto fáze budit nižším proudem. [3] Tím se ovšem zvyšuje složitost budících obvodů.



Obr. 10: Osmitaktní řízení pro čtyřfázový krokový motor

2.4 Mikrokrokování

Pro některé aplikace se požaduje velmi jemné rozlišení polohy krokového motoru (např. zlomky stupně), nebo je třeba snížit vliv mechanických rázů při změně polohy hřídele. Úhel kroku můžeme zmenšit zvětšením počtu fází, a (nebo) zvětšením počtu zubů rotoru. Prakticky se ukazuje jako nevýhodné pracovat s větším počtem fází než 4 a je obtížné a tedy nákladné vyrobit rotor s více než 100 zuby. Krokové motory s úhlem kroku pod 1° jsou tedy výjimkou. [3] Existuje ale způsob řízení KM, který zvyšuje počet kroků na otáčku – tzv. mikrokrokování.

Mikrokrokování je založeno na magnetizaci dvou fází – viz metoda řízení popsaná výše. Mikrokrokování dělí každý krok na mikrokroky o zpravidla stejné délce. Na rozdíl od magnetizaci dvou fází, u které byly obě fáze napájeny stejnou velikostí proudu, u mikrokrokování jsou velikosti proudů v jednotlivých mikrokrocích odlišné. Vhodnou volbou a řízením vzájemných velikostí proudů lze dosáhnout libovolné rovnovážné polohy mikrokroku mezi dvěma sousedními základními kroky. Toto je určeno poměrem proudů. Velikost momentů je dána velikostí proudů. [3], [8]

Ukažme si nyní aplikaci mikrokrokování rozdělením základního kroku na 4 mikrokroky. Budící proudy pro jednotlivé mikrokroky jsou shrnuty v tab. 1.

Tab. 1: Poměry budících proudů pro mikrokrokování

Poloha mikrokroku	Proud první fáze	Proud druhé fáze
0	I	0
1/4	I	kI
1/2	I	I
3/4	kI	I
1	0	I

Řízení KM pro mikrokrokování (zde pro 4 mikrokroky) funguje následujícím způsobem. Fáze A je nejprve ve výchozí poloze buzena jmenovitým proudem I, zatímco fáze B není buzena. Rotor KM je tedy natočen k fázi A. Poté následuje mikrokrok do polohy $\frac{1}{4}$ základního kroku. Toho dosáhneme buzením fáze A proudem I a současně buzením fáze B části proudu kI. Druhý mikrokrok nastane při současném buzení obou fází proudem I. U třetího mikrokroku je fáze A buzena proudem o velikosti kI a fáze B proudem I. Čtvrtého mikrokroku a tedy v tomto případě celého kroku dosáhneme vypnutím buzení fáze A a současně buzením fáze B proudem I. Koeficient k je kladný a menší než 1.

Ve výše uvedeném případě řízení se 4 mikrokroky je potřeba dvouhladinový napájecí zdroj s hodnotami proudu I a kI. Z toho vyplývá, že pro vyšší počet mikrokroků rostou požadavky na napájecí i spínací obvody. V praxi jsou k dostání i speciální integrované obvody pro řízení krokových motorů s využitím mikrokrokování, toto je řešeno pomocí D/A převodníků. Mikrokrokování nemá žádný vliv na velikost maximálního úhlu rozladění θ_M . Tato hodnota zůstává konstantní. [3]

Výhodou mikrokrokování je snížení mechanických rezonancí KM (tyto rezonance vyplývají z relativně nízkých tlumících vlastností KM a jsou závislé na poháněné zátěži i způsobu buzení fází KM). Tyto rezonance mohou způsobit i vynechání některých kroků, což může být velkým problémem např. u systému pro nastavení přesné polohy bez zpětné vazby. Jiným způsobem snížení rezonancí je také použití různých časových průběhů budících proudů (sinus, lichoběžník). [3]

2.5 Řízení krokového motoru se sníženou energetickou náročností

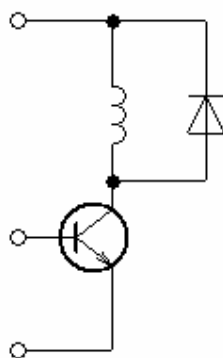
Obvykle se při řízení KM předpokládá, že je vždy nejméně jedno vinutí napájené. Po vykonání kroku je rotor udržován ve statické rovnovážné poloze synchronizačním momentem, který vytváří napájený krokový motor. Jako čas ustálení můžeme považovat dobu aktivní činnosti pohonu. Pokud po době ustálení nevyvolává zátěž zpětné silové působení na pohon, napájení vinutí po této době ustálení pouze zvyšuje celkovou spotřebu energie. Z tohoto důvodu je tedy zbytečné po ustálení dále napájet vinutí. Systém je tedy udržován v určité poloze pouze působením zbytkového momentu vlivem vnitřního magnetického pole v nenapájeném KM. [3] Tento způsob se dá použít pouze u čtyřtaktního řízení s buzením jedné fáze. Čím je frekvence řídicích impulsů menší, tím je v tomto případě systém energeticky úspornější. Zároveň se tímto zmenšují tepelné ztráty ve spínacích prvcích buzení cívek KM. [4], [5], [8]

3. Budicí obvody krokových motorů

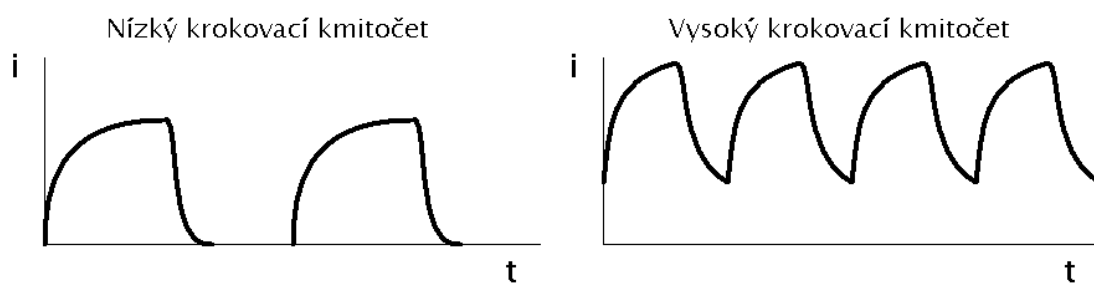
Obecně bývá často v povědomí, že výkonnost pohonu s krokovým motorem závisí pouze na typu tohoto KM. Pravdou ale je, že konkrétní typ KM má při použití jednoduchého budicího obvodu maximální rychlost např. 200 kroků/s a při použití jiného kvalitnějšího (a obvykle dražšího) budicího obvodu je schopen tento typ KM pracovat do rychlosti řádově až tisíc kroků/s. Z uvedeného vyplývá, že vlastnosti pohonu s KM jsou závislé rovněž i na použitém druhu budicího obvodu.

3.1 Buzení z napětového zdroje

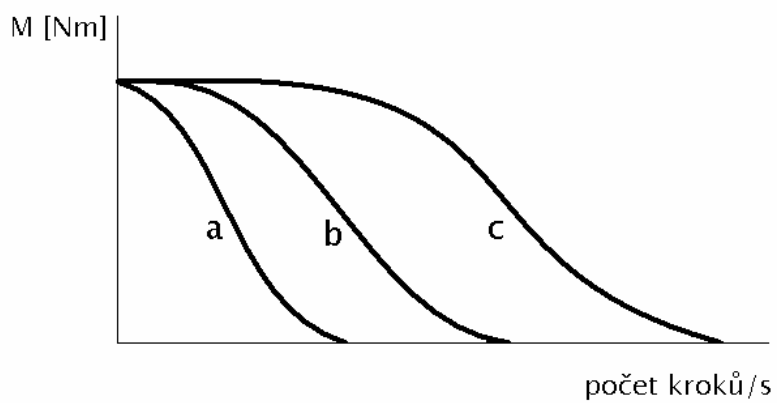
Jedná se o nejjednodušší druh buzení KM, je znázorněn na obr. 11. Parametry tímto způsobem buzeného KM jsou nepříznivě ovlivňovány hlavně časovou konstantou fázového vinutí (L/R). Tato časová konstanta se projevuje jako doba trvání přechodového děje při zapínání nebo vypínání buzení vinutí KM. [3] Dle uvedeného obr. 12 je zřejmé, že se bude tato časová konstanta nepříznivě projevovat hlavně v oblasti středních a vyšších krokovacích frekvencí (velikost této časové konstanty je srovnatelná s periodou kroku). Obr. 13. ukazuje průběhy momentové charakteristiky pro různé typy buzení KM.



Obr. 11: Buzení KM z napěťového zdroje



Obr. 12: Průběhy proudu pro buzení KM z napěťového zdroje



Obr. 13: Momentová charakteristika KM pro:
a) buzení z napěťového zdroje, b) buzení proudem, c) chopper

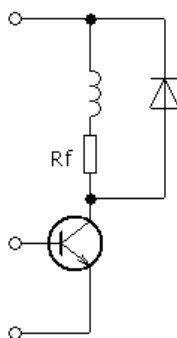
3.2 Buzení vnuceným proudem

Tento způsob buzení fází zvyšuje strmost přechodového děje při zapnutí nebo vypnutí proudu fází KM. Jedná se vlastně o zdroj konstantního proudu. Tohoto zkrácení časové konstanty docílíme předřazením vinutí KM odpor R_f . Velikost časové konstanty pak bude

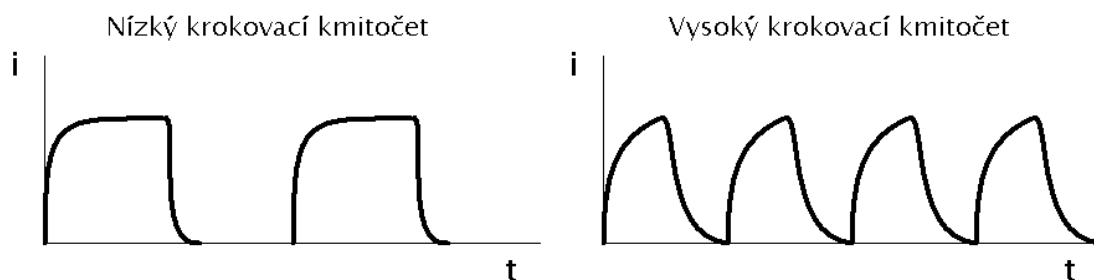
$$\tau = L / (R + R_f) \quad (1)$$

Nevýhodou tohoto způsobu buzení KM je především vysoká energetická náročnost. Velká část dodané elektrické energie se totiž spotřebuje formou tepla na odporu R_f . (Hodnota odporu R_f se obvykle volí v rozsahu 2-10 x hodnoty odporu R) [3] Velikost hraniční frekvence je také úměrná násobku této hodnoty. Na obr. 14 je zobrazen budicí obvod tohoto typu.

Obr. 15 ukazuje časové průběhy pulzů. V praxi se můžeme také setkat s označením L/R pro tento typ budiče. Jinou možností je použití přímo zdroje konstantního proudu, který má již z principu velký vnitřní odpor. [3], [8]



Obr. 14: Buzení KM proudem



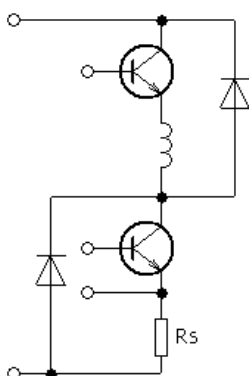
Obr. 15: Průběhy proudu pro buzení KM vnuceným proudem

3.3 Pulzní proudový zdroj – chopper

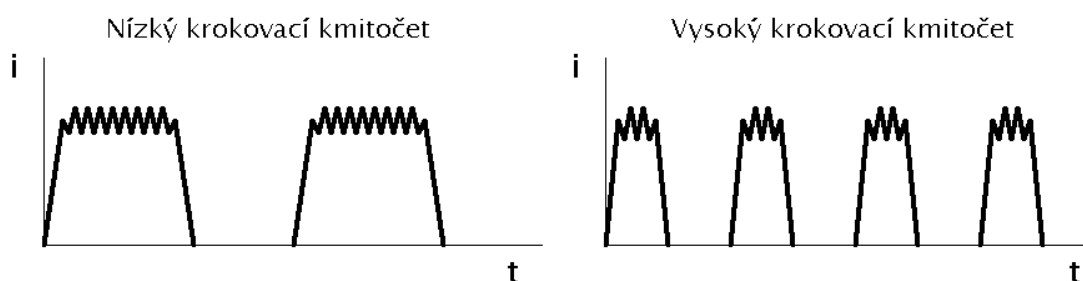
Tento druh je v praxi nejvhodnějším typem budiče pro KM. Jeho používání se stále více prosazuje i díky podpoře ze strany výrobců součástek. Obr. 16 ukazuje základní principální schéma tohoto druhu budiče. Jsou uvedeny i průběhy proudu pro oblasti nízkých i vysokých krokovacích frekvencí (viz obr. 17). Z průběhu pro oblast vysokých krokovacích frekvencí je vidět, že v tomto případě již nedochází (na rozdíl od buzení KM z napětového nebo proudového zdroje) k poklesu momentu KM z důvodu poklesu hodnoty budícího proudu. [3] Hlavní příčinou poklesu momentové charakteristiky při vyšších krokovacích frekvencích je nízká strmota nárustu proudu protékajícího fází KM, která je úměrná časové konstantě τ . Tato časová konstanta přechodového děje je rovna době, kdy proud dosáhne $1-1/e$ ustálené hodnoty. [3], [6], [8]

$$\tau = L / (R_L + R_S) \quad (2)$$

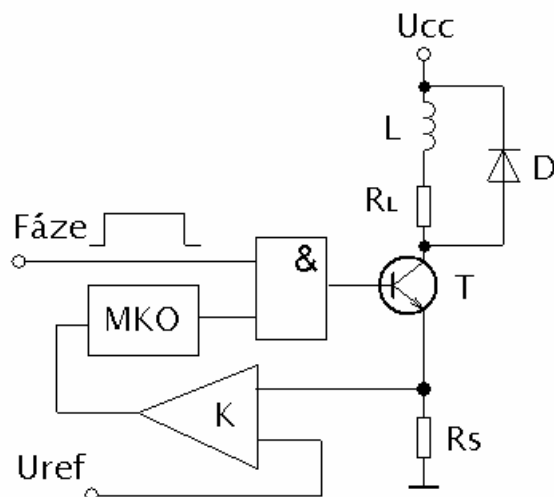
Zapojení chopperu potlačuje vliv časové konstanty tak, že po určitou dobu budí fázi napětím U_{CC} , které je vyšší než jmenovité napětí U_{JM} . Velikost časové konstanty je pořád stejná, ovšem protože je aplikováno vyšší napětí, je sklon průběhu proudu strmější. [3]



Obr. 16: Principální schéma budiče typu chopper



Obr. 17: Průběhy proudu pro buzení budičem chopper



Obr. 18: Zapojení budiče typu chopper

Dle obr. 18 si nyní ukážeme, jak zapojení chopperu v principu funguje. [3] Přivedením řídicího signálu s úrovní log 1 na vstup součinného hradla je tato hodnota násobena s hodnotou na druhém vstupu. Protože fáze nebyla v tuto chvíli buzena, je na tomto druhém vstupu hodnota log 1, což je stav na výstupu komparátoru, resp. výstupu MKO. Na výstupu hradla je tedy dle logické funkce AND hodnota log. 1. Tímto je otevřen spínací tranzistor. Po sepnutí tohoto tranzistoru začne fází protékat proud s exponenciálním nárůstem v čase

$$i(t) = \frac{U}{R + R_S}(1 - e^{-t\tau}), \quad (3)$$

kde

$$\tau = R / L \quad (4)$$

je elektrická časová konstanta. Tento proud protéká rezistorem R_S a vytváří na něm úbytek napětí U_S úměrný velikosti proudu. Toto napětí U_S je komparátorem porovnáváno s referenčním napětím s hodnotou U_{REF} , kde

$$U_{REF} = I \cdot R_S \quad (5)$$

Při hodnotě $U_S > U_{REF}$ změní komparátor výstup na log 0. Tento signál je přes MKO ve formě pulzu log 0 o pevné době T_{OFF} přiveden na vstup součinného hradla. Výstup hradla bez ohledu na logickou hodnotu na druhém, řídicím vstupu bude mít hodnotu log. 0, čímž dojde k uzavření spínacího tranzistoru. Proud i dodávaný akumulovanou energií v indukčnosti L se uzavře přes připojenou diodu a bude klesat. Výstup komparátoru tento pokles proudu sice okamžitě zaznamená a změní svůj vstup na log. 1. Toto se ale projeví na vstupu součinného hradla až po uplynutí doby T_{OFF} dané MKO. Poté je spínací tranzistor opět sepnut a následuje opět nárůst proudu a celý děj se opakuje. Pokud chceme vypnout buzení

fáze, přivedeme na řídicí vstup součinného hradla úroveň log. 0. Tím dojde bez ohledu na stav komparátoru k uzavření spínacího tranzistoru a k exponenciálnímu poklesu proudu.

Hodnota U_{CC}/L se nazývá *slow decay*. [3]

Pomalý pokles proudu po vypnutí buzení fáze lze v praxi odstranit několika způsoby. Jednou z možností je do série s diodou D zařadit rezistor R_D , který zkrátí časovou konstantu.

$$\tau = L / (R_L + R_D) \quad (6)$$

Tímto se ale zvýší nároky na spínací tranzistor, resp. na jeho kolektorové závěrné napětí. Další možností je zařadit Zenerovu diodu do série s diodou D. Průběh zániku proudu bude nejstrmější.

Pomalý pokles proudu při vypnutí buzení fáze v unipolárním zapojení lze řešit zapojením H-můstku, který je určen pro bipolární buzení hybridního KM. Zapojení je obdobou obr. 4a. Jedna fáze je nejprve buzena proudem jedné polarizace a následně pak opačnou polarizací. Jedná se o čtyřtaktní řízení s buzením dvou fází, kdy jsou vždy sepnuty dva křížové tranzistory. [3]

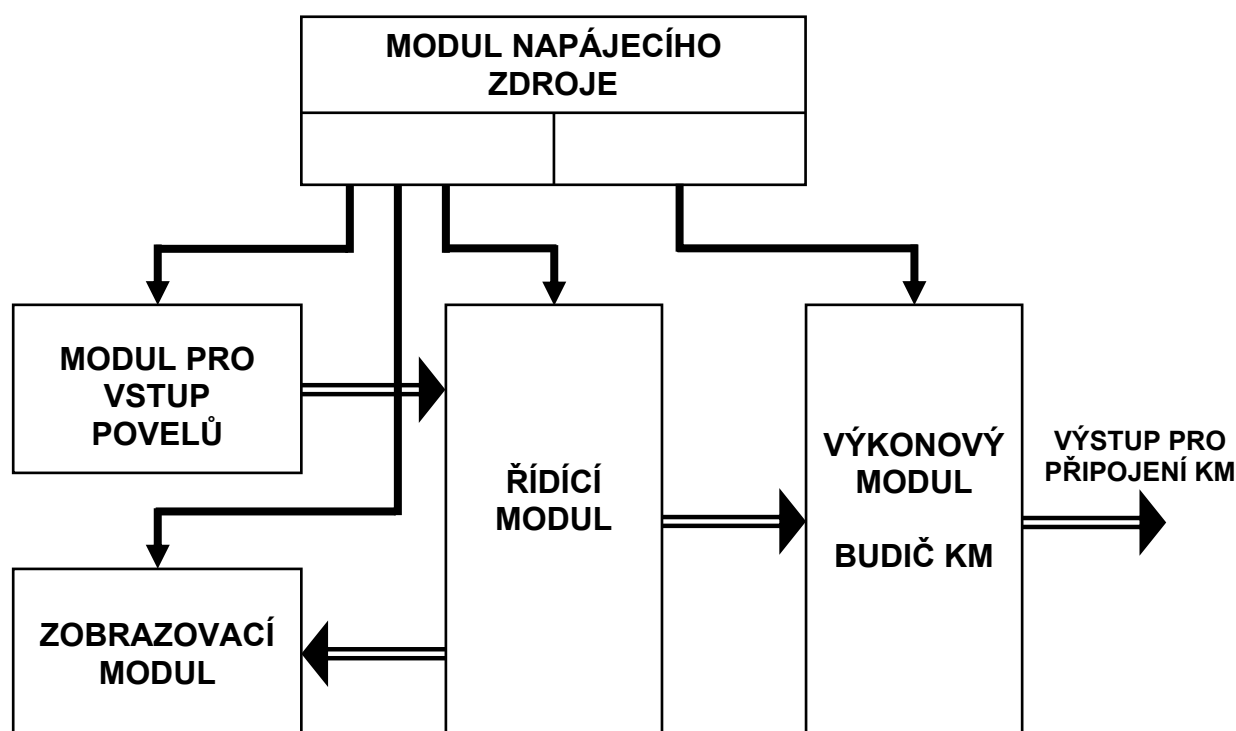
3.4 Budicí obvody pro mikrokrokování

Buzení fází krokového motoru napěťovým, případně proudovým zdrojem je v současné době stále častěji nahrazováno frekvenční modulací budicího proudu – chopping. Základní princip je popsán výše. Úbytek napětí (úměrný proudu vinutím) je komparátorem porovnáván s referenčním napětím. Pokud bude toto referenční napětí programovatelné D/A převodníkem, je možné snadno realizovat mikrokrokování (viz kap.2.4). [3], [6], [8]

4. Návrh koncepce řídicího obvodu pro ovládání krokového motoru

Byly uvedeny základní druhy krokových motorů, jejich vlastnosti a nejdůležitější parametry. Dále pak byl uveden přehled v praxi nejčastějších způsobů buzení KM včetně základních principálních zapojení a hlavních vlastností každého typu budiče. V následující části bude rozebrán návrh koncepce řídicího obvodu pro konkrétní typ krokového motoru.

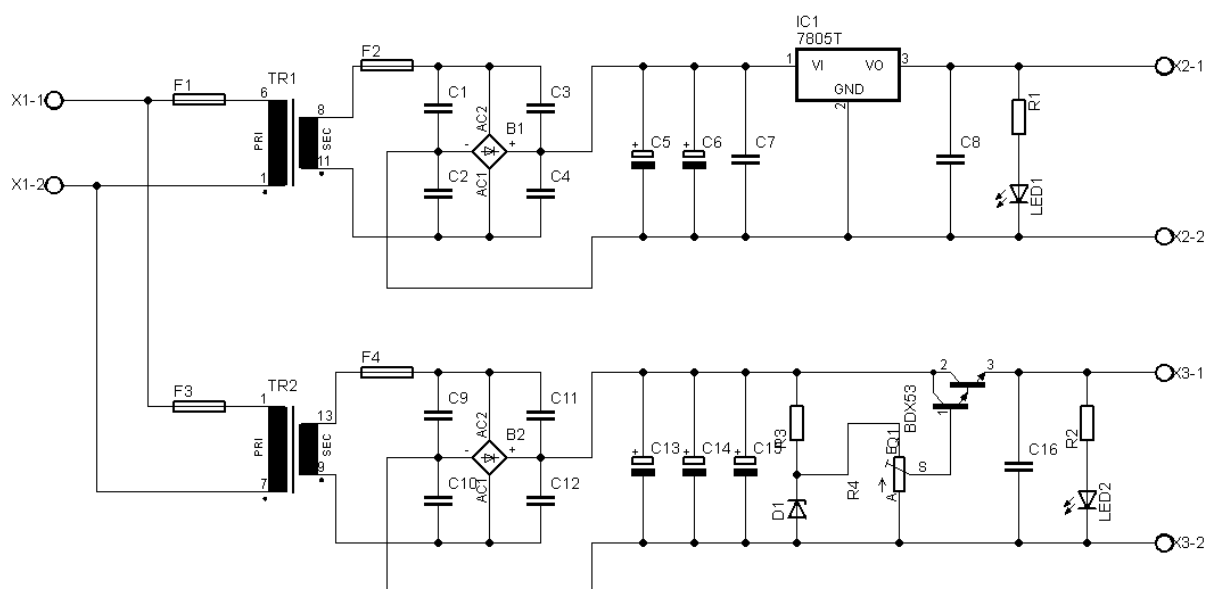
Cílem projektu je realizace návrhu zapojení řídicího obvodu pro krokový motor. Jedná se o dvoufázový hybridní krokový motor se 6 vývody. Zapojeny jsou dva a dva konce obou vinutí + 2 samostatně vyvedené středy vinutí (viz kap. 1). Typ KM je: 44A501711 se 200 kroky/ot a jmenovitým napětím 2,3V/ proudem 2,3A. Základními požadavky jsou možnost nastavení počtu a rychlosti otáčení, dále pak možnost volby směru otáčení. Zařízení má mít možnost indikovat nastavené parametry na displeji a zobrazovat aktuální pozici – polohu natočení hřídele KM. Celá koncepce navrhovaného zařízení je rozdělena do několika bloků. Základní blokové schéma celého řídicího obvodu pro uvedený krokový motor ukazuje obr. 19. Dále pak bude popsána realizace těchto jednotlivých dílčích bloků.



Obr. 19: Blokové schéma koncepce navrhovaného řídicího obvodu

4.1 Modul napájecího zdroje

Z parametrů zvoleného krokového motoru vyplývají požadavky na napájecí zdroj. Napájení výkonové části pro buzení samotného KM je zajištěno odděleným zdrojem dostatečně dimenzovaným pro tuto zátěž. Celkové schéma zapojení napájecího zdroje uvádí obr. 20.



Obr. 20: Schéma zapojení modulu napájecího zdroje

Ze zapojení jsou patrné dvě oddělené napájecí větve. Vzhledem k tomu, že celé zařízení obsahuje řídicí část vyžadující stabilizované napájení s minimálním vlivem rušení pro napájení samotné řídicí logiky, modulu pro vstup povelů i zobrazovacího modulu s displejem, je vhodné, aby tyto bloky měly vlastní oddělený zdroj napájení se stabilizovaným a dostatečně vyfiltrovaným napětím na výstupu. Dalším důvodem je rovněž to, že v případě výskytu možné poruchy ve výkonové části, nebude tímto ovlivněna řídicí část včetně zobrazovacího modulu. Pro napájení těchto bloků je využito integrovaného stabilizátoru 7805 s max. vstupním napětím 35V, výstupním stabilizovaným napětím 5V pro max. odebíraný proud 1A, což je pro účely napájení těchto bloků plně dostačující. Zapojení vychází z doporučení výrobce tohoto obvodu.

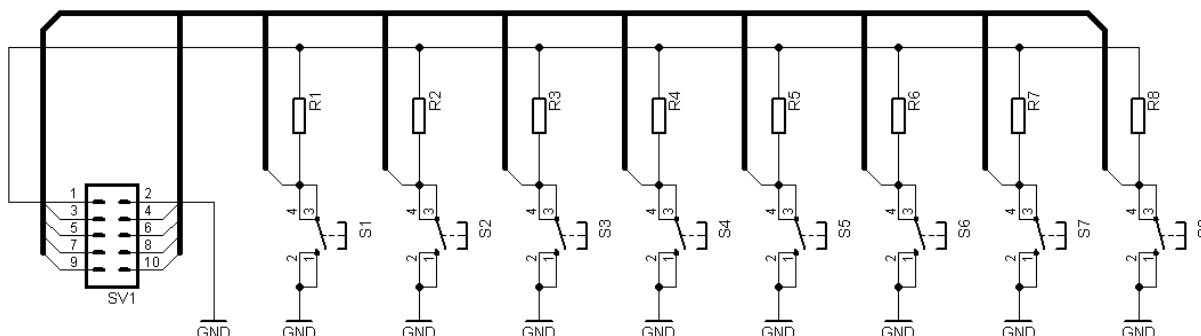
Spodní větev zajišťuje napájení samotného krokového motoru. Tato část je založena na zapojení stabilizátoru napětí se Zenerovou diodou a výstupním tranzistorem pro proudové posílení výstupu. Vyznačuje se jednoduchostí a vhodnou volbou výstupního tranzistoru je v případě potřeby možné dosáhnout i relativně velkých výstupních proudů. V těchto případech je ale nutné tento tranzistor dostatečným způsobem chladit, neboť na něm průchodem tohoto výst. proudu vznikají relativně velké tepelné ztráty. Velikost výstupního napětí lze plynule nastavit v rozmezí od 0 do 6,2V odporovým trimrem R4. Pro zvolený typ připojeného krokového motoru je toto napětí nastaveno na hodnotu 2,1V.

Pro obě větve napájecího zdroje (větev pro napájení řídicí logiky i větev pro buzení krokového motoru) jsou využity síťové transformátory do plošného spoje z důvodů malých kompaktních rozměrů i relativně nízké ceny. Pro uvedený účel jsou tyto prvky plně vyhovující. K indikaci přítomnosti výstupního napětí v jednotlivých větvích je zdroj osazen indikačními LED diodami LED1 a LED2. Osazovací výkres a předloha motivu pro výrobu desky plošného spoje (DPS) jsou uvedeny v příloze 1.

4.2 Modul pro vstup povelů

Požadavkem celého řídicího obvodu pro ovládání krokového motoru je možnost zadávání směru otáčení, počtu otáček a rychlosti krokování KM. Nabízí se několik variant, jakým způsobem tyto údaje do zařízení zadávat.

Pro zadávání vstupních povelů byla zvolena kombinace připojení tlačítek a maticové klávesnice. Deska s tlačítky (mikrospínače) slouží k obsluze základních možností nastavení zařízení a připojená maticová klávesnice (3x4 tlačítka, znaky * a #) slouží k nastavení počtu kroků KM.



Obr. 21: Schéma zapojení tlačítkové části modulu pro vstup povelů

Schéma zapojení připojených tlačítek uvádí obr. 21. Deska obsahuje celkem 8 tlačítek, přičemž prvních 6 v pořadí zleva slouží ke spuštění krokování směrem doleva, zastavení krokování, spuštění krokování směrem doprava, volbu pro nastavení počtu kroků z maticové klávesnice, snížení a zvýšení krokovací rychlosti (viz obr. 22).

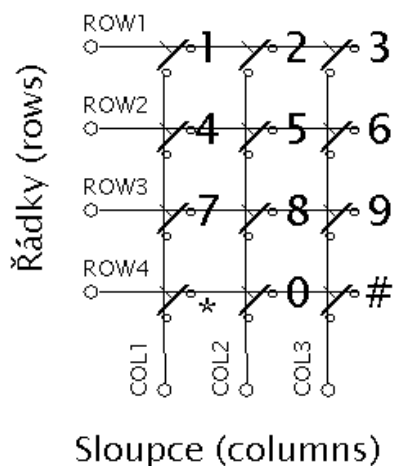
START: L	STOP	START: P	NAST. POC. KR	SNIZ. RYCHL	ZVYS. RYCHL.
----------	------	----------	------------------	-------------	-----------------

Obr. 22: Funkce tlačítek pro ovládání KM

Zbývající 2 tlačítka jsou nevyužity a slouží k budoucímu možnému rozšíření funkcionality zařízení, např. o možnost ukládání a načítání nastavených parametrů do/z paměti. Princip činnosti takového zapojení je založen na tom, že v rozpojeném stavu, tzn. není-li žádné z tlačítek stisknuto, je na výstupu příslušné linky úroveň log 1, což zajišťují rezistory připojené vždy proti napětí 5V. Při stisku konkrétního tlačítka dojde k vyslání úrovně log 0, tlačítko spojí výstup s úrovní 0V.

Pro možnost nastavení konkrétní požadované hodnoty počtu kroků je k zařízení připojena maticová klávesnice. Počet kroků se zadává po stisku tlačítka pro nastavení počtu kroků jako trojčíferné číslo potvrzené stiskem znaku #. Stisk znaku * slouží k opravě při nastavování těchto údajů. Zapojení maticové klávesnice je uvedeno na obr. 23. Princip je velmi jednoduchý. Při stisku libovolného z tlačítek dojde ke spojení vodičů odpovídajícího sloupce s odpovídajícím řádkem. Tato kombinace jednoznačně určuje pozici a tedy konkrétní stisknuté tlačítko v matici. Standardně má taková klávesnice 12 tlačítek a připojuje se celkem 7 vodičů – 4 řádkové a 3 sloupcové.

Výhodou použití maticové klávesnice je velká univerzálnost, nevýhodou je pak složitější způsob programové obsluhy takové klávesnice. Uveďme zde ještě, že existuje také klávesnice s jedním společným vývodem pro všechny tlačítka. Tato se programově obsluhuje jednodušeji než maticová klávesnice, je však třeba ji připojit větším počtem vodičů ($N+1$, kde N je počet tlačítek a 1 vodič je společný). Takové zapojení obsazuje často potřebné linky vstupních portů a z tohoto důvodu se v praxi s tímto typem klávesnice setkáme mnohem méně než s maticovou klávesnicí.



Připojení klávesnice k portu

PX7	PX6	PX5	PX4	PX3	PX2	PX1	PX0
-	COL3	COL2	COL1	ROW4	ROW3	ROW2	ROW1

Obr. 23: Zapojení maticové klávesnice

4.3 Řídící modul

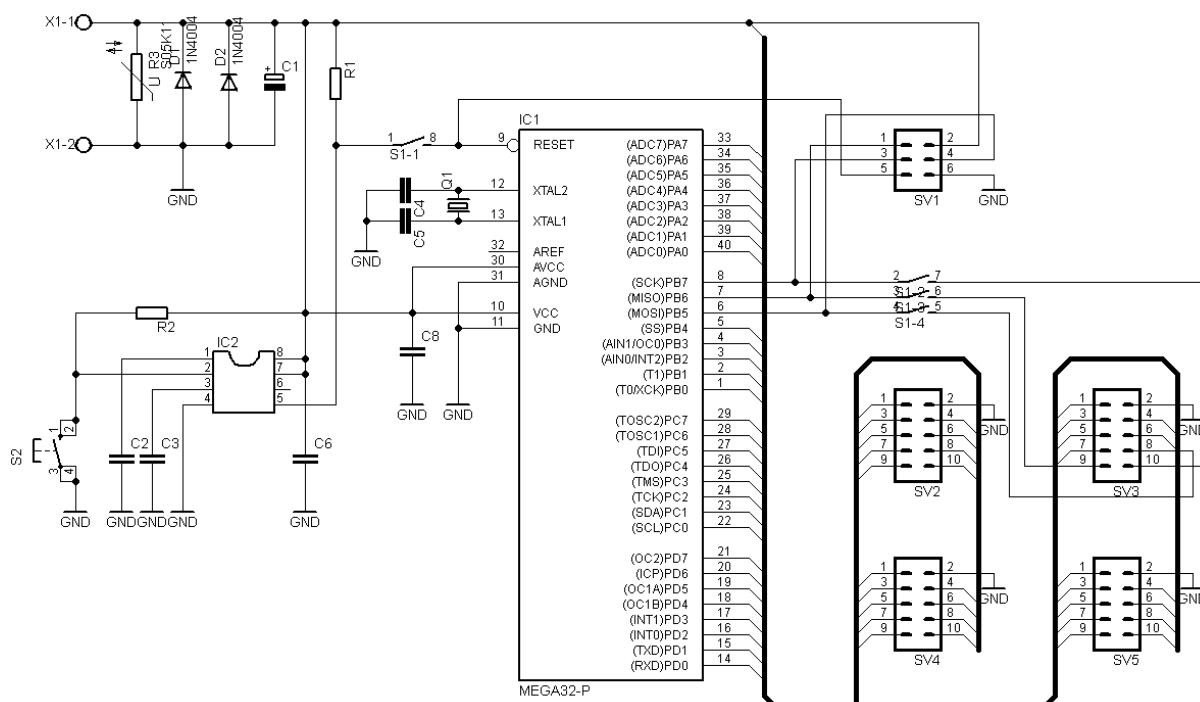
Stěžejní komponentou celého systému pro ovládání KM je řídicí modul. Jedná se o logické obvody zajišťující vysílání elektrických impulsů pro krokový motor (tyto je potřeba před přivedením na vstup KM výkonově zesílit) ve správném pořadí definované délky, čímž zajistíme krokování – roztočení KM.

Řízení krokového motoru pomocí řady kombinačních a sekvenčních logických obvodů by bylo velmi složité a nákladné na realizaci, proto se nejčastěji v praxi setkáme s řízením krokového motoru mikrokontrolerem případně speciálním obvodem – budičem krokového motoru.

Mikrokontrolery jsou velmi univerzální logické obvody umožňující programové přizpůsobení přímo pro konkrétní aplikaci. Ke své činnosti vyžadují tyto obvody minimum externě připojených součástek a rovněž velkou výhodou je jejich relativně nízká cena. Existuje celá řada takových obvodů. Uvedme neznámější a nejpoužívanější typy, jakými jsou mikrokontrolery PIC výrobce Microchip Technology a AVR výrobce Atmel. Oba typy mají podobné parametry i funkce pro různé konkrétní aplikace, ale odlišují se svou instrukční sadou. Záleží tedy na programátorovi, kterému obvodu dá při realizaci obvodu s mikrokontrolerem přednost.

Pro navrhovaný řídicí obvod KM byl zvolen mikrokontroler AVR výrobce Atmel. Uvedme zde několik základních poznatků o těchto obvodech. Jedná se o 8 bitové mikrokontrolery s redukovanou instrukční sadou. Zkratka AVR vznikla z Advanced Virtual RISC. Existuje několik výrobních řad těchto obvodů. Patrně nejznámější a z hlediska hardwarového vybavení nejlepší řada je řada ATmega. Tyto obvody mají více integrovaných rozhraní, větší vnitřní paměť a programovací rozhraní JTAG (bude zmíněno níže). Další používanou řadou těchto obvodů je řada ATtiny. Tyto obvody jsou z hlediska integrovaného hardwarového vybavení jednodušší, používají se v jednodušších elektronických aplikacích, jsou tedy levnější a obecně mívají od 8 do 20 pinů. Jejich instrukční sada je omezená – některé instrukce z instrukční sady zde nejsou podporovány. Existuje ještě také řada AT90, která se však v dnešní době používá stále méně často, neboť obvody z této řady lze bez problémů nahradit obvody řady ATmega, případně ATtiny. [1], [2]

Z hlediska programování těchto obvodů se v praxi nejčastěji používají tři způsoby, a sice paralelní programování. Tento způsob programování umožňuje nastavit v cílovém mikrokontroleru některé funkce, které jiným způsobem naprogramovat nelze (řeší programování v případě použití zámků – bitů blokujících přeprogramování obvodu). Velmi často se setkáme se sériovým programátorem ozn. ISP. Tento způsob je založen na obousměrné komunikační sériové lince pro přenos dat z prostředí programovací aplikace na PC do mikrokontroleru a pro zpětnou verifikaci nahraných dat. Jsou zde také vodiče pro RESET obvodu před začátkem programování a rovněž vodič pro synchronizační hodinový signál. Jiný, modernější způsob programování je označován jako JTAG. Jedná se o obdobnou sběrnici pro přenos dat jako u ISP programování. Data jsou přenášena také sériově, ale větší univerzálnost tohoto způsobu programování spočívá především v možnosti ladit program přímo za běhu aplikace, tzv. „on chip debugging“. Na tento způsob programování postupně přechází stále více výrobců programovatelných obvodů (nejen mikrokontrolerů).



Obr. 24: Schéma zapojení řídicího modulu

Na obr. 24 je uvedeno schéma zapojení řídicího modulu. Základem celého zapojení je 8 bitový jednočipový mikrokontroler Atmega32 v pouzdru DIL40. Tento obvod obsahuje 4 plně osazené vstupně/výstupní porty, 32kB vnitřní flash paměti pro program, 1kB vnitřní EEPROM paměti a 2kB interní SRAM pro data. Obvod podporuje programování jak pomocí rozhraní ISP, tak také i JTAG. Maximální frekvence hodinového signálu je 16MHz (viz [7]).

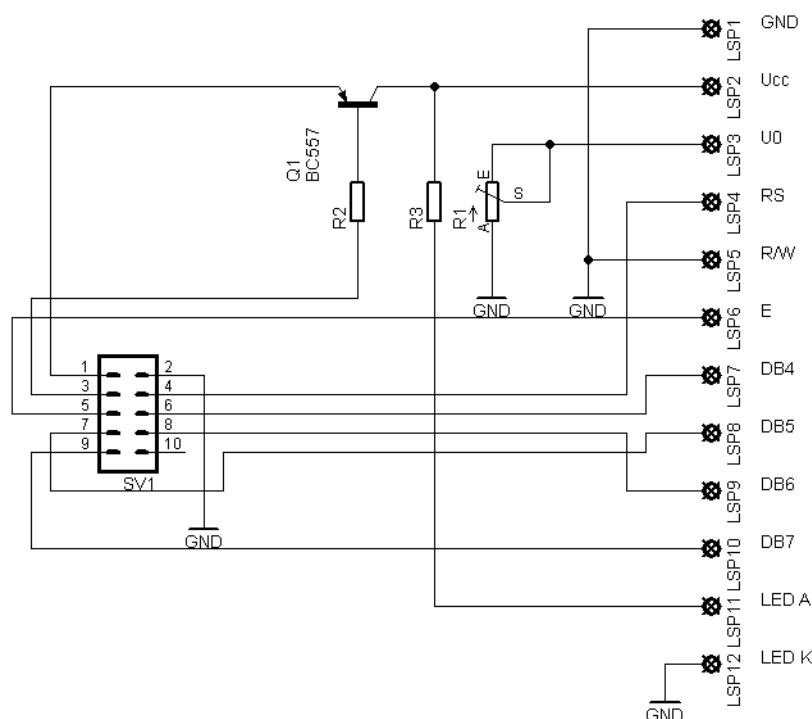
Na vstupu napájecího napětí 5V je zapojen varistor a následně transil pro eliminaci přepětíových špiček. Dioda D1 chrání obvod před možností prepólování napájecího napětí. Zapojení obvodu IC2 spolu s tlačítkem S2 slouží pro hardwarové resetování mikrokontroleru. Obvod IC1 má vyvedeny všechny 4 porty. Zde budou připojeny ostatní moduly zařízení prostřednictvím konektorů SV2 až SV4, přičemž na prvním pinu každého z těchto konektorů je připojeno napětí +5V a na posledním pinu úroveň GND pro napájení připojených modulů. Konektor SV1 je standardně zapojený programovací rozhraní ISP. Vzhledem k tomu, že některé signály nutné pro programování obvodu přes ISP rozhraní jsou zároveň linky portu B, na kterém je připojen externí modul, mohlo by při programování docházet ke kolizím logických úrovní. Z tohoto důvodu je zařazen 4 násobný DIP spínač pro možnost odpojení těchto linek před programováním v případě výskytu uvedených kolizí. Jako zdroj hodinového signálu slouží externí krystal Q1 se jmenovitou frekvencí oscilací 10MHz.

4.4 Zobrazovací modul

Celé zařízení pro ovládání krokového motoru má být schopno zobrazovat uživateli nastavované hodnoty + aktuální stav, resp. polohu natočení. V praxi nejčastějším způsobem indikace je použití displeje. Obvykle se používá sedmisegmentový displej LED nebo znakový displej LCD. Uvedme nyní základní vlastnosti obou používaných zobrazovačů.

Mezi hlavní výhody sedmisegmentového zobrazovače patří především vysoký kontrast, velký pozorovací úhel a z toho vyplývající vysoká čitelnost. Velkou výhodou je v praxi také velmi nízká cena a v případě použití pouze jednoho sedmisegmentového prvku také jednoduché řízení. Nevýhodou je ovšem to, že při použití tohoto zobrazovače jsme obvykle omezeni na malé množství předem vytvořených znaků – segmenty pro číslice 0-9, zde je možné zjednodušeně zobrazit také několik písmen abecedy. V praxi je navíc velmi často nutné zobrazovat více než jednociferný číselný údaj nebo případně jedno písmeno, proto se v zapojení používá těchto sedmisegmentových LED displejů více. Pak již narůstá složitost jejich řízení.

V modernějších aplikacích se obvykle setkáme se zobrazovačem založeným na tekutých krystalech - displejem LCD. Velkou výhodou jsou velmi široké možnosti v zobrazování znaků (čísllice, znaky abecedy i speciální znaky a symboly). Tyto displeje mají často možnost podsvětlení, což zlepšuje čitelnost zobrazených údajů i za zhoršených světelných podmínek. Za nevýhodu těchto zobrazovačů lze považovat poměrně složitý způsob řízení a rovněž i cenově jsou na tom tyto displeje hůře ve srovnání s displeji LED.



Obr. 25: Schéma zapojení modulu pro LCD displej

Pro navrhovaný systém pro řízení krokového motoru bylo zvoleno použití znakového LCD displeje se 2 řádky po 16 znacích. Jedná se konkrétně o modul MC1602-SBL/H s modrým podsvětlením zobrazovací plochy. Schéma jeho připojení k řídicímu modulu uvádí obr. 25. Z důvodů omezeného počtu linek portů řídicího obvodu je použit režim 4 bitové komunikace – vývody modulu DB0 až DB3 jsou nevyužity. Na displej se tak data posílají po 4 bitech – horní a následně dolní polovina 1 bajtové informace o adrese zobrazovaného znaku ve vnitřní paměti řadiče displeje. Odporový trimr R1 slouží k nastavení kontrastu LCD. PNP tranzistor Q1 je zapojen na napájecí vývod displeje a slouží pro možnost programově ošetřit reset tohoto modulu. Současně je zde připojen i vývod podsvětlení displeje (pájecí pin LSP11 – A, LSP12 – K je připojen na GND). Samotný displej je k modulu připojen pomocí 12 krátkých vodičů. Ozazovací plán a předloha pro výrobu DPS je uvedena v příloze 4.

4.5 Modul výkonového budiče

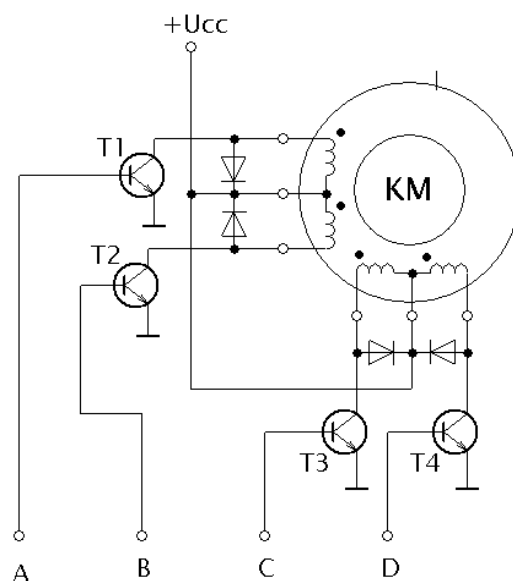
Vzhledem k tomu, že jako typ krokového motoru pro tuto aplikaci byl zvolen dvoufázový hybridní KM s unipolárním zapojením fází, odvíjí se od toho také možné způsoby, jakými lze tento typ KM budit. V kap. 3 byly popsány základní způsoby buzení KM. Byly uvedeny vlastnosti každého ze zapojení budičů i jejich výhody a nevýhody.

Rozeberme nyní vhodnost použití jednotlivých typů budičů pro zvolený KM. Buzení z napěťového zdroje je obvodově nejjednodušší, vyžaduje minimum použitých součástek (výkonový tranzistor, ochranná dioda). Jak bylo uvedeno, velkou nevýhodou je velikost časové konstanty, která je způsobena přechodovým dějem při zapínání a vypínání buzení vinutí KM. Tato časová konstanta se výrazně projevuje v momentové charakteristice motoru. Na druhou stranu, její negativní vliv se více uplatňuje zejména až v oblastech středních a vyšších krokovacích frekvencí, takže v aplikacích KM, kde nejsou požadovány vysoké otáčky je toto zapojení i díky své jednoduchosti velmi vhodné.

Druhým způsobem buzení vinutí KM je použití vnuceného proudu nebo buzení přímo z proudového zdroje. Výhodou proti předchozímu zapojení je zkrácení časové konstanty přechodového děje při spínání a rozepínání proudu do vinutí KM. Toho se docílí zařazením rezistoru do série s vinutím KM. Velkou nevýhodou však jsou relativně velké výkonové ztráty na tomto rezistoru, zvláště v případech, kdy je potřeba dodávat do vinutí vyšší proudy.

Třetím z uvedených způsobů buzení KM je tzv. pulzní proudový zdroj – chopper. Jeho velkou výhodou je zkrácení doby časové konstanty nežádoucího přechodového děje, což je velmi výhodné zvláště v aplikacích s vysokými frekvencemi otáčení. Nevýhodou této konstrukce je proti předchozím zapojením výrazněji složitější (a tedy také nákladnější) konstrukce. [3]

Na základě výše uvedeného přehledu buzení KM byl jako nejvhodnější vybrán pro zvolený KM a konkrétní danou aplikaci způsob buzení krokového motoru z napěťového zdroje. Principální zapojení je uvedeno na obr. 26.

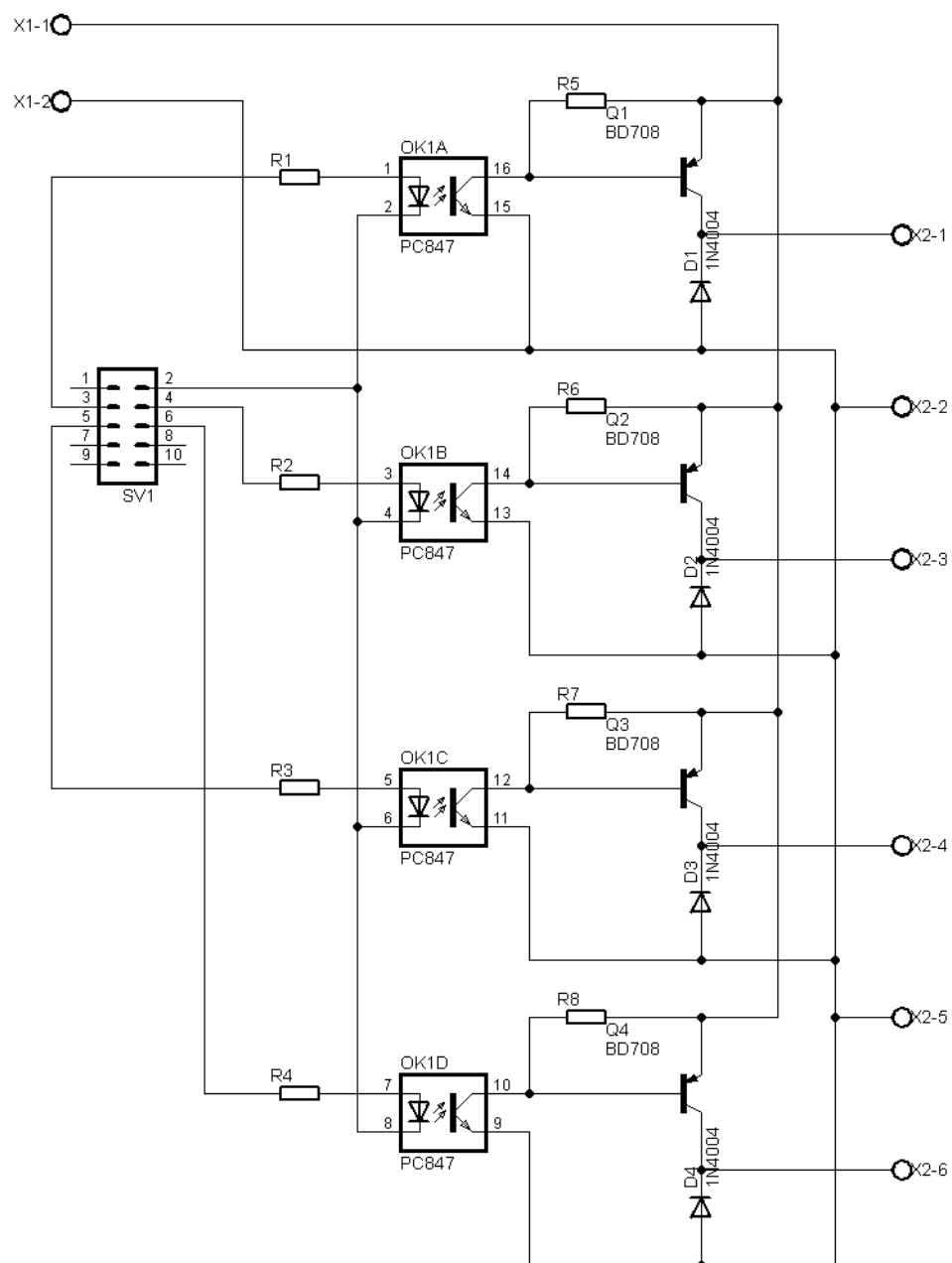


Obr. 26: Princip buzení KM z napětového zdroje

Z důvodu omezení možnosti přenosu případné poruchy ve výkonové části zapojení do modulů řízení a zobrazování byl použit dvojitý zdroj napájení – viz kap. 4.1. Oddělením napájení mezi výkonovou částí a řídicím modulem rovněž dochází k velmi výrazné eliminaci vlivu rušení vznikajícího spínáním a rozpojováním vinutí cívek krokového motoru. V modulu napájecího zdroje je toto oddělení řešeno použitím dvou síťových transformátorů. V modulu budiče krokového motoru je potřeba přivést řídicí signály z výstupu řídicího obvodu a rovněž jsou zde zapojeny výstupy pro připojení samotného KM. Zde je proto oddělení těchto dvou částí řešeno galvanicky s využitím optočlenu.

Schéma zapojení výkonového budiče KM uvádí obr. 27. Základní princip vychází ze zapojení na obr. 26. Vzhledem k tomu, že v zapojení budiče je využit čtyřnásobný optočlen s výstupními tranzistory typu NPN a řídicí signály z výstupu modulu řízení jsou aktivní v úrovni log 1, jsou na rozdíl od zapojení dle obr. 26 použity výkonové tranzistory PNP - je tedy spínána kladná větev napájecího napětí a cívky vinutí KM jsou připojeny na společnou zem GND.

Výkonové tranzistory Q1-Q4 jsou z důvodu tepelné ztráty vzniklé průchodem proudu buzeným vinutím KM umístěny na chladiči. Diody D1-D4 jsou použity jako ochrana před napěťovými špičkami vzniklými při spínání a rozpojování proudu vinutími. Osazovací výkres a motiv předlohy pro výrobu DPS je rovněž uveden v příloze.



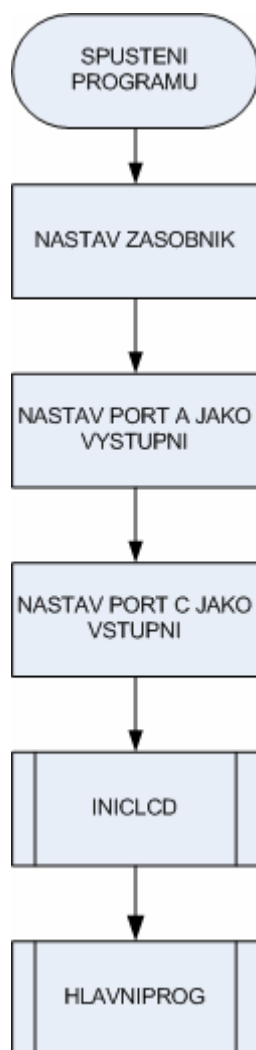
Obr. 27: Schéma zapojení modulu výk.budiče KM

5. Řídící program mikrokontroleru

Jak bylo zmíněno výše, celé zařízení pro ovládání krokového motoru je řízeno jednočipovým mikrokontrolerem ATMEL AVR Atmega32 (podrobněji viz kap. 4.3). Tento obvod byl programován prostřednictvím sériového ISP rozhraní, zdrojový kód byl napsán v jazyce Assembler instrukční sady AVR. Ke kompilaci kódu a následnému programování obvodu řídicího obvodu Atmega32 bylo použito prostředí AVR Studio. Zdrojový kód je uveden na přiloženém CD.

5.1 Spuštění programu

V následujícím bude popsán algoritmus řídicího programu mikrokontroleru. Z důvodu snazší přehlednosti je rozdělen do několika dílčích bloků.



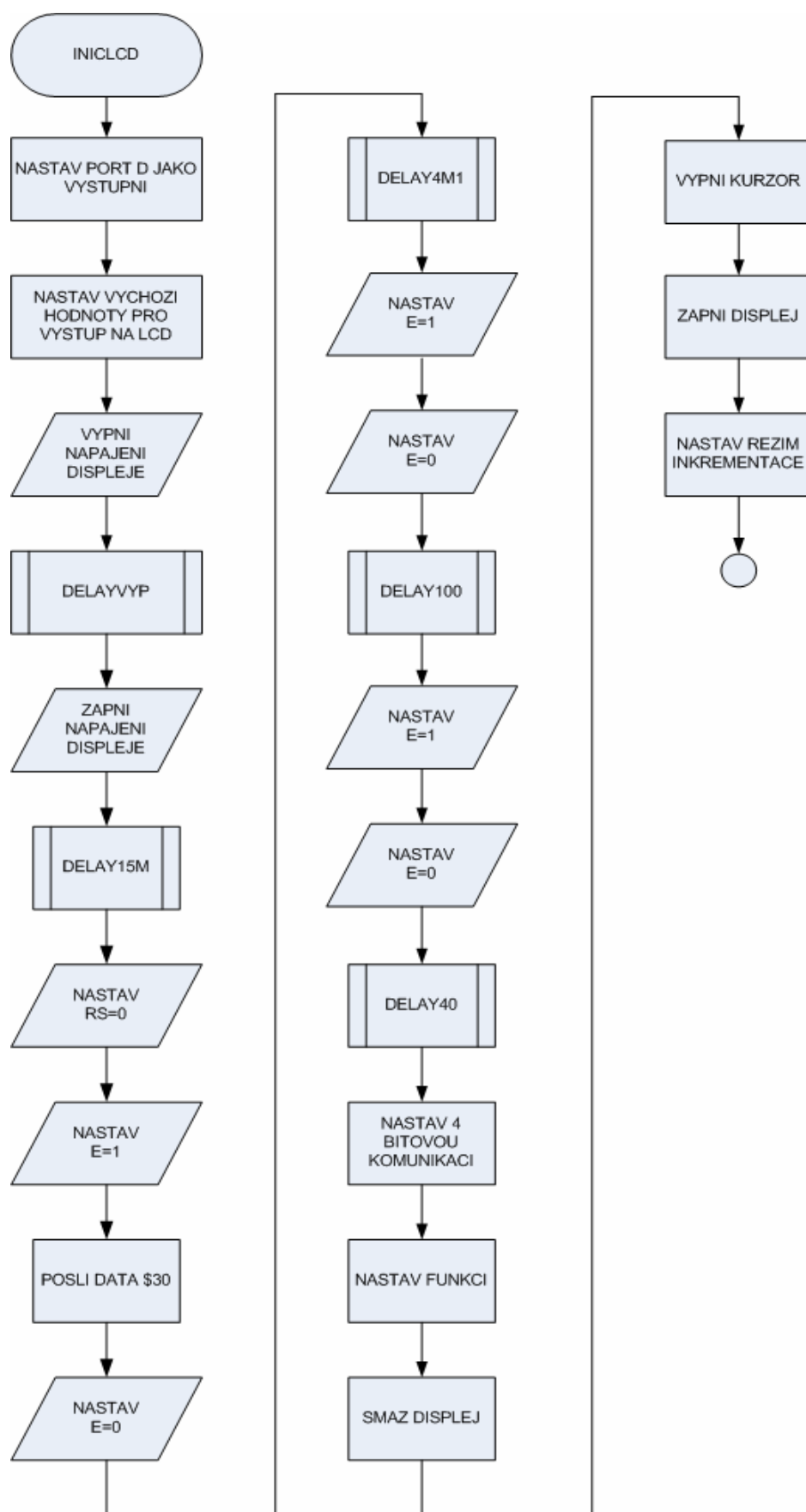
Obr. 28: Vývojový diagram pro spuštění programu

Obr. 28 ukazuje vývojový diagram pro část kódu, která je provedena po spuštění celého zařízení. V prvním kroku je nastaven ukazatel v zásobníku mikrokontroleru na výchozí adresu pro čtení a provádění následujících instrukcí. Port A pro připojení výkonového budiče KM je nastaven jako výstupní a port C pro připojení modulu vstupních povelů s tlačítky je nastaven jako vstupní. V následujícím kroku je volána rutina pro inicializaci LCD displeje a poté je program směřován na hlavní část kódu (bude popsáno níže).

5.2 Inicializace LCD displeje

Po provedení úvodního nastavení je volán podprogram pro inicializaci LCD a nastavení parametrů pro komunikaci s tímto displejem. Tato rutina vychází z komunikace uvedené v katalogovém listu použitého displeje, viz [9]. Tuto inicializační sekvenci uvádí obr. 29.

Nejprve je nastaven port D, na kterém je modul s displejem připojen jako výstupní a následně je na tomto portu nastavena výchozí výstupní hodnota – log 0. Následuje reset modulu displeje jeho vypnutím na dobu cca 2s a opětovným zapnutím. Toto zajišťuje tranzistor Q1 v zapojení modulu displeje (viz kap. 4.4). Po tomto resetu čeká program 15ms a následně jsou nastaveny úrovně řídicích signálů RS na log 0 a E na log 1. Na displej je poslána konstanta 30hex a po změně log. úrovně signálu E na log. 0 program čeká dobu 4,1ms. Tento řídicí signál E je následně nastaven na log. 1, poté opět na úroveň log. 0. Po ulnutí doby 100ms se sekvence nastavení signálu E na log. 1 a poté log 0 opakuje. V dalším kroku program čeká dobu 40ms a následně je nastaven režim 4 bitové komunikace. Po nastavení funkce (zápis dat na displej) je displej vymazán a vypnut kurzor. Následuje zapnutí displeje a nastavení režimu inkrementace při posílání dat na LCD.

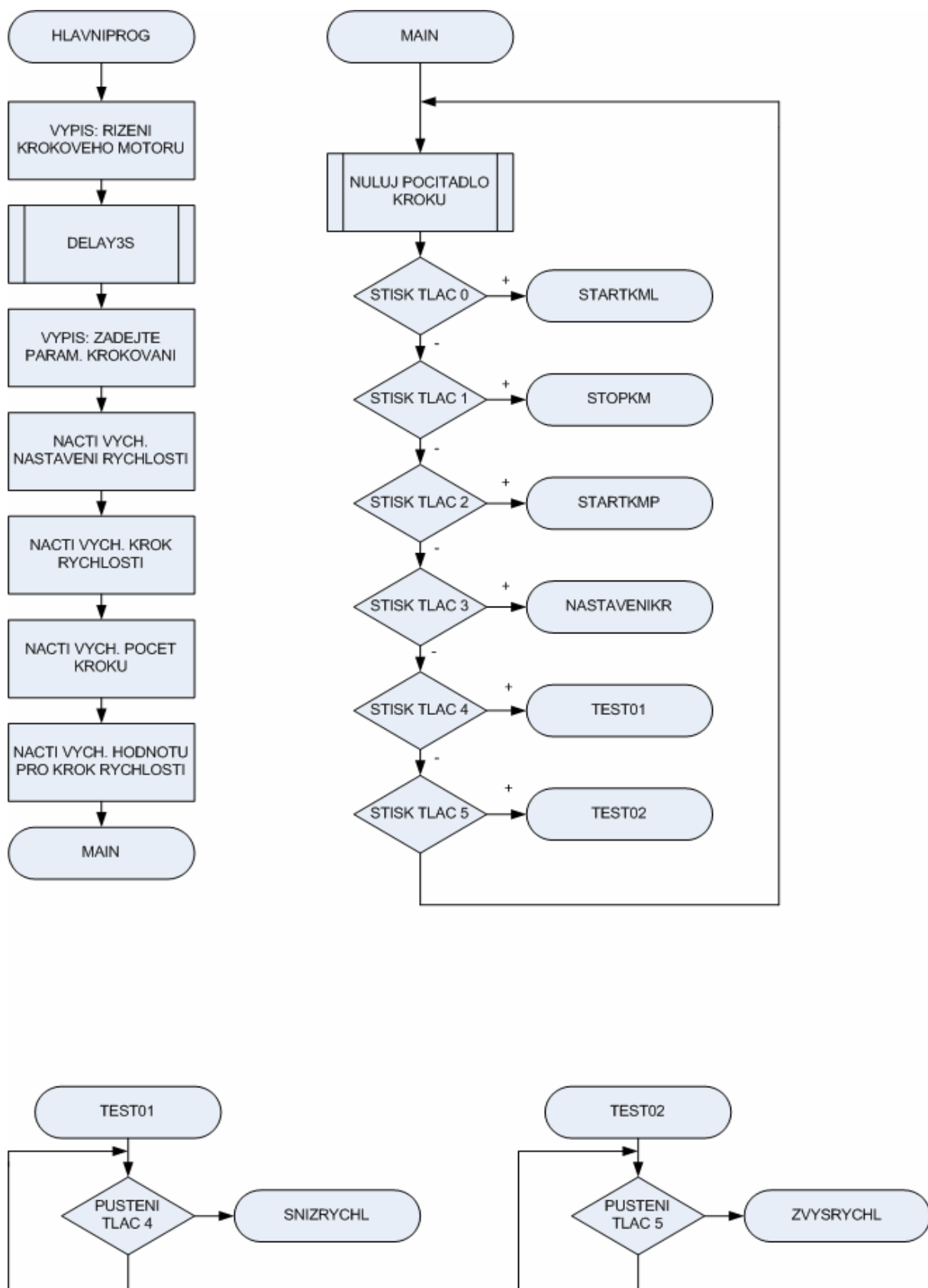


Obr. 29: Vývojový diagram pro inicializaci LCD displeje

5.3 Hlavní program

Na obr. 30 je uveden vývojový diagram pro hlavní smyčku programu, do které se systém dostane po provedení úvodního nastavení a inicializace LCD displeje. Jak je patrné ze sekvencí tohoto algoritmu, nejprve je na displeji vypsán úvodní text „Rizení krokoveho motoru“. Následuje 3s zpoždění, po kterém displej zobrazí hlášení „ Zadejte param. krokovani“. Poté program načte defaultní hodnoty pro nastavení rychlosti krokování, kroku rychlosti, úrovní rychlosti pro zobrazení na LCD a výchozího počtu kroků.

Následující část kódu poté již běží cyklicky ve smyčce. Nejprve je volána rutina pro vynulování hodnoty počítadla provedených kroků. Následně se postupně kontroluje stisk některého z tlačítek na modulu pro zadávání povelů. Po stisku tlačítka 0 (prvního v pořadí zleva) je volán podprogram pro roztočení KM směrem vlevo. Po stisku tlačítka 1 je volán podprogram pro zastavení krokování. Stiskem tlačítka 2 dojde ke spuštění krokování směrem vpravo. Tlačítkem 3 je spuštěn podprogram pro načtení počtu kroků zadaných na maticové klavesnici. Tlačítka 4 a 5 slouží k volání podprogramů pro snížení/zvýšení rychlosti krokování. V tomto případě ovšem nedojde okamžitě k volání daného podprogramu, ale nejprve se testuje puštění těchto tlačítek. Hlavní program totiž běží ve smyčce a i při krátkodobém stisku některého z tlačítek 4 nebo 5 by došlo k nastavení minimální nebo maximální hodnoty rychlosti bez průběžných úrovní.



Obr. 30: Vývojový diagram pro hlavní smyčku programu

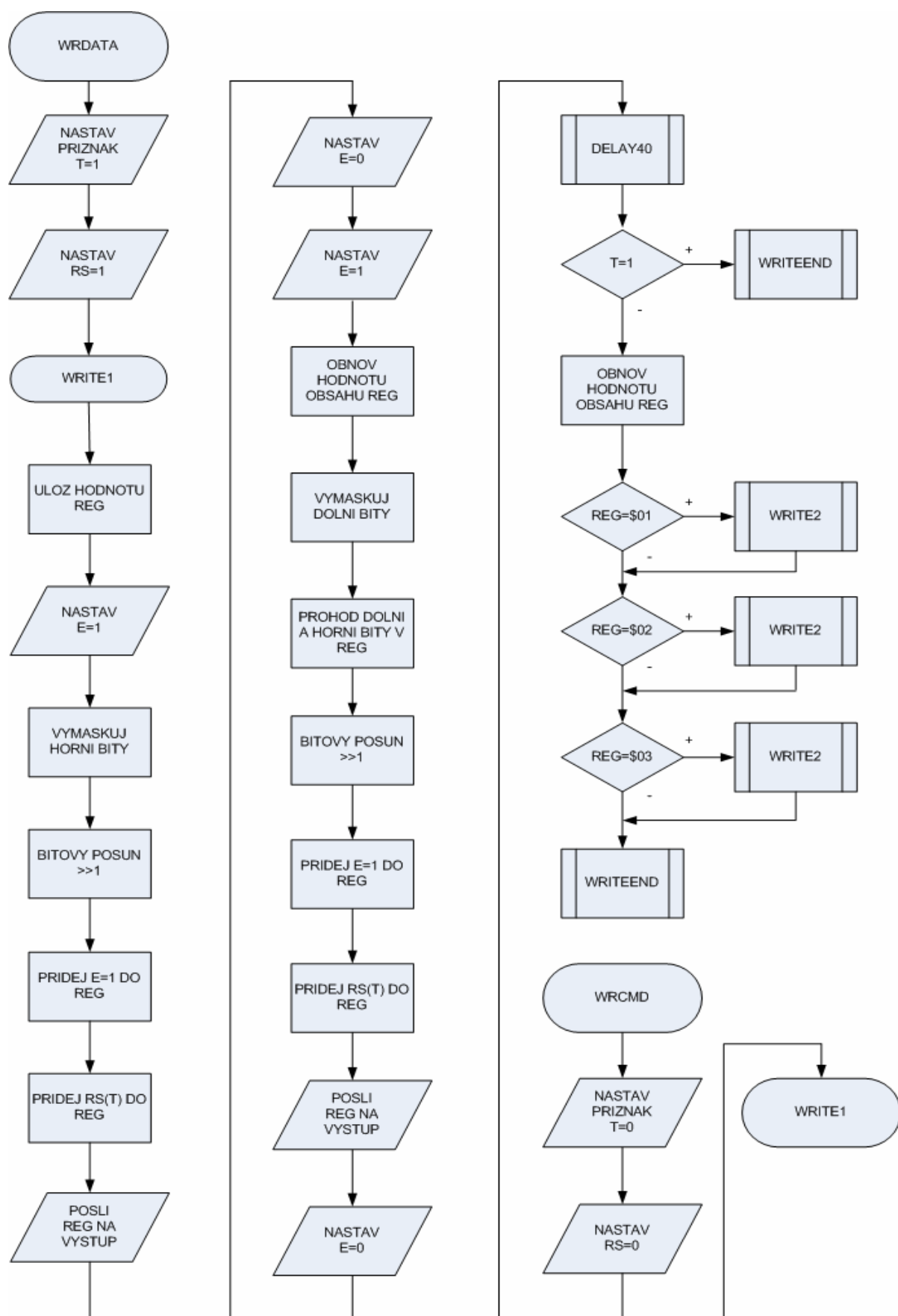
5.4 Zápis dat na LCD displej

Následující podprogram zajišťuje zápis dat na LCD displej a jejich zobrazení. Vývojový diagram tohoto algoritmu uvádí obr. 31. Nejprve je nastaven příznak T ve stavovém registru SREG mikrokontroleru. Úroveň řídicího signálu RS je nastavena na log 1. Do paměti je uložena hodnota pracovního registru (ozn REG). Řídicí signál E je nastaven na úroveň log. 1. Vzhledem k tomu, že způsob komunikace mikrokontroleru s modulem displeje je nastaven jako 4 bitový (popsáno v kap. 4.4), následuje vymaskování horní čtveřice bitu 8 bitového datového slova operací log. AND. Následující operací je bitový posun z důvodu připojení vývodů displeje. K výstupním hodnotám jsou přidány informace o úrovních signálu E a RS a obsah pracovního registru je poslán k modulu LCD displeje. Takto je proveden přenos poloviny datového slova na displej.

V dalším kroku je nastaven řídicí signál E na úroveň log. 0 a poté log. 1. Původní hodnota pracovního registru REG ne obnovena z paměti (kopie uložena v jiném registru). Následující procedura je obdobná výše uvedeně. Logickou operací AND jsou vymaskovány dolní 4 bity registru. Následuje prohození dolní a horní čtveřice bitů slova. Poté je opět proveden bitový posun a k výslednému slovu je přidána informace o řídicích signálech E a RS. Obsah pracovního registru je nyní poslán na výstup pro zobrazení na LCD displeji.

Po nastavení signálu E na úroveň log. 0 následuje 40ms zpoždění a následně je proveden test bitu T stavového registru. V případě, že je hodnota rovna log. 1 je zápis na displej ukončen. V opačném případě je znovu obnovena původní hodnota pracovního registru a tato hodnota je postupně srovnávána s konstantou 01hex, 02hex a 03hex. Při shodě program čeká 1,6ms a následně je kód pro zápis na displej ukončen.

Popsaným způsobem se na displej na určenou pozici zapíše a následně se zobrazí jeden znak, jehož odpovídající hodnota je uložena v pracovním registru REG. Zápis příkazů na LCD displej (např. nastavení pozice pro následný zápis dat) se děje obdobným způsobem s tím rozdílem že v úvodní sekvenci jsou nastaveny: příznak T v SREG na úroveň log. 0 a signál RS také na úroveň log. 0.



Obr. 31: Vývojový diagram pro zápis dat na LCD displej

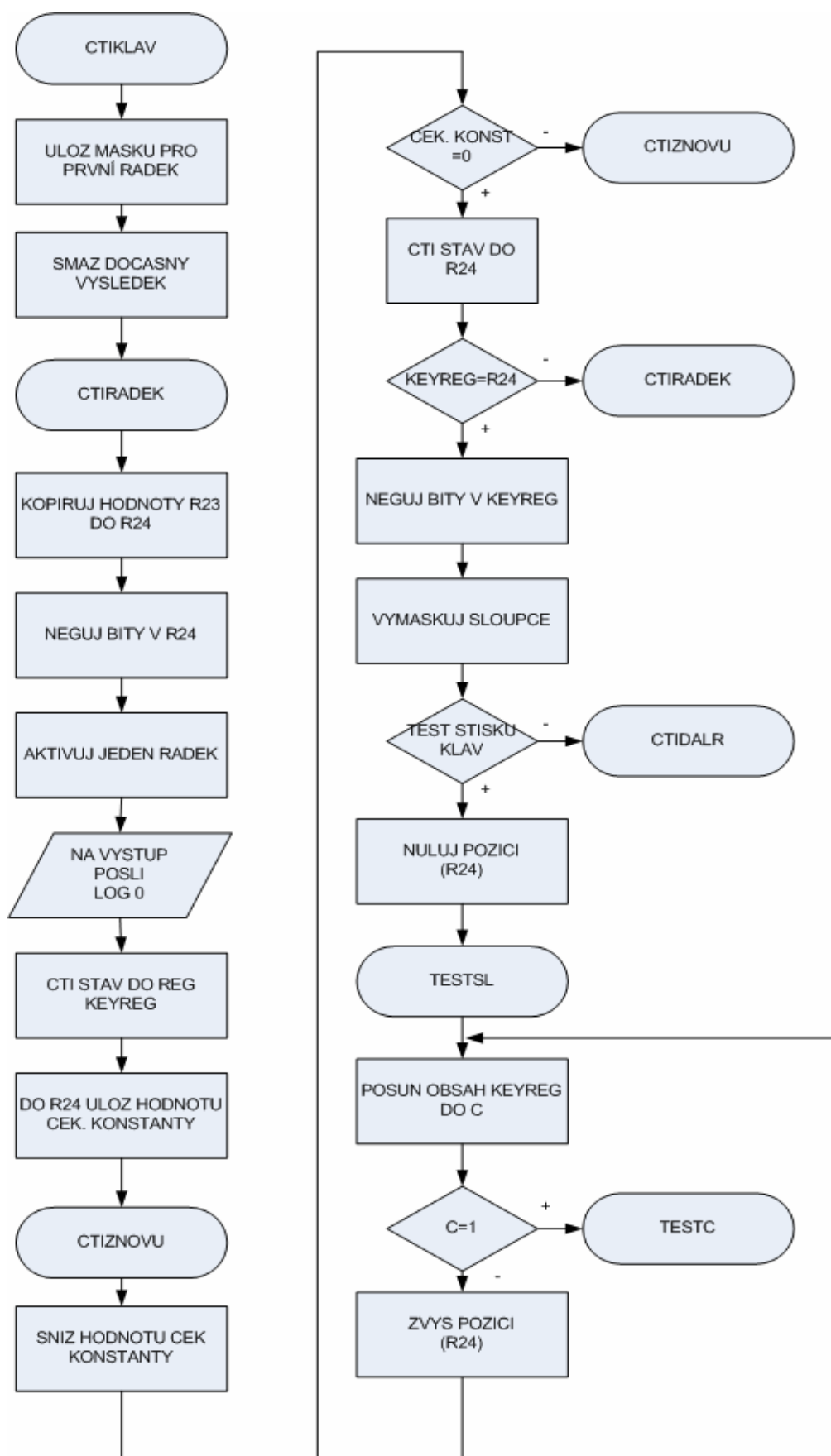
5.5 Čtení dat z klávesnice

Vzhledem k tomu, že maticová klávesnice je připojena na vstup mikrokontroleru menším počtem linek než je celkový počet kláves, je nutné programově zajistit korektní načtení údajů zadaných z této klávesnice. (viz kap. 4.2). Následující rutina plní funkci načtení pozice stisknuté klávesy z klávesnice a uložení kódu klávesy do registru KEYREG.

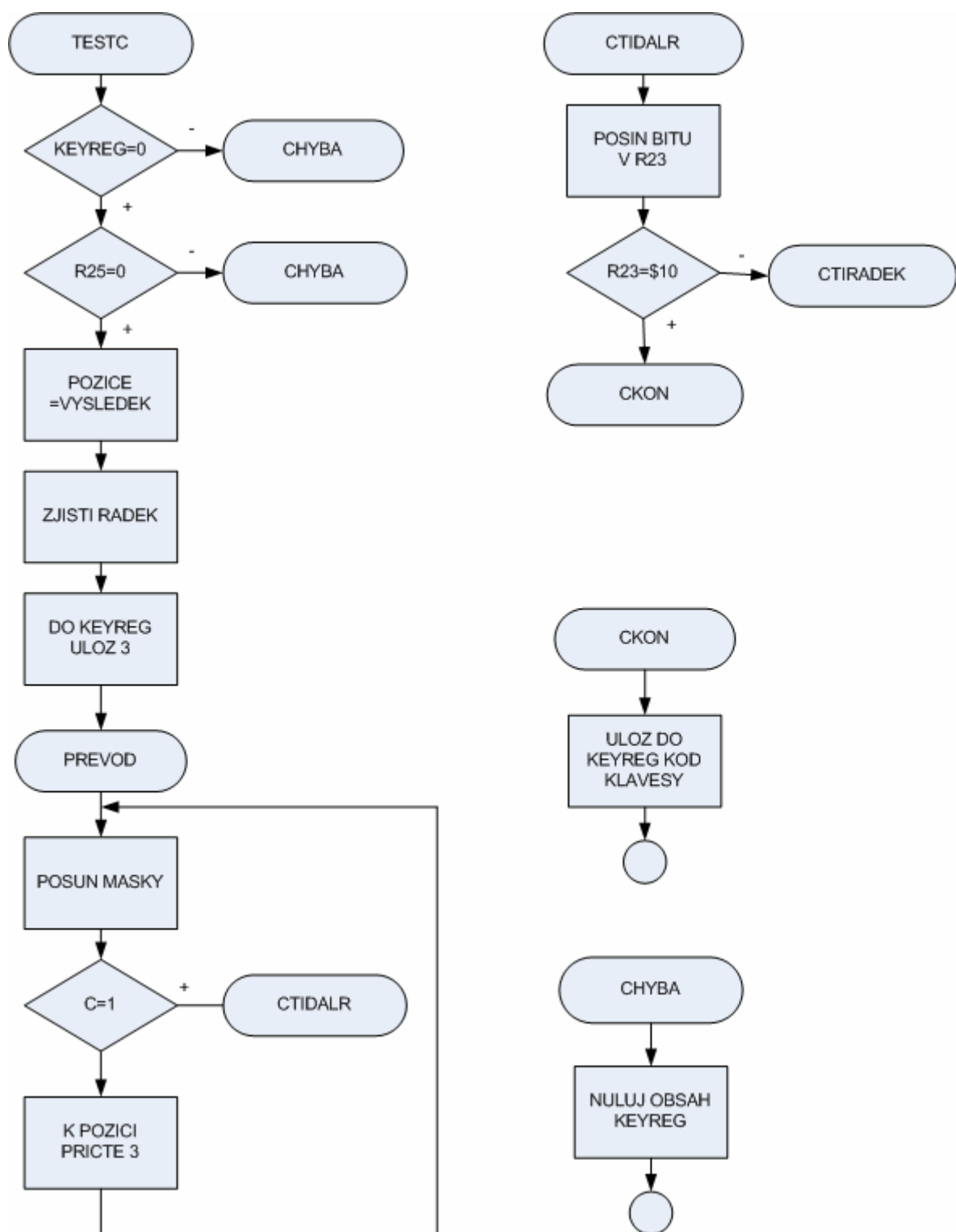
Vývojový diagram algoritmu uvádí obr. 32 a obr. 33. Nejprve je do pomocného registru uložena maska pro první řádek klávesnice. Program pak smaže hodnotu dočasného výsledku pro čtení klávesy. V dalším kroku dochází k negaci bitů masky řádku. Je aktivován jeden řádek a zde je poslána úroveň log. 0. Následuje čtení stavu vstupů z připojené klávesnice a uložení zjištěného kódu do registru KEYREG. Pro eliminaci zákmitů tlačítek je po uplynutí čekací konstanty dané hodnotou v registru R24 stav kláves čten znovu a oba získané výsledky jsou následně porovnány. Pokud se získané kódy neshodují, je proces čtení pozice v prvním řádku klávesnice opakován.

Pokud jsou data získaná tímto opakovaným čtením shodná, dochází k negaci bitů v pracovním registru KEYREG a vymaskování sloupců. V dalším kroku je proveden test, zda byla v daném řádku nějaká klávesa stisknuta. Pokud ne, program pokračuje čtením klávesy v dalším řádku. Pokud v tomto řádku klávesa stisknuta byla, následuje kód pro zjištění pozice stisknuté klávesy v daném řádku. Toto je prováděn postupným zvyšováním hodnoty pozice – registr R24, bitovým posunem načtených dat k příznakovému bitu C a testováním hodnoty tohoto bitu. V případě, že hodnota v C bitu je rovna log. 1, následuje test pro eliminaci současného stisku více kláves v daném řádku. Pokud je nyní obsah pomocného registru KEYREG i obsah registru R25 různý od 0, nastala chyba čtení a obsah KEYREG je vynulován. V případě známky bezchybného čtení ($R25 \neq 0$ i $KEYREG \neq 0$). Je získána pozice stisknuté klávesy v daném řádku.

Převod na výstupní kód klávesy je realizován zjištěním řádku, uložení konstanty 3 do registru KEYREG, posunem masky řádku a kontrolou stavového bitu C v registru SREG. Pokud je hodnota tohoto bitu rovna log. 1, program přechází na čtení dalšího řádku, jinak se postupně k hodnotě pozice v řádku přičítá konstanta 3 a obsah masky řádku bitově posunuje přes C bit v SREG. Přesun na čtení dalšího řádku spočívá v bitovém posunu v registru R23 a kontrole jeho obsahu na hodnotu 10hex. Neshoduje-li se hodnota v R23 s touto konstantou, program začíná opět se čtením řádku. Jinak je do registru KEYREG uložen převedený kód klávesy a tento podprogram končí.



Obr. 32: Vývojový diagram pro čtení znaků z maticové klávesnice (1)



Obr. 33: Vývojový diagram pro čtení znaků z maticové klávesnice (2)

5.6 Nastavení počtu kroků

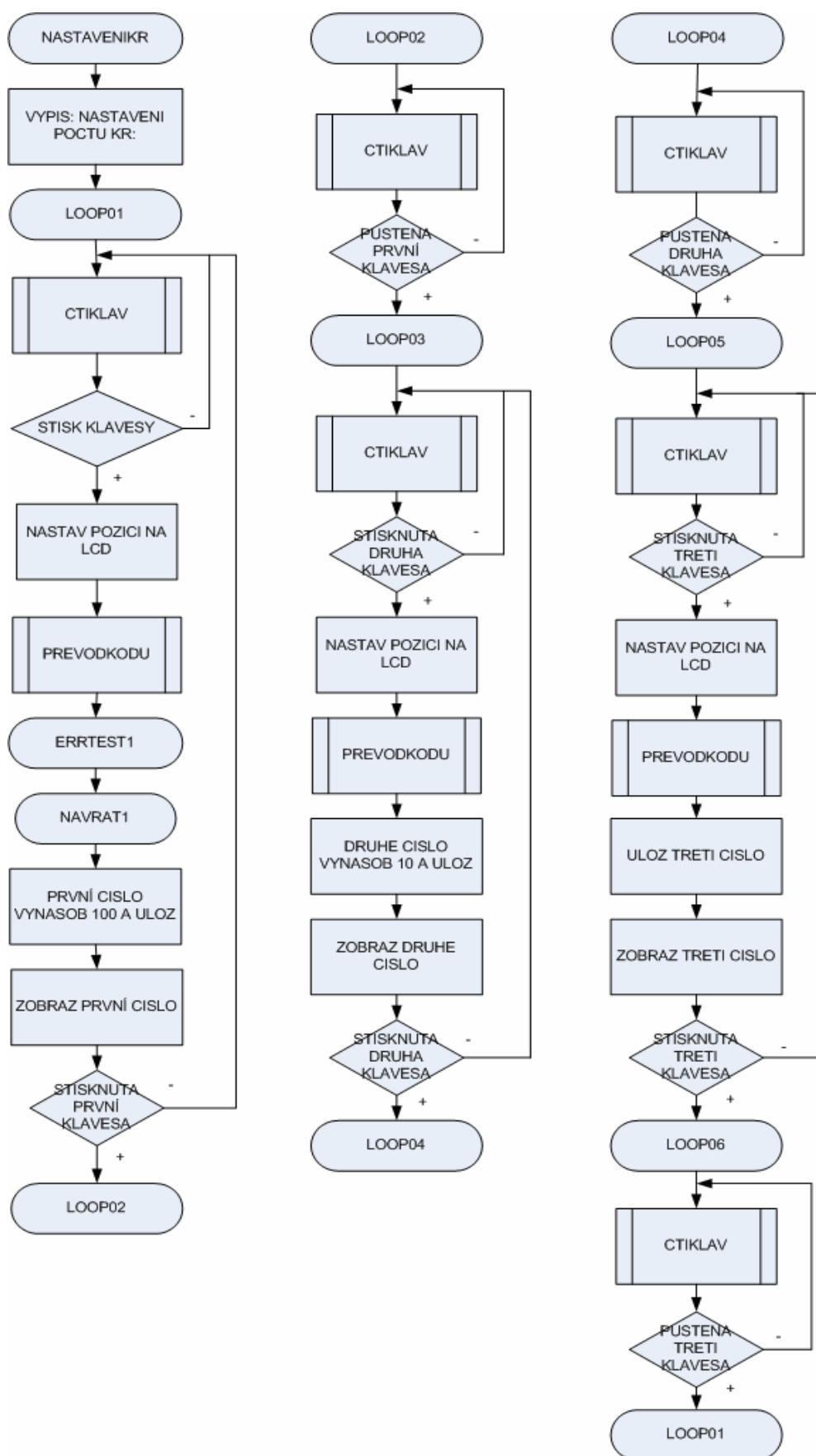
Jak bylo uvedeno výše, jedním z požadavků na systém pro ovládání krokového motoru je možnost zadávání počtu kroků. Toto je realizováno stiskem tlačítka pro nastavení počtu kroků na modulu pro zadávání vstupních povelů (viz kap. 4.2) a následným voláním podprogramu pro čtení znaků z maticové klávesnice (kap. 5.6). Načtené znaky jsou pak zpracovány následujícím kódem.

Blokový diagram pro zobrazení nastavované hodnoty pro počet kroků uvádí obr. 34. Nejprve je na displeji zobrazena informace „Nastaveni poctu kr:“. Následuje volání podprogramu pro čtení znaků z klávesnice a testování stisku klávesy. Tato část kódu se opakuje dokud nebude jakákoliv klávesa stisknuta. V případě stisku klávesy na na displeji nastavena pozice pro zápis prvního čísla. Toto je zajištěno voláním rutiny pro převod kódu (bude vysvětleno níže). Program pro převod kódu vrací dle stisknuté klávesy hodnotu pro nastavení počtu kroků a hodnotu pro zobrazení daného čísla na LCD displeji. Následuje kontrola zadání hodnoty první číslice voláním rutiny ERRTEST1. Nebyla-li na prvním místě stisknuta číslice s hodnotou 3 a vyšší je první číslo násobeno 100 a uloženo do registru pro pozdější použití. Číslo je dle kódu vráceného podprogramem pro převod kódu zobrazeno na displeji na předem nastavené první pozici. Uvedme zde, že čísla se zadávají v trojčíselném zápisu, tedy např. pro počet kroků 52 je nutno zadat 052.

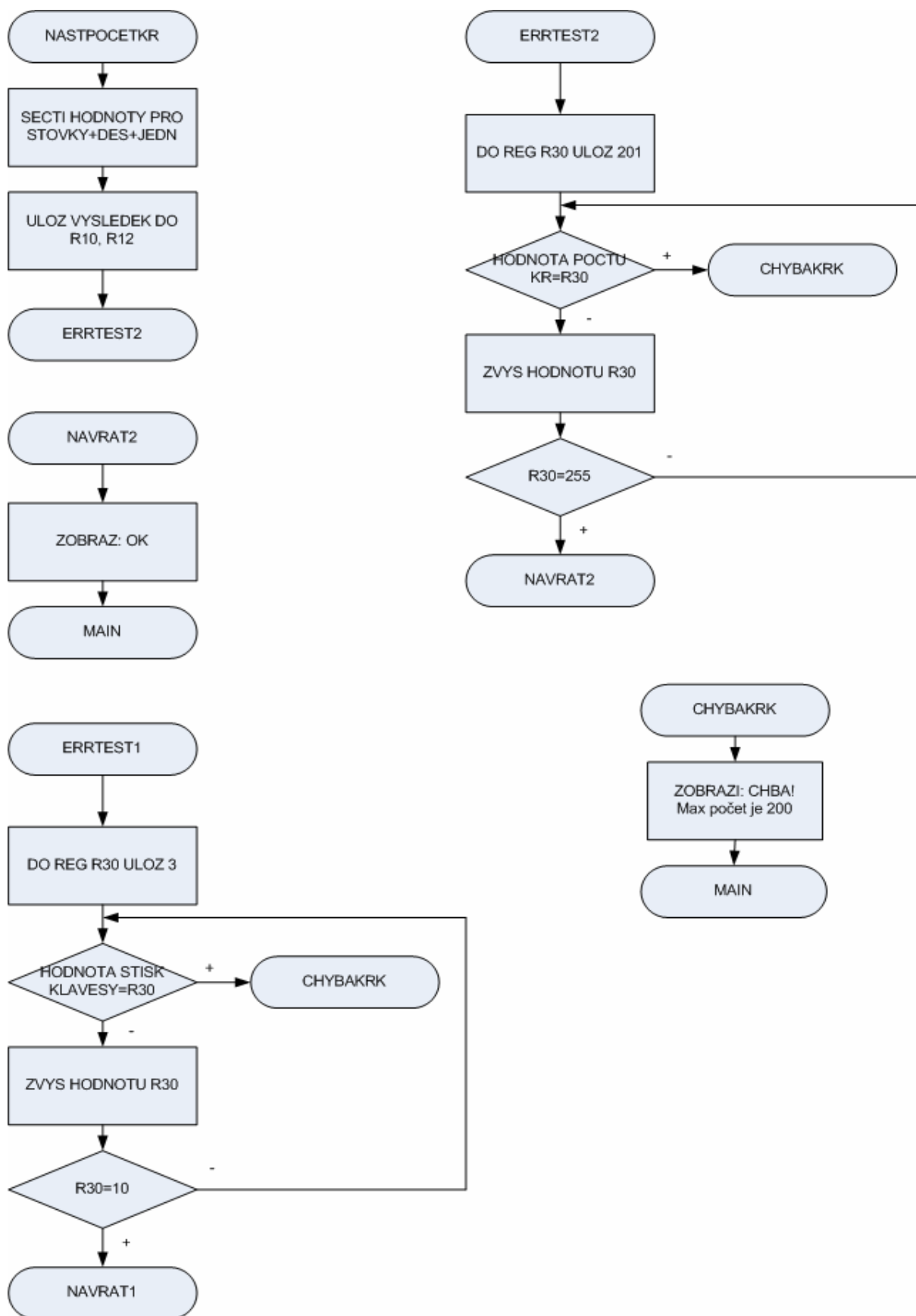
V následujícím kroku program čeká na puštění první zadávané klávesy. Důvodem je, že kód běží ve smyčce a i při krátkém stisku jedné klávesy by byly nastaveny všechny tři pozice hodnoty počtu kroků na stejné číslo. Poté je obdobně jako v předchozím kroku volána rutina pro čtení znaků z maticové klávesnice a program čeká na stisk druhé klávesy. V případě stisku klávesy je nastavena výchozí pozice pro zobrazení odpovídající číslice na displeji, volán podprogram propřevod kódu, druhé číslo je následně vynásobeno 10 a uloženo pro pozdější použití. Program zobrazí druhou číslici na displeji.

Třetí krok je obdobný předchozímu. Po puštění klávesy pro druhou zadávanou hodnotu program opět po zjištění stisku třetí klávesy provede pomocí podprogramu převod kódu, číslo uloží pro pozdější použití a zobrazí jej na displeji. Celý cyklus zadávání trojčíselného čísla se opakuje a program čeká na potvrzení zvoleného čísla stiskem znaku # na klávesnici. Stiskem znaku * je možné provést opravu v právě zadávaném čísle.

Blokový diagram uvedený na obr. 35 znázorňuje postup při načtení zadávaného počtu kroků z klávesnice a jeho uložení do čítače počtu kroků KM. Jedná se o sečtení dříve uložených hodnot pro stovky/desítky a jednotky do jedné hodnoty. Zároveň je zde provedena kontrola omezující zadávání čísel z rozsahu 201 až 255. V případě chybného zadání je na displeji vypsána informace „CHYBA! Max počet je 200.“



Obr. 34: Vývojový diagram pro zobrazení nastavované hodnoty počtu kroků

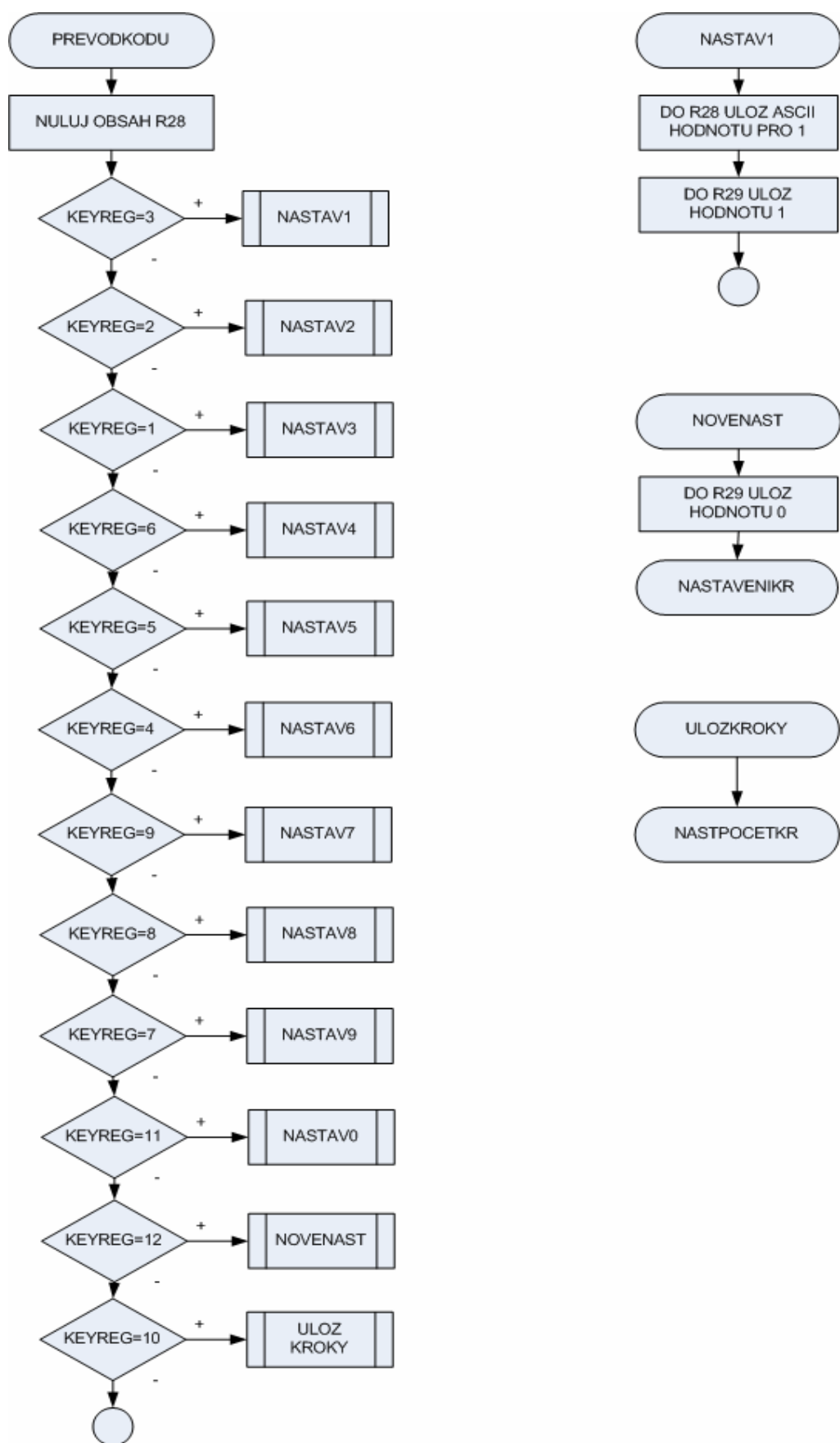


Obr. 35: Vývojový diagram pro načtení a uložení hodnoty počtu kroků

Součástí načtení hodnot z klávesnice, zobrazení a uložení počtu kroků pro krokování je rutina pro převod kódu. Při stisku klávesy totiž není vrácená hodnota rovna přímo dekadickému vyjádření stisknuté klávesy. Rovněž pro potřeby zobrazení zadaných hodnot na LCD displeji je nutné kódy kláves převést na odpovídající hodnoty dle standartu ASCII, aby je bylo možné odpovídajícím způsobem korektně zobrazit na displeji. Z těchto důvodů je v předchozích rutinách (obr. 34, obr. 35) použit podprogram pro převod kódu.

Popis algoritmu pro převod kódu uvádí obr. 36. Jedná se v principu o postupné porovnávání hodnoty, kterou vrací rutina pro čtení znaků z klávesnice v registru KEYREG s možnými kódy kláves a následné přiřazení odpovídajících hodnot pro zobrazení číslice na displeji (registr R28) a hodnot pro počítadlo kroků (registr R29).

Při stisku znaku * dojde k opakování zadání číslic počtu kroků (podprogram vrací hodnotu 0), stiskem # je volba potvrzena.



Obr. 36: Vývojový diagram pro převod kódu znaku klávesnice

5.7 Spuštění krokování

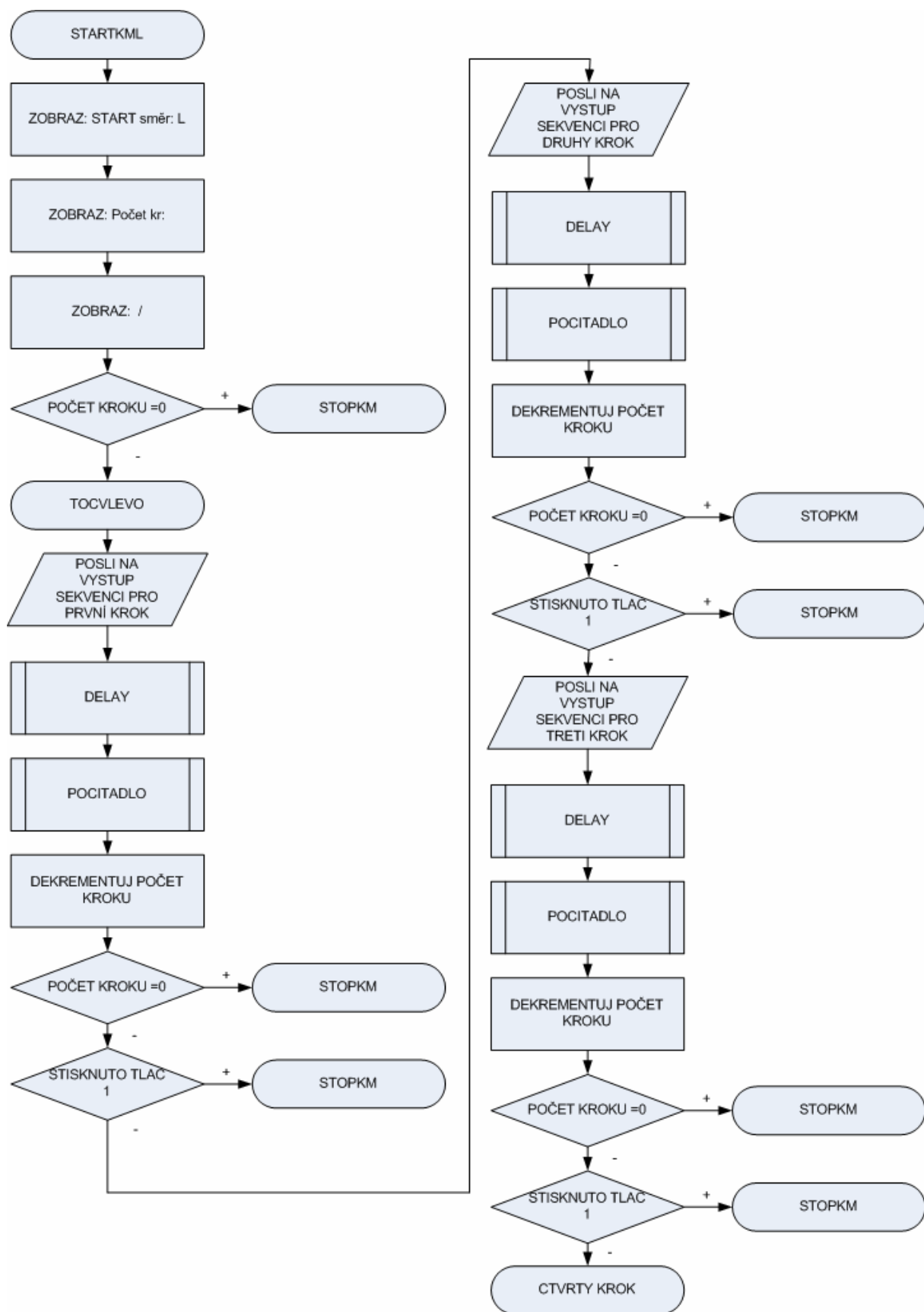
Jak vylývá z vývojového diagramu hlavní smyčky programu uvedené v kap. 5.3, obr. 30, po stisku tlačítka 0/ resp. tlačítka 2 jevolán následující podprogram pro spuštění krokování směrem vlevo/ resp. vpravo. Vývojový diagram pro tento algoritmus uvádí obr. 37 a obr. 38.

Po spuštění krokování je na displeji zobrazeno: „START smer:L (resp P)“, na druhém řádku „Počet kr:“ a oddělovací znak „/“ mezi aktuálním stavem a nastaveným počtem kroků. Pokud byl nastaven počet kroků na hodnotu 0, je volán podprogram pro zastavení krokování. Na výstup pro připojený výkonový budič KM je poslána sekvence bitů pro první krok. Následně je voláno zpoždění. Délka tohoto zpoždění mezi jednotlivými kroky udává rychlost krokování – ve zpoždění se proto projeví hodnota předem nastavené rychlosti. Program volá rutinu pro počítadlo provedených kroků (bude vysvětleno níže), která zobrazuje jejich aktuální počet na displeji a poté sníží počet již provedených kroků. Následuje test, zda již není počet kroků roven 0. V tom případě by byl volán podprogram pro zastavení krokování. Rovněž je stestován stisk tlačítka 1 pro ruční zastavení krokování tlačítkem STOP. Tato uvedená sekvence instrukcí je provedena pro jeden dílčí krok.

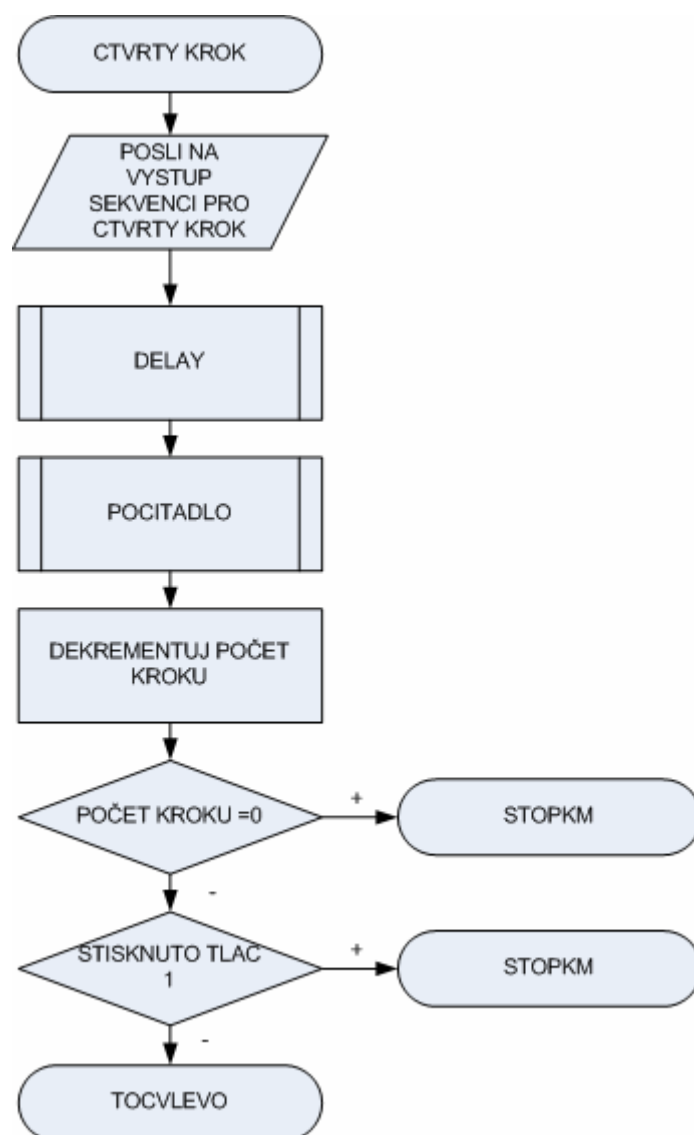
Program zajistí poslání druhé sekvence bitů na výstup pro budič KM, což způsobí pootočení hřídele krokového motoru o druhý krok. Opět je voláno zpoždění mezi jednotlivými kroky udávající rychlost krokování, počítadlo zobrazující počet provedených kr. na displeji, je snížena hodnota počtu kroků o 1, proveden test, zda již není počet kroků roven 0 a následně proveden test, zda nebylo stisknuto tlačítko STOP pro zastavení krokování.

Tato sekvence je analogická i pro třetí a čtvrtý krok. Liší se jen výstupní 8 bitové slovo posílané v každém kroku na výstup pro budič KM. Celý podprogram běží cyklicky ve smyčce dokud nedojde k zastavení krokování voláním podprogramu STOPKM z důvodu splnění počtu nastavených kroků nebo ručního zastavení tlačítkem STOP.

V aplikaci se vyskytuje obdobný kód zajišťující krokování KM opačným směrem. Posloupnost a typ instrukcí je shodný, liší se jen výstupní slova posílané mikrokontrolerem budiči KM.



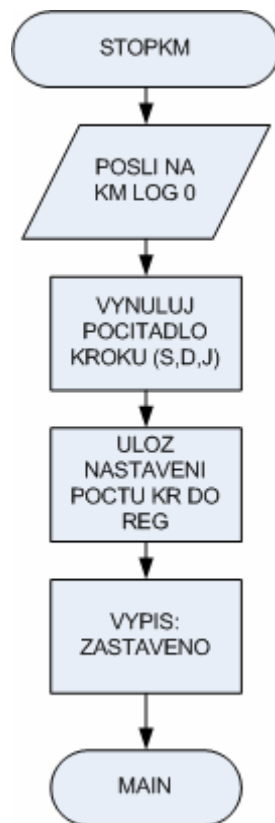
Obr. 37: Vývojový diagram pro spuštění krokování (1)



Obr. 38: Vývojový diagram pro spuštění krokování (2)

5.8 Zastavení krokování

Rutina pro zastavení krokování je v podstatě velmi jednoduchá. Jedná se o zaslání úrovní log. 0 na všechny linky výstupního portu pro připojený výkonový budič KM. Tímto dojde k uzavření fototranzistorů oddělovacího optočlenu (viz kap. 4.5) a výkonové tranzistory zajišťující spínání vinutí KM se uzavřou. Dále je vynulováno počítadlo aktuálně provedených kroků pro příští opětovné spuštění (údaj však zatím na displeji zůstává). Podprogram zajistí uložení hodnoty nastaveného počtu kroků – rovněž pro možnost opětovného spuštění. Na displeji je zobrazeno „ZASTAVENO“ a zpracovávání programu se vrací do hlavní smyčky programu. Vývojový diagram podprogramu uvádí obr. 39.

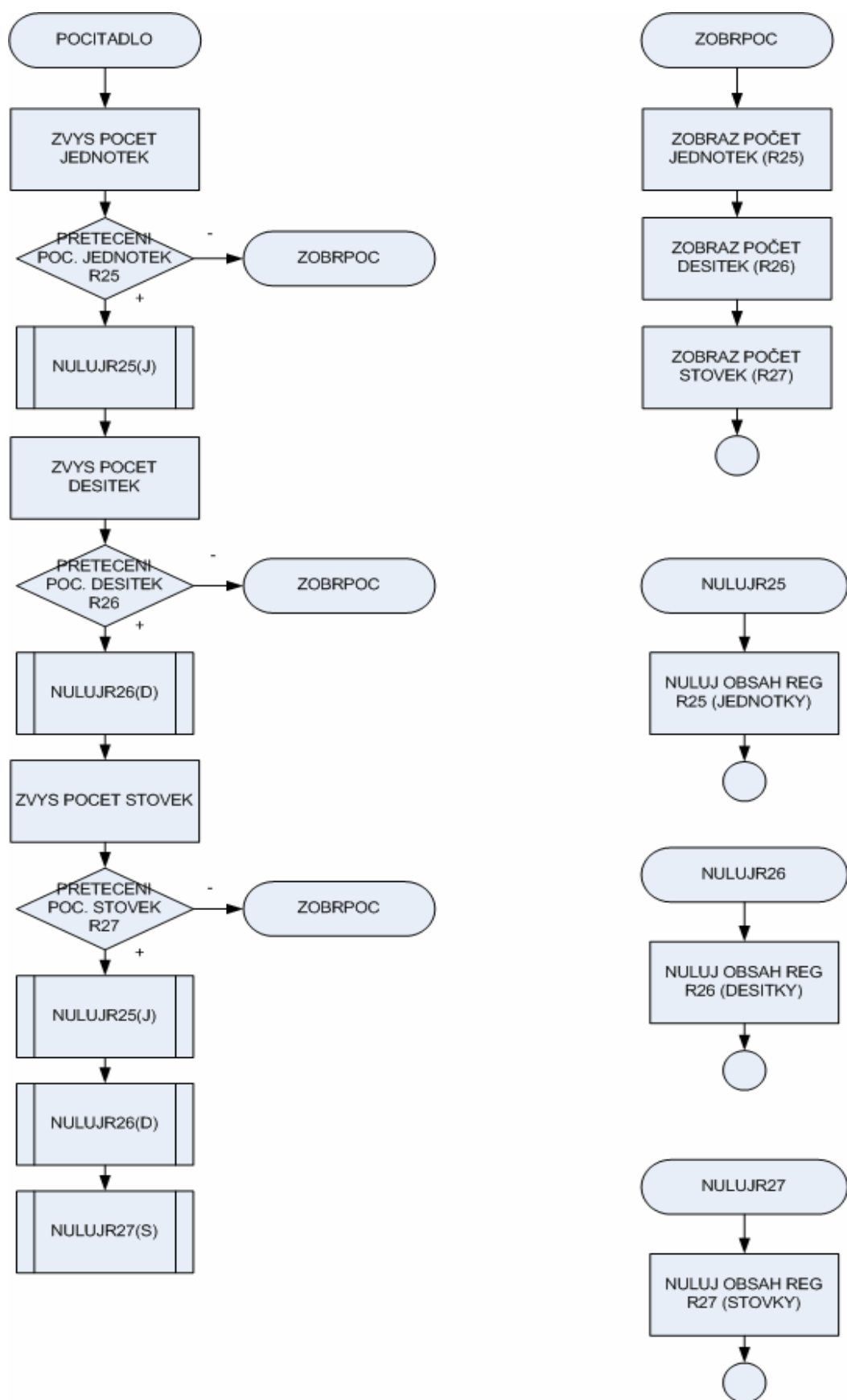


Obr. 39: Vývojový diagram pro zastavení krokování

5.9 Počítadlo provedených kroků

Požadavem kladeným na navrhované zařízení pro ovládání krokového motoru je mimo jiné také zobrazování aktuálního počtu kroků. Z tohoto důvodu je po provedení každého dílčího kroku volána rutina pro zvýšení hodnoty počítadla provedených kroků. Vývojový diagram algoritmu je uveden na obr. 40.

Vzhledem k tomu, že údaje o počtu kroků jsou zobrazovány na LCD displeji, je nutné provádět konverzi mezi dekadickými hodnotami počtu kroků a hodnotami pro výpis počtu těchto kroků na displeji (převod je řešen zobrazováním hodnot dle ASCII kódu odpovídajícímu požadované číslici). Princip počítání kroků je v podstatě jednoduchý. Při každém volání této rutiny pro počítání provedených kroků a zobrazení jejího počtu na displeji se provede několik základních operací. Trojčíferné číslo udávající počet kroků je rozděleno na tři samostatné číslice – pro počítání jednotek(J), desítek(D) a stovek(S). Nejprve dochází ke zvýšení počtu jednotek. Pokud nedojde k jejich přetečení (hodnota počítadla je na tomto místě větší než 9), je počet jednotek zobrazen na odpovídající pozici na displeji. Pokud dojde k přetečení jednotek, je počet jednotek vynulován a zvýšen počet desítek. Následně se kontroluje přetečení počtu desítek, pokud zde k přetečení nedojde, je hodnota zobrazena na displeji. V opačném případě je hodnota nulována a je zvýšen počet stovek. Dojde-li k přetečení počtu stovek, jsou nulovány všechny pozice (S/D/J) a cyklus se opakuje.



Obr. 40: Vývojový diagram pro počítání provenených kroků

5.10 Nastavení rychlosti krokování

Tlačítka 4 a 5 na modulu pro zadávání vstupních povelů (viz kap. 4.2) slouží ke změně nastavení rychlosti krokování KM. Po stisku tlačítka 4 dochází ke snížení rychlosti krokování a po stisku tlačítka 5 je rychlost krokování zvýšena. Tímto způsobem je možno zvolit požadovanou rychlost výběrem jedné z celkem deseti úrovní. Výchozí nastavení po spuštění programu je úroveň č. 4.

Zvolená úroveň rychlosti krokování je zobrazována na displeji, zároveň tato hodnota ovlivňuje velikost zpoždění mezi jednotlivými kroky při spuštění KM. Proto je nutné převádět hodnoty pro displej a pro uvedenou zpožďovací smyčku (bude popsána níže). Převod kódu probíhá dle tab. 2.

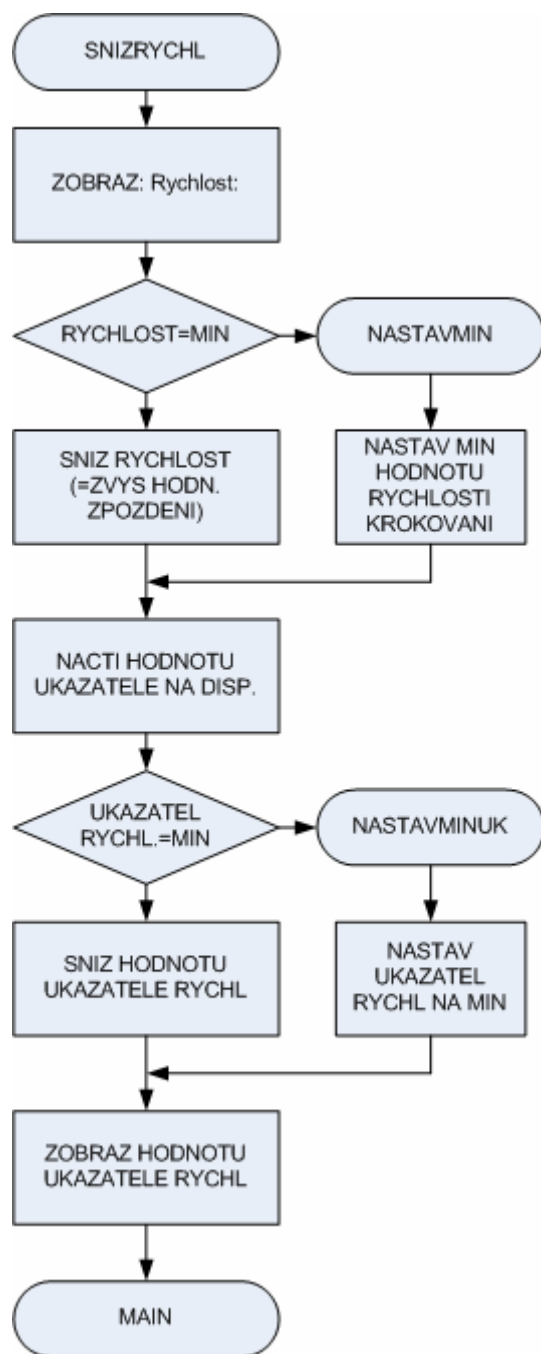
Tab. 2: Tabulka pro převod kódu při změně nastavení rychlosti KM

Krok zobrazený na displeji	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Hodnota ASCII pro znak na displeji	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
Hodnota pro zpožďovací smyčku DELAY	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20

Obr. 41 ukazuje vývojový diagram pro změnu rychlosti krokování. V tomto případě se jedná o snížení rychlosti a tedy v podstatě o prodloužení doby zpoždění mezi jednotlivými kroky. Kód pro zvýšení je však obdobný, pouze operace sčítání je zde nahrazena operací odečítání a dekrementace hodnoty je nahrazena inkrementací.

Po stisku tlačítka pro snížení /resp zvýšení rychlosti krokování je provedena kontrola hodnoty této rychlosti pro zpožďovací smyčku delay. Pokud není tato hodnota nastavena na maximální (platí pro podprogram snížení rychlosti), dochází k jejímu zvýšení – prodloužení doby zpoždění, pokud je již na maximální hodnotě, pouze se na ní ponechá a krok pro její zvýšení se přeskočí. Uvedené se týká třetího řádku v tab. 2, kde je hodnota kroku mezi údaji pro registr ve zpožďovací rutině rovna 2.

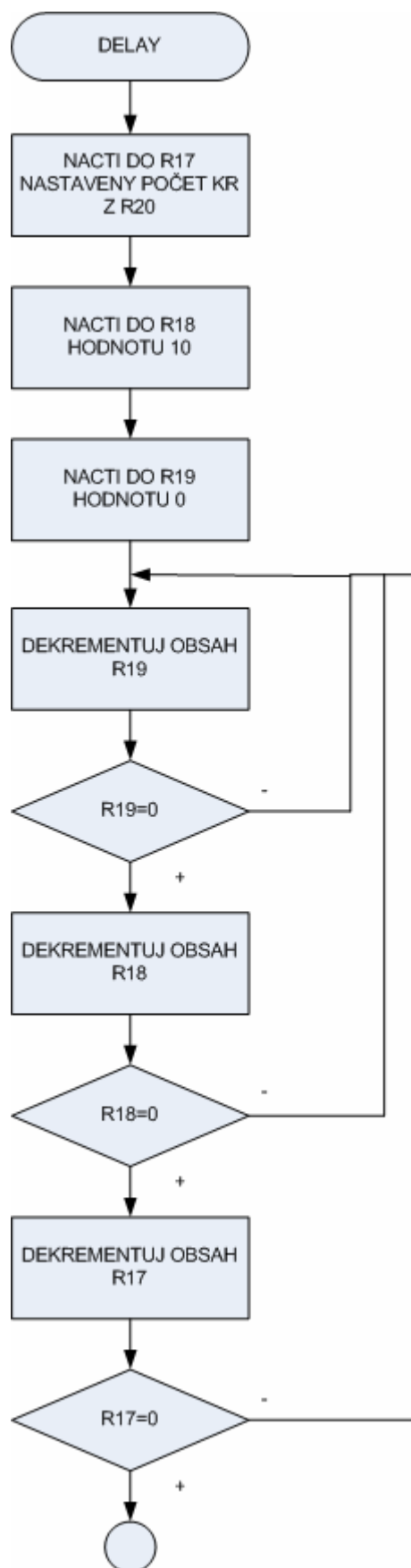
Nastavenou úroveň rychlosti je potřeba následně zobrazit na displeji. Toto je děje dekrementací hodnoty ukazatele rychlosti (druhý řádek v tab. 2). Předtím je však rovněž provedena kontrola, zda již není jeho hodnota nastavena na krajní úroveň - v tomto případě na minimum. Jinak již k její dekrementaci nedochází (opět platí pro snížení rychlosti KM).



Obr. 41: Vývojový diagram pro snížení rychlosti krokování

5.11 Zpožďovací smyčka

Pro definování rychlosti krokování je vždy mezi jednotlivými kroky volána zpožďovací smyčka DELAY. Vývojový diagram uvádí obr. 42. Princip spočívá v postupné dekrementaci tří registrů a testování na nulovou hodnotu z výchozích předem nastavených hodnot, přičemž registr, který se ve výsledném zpoždění projeví nejvíce (R17) je plněn hodnotou závislou na nastavení zvolené rychlosti krokování.

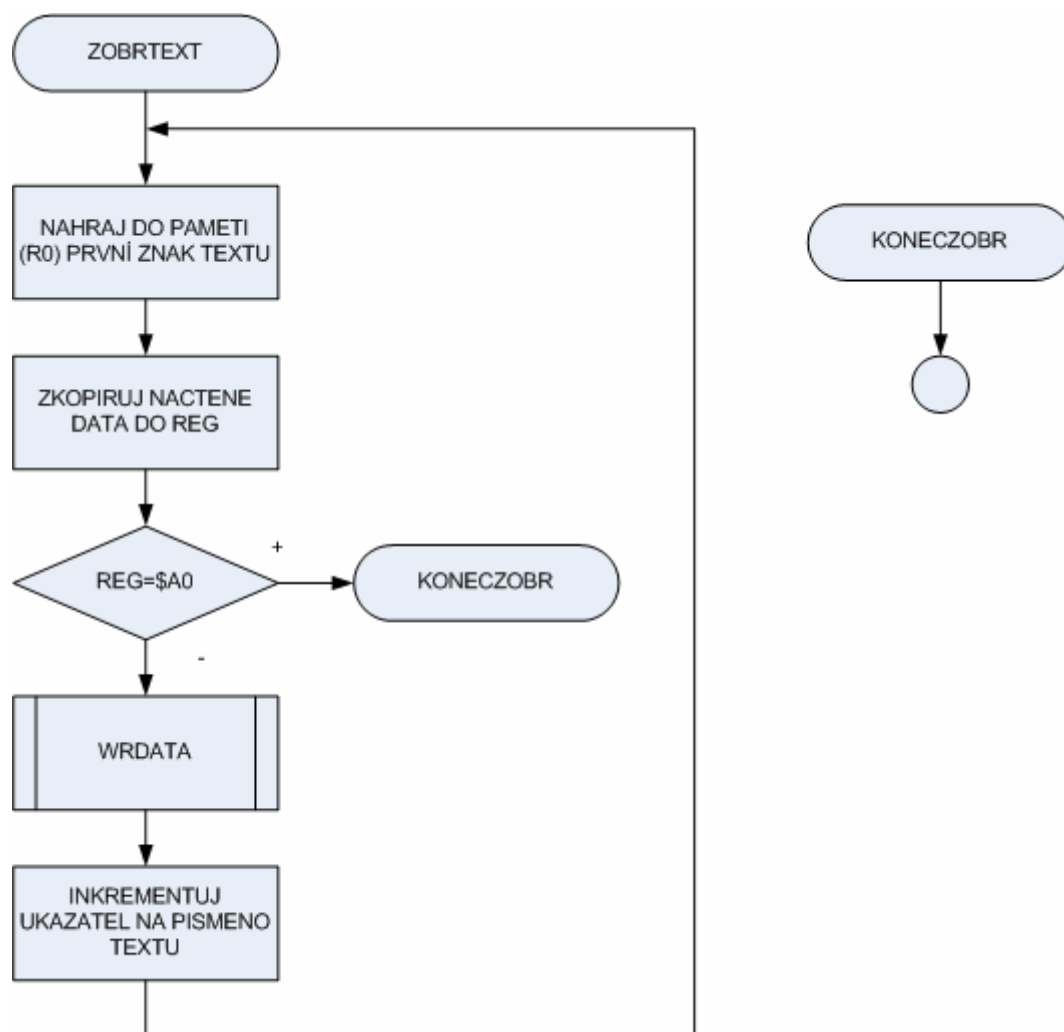


Obr. 42: Vývojový diagram pro zpožďovací smyčku

5.12 Zobrazení textu na displeji

Následující rutina je volána pro zobrazení více než jednoho znaku na LCD displeji. Seznam textů, které jsou během provádění programu na displeji zobrazovány je uveden na konci zdrojového kódu. Algoritmus je uveden na obr. 43 a pracuje následujícím způsobem.

Každý z textových řetězců je uložen na určité adrese ve vnitřní paměti. Příkazem LPM se načte z paměti na požadované adrese první znak textového řetězce. Výchozím umístěním pro tato načtená data je registr R0. Data jsou z něj následně kopírována do pracovního registru REG. Následuje srovnání získané hodnoty s konstantou A0hex, což je pro displej nezobrazitelný znak a udává konec textu. V případě shody je zobrazování ukončeno, v opačném případě je volána rutina WRDATA (viz kap. 5.4), která daný znak zapíše na displej. Následně je posunuta pozice v textu na další znak a cyklus pro testování konce textu a postupné zobrazování znaků na displeji se opakuje.



Obr. 43: Vývojový diagram pro zobrazení textu na displeji

6. Popis uživatelského rozhraní

Po spuštění zařízení je na displeji zobrazena úvodní zpráva „Rizení krokového motoru“. Následně po 3s se uživateli zobrazí „Zadejte param. krokovaní“. Tímto se systém dostává do hlavní nabídky možností nastavení. Základní obsluha je řešena pomocí vstupního modulu pro zadávání povelů – sady mikropínačů, viz kap. 4.2. Uživatel má možnost výběru jedné ze 6 možností stiskem konkrétního tlačítka. Funkci popisuje obr. 22.

Aplikace umožňuje zvolit počet kroků v rozsahu 0 až 200. Tato maximální hodnota je pro dané účely použití dostačující, neboť zařízení bude určeno pro natáčení elektroakustických měničů při měření jejich charakteristik v akustické komoře. Proto není potřeba velký rozsah pro možný počet nastavených kroků. V případě nutnosti lze však toto omezení drobnou úpravou řídicího programu pozměnit. Jak vyplývá z požadavků, zařízení umožňuje zvolit směr otáčení KM a dále pak jednu z celkem 10 možných úrovní nastavení rychlosti krokování.

Pokud není zadán počet kroků, je použita výchozí hodnota 200 kr. Rovněž pokud nedojde ke změně nastavení rychlosti, použije se defaultní nastavení, a to úroveň 4. První tři tlačítka slouží ke spuštění krokování směrem vlevo, zastavení krokování a spuštění krokování směrem vpravo. Během spuštění krokování displej zobrazuje „START smer: L (nebo P)“ a aktuální počet kroků /celkový počet nastavených kroků. Stiskem tlačítka pro zastavení nebo po splnění počtu nastavených kroků se krokování ukončí a displej zobrazí „STOP“ a údaje o počtu dosažených kroků/celkový počet nastavených kroků.

Po stisku tlačítka pro nastavení počtu kroků se uživatel dostává do podnabídky, která umožňuje tuto hodnotu nastavit zadáním trojmístného čísla na připojené maticové klávesnici. Zadávání čísel se cyklicky opakuje dokud zadaná hodnota není potvrzena stiskem znaku #. Stiskem znaku * je možné zadávanou hodnotu opravit. Pokud je nastavovaný počet kroků menší než 100, je potřeba ho zadat ve trojmístném tvaru s počáteční nulou (např. 052).

Tlačítka 4 a 5 (viz obr. 22) slouží ke změně nastavení rychlosti krokování. Výchozí úroveň této rychlosti je 4. Je možno zvolit jednu hodnotu z rozsahu rychlostí 0 až 9. Každým následujícím stiskem tlačítka pro snížení (resp. zvýšení) rychlosti dojde k posunu hodnoty o jednu úroveň. Je-li dosaženo krajní hodnoty, změna se již opětovným snížením (resp. zvýšením) neprojeví a je použita tato krajní hodnota. Při změně nastavení rychlosti displej zobrazí „Rychlost: “ a nastavenou úroveň (0-9). Zde uveďme, že úroveň rychlosti 0 neznačí nulovou rychlost, ale pouze její nejnižší nastavitelnou hodnotu.

Tlačítka 6 a 7 jsou funkčně prozatím nevyužita a slouží jako rezerva pro budoucí možné rozšíření funkcionality zařízení, např. o možnost uložení a načtení nastavených hodnot do/ z paměti.

7. Závěr

Cílem práce byl teoretický rozbor problematiky řízení krokových motorů a následné využití těchto poznatků pro praktickou realizaci zařízení pro ovládání krokového motoru. Byly uvedeny základní principy činnosti krokového motoru, jeho vlastnosti včetně výhod i nevýhod jeho použití. Dále pak byly uvedeny základní parametry a charakteristiky, které jsou často uváděny v souvislosti s použitím krokového motoru v konkrétních aplikacích. Tyto parametry je potřeba uvažovat při návrhu zařízení s krokovým motorem.

V práci jsou popsány jednotlivé druhy krokových motorů a možné způsoby jejich řízení. Je popsán čtyřtaktní, osmitaktní způsob řízení KM i tzv. mikrokrokování, které se využívá při zvýšení počtu kroků KM na otáčku rozdělením „celých kroků“ na dílčí mikrokroky. Tento způsob však vyžaduje složitější řídicí obvody. Práce uvádí také obvyklé způsoby buzení vinutí krokového motoru: nejjednodušší způsob buzení napěťovým zdrojem, buzení vnuceným proudem nebo proudovým zdrojem a z hlediska svých vlastností nejvhodnější pro krokování na vyšších frekvencích buzení pulzním proudovým zdrojem – tzv. chopper. Nevýhodou tohoto zapojení je ovšem relativně vyšší složitost.

Výše uvedených poznatků o krokových motorech, jejich způsobu řízení a buzení vinutí je využito při návrhu řídicího obvodu pro vybraný typ dvoufázového hybridního krokového motoru 44A501711 se 200 kroky/ot a jmenovitým napětím 2,3V/ proudem 2,3A.

Celá koncepce zařízení je rozdělena do několika bloků - modulů. Toto řešení je zvoleno především z důvodu snadné přehlednosti a opravitelnosti při výskytu možné poruchy. Jedná se o modul napájecího zdroje, modul pro vstup povelů, zobrazovací modul, řídicí modul a výkonový modul - budič KM. Vstupní modul pro zadávání požadovaných parametrů je koncipován jako kombinace desky se sadou tlačítek pro základní nastavení funkcí a ovládání zařízení a maticové klávesnice se sadou 3x4 tlačítek pro zvolení požadovaného počtu kroků. V řídicím modulu je jako základní řídicí člen použit 8 bitový mikrokontroler typu Atmega32 výrobce Atmel se čtyřmi 8 bitovými vstupně/ výstupními porty, což je pro danou aplikaci plně vyhovující. Tyto obvody ke své činnosti vyžadují minimum připojených externích součástek, což je velkou výhodou a celé zapojení řídicího modulu se tímto výrazně zjednoduší. Modul tak kromě samotného řídicího obvodu obsahuje navíc zdroj hodinového signálu, obvody pro RESET obvodu, ochranné prvky v napájecí větvi a programovací rozhraní ISP. Součástí zařízení je modul pro zobrazování nastavovaných a aktuálních hodnot systému. Zde byl využit modul dvouřádkového znakového LCD displeje se 2x16 znaky a modrým podsvětlením zobrazované informace. Vzhledem k omezenému počtu výstupních linek portů mikrokontroleru je zvolen 4 bitový způsob komunikace s displejem. Základem výkonového modulu budiče KM jsou 4 výkonové tranzistory spínající napájení k jednotlivým fázím připojeného KM. Součástí tohoto zapojení je optočlen pro galvanické oddělení řídicí a výkonové části obvodu. Z důvodu tepelných ztrát vznikajících průchodem proudu do vinutí KM jsou spínací tranzistory umístěny na hliníkovém chladičím profilu.

V práci je dále řešen řídicí program pro ovládací mikrokontroler. Zdrojový kód byl napsán v jazyce Assembler instrukční sady AVR. Ke kompilaci do strojového kódu a následnému programování bylo využito vývojové prostředí Atmel AVR Studio.

Celý algoritmus popisující chování řídicího programu je rozdělen do několika logických celků. Každá část se pak zabývá konkrétní obslužnou rutinou. Jednotlivé dílčí algoritmy řeší procesy po spuštění zařízení, inicializační sekvence pro LCD displej, čtení znaků z maticové klávesnice, hlavní smyčku programu, spuštění a zastavení krokování, nastavení počtu kroků a rychlosti krokování a zobrazení textových informací na displeji.

Navržené a realizované zařízení pro řízení krokového motoru bude využito pro zajištění natáčení elektroakustických měničů během měření jejich charakteristik v akustické komoře. Z tohoto důvodu také nebyl na projekt kladen požadavek pro řešení mechanického uspořádání modulů do přístrojové krabice. Umístění modulů bude přizpůsobeno potřebám akustické komory. Rovněž velikost maximální hodnoty nastavovaného počtu kroků není potřeba vysoká – toto rovněž vyplývá z potřeb využití tohoto zařízení. V případě nutnosti je však možné drobnou úpravou řídicího programu změnit toto omezení, případně také rozšířit funkcionalitu zařízení o některé další možnosti.

Práce se zabývá problematikou řízení krokových motorů a shrnuje základní podklady návrhu pro následnou realizaci řídicího obvodu pro konkrétní vybraný typ KM.

Použitá literatura

- [1] MATOUŠEK, D.: *Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR*. BEN, Praha, 2006, 376 s., ISBN 80-7300-209-4.
- [2] VÁŇA, V.: *Mikrokontroléry ATMEL AVR - Popis procesoru a instrukční soubor*. BEN, 2003, 336 s., ISBN 80-7300-083-0
- [3] NOVÁK, P.: *Mobilní roboty - pohony, senzory, řízení*. BEN, Praha, 2005, 256 s., ISBN 80-7300-141-1
- [4] *Stepper Motor Basics*, Industrial Circuits Application Note
- [5] ŘEZÁČ, K.: *Krokové motory – princip funkce, metody řízení*. 2002.
Dostupné z www: <http://robotika.cz/articles/steppers/cs>
- [6] *Stepper motor*. Dostupné z www: http://en.wikipedia.org/wiki/Stepper_motor
- [7] ATMEL AVR ATmega32 – katalogový list obvodu.
Dostupné z www: http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2503.pdf
- [8] WIJFFELS, T.: *Stepping motors*. Elektor, 1985, č. 4, s. 60-65.
- [9] LCD displej MC1602-SBL/H – katalogový list modulu. Dostupné z www:
http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/513/513-128/dsh.513-128.1.pdf

Seznam příloh

Příloha 1: Podklady pro výrobu modulu napájecího droje

Příloha 2: Podklady pro výrobu modulu pro vstup povelů

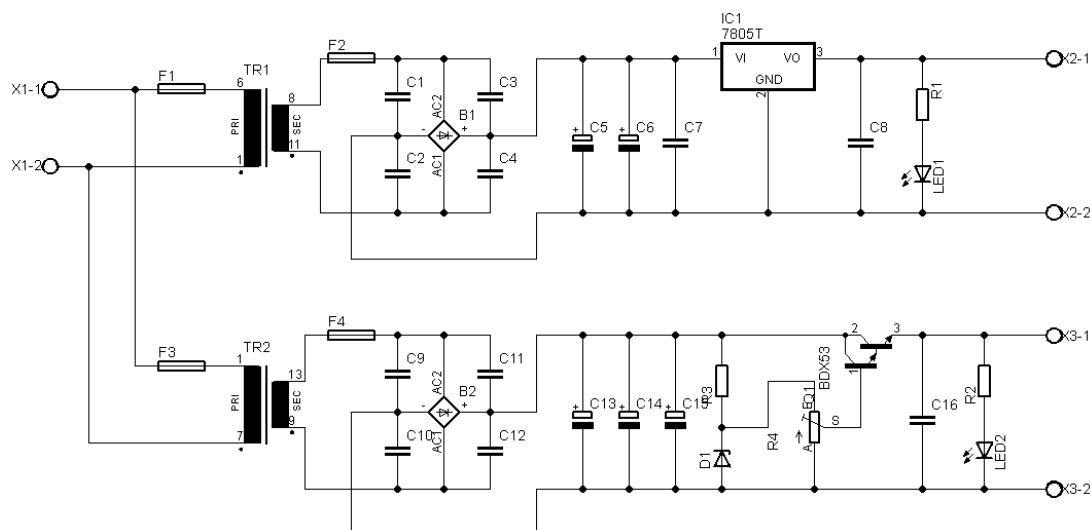
Příloha 3: Podklady pro výrobu řídicího modulu

Příloha 4: Podklady pro výrobu modulu pro LCD displej

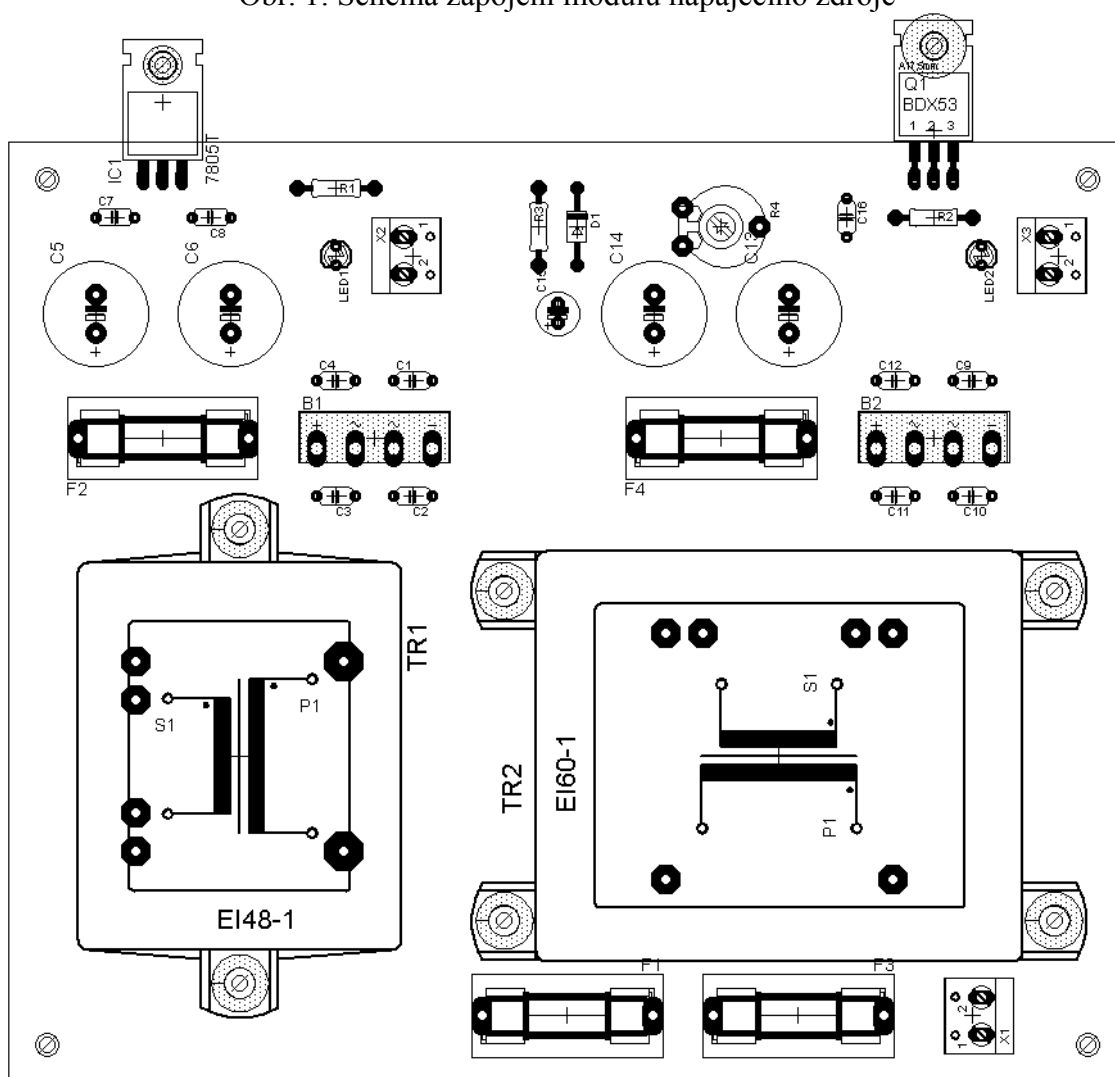
Příloha 5: Podklady pro výrobu modulu výkonového budiče

Příloha 6: Seznam ostatních součástí

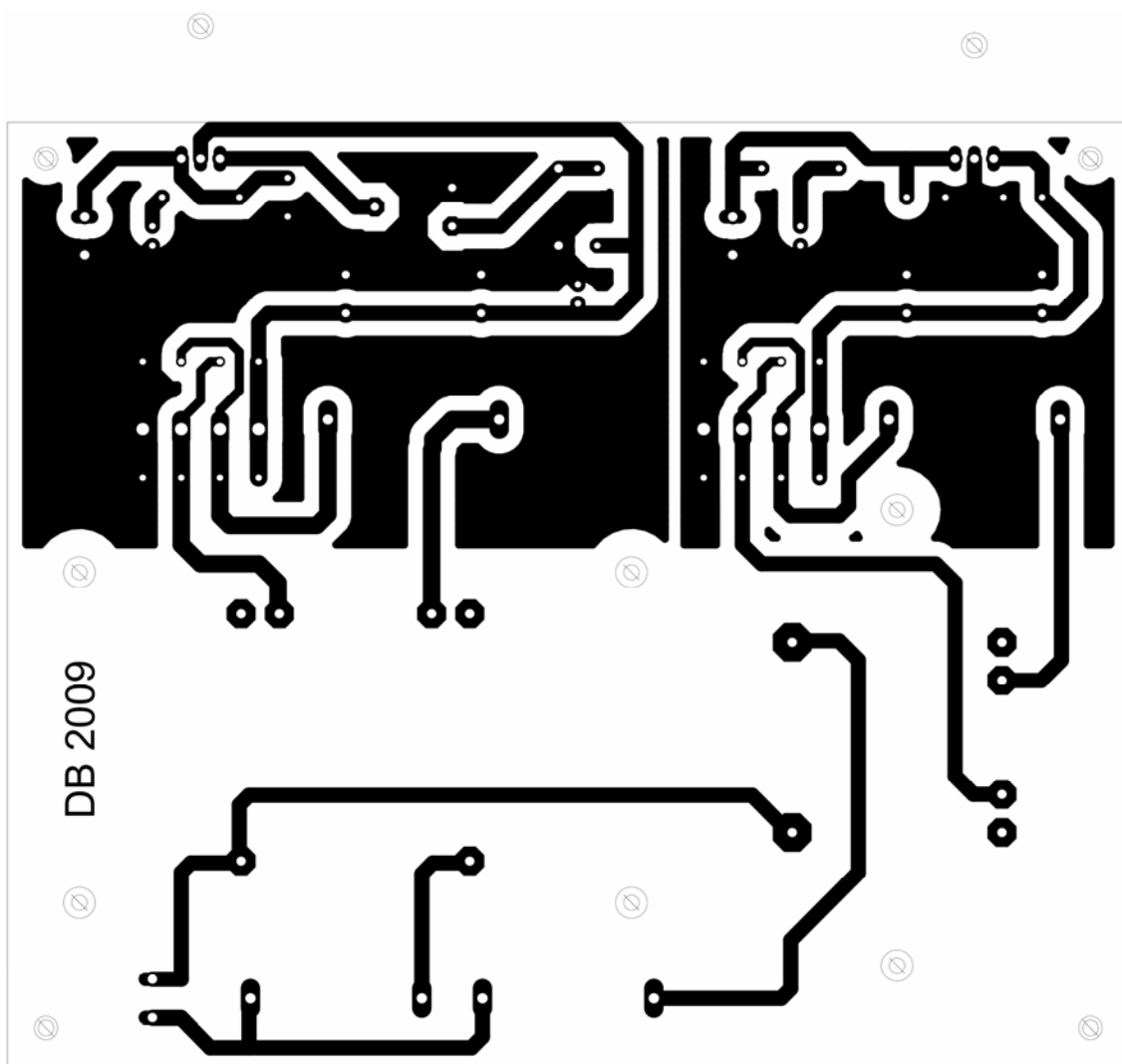
Příloha 1: Podklady pro výrobu modulu napájecího zdroje



Obr. 1: Schéma zapojení modulu napájecího zdroje



Obr. 2: Rozmístění součástek na DPS modulu napájecího zdroje

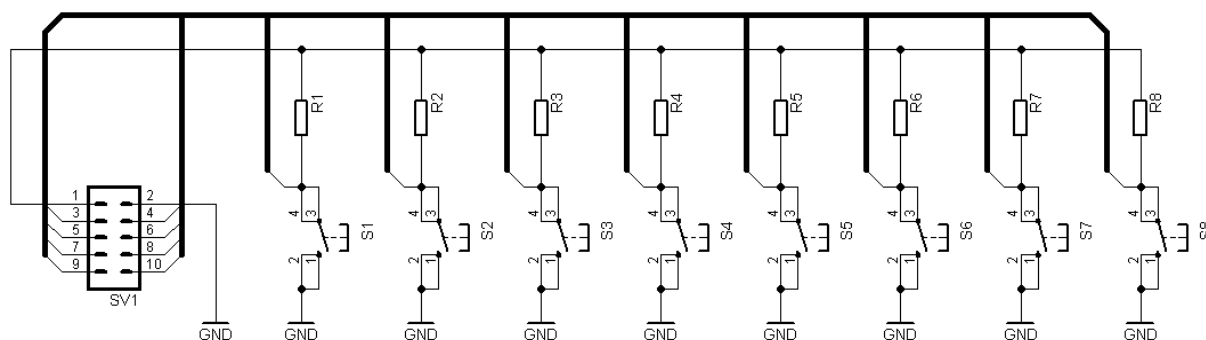


Obr. 3: Předloha plošného spoje pro modul napájecího zdroje

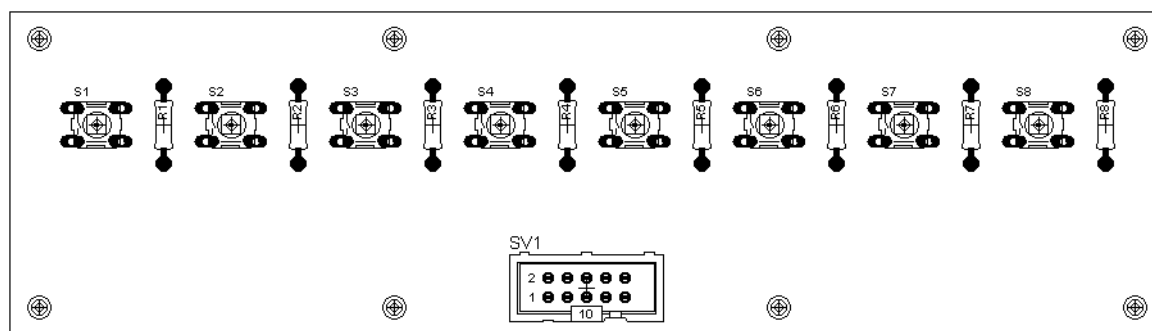
Tab. 1: Seznam součástek pro modul napájecího zdroje

Označení	Typ	Hodnota	Pouzdro
B1	usměrňovací můstek	KBL06	KBL
B2	usměrňovací můstek	KBL07	KBL
C1	kondenzátor	100n/50V	Y5V, RM5
C2	kondenzátor	100n/50V	Y5V, RM5
C3	kondenzátor	100n/50V	Y5V, RM5
C4	kondenzátor	100n/50V	Y5V, RM5
C5	kondenzátor	1000M/35V	E5-13
C6	kondenzátor	1000M/35V	E5-13
C7	kondenzátor	100n/50V	Y5V, RM5
C8	kondenzátor	100n/50V	Y5V, RM5
C9	kondenzátor	100n/50V	Y5V, RM5
C10	kondenzátor	100n/50V	Y5V, RM5
C11	kondenzátor	100n/50V	Y5V, RM5
C12	kondenzátor	100n/50V	Y5V, RM5
C13	kondenzátor	1000M/35V	E5-13
C14	kondenzátor	1000M/35V	E5-13
C15	kondenzátor	10M/100V	E2,5-6
C16	kondenzátor	100n/50V	Y5V, RM5
D1	Zenerova dioda	BZX55/6V2	DO41
F1	pojistka	T125mA	5x20
F2	pojistka	F1A	5x20
F3	pojistka	T63mA	5x20
F4	pojistka	T2A	5x20
IC1	stabilizátor	7805	TO220
LE1	LED dioda	červená	3mm
LE2	LED dioda	červená	3mm
Q1	NPN tranzistor	BDX53C	TO220
R1	rezistor	330R	0207/10
R2	rezistor	100R	0207/10
R3	rezistor	330R	0207/10
R4	odporový trimr	PT10LV/50k	PT-10
TR1	transformátor	TSZZ10/003M 6V	EI48-1B
TR2	transformátor	ZTR60/21 1x9V	EI60-1
X1	svorkovnice do DPS	CZM5/2	CZM5/2
X2	svorkovnice do DPS	CZM5/2	CZM5/2
X3	svorkovnice do DPS	CZM5/2	CZM5/2

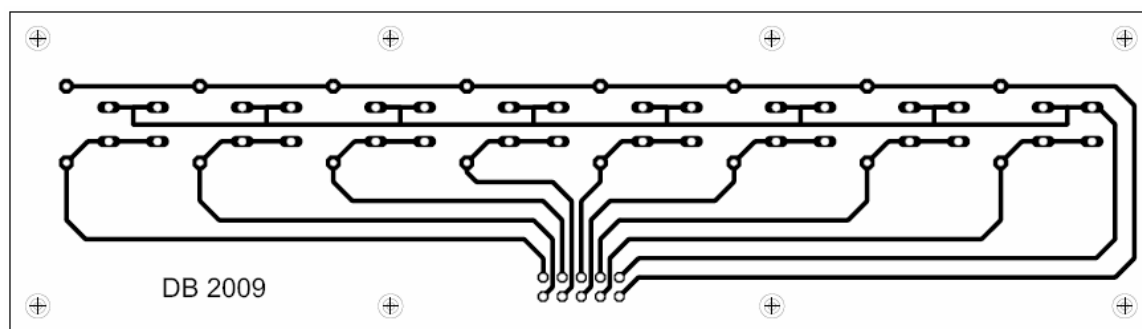
Příloha 2: Podklady pro výrobu modulu pro vstup povelů



Obr.1: Schéma zapojení modulu pro vstup povelů



Obr. 2: Rozmstění součástek na DPS modulu pro vstup povelů

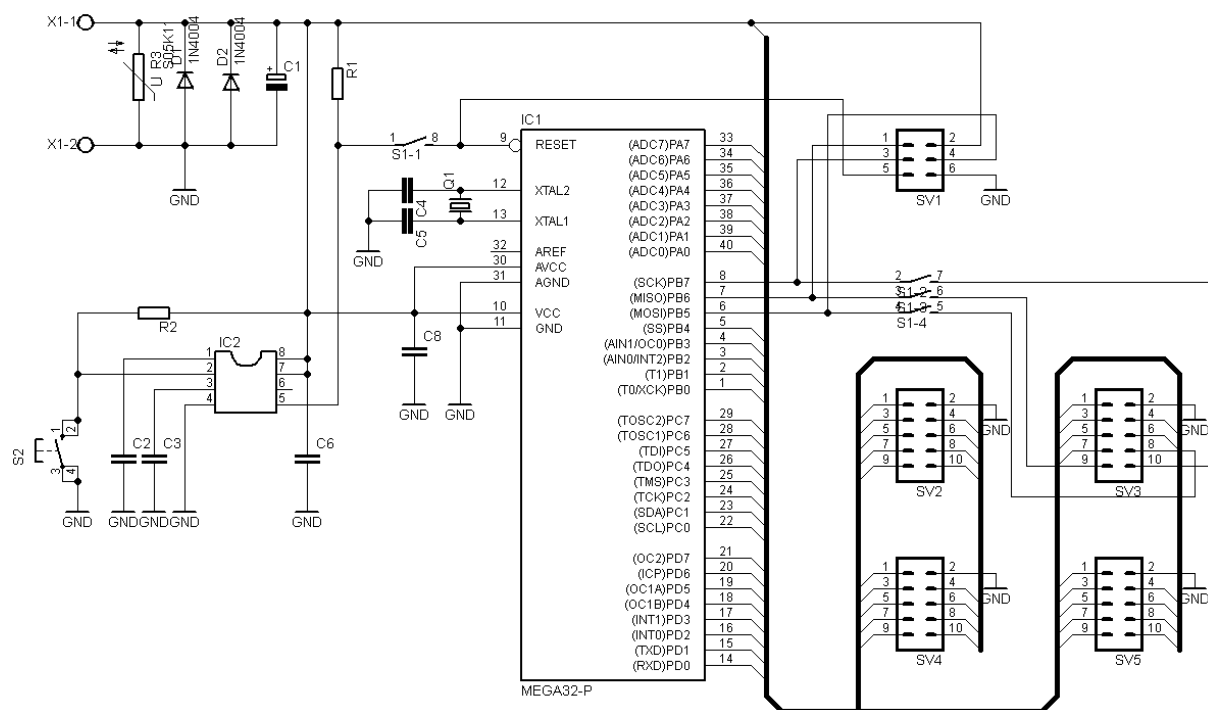


Obr. 3: Předloha plošného spoje modulu pro vstup povelů

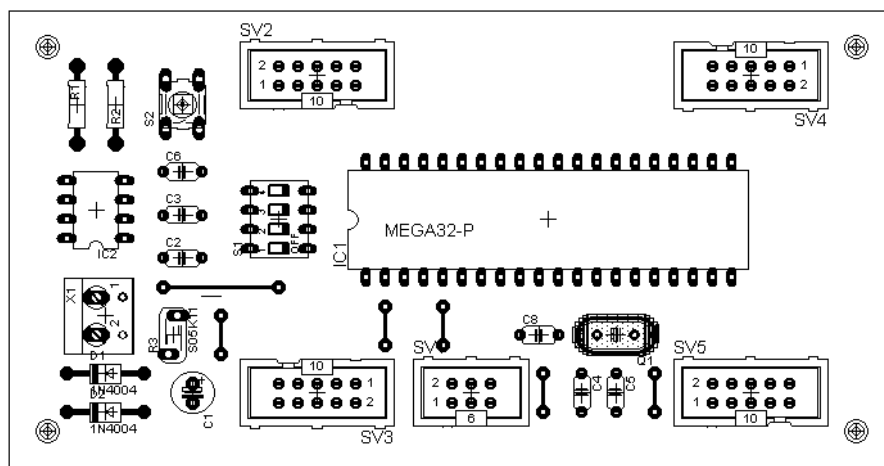
Tab. 1: Seznam součástek modulu pro vstup povelů

Označení	Typ	Hodnota	Pouzdro
R1-R8	rezistor	10k	0207/10
S1-S8	mikorspínač	TL070	B3F-1070
SV1	konektor	MLW10G	ML10

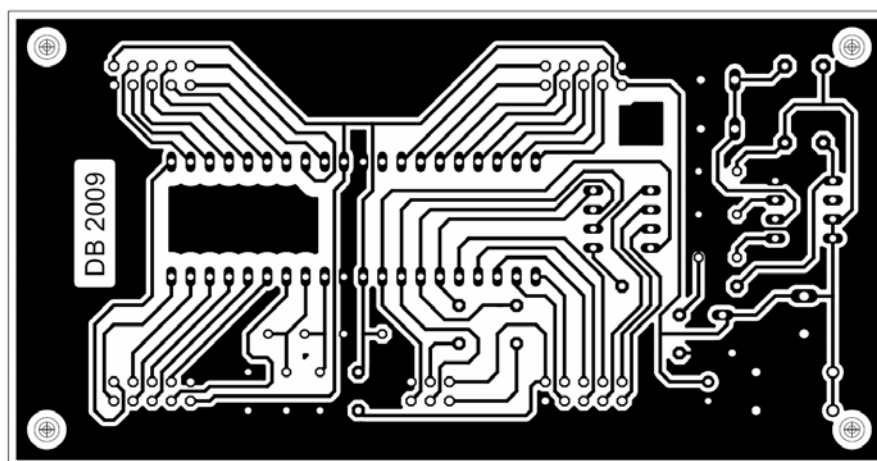
Příloha 3: Podklady pro výrobu řídicího modulu



Obr. 1: Schéma zapojení řídicího modulu



Obr. 2: Rozmístění součástek na DPS řídicího modulu

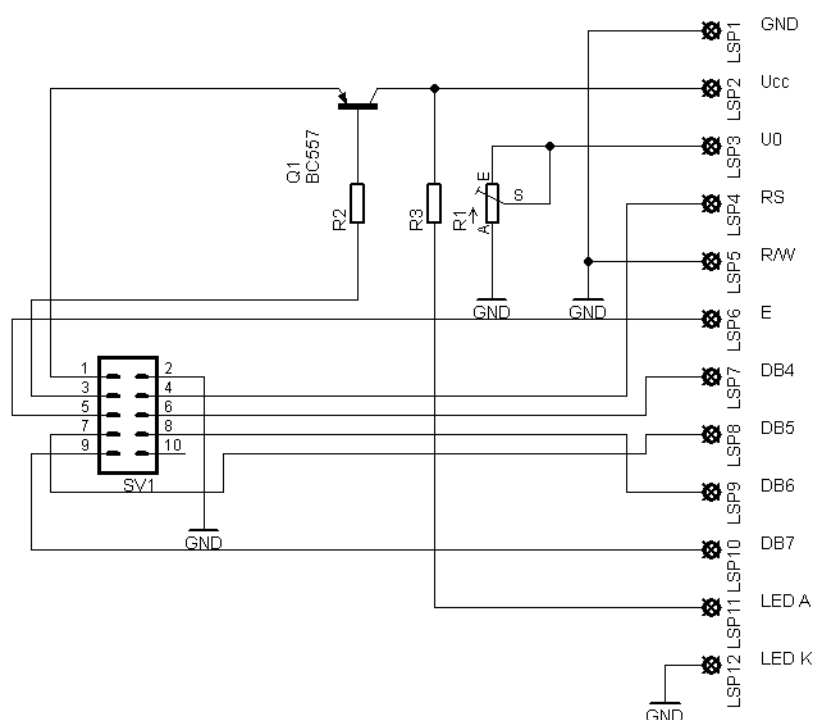


Obr. 3: Předloha plošného spoje řídicího modulu

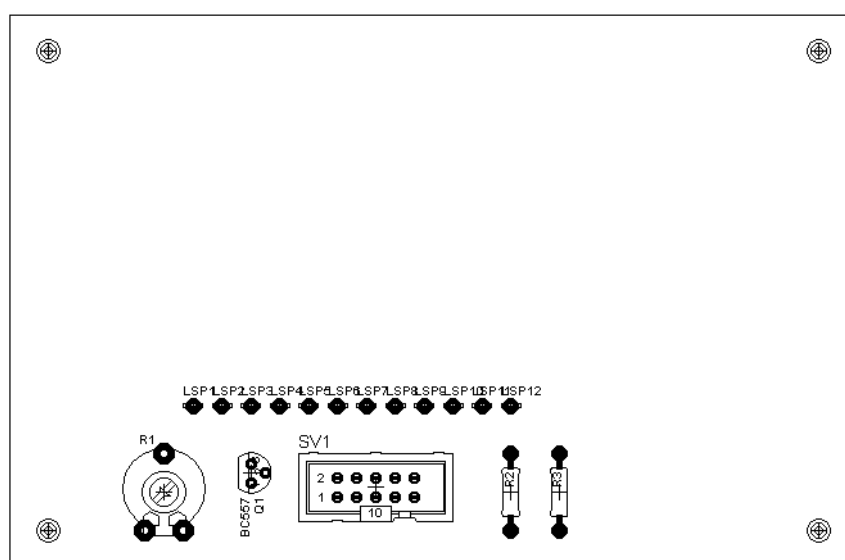
Tab. 1: Seznam součástek pro řídicí modul

Označení	Typ	Hodnota	Pouzdro
C1	kondenzátor	47M/63V	E2,5-6
C2	kondenzátor	100n/50V	Y5V, RM5
C3	kondenzátor	100n/50V	Y5V, RM5
C4	kondenzátor	TK22p/50V	Y5V, RM5
C5	kondenzátor	TK22p/50V	Y5V, RM5
C6	kondenzátor	100n/50V	Y5V, RM5
C8	kondenzátor	100n/50V	Y5V, RM5
D1	dioda	1N4007	DO41
D2	transil	BZW06-5V8	DO41
IC1	8-bit mikrokontroler	ATmega32-16PU	DIL40
IC2	obvod RESETU	TL7705	DIL08
Q1	krystal	10MHz	HC49U-V
R1	rezistor	10k	0207/10
R2	rezistor	10k	0207/10
R3	varistor	JVR05N180K	RM5
S1	DIP spínače	SDIP04	DIP04S
S2	mikrospínač	TL050	B3F-1050
SV1	konektor	MLW06G	ML06
SV2	konektor	MLW10G	ML10
SV3	konektor	MLW10G	ML10
SV4	konektor	MLW10G	ML10
SV5	konektor	MLW10G	ML10
X1	svorkovnice do DPS	CZM5/2	CZM5/2

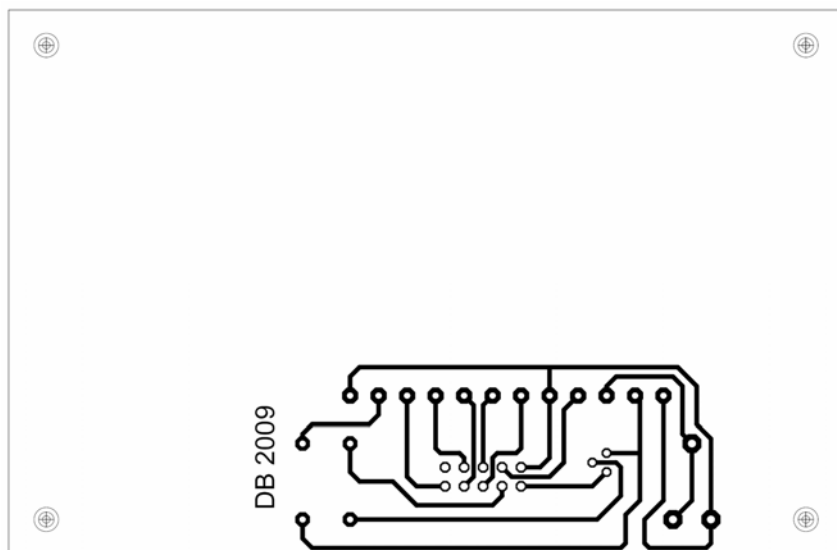
Příloha 4: Podklady pro výrobu modulu pro LCD displej



Obr. 1: Schéma zapojení modulu pro LCD displej



Obr. 2: Rozmístění součástek na DPS modulu pro LCD displej

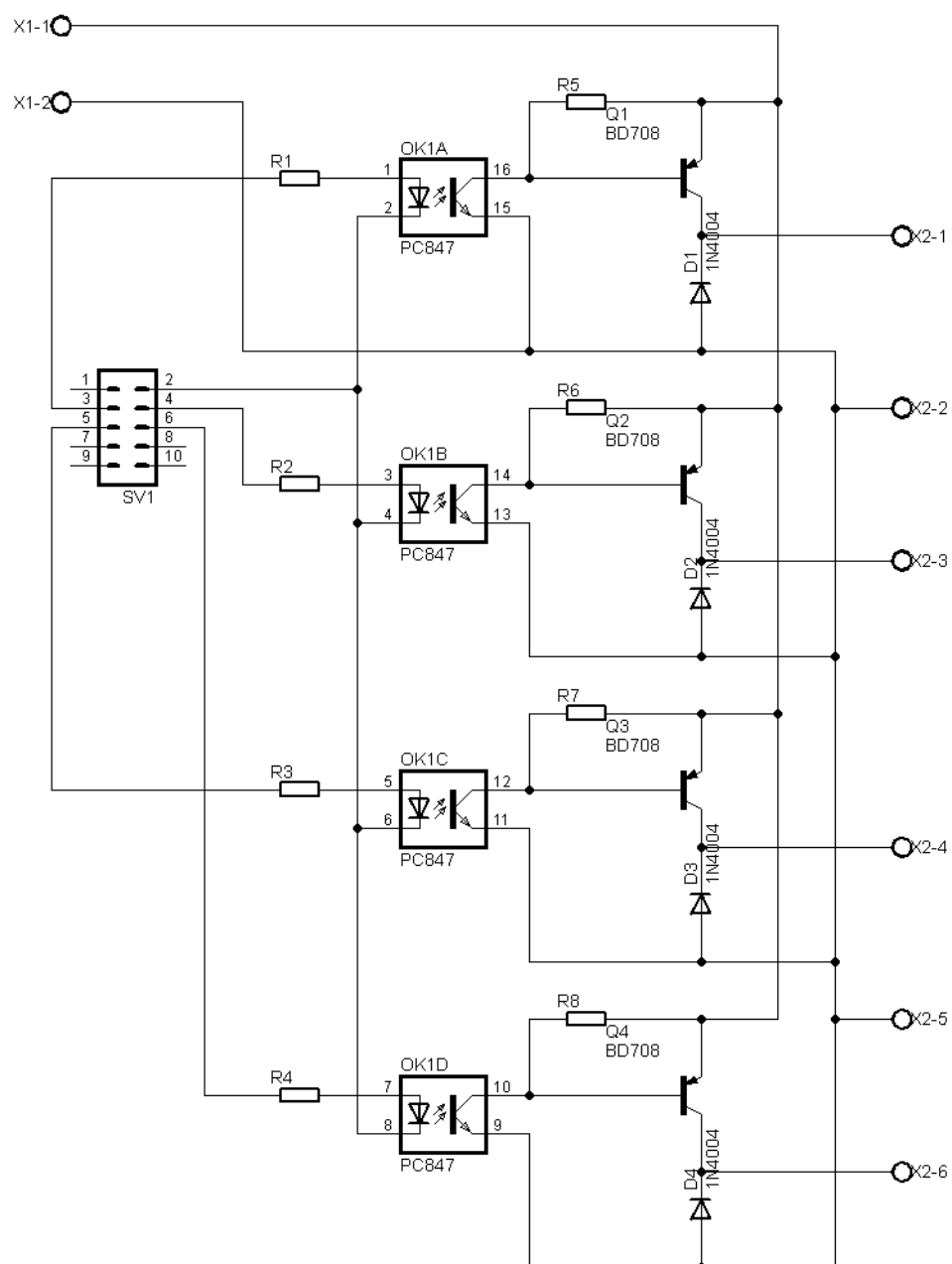


Obr. 3: Předloha plošného spoje modulu pro LCD displej

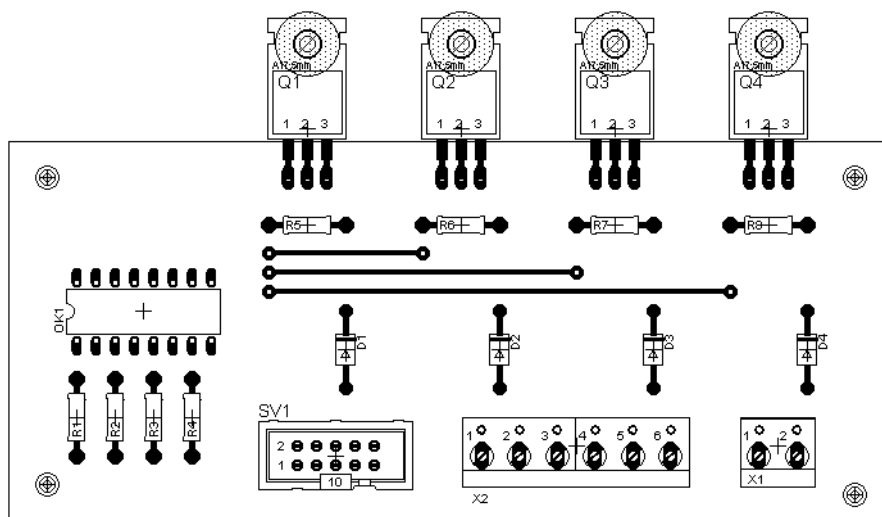
Tab. 1: Seznam součástek modulu pro LCD displej

Označení	Typ	Hodnota	Pouzdro
Q1	PNP tranzistor	BC557	TO92
R1	odporový trimr	PT10LV/10k	PT-10
R2	rezistor	47k	0207/10
R3	rezistor	470R	0207/10
SV1	konektor	MLW10G	ML10

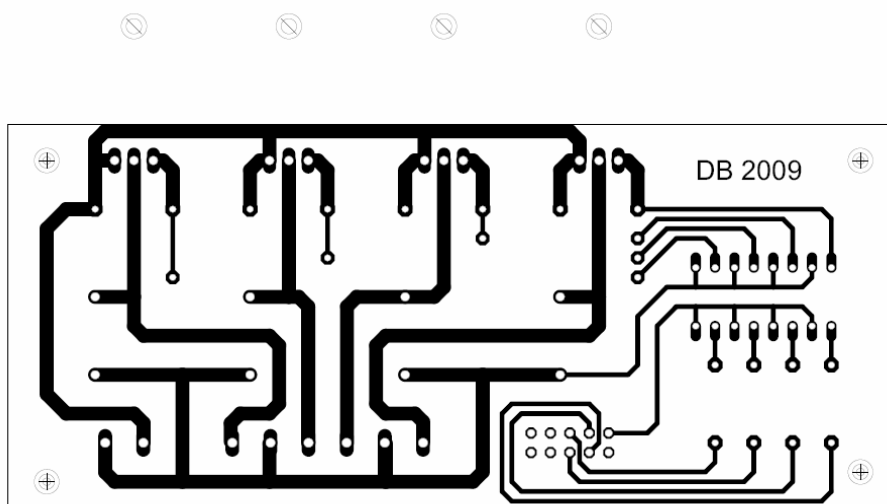
Příloha 5: Podklady pro výrobu modulu výkonového budiče



Obr. 1: Shéma zapojení modulu výkonového budiče



Obr. 2: Rozmístění součástek na DPS modulu výkonového budiče



Obr. 3: Předloha plošného spoje modulu výkonového budiče

Tab. 1: Seznam součástek modulu výkonového budiče

Označení	Typ	Hodnota	Pouzdro
D1	dioda	1N4007	D041
D2	dioda	1N4007	D041
D3	dioda	1N4007	D041
D4	dioda	1N4007	D041
OK1	optočlen	PC847	DIL16
Q1	PNP tranzistor	BD912	TO220
Q2	PNP tranzistor	BD912	TO220
Q3	PNP tranzistor	BD912	TO220
Q4	PNP tranzistor	BD912	TO220
R1	rezistor	470R	0207/10
R2	rezistor	470R	0207/10
R3	rezistor	470R	0207/10
R4	rezistor	470R	0207/10
R5	rezistor	47k	0207/10
R6	rezistor	47k	0207/10
R7	rezistor	47k	0207/10
R8	rezistor	47k	0207/10
SV1	konektor	MLW10G	ML10
X1	svorkovnice do DPS	CZM5/2	CZM5/2
X2	svorkovnice do DPS	CZM5/2	CZM5/2

Příloha 6: Seznam ostatních součástek

Tab. 1: Seznam ostatních součástek

Počet kusů	Typ
10	konektor PFL10
3m	plochý kabel AWG28-10G
24	dist. Sloupek DI5M3x08
1	LCD displej MC1602-SBL/H 2x16
6	slídová podložka SLP TO220
6	izol. průchodka IB2