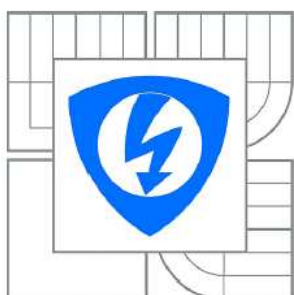


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

MĚŘENÍ OTÁČEK STROBOSKOPEM

LED STROBOSCOPE SPEED METER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ŠTEFAN KRAMPOŤÁK

VEDOUČÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. PETR BENEŠ, Ph.D.

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Štefan Krampotňák

ID: 106557

Ročník: 3

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Měření otáček stroboskopem

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem projektu je návrh bezkontaktního snímače otáček a snímače kolísání otáček založeného na stroboskopickém jevu. V rámci práce snímač navrhnete, realizujete a proměříte jeho vlastnosti. Stroboskop by měl umožňovat externí synchronizaci a příp. i automatické nastavení rozsahu, zdrojem světla budou výkonové LED diody.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle vlastního literárního průzkumu a doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 31.5.2010

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Beneš, Ph.D.

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Bakalárska práca sa zoberá návrhom a realizáciu bezkontaktného snímača otáčok založený na stroboskopickkej metóde. Ako zdroj svetla má byť použitá LED dióda .

Prvá časť sa zaoberá problematikou snímania otáčok a popisom stroboskopickkej metódy, jeho výhodami a nevýhodami.

Druhá časť sa zaoberá samostatným návrhom a realizáciou meracieho prístroja, t.j návrhom blokovej schémy, návrhom elektrického obvodu a samotnou realizáciou. Rozoberá jednotlivé časti elektrického obvodu a zdôvodňuje ich výber a návrh. V poslednej fáze bakalárskej práce je prevedené meranie prístroja a zistenie jeho vlastností.

Kľúčové slová:

stroboskop, meranie otáčok, ATmega8, displej 2x8, mikrokontrolér, výkonová LED dióda

Abstract

The bachelor's thesis is dealing with design and realization of contactless rotation sensor based on stroboscope method. As the source of the light should be used power LED.

The first part briefly deals with the scanning speed and a more detailed description of the stroboscope method, its advantages and disadvantages.

The second part of this thesis is about designing and implementation of the measurement device, i.e. designing the block diagrams, electric circuit designing and the execution itself.

It analyzes each part of the electric circuit and justifies their selection and design. In the last phase of this bachelor's thesis is made the measurement of the device and were determined its properties.

Keywords:

stroboscop, measure rotary speed, ATmega8, dipley 2x8, microcontroller, power LED

Bibliografická citácia

KRAMPOŤÁK, Š. *Měření otáček stroboskopem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 48 s. Vedoucí bakalařské práce doc. Ing. Petr Beneš, Ph.D.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma "Měření otáček stroboskopem" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 práce bakalářské dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské 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.....

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Petr Beneš, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne:

.....
podpis autora

OBSAH

1. TEORETICKÝ ROZBOR.....	11
1.1 Definícia Uhlovej rýchlosti.....	11
1.2 Typy snímačov na meranie otáčok	11
1.2.1 Mechanické otáčkomery	12
1.2.2 Chronometrické otáčkomery	13
1.2.3 Hydraulické otáčkomery.....	13
1.2.4 Tachodynamo	13
1.2.5 Tachogenerátor	15
1.2.6 Impulzné otáčkomery	15
1.2.7 Stroboskopický otáčkomer	16
1.3 Stroboskopická metóda.....	16
1.3.1 Stroboskopický jav	16
1.3.2 Matematický popis.....	18
1.3.3 Fyzikálny princíp	19
2. RIEŠENIE.....	21
2.1 Prieskum trhu stroboskopických Otáčkomerov	21
2.2 Prieskum trhu LED Diod	23
2.3 Blokové schéma riešenia.....	24
2.3.1 Stroboskop s čítačom impulzov.....	24
2.3.2 Stroboskop riadený mikrokontrolérom.....	24
2.4 Výkonový člen	25
2.4.1 Spínač s tranzistorom.....	25
2.4.2 Zlepšenie spínača pomocou spätnoväzobnej diódy	27
2.4.3 Zlepšenie spínača pomocou kondenzátora	27
2.4.4 Návrh tranzistorového spínača	28
2.5 Reflektor	29
2.6 Meranie Vlastnosti tranzistorového spínača a LED.....	31
2.7 Výpočet teoretickej maximálnej frekvencie	32
2.8 MCU	32

2.8.1 Mikrokontroléry ATMEL AVR	33
3. KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE.....	34
3.1 Stabilizovyný Zdroj	34
3.2 Mikrokontrolér Atmega8	34
3.3 Prevodník MAX232.....	35
3.4 DISPLEJ	35
3.5 Ovládanie	36
3.6 LED.....	37
4. SOFTWARE	39
4.1 Programovanie	39
4.2 Popis programu	39
4.3 Popis ovládania	41
4.4 Popis funkcií	43
5. MERANIE VLASTNOSTÍ.....	44
6. ZÁVER.....	46
7. ZOZNAMY	47
7.1 Zoznam použitej literatúry	47
7.2 Zoznam skratiek.....	48
7.3 Zoznam Príloh.....	48
7.4 Obsah priloženého CD	48
8. PRÍLOHY	49

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1.1 Odstredivý otáčkomer	12
Obrázok 1.2 Hydraulický otáčkomer	13
Obrázok 1.3 Principiálna schéma tachodynamu	14
Obrázok 1.4 Rôzne typy impulzných otáčkomerov	16
Obrázok 1.5 Náhodné blikanie.....	17
Obrázok 1.6 Stroboskopický jav	17
Obrázok 1.7 Väčšia frekvencia blikania	17
Obrázok 1.8 Menšia frekvenci blikania	18
Obrázok 1.9 Prvé stroboskopy na meranie otáčok.....	19
Obrázok 2.1 LED dióda Luxeon LXHL-BW02.....	23
Obrázok 2.2 Blokové schéma fototachometru s čítačom impulzov.....	24
Obrázok 2.3 Blokové schéma fototachometru s MCU	25
Obrázok 2.4 Pracovné body tranzistora v spínacom režime	26
Obrázok 2.5 Rozdiel vstupnej a výstupnej amplitúdy	27
Obrázok 2.6 Tranzistorový spínač s tranzistorom NPN BC337	28
Obrázok 2.7 Vyžarovacia charakteristika LXHL-BW02.....	29
Obrázok 2.8 Závislosť osvetlenia na vzdialenosti	30
Obrázok 2.9 Reflektor FHS-HNB1-LB01	30
Obrázok 2.10 Blokovaná schéma merania	31
Obrázok 2.11 Rozloženie portov mikrokontroléru Atmega8.....	33
Obrázok 3.1 Pripojenie kryštálu na MCU.....	34
Obrázok 3.2 Displej CM0820	36
Obrázok 3.3 Rozmiesnenie kláves	37
Obrázok 3.4 Klávesnica	37
Obrázok 3.5 LED na plošnom spoji.....	38
Obrázok 3.6 Upevnenie LED na reflektore.....	38
Obrázok 4.1 Funkcia časovačov	40

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 2.1 Prieskum trhu fototachometrov časť 1.	21
Tabuľka 2.2 Prieskum trhu fototachometrov časť 2.	22
Tabuľka 2.3 Prieskum trhu LED diód.....	23
Tabuľka 5.1 Namerané a vypočítané hodnoty	44

1. TEORETICKÝ ROZBOR

V mnohých oblastiach priemyslu je dôležité určiť rýchlosť otáčania točivých strojov. Prístroje používané na meranie uhlovej rýchlosti sa nazývajú otáčkomere alebo taktiež tachometre. Meraním sa zisťuje počet otáčok, ktoré sa vykonajú počas určitého časového intervalu, napr. sekundy alebo minúty.

1.1 DEFINÍCIA UHLOVEJ RÝCHLOSTI [1]

Otáčka je uhlová zmena 360° , ktorú vykoná teleso okolo vlastnej osi.

Frekvencia otáčania je počet otáčok ktoré teleso vykoná za určitú dobu.

Môže to byť sekunda, minúta alebo aj hodina, najčastejšie sa používajú jednoty ot.s^{-1} a ot.min^{-1} . Frekvenciu otáčania môžeme vyjadriť vzťahom

$$n = \frac{N}{t} \quad (1.1)$$

n je frekvencia otáčania,

N je celkový počet otáčok vykonaný za určitý časový interval,

t je dĺžka časového intervalu.

Uhlová rýchlosť sa označuje gréckym písmenom ω a definujeme ju vzťahom

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad (1.2)$$

ω je uhlová rýchlosť

$d\varphi$ je uhol pootočenia telesa za určitý časový interval

dt je dĺžka časového intervalu

Jednotka uhlovej rýchlosti je radián za sekundu (rad.s^{-1}).

1.2 TYPY SNÍMAČOV NA MERANIE OTÁČOK

Na meranie otáčok sa dá využiť viac fyzikálnych princípov.

Podľa spôsobu prevodu otáčok na určitý druh signálu ich môžeme rozdeliť na :

- Otáčkomery s neelektrickým výstupom.
- Otáčkomery s elektrickým výstupom.

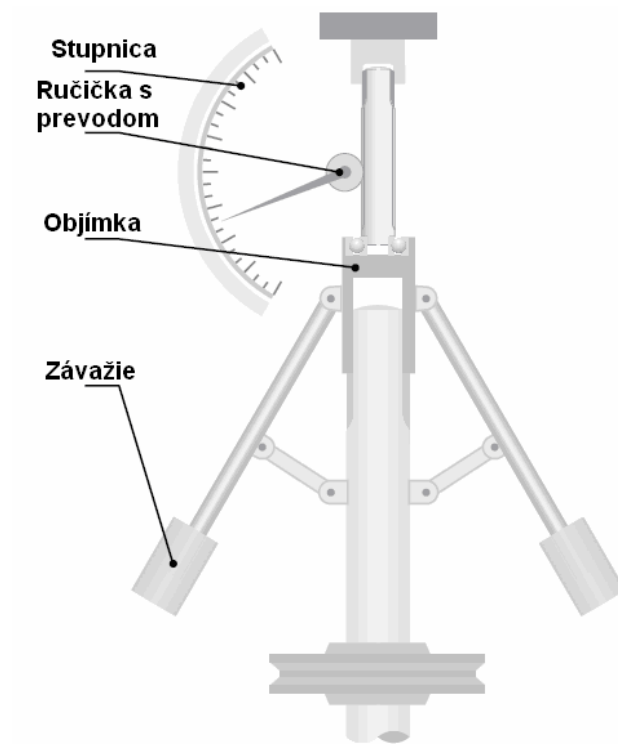
Ďalšou možnosťou je rozdeliť snímače podľa toho, či sa dotýkajú meranej sústavy. Z tohto hľadiska ich delíme na *kontaktné* alebo *bezkontaktné*.

1.2.1 Mechanické otáčkomery [1]

Mechanické otáčkomery využívajú princíp pôsobenia odstredivej sily. Jedná sa o kontaktný typ snímača, pretože potrebujeme priamo pripojiť na sústavu. Veľkosť rýchlosti zisťujeme pomocou veľkosti odstredivej sily pôsojacej v ťažisku rotujúceho telesa podľa vzťahu 1.3.

$$F = m \cdot r \cdot \omega^2 \quad (1.3)$$

- m je hmotnosť otáčajúceho sa telesa
r je vzdialenosť ťažiska od osi otáčania
 ω je uhlová rýchlosť



Obrázok 1.1 Odstredivý otáčkomer [1]

Odstredivý otáčkomer sa skladá zo závažia, ktoré sa pôsobením odstredivej sily vzdľahuje od osi otáčania. Tým sa objímka posunie vo zvislom smere a táto odchýlka sa prevodom preniesie na ručičku. Hodnotu môžeme odčítať na stupnici. Nemôžeme ho použiť na meranie zariadení s malým mechanickým výkonom.

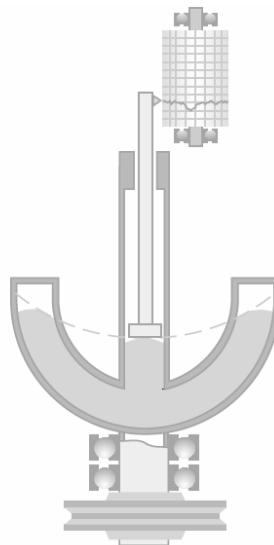
Odstředivý princip využívá aj Hornov otáčkomer. Používa sa väčšinou na meranie ustálených otáčok. Hodnoty sa môžu zaznamenať na zapisovacie zariadenie.

1.2.2 Chronometrické otáčkomery [1]

Chronometrický otáčkomer, je integračný kontaktný prístroj založený na meraní veľkosti uhla natočenia rotujúceho telesa za jednotku času. Predstavuje spojenie počítadla otáčok s hodinovým strojom. Počítadlo otáčok aj hodinový stroj začnú merať súčasne. Meria sa celkový počet otáčok za časový interval, čiže sa odmeria stredná hodnota frekvencie otáčania.

1.2.3 Hydraulické otáčkomery [1]

Hydraulické otáčkomery patria k historicky starším typom otáčkomerov a v dnešnej dobe sa už využívajú veľmi zriedkavo. Na meranie frekvencie otáčok sa využíva odstredivá sila kvapaliny. Hodnota sa určuje z výšky hladiny kvapaliny.

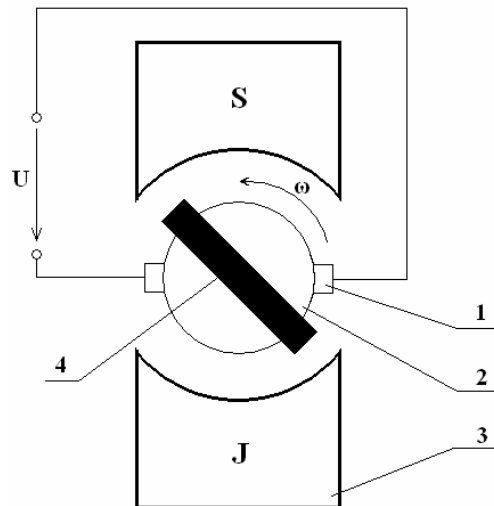


Obrázok 1.2 Hydraulický otáčkomer [1]

1.2.4 Tachodynamo [1] [2]

Patrí k najpoužívanejším otáčkomerom s elektrickým výstupom. Jedná sa o malé dynamo s permanentným magnetom alebo s cudzím budením magnetického poľa. V najjednoduchšom zapojení sa v magnetickom poli permanentného magnetu otáča cievka spojená s krúžkami komutátora.

Principiálnu funkciu popisuje obrázok 1.3 . Cievka sa otáča na hriadeľi statora z permanentného magnetu uhlovou rýchlosťou ω . Pohybom cievky v magnetickom poli vyvolá na koncoch cievky napätie U , ktoré je potom vyvedené na kefky komutátora .



Obrázok 1.3 Principiálna schéma tachodynama

- 1 kefky komutátora
- 2 stator
- 3 permanentný magnet
- 4 cievka

Napätie, ktoré vzniká na koncoch cievky má veľkosť podľa vzťahu 1.4.

$$U = NSB\omega \quad (1.4)$$

- N je počet závitov cievky
- S je prierez vodiča cievky
- B je veľkosť magnetického pola
- ω je uhlová rýchlosť otáčania cievky

Výhodou tachodynama je lineárna závislosť výstupného napätia od otáčok a malá nelinearita . Nevýhodou je, že napätie na cievke je vyvedené cez uhlíkové

kefy, ktoré sa postupom času opotrebovávajú a spôsobujú veľký prechodový odpor a tým znižujú presnosť merania.

1.2.5 Tachogenerátor [1] [2]

Tachogenerátory optimalizované na meranie uhlovej rýchlosti majú niekoľko párových dvojíc a pár paralelných vinutí. Pre výstupné napätie potom platí

$$U = \frac{p\Phi_m N}{60.a} n \quad (1.5)$$

p je počet polových dvojíc

Φ_m je magnetický tok

N je počet závitov

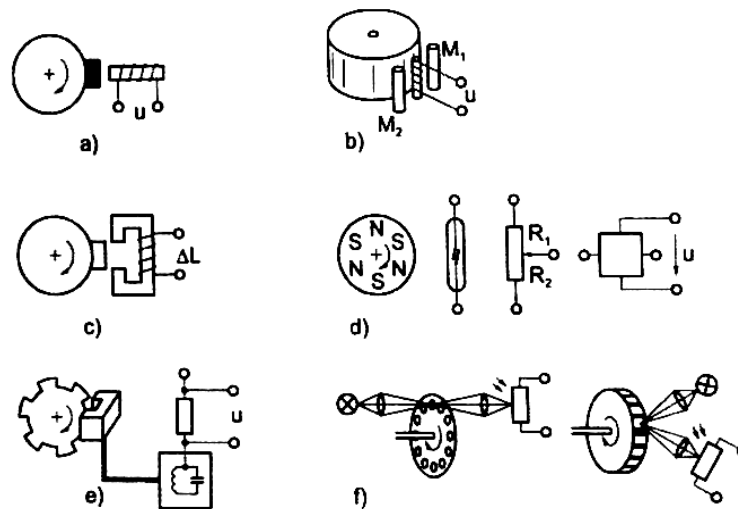
a je počet párov paralelných vinutí

n je počet otáčok za minútu

Tachogenerátory umožňujú indukovať smer otáčania. Náhla zmena rýchlosti vyvolá u tachogenerátorov prídavnú chybu čo je takzvaný akceleračný efekt. Je spôsobená indukčnosťou cievky, ktorá pôsobí ako vnútorná impedancia v náhradnom obvode tachogenerátora. Pre optimálnu funkčnosť je potreba minimálneho zaťaženia.

1.2.6 Impulzné otáčkomery [2]

Využívajú čítanie impulzov a ich vyhodnocovanie po určitých časových úsekoch. Prechod značky okolo snímača spôsobí impulz ktorý sa spracuje elektrickým obvodom. Čítačom sa spočíta počet impulzov za určitý časový úsek. Môžeme ich rozdeliť na viac druhov podľa využitia určitého fyzikálneho javu napríklad magnetické alebo optické. Impulzné otáčkomery využívajú bezdotykový spôsob merania otáčok, a tým nezaťažujú meranú sústavu svojim zotrvačným momentom, a preto sú výhodné na meranie sústav s malým točivým momentom. Môžeme ich využiť aj ako jednoduchý čítač otáčok.



Obrázok 1.4 Rôzne typy impulzných otáčkomerov [2]

- a) Indukčné
- b) Wiegandov senzor
- c) Indukčnosťné
- d) Elektrokotaktné
- e) Senzory na princípe vírivých prúdov
- f) Optoelektronické

1.2.7 Stroboskopický otáčkomer

Stroboskopická metóda využíva na meranie otáčok stroboskopický jav. Podrobnejší opis tejto metódy je opísaný v nasledujúcej kapitole 1.3 .

1.3 STROBOSKOPICKÁ METÓDA

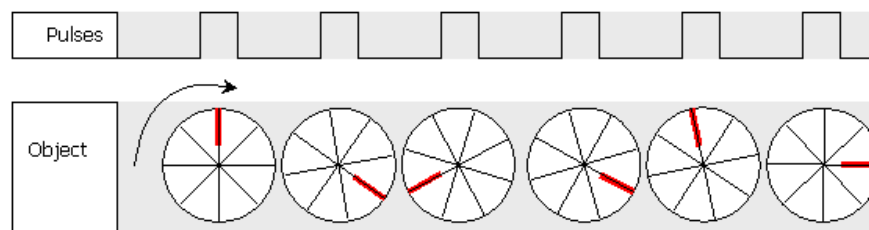
Táto kapitola sa podrobnejšie zaoberá stroboskopickou metódou, jeho princípom, využitím, meracími prístrojmi, výhodami a nevýhodami tejto metódy.

1.3.1 Stroboskopický jav

Stroboskopický jav patrí medzi takzvané optické klamy. Ľudské oko nie je schopné rozlíšiť rýchlo sa pohybujúce a meniace deje ak sa obraz mení viac ako približne 25 krát za sekundu. Ak takýto dej je spojitý periodický a je

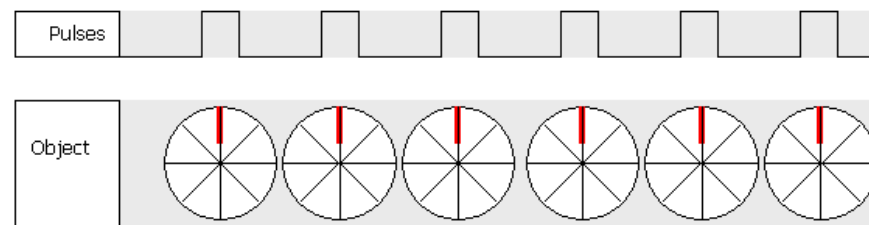
reprezentovaný diskretnými vzorkami, tak sa pri určitom pomere frekvencie periodického a diskretného signálu pozorovateľovi zdá, že objekt sa nepohybuje. Diskretný signál môže napríklad predstavovať blikajúci zdroj svetla, ktorý trvá dostatočne krátku časovú dobu.

Ak frekvencia blikania nie je násobkom frekvencie otáčania hriadeľa a ani nie je v jeho okolí, potom nastáva osvetlenia značky v rôznych uhloch natočenia .



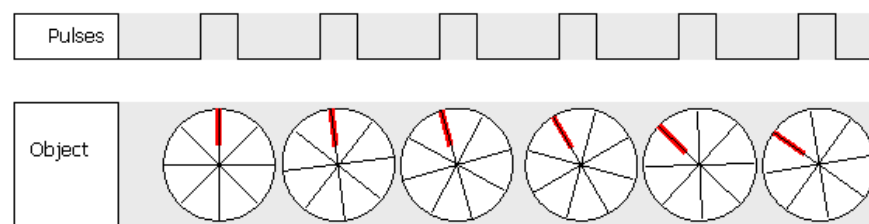
Obrázok 1.5 Náhodné blikanie [3]

Pri sledovaní rotujúceho sa hriadeľa sa značka pri určitej frekvencii blikania zdá, akoby sa nehýbala. Tento jav je znázornený na nasledujúcom obrázku 1.6.

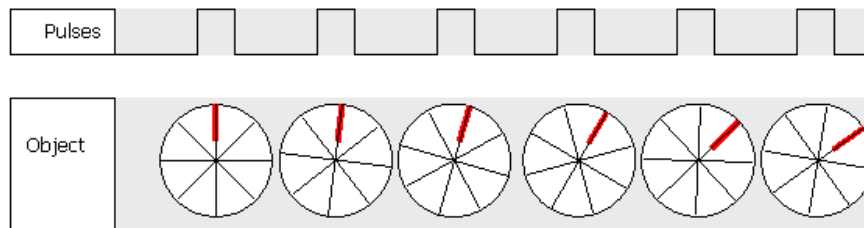


Obrázok 1.6 Stroboskopický jav [3]

Môže sa stať, že frekvencia blikania mierne zaostáva alebo a naopak mierne predbieha frekvenciu otáčania hriadeľa. Tieto dve javy sú znázornené na obrázku 1.7 a obrázku 1.8 pričom sa hriadeľ otáča v smere hodinových ručičiek.



Obrázok 1.7 Väčšia frekvencia blikania [3]



Obrázok 1.8 Menšia frekvenci blikania [3]

1.3.2 Matematický popis [1]

Pokiaľ je značka v zdanlivom klúde, frekvencia otáčania značky zodpovedá celistvému násobku frekvencie svetelných zábleskov.

$$n = kN_1 \quad (1.6)$$

k je číslo udávajúce počet otočení meraného predmetu za jeden záblesk

N_1 je frekvencia svetelných zábleskov

Zvyšovaním frekvencie zábleskov sa značka zdanlivo začne posúvať. Pri určitej frekvencii zábleskov N_2 sa značka opäť zdanlivo zastaví a platí vzťah

$$n = (k - 1)N_2 \quad (1.7)$$

Pomocou predošlých vzťahov sa dá vyjadriť frekvencia otáčania ako:

$$n = \frac{N_1 N_2}{N_2 - N_1} \quad (1.8)$$

Postupným zvyšovaním frekvencie záblesku sa konštanta k znižuje na jednotku, takže platí $n=N$. Následným zvyšovaním frekvencie sa objavia dve značky, teda $k=1/2$, potom tri, atď. V prípade že je na stroboskopickom kotúči p značiek, pri stroboskopickom jave je taktiež vidieť p zdanlivo stojacich značiek.

Počet otáčok sa dá vypočítať zo vzťahu :

$$n = \frac{N_1 N_2}{p(N_2 - N_1)} \quad (1.9)$$

Ak poznáme frekvenciu blikania ktorá je potrebná na zdanlivé zastavenie značky, musíme ho prepočítať na frekvenciu otáčania udanú v hodnotách otáčok za sekundu. Ak je frekvencia blikania svetelného zdroja rovnaká ako frekvencia otáčok za sekundu, potom môžeme stanoviť vzťah :

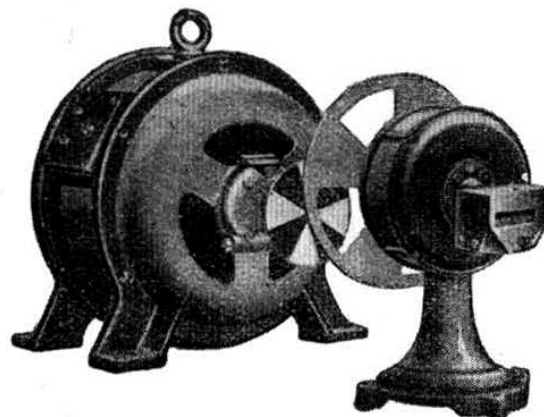
$$n = f \quad (1.10)$$

n je frekvencia otáčania hriadeľa udávaná v ot.s^{-1}

f je frekvencia blikania v jednotkách Hz

1.3.3 Fyzikálny princíp

Pri meraní otáčok stroboskopickou metódou sa ako diskretní vzorkovací signál použije dostatočne krátky a periodicky sa opakujúci svetelný záblesk. Klasické žiarovky nie sú vhodné, pretože majú veľkú zotrvačnosť a neumožňujú osvetliť značku na krátky časový úsek, rádovo ms až μs . Toto sa môže vyriešiť použitím stroboskopického kotúča, ktorý má jeden alebo viac otvorov a otáča sa okolo hriadeľa. Keď otvor kotúča prejde pred zdrojom svetla, prestane tieniť a na krátky časový úsek osvieti značku. Táto metóda je pomerne zastaraná a nepresná, pretože potrebujeme ďalší motor ktorým sa poháňa stroboskopický kotúč.



Obrázok 1.9 Prvé stroboskopy na meranie otáčok

Ako zdroj svetla môžeme použiť výbojku alebo LED diódu ktoré majú malú svetelnú zotrvačnosť. Problém môže nastať pri klasických LED diódach, ktoré majú malú svetelnosť, preto sa musia použiť špeciálne výkonové LED diódy, alebo použiť väčší počet a skonštruovať takzvané LED pole.

Svetelný signál musí byť čo najkratší, aby sa značka zdanlivo nerozmazala dôsledkom dlhého osvetlenia. Z konštrukčného hľadiska je ťažké dosiahnuť extrémne krátke doby záblesku, pretože aj tieto zdroje majú určitú svetelnú zotrvačnosť. Záblesk sa môžeme riadiť stroboskopom. Frekvencia blikania môže byť stanovená aj pomocou externej synchronizácie, pričom sa ako externý zdroj môže použiť iný princíp merania otáčok.

Výhodou stroboskopickej metódy je pomerne veľká presnosť a bezkontaktné meranie. Presnosť závisí hlavne od riadiaceho člena svetelného zdroja. Nevýhodou je, že sa priamo nedá merať kolísanie otáčok a meranie trvá dlhšiu dobu (údaj nezistíme hneď priamo, ale musíme postupne zvyšovať frekvenciu zábleskov). Ďalšou nevýhodou je, že môžeme nastaviť frekvenciu blikania menšiu ako je uhlová rýchlosť meraného hriadeľa, čiže jeho celý zlomok napríklad $1/2$, $1/3$, atď. Značka sa pri tom zdanlivo nepohybuje. Odstrániť tieto nevýhody môžeme pomocou už spomínanej externej synchronizácie, alebo zavedením kontrolných funkcií, ako je napríklad zdvojnásobenie frekvencie.

2. RIEŠENIE

Táto kapitola sa zaoberá popisom riešenia návrhu snímača a jeho konštrukciou. Návrh je rozpísaný do jednotlivých kapitol. Úlohou bolo navrhnuť a zostrojiť otáčkomer, ktorý pracuje na princípe stroboskopického javu.

2.1 PRIESKUM TRHU STROBOSKOPICKÝCH OTÁČKOMEROV

V prvom kroku som pomocou internetu a iných informačných zdrojov našiel výrobcov stroboskopických meračov otáčok a ich výrobky. Zistil som ich parametre a zistené údaje vložil do dvoch tabuliek.

Výrobca	Typ	Merací rozsah	Rozlíšenie	Presnosť	Nap.	Cena ***
Omega	HHT30	5 – 200000	0,1 / 1	0,01% + 1dig	230V	———
Lutron	DT-1236 L	5 - 99999	0,1 /1	0,05% + 1dig	4xAA	5600Kč
Omega	HHT41D	10 - 250000	0,1/1	0,01% + 1dig	230V	———
Lutron	DT-2239A	100 - 10000	1/10	0,05% + 1dig	230V	7000 Kč
Lutron	DT-2269	20 - 10500	0,1 /1	0,5% + 1dig	230V	8000 Kč
Lutron	DT-2259	10 – 99999	0,1 /1	0,1% + 1dig	4xAA	8000 Kč
Lutron	DT - 2199	100 - 99999	0,1/1	0,5% + 1dig	230V	11000Kč
PROVA	RM 1501	10 – 99999	0,01/0,1/1	0,04% + 2dig	4xAA	6200 Kč
Extech	461825	5 - 99999	0,1/1	0,1% + 2dig	4xAA	6400 Kč
Extech	461700	10 - 99999	0,1/1	0,1% + 2dig	9V	2500 Kč
Checkline	CDT-1000HD	1-99999	0,01/0,1/1	0,02% + 1dig	2xAA	———
Checkline	ESL - 20	2 - 120000	0,1/1	0,007% + 1dig	NiMH	12500 Kč

Tabuľka 2.1 Prieskum trhu fototachometrov časť 1.

Výrobca	Typ	Zdroj svetla	Externá syn.	Kon. meranie	Ovládanie posunu fáze	Iné
Omega	HHT30	Xenon	Nie	Nie	Ano	
Lutron	DT-1236 L	Laser	Nie	Ano	Nie	
Omega	HHT41D	Xeon	Nie	Nie	Ano	
Lutron	DT-2239A	Xenon	Nie	Nie	Nie	
Lutron	DT-2269	Xenon	Nie	Nie	Nie	RS-232**
Lutron	DT-2259	LED	Nie	Nie	Nie	
Lutron	DT - 2199	LED Pole	Ano*	Nie	Nie	
PROVA	RM 1501	LED	Nie	Nie	Nie	RS-232**
Extech	461825	LED	Nie	Nie	Nie	
Extech	461700	LED Pole	Ano*	Nie	Ano	
Checkline	CDT-1000HD	Laser	Nie	Nie	Nie	
Checkline	ESL - 20	LED	Nie	Nie	Nie	

Tabuľka 2.2 Prieskum trhu fototachometrov časť 2.

Poznámky:

- * externá synchronizácia je možná použitým dodávaného impulzného snímača otáčok
- ** pripojiteľný na zbernicu RS232
- *** ceny sú orientačné

Z tabuliek je zrejmé, že merací rozsah predávaných stroboskopov je v rozmedzí 10 až 10000 otáčok za minútu. V poslednej dobe prevládajú stroboskopy zo zdrojom svetla LED, ktorým stačí napájanie z batérií alebo externého zdroja s nízkym napätím. Meracie prístroje DT – 2199 firmy Lutron a 461700 firmy Extech umožňujú pripojenie externej synchronizácie, ktoré sú samostatne dodávané. Ich podrobný princíp nie je v dátových listoch spomenutý. Niektoré prístroje sú pripojiteľné na sériový port RS232 a umožňujú riadenie stroboskopu a zápis nameraných dát.

2.2 PRIESKUM TRHU LED DIOD

Ako zdroj svetla sa použije výkonová LED dióda. Aj tu som vykonal prieskum trhu a vyhodnotil v tabuľke. Všetky LED diódy majú výkon 1 watt.

Výrobca	Typ	Svetelný tok*	Priepustné napätie	Prúd v priepustnom	Max. imp. prúd **
—	—	F (lm)	U_F (V)	I_F (mA)	I_{FP} (A)
Luxeon	LXHL-BW02	45	3,42	350	1,0***
Hebeit I.T.	E12BW6C-0	70	3,50	350	0,5
Photron	PP00W-8C61	62	3,50	400	0,5
Avago	ASMT-AN00	70	3,50	350	1,0 ***
V.LED	9900-1201-371	80	3,50	350	0,5

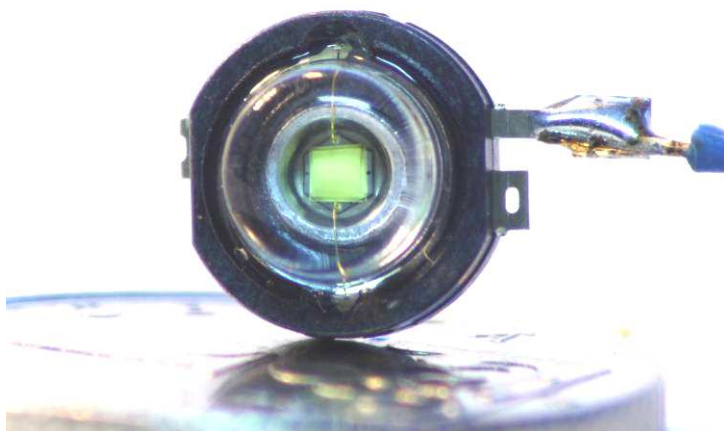
Tabuľka 2.3 Prieskum trhu LED diód

* Z dátových listov nebolo možné zistiť, pri akých podmienkach boli zistené hodnoty svetelného toku (napätie, teplota okolia a puzdra). Tieto parametre najviac ovplyvňujú svetelný tok a životnosť LED dióda.

** Impulzný prúd bol zistený pri frekvenciu 1kHz a šírke impulzu 50%.

*** Impulzný prúd bol zistený pre frekvenciu 1kHz a šírke impulzu 10%.

K dispozícii bola výkonová LED dióda BW02 od firmy Luxeon.

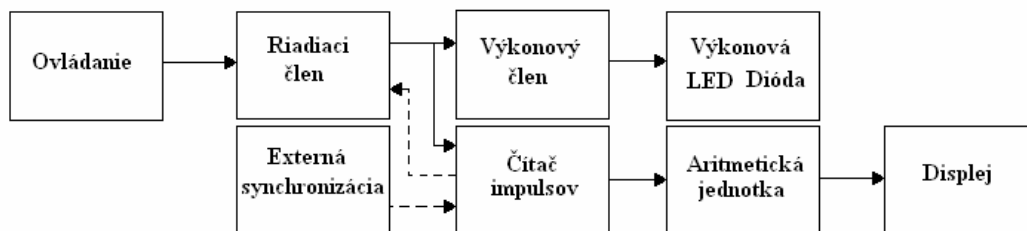


Obrázok 2.1 LED dióda Luxeon LXHL-BW02

2.3 BLOKOVÉ SCHÉMA RIEŠENIA

2.3.1 Stroboskop s čítačom impulzov

Prvé riešenie znázornené na obrázku 2.2 má nasledovný princíp. Pomocou Ovládania sa nastaví na riadiacom člene určitá frekvencia blikania, ktorá je zatiaľ neznáma. Z riadiaceho člena ide signál do výkonového člena, kde je dostatočne zosilnení, aby sme boli schopní rozsvietiť LED diódu. Z riadiaceho člena ide nezosilnený signál aj do čítača impulzov, kde sa počíta počet impulzov za určitý časový úsek napr. sekunda a následne sa vyhodnocuje. Pomocou aritmetickej jednotky sa prepočíta na otáčky za minútu alebo inú jednotku. Zistená hodnota sa zobrazí na displeji. Pri použití externej synchronizácií sa zistí počet impulzov pomocou čítača a tento signál sa pošle aj do riadiaceho člena kde sa nastaví rovnaká frekvencia blikania.



Obrázok 2.2 Blokové schéma fototachometru s čítačom impulzov

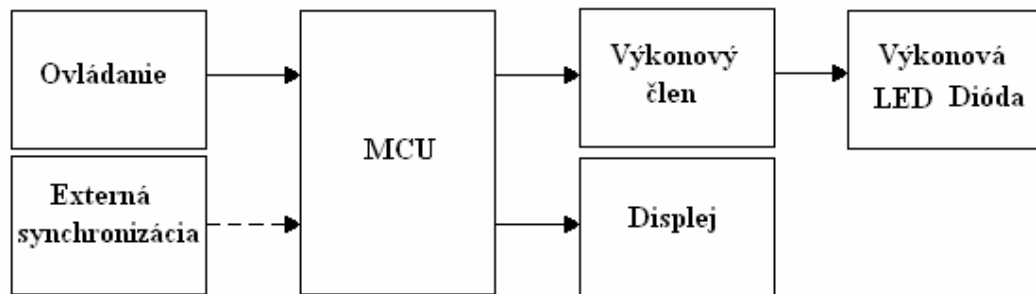
Toto riešenie nie je vhodné, pretože nastavená frekvencia blikania je neznáma. Musí sa odmerať a následne zobrazíť.

Ďalším problémom je aj konštrukcia radiaceho člena. Mohol by sa použiť klopný obvod, ten je však veľmi závislý na teplote a je problematické použiť funkcie $\times 2$ a $/2$, ktoré sú nevyhnutné na kontrolu správnosti nameranej hodnoty.

2.3.2 Stroboskop riadený mikrokontrolérom

Ďalšou možnosťou realizácie stroboskopu je využitie mikrokontroléra, ako riadiaci člen. Ovládaním sa nastaví požadovaná hodnota frekvencie blikania, ktorá sa okamžite zobrazí na displeji. Súčasne sa v MCU nastaví frekvencia blikania. Signál z výstupu MCU sa privedie na tranzistorový spínač.

Pri externej synchronizácii sa frekvencia blikania nastaví podľa zisteného počtu impulzov za jednotku času na vstupe MCU. Výhodou je jednoduchšia konštrukcia, väčšia presnosť a malá tepelná závislosť v prípade použitia externého hodinového signálu alebo kryštálu.



Obrázok 2.3 Blokové schéma fototachometru s MCU

Do zdrojového kódu je možné implementovať viac funkcií , ako napríklad zobrazenia uhlovej rýchlosti v rôznych jednotkách, posun fáze a veľkosť šírky impulzu atď.

2.4 VÝKONOVÝ ČLEN

Pretože mikrokontrolér nie je schopný dodávať veľké prúdy ktoré odoberá LED dióda, je potreba použiť výkonový člen. Konkrétne vybraný mikrokontrolér ATMEL ATMEGA8 je schopný dodávať prúd do 20 mA.

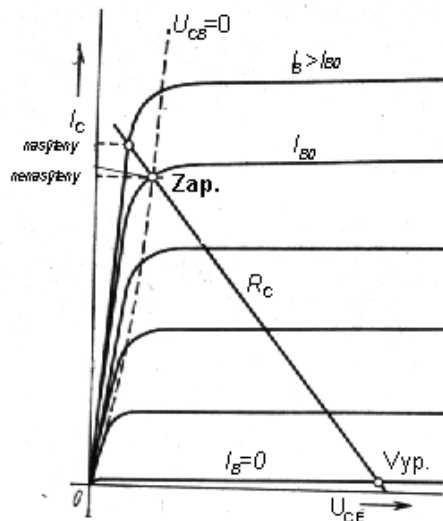
Ako výkonový člen sa použil tranzistorový spínač. Veľkosť odoberaného prúdu prebudenej LED diódy bude pri impulznom riadení približne 1A. Na spínanie sa použil NPN tranzistor BD136, ktorý vydrží kolektorový prúd až 1,5 A.

2.4.1 Spínač s tranzistorom [5] [11]

Tranzistorové spínače sa používajú na spínanie väčších výkonov pomocou malých prúdov a napätí. Využívajú sa pri spracovaní logických signálov, ale aj ako výkonové spínacie tranzistory vo výkonovej elektronike (300V/10A). Dajú sa použiť

ako náhrada reléových spínačov. Oproti nim sa vyznačujú väčšou rýchlosťou, dlhšou životnosťou a majú menšie rozmery.

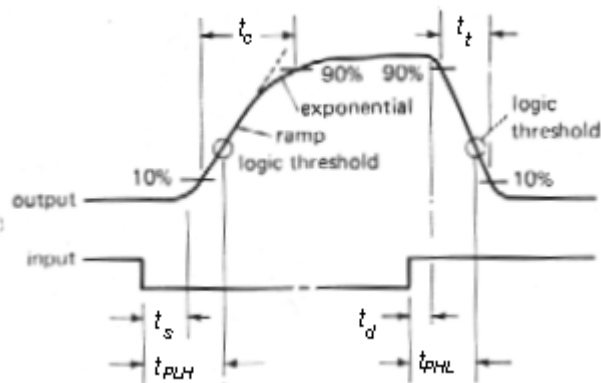
Tranzistor v tomto režime má dva stavy, zapnutý a vypnutý. Ak báza tranzistora je odpojená od zdroja napätia, bázou nepreteká prúd, tranzistor je zatvorený a dostane sa do nevodivého stavu. V nevodivom stave na tranzistor pôsobí približne napätie zdroja a preteká ním zanedbateľne malý prúd. Kvalita spínača sa dá opísať pomocou doby spínania t_{on} , t_{off} a stratovej energie pri zapnutom a vypnutom stave W_{on} , W_{off} .



Obrázok 2.4 Pracovné body tranzistora v spínacom režime

Spínacie tranzistory pracujú obvykle v zapojení so spoločným emitorom. Pri povelu k zopnutiu je báza tranzistora napájaná zo zdroja U_0 . Cez bázu začne pretekať prúd určený veľkosťou odporu R_B . Tým sa tranzistor otvorí a začne prúdiť medzi kolektorom a emitorom prúd určený veľkosťou záťaže R_C . Na kolektore tranzistora zostáva malé zvyškové napätie U_{CES} .

Pri nasýtení sa už nezvyšuje kolektorový prúd I_C a hromadia sa dodatočné nosiče náboja. Jeho následkom je zníženie rýchlosti spínania tranzistora. Ohraničenie spínacej rýchlosti tranzistorového spínača ďalej spôsobuje aj tzv. Millerov jav alebo taktiež nazývaný ako Millerova kapacita.



Obrázok 2.5 Rozdiel vstupnej a výstupnej amplitúdy

Obrázok 2.5 zobrazuje rozdiel impulzu vstupu a impulzu výstupu. Z obrázku je zrejmé, že odozva na jednotkový skok nie je okamžitá, ale trvá určitú dobu.

Je však potreba tento čas skrátiť a tým zrýchliť spínanie tranzistora. Môže sa to vyriešiť napr. pomocou :

- spätnoväzobnej diódy,
- obvodu s urýchľovacím kondenzátorom.

2.4.2 Zlepšenie spínača pomocou spätnoväzobnej diódy [11]

Tento spôsob je v integrovaných obvodoch často používaný. Používa sa schottkyho dióda, tvorený PN prechodom kov-polovodič zapojená medzi kolektorom a bázou tranzistora. Jedná sa o takzvanú nelineárnu spätnú väzbu.

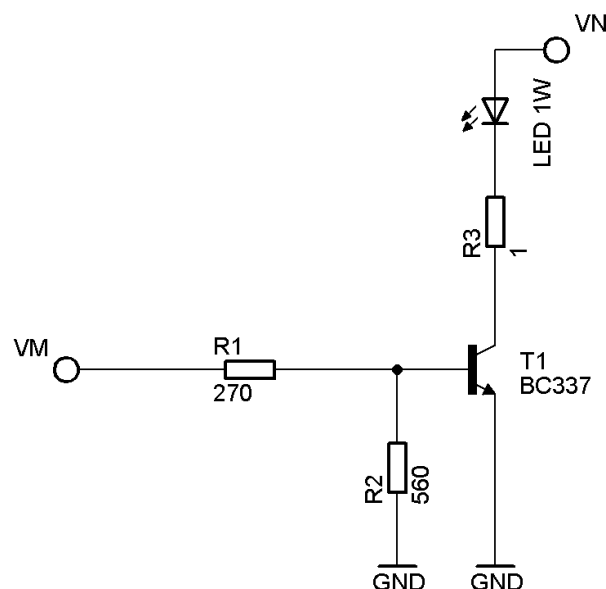
Pri nevodivom stave sa vplyv diódy prakticky neprejaví. Pri otvorení tranzistora zabraňuje dióda nasýteniu tranzistora, nakoľko pri poklese napätia na kolektore na úroveň saturačného napätia sa dióda stane vodivou. Záporná spätná väzba z kolektora na bázu bude brániť ďalšiemu zvyšovaniu prúdu bázy, a tým aj hromadeniu prebytočného náboja.

2.4.3 Zlepšenie spínača pomocou kondenzátora [11]

Kondenzátor sa zapojí medzi kolektor a emitor tranzistora. Vďaka kondenzátoru sa pri zmene vstupného impulzu prenesie do bázy podstatné viac náboja než klasicky. Tým sa urýchli difúzia náboja v báze, takže čelo impulzu sa

skrátí. Tento spôsob má rovnaký vplyv, ako keby sme dodali veľký náboj pri presýtení pomocou veľkej amplitúdy. Nábojová injekcia z kondenzátora má časovo obmedzenú dobu, ktorá závisí od veľkosti kapacity kondenzátora. Preto je potrebné zvoliť optimálnu veľkosť kapacity kondenzátora, pretože pri malých kapacitách sa vplyv kondenzátora neprejaví a pri príliš veľkej môže dojsť k trvalému nahromadeniu náboja v tranzistore a tým k jeho spomaleniu vypínania.

2.4.4 Návrh tranzistorového spínača [5]



Obrázok 2.6 Tranzistorový spínač s tranzistorom NPN BC337

Kolektorový prúd je definovaný prúdom záťaže, ktorý má veľkosť 1A. Bázový prúd musí byť väčší, ako by odpovedalo prirodzenému zosilňovaciemu činiteľu h_{21E} v danom pracovnom bode. Tranzistor musí byť mierne prebudený, aby napätový úbytok U_{CE} bol čo najmenší. Silné prebudenie príliš predlžuje vypínaciu dobu tranzistora. Tranzistor pracuje s takzvaným vnútením zosilňovacím činiteľom. U signálových tranzistorov sa vnucuje približne $h_{21E} = 30$. Je to však iba orientačná hodnota a veľkosť bázového prúdu je kompromis medzi malým napätovým úbytkom a rýchlosťou spínania. V mojom prípade som si zvolil $h_{21E} = 35$, bázový prúd potom bude približne 14mA.

$$I_B = \frac{I_C}{h_{21E}} = \frac{0,5}{35} = 0,014 \text{ A} = 14 \text{ mA} \quad (2.1)$$

Volí sa, čo (rozumne) najmenšiu hodnotu R_2 , v našom prípade $R_2=560 \Omega$. Z neho potom viem určiť prechádzajúci prúd. Napätie na odpore je hodnota napätia na prechode $U_{BE}=0,6$.

$$I_2 = \frac{U_{BE}}{R_2} = \frac{0,6}{560} = 1,07 \text{ mA} \quad (2.2)$$

Výsledný prúd mikrokontroléra bude:

$$I_1 = I_B + I_2 = 14 \cdot 10^{-3} + 1,1 \cdot 10^{-3} = 15,1 \text{ mA} \quad (2.3)$$

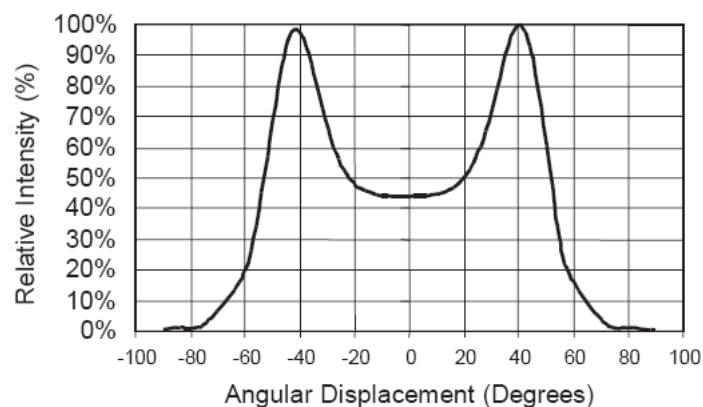
Rezistor R_1 potom bude:

$$R_1 = \frac{U_{NM} - U_{CE}}{I_1} = \frac{5 - 0,6}{15,1 \cdot 10^{-3}} = 292 \Omega \quad (2.4)$$

U_{NM} je napájacie napätie mikrokontroléra. Hodnota rezistoru je po výbere z rady E12 270Ω . Tento výpočet bol uskutočnený pre NPN tranzistor BC337, ale obdobne platí a pre použitý tranzistor PNP BD136.

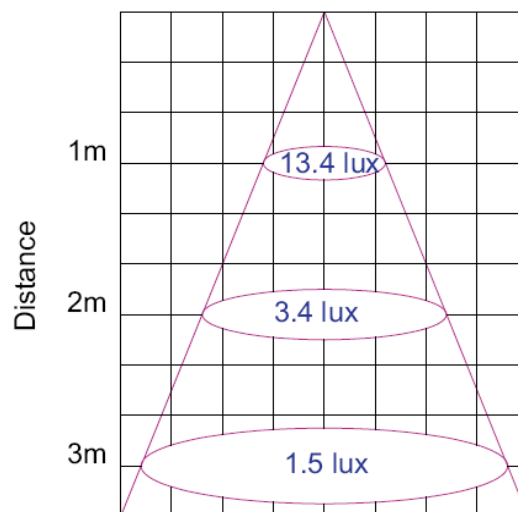
2.5 REFLEKTOR

Z vyžarovacej charakteristiky na obrázku 2.7 je vidno, že v priamom smere dióda vyžaruje len 45% intenzity z maximálnej celkovej hodnoty. Najväčšiu intenzitu dosahuje dióda približne pri uhle 40° .



Obrázok 2.7 Vyžarovacia charakteristika LXHL-BW02 [7]

Pre dobrú rozlíšiteľnosť treba osvetliť značku veľkou intenzitou svetla. Aby to bolo možné bez použitia silnejšieho zdroja, použije sa reflektor. K diódam Luxeon LXHL-BW2 je možné použiť špeciálny reflektor, ktorý sústreďí zväzok lúčov diódy do úzkeho kužeľa. Použil som reflektor FHS-HNB1-LB01, ktorý sústreďí lúče do zväzku o uhle 10° . Obrázok 2.8 zobrazuje veľkosť osvetlenia v závislosti od vzdialenosti pri použití reflektora.



FHS-HNB 1-LB01-x
Narrow Beam Lens for Batwing LED

Obrázok 2.8 Závislosť osvetlenia na vzdialenosti [8]

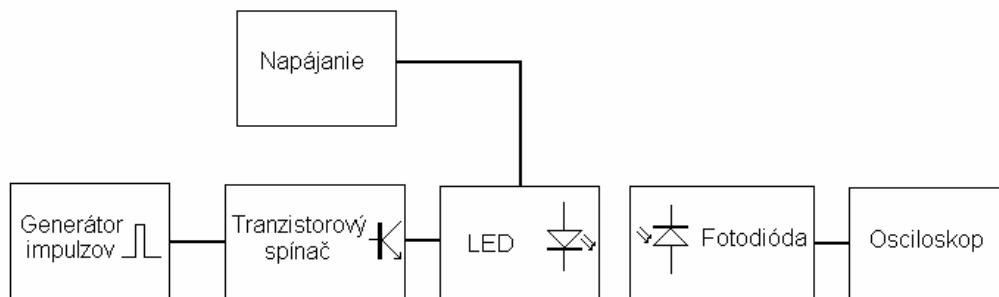


Obrázok 2.9 Reflektor FHS-HNB1-LB01

2.6 MERANIE VLASTNOSTI TRANZISTOROVÉHO SPÍNAČA A LED

Bolo potrebné zistiť pri akom pomere dĺžky impulzu ku celej perióde sa značka na kotúči hriadeľa zdá dostatočne ostrá, či sa neprehrieva LED a dobu nábehu a dobehu. Meranie sa vykonalo podľa blokovej schémy na obrázku 2.10.

LED dióda bola napájaná zo zdroja jednosmerného napätia a osvetľovala fotodiódu. Paralelne k fotodióde bol pripojený odpor, a na osciloskope sa sledoval priebeh. Tranzistorový spínač sa spínal pomocou obdĺžnikového signálu vytváraného pomocou generátora impulzov.



Obrázok 2.10 Bloková schéma merania

Bolo zistené, že šírka impulzu musí byť 1% z celkovej periódy, aby nevznikala badateľná pohybová neostrosť dôsledkom dlhého osvetlenia značky. Tento pomer šírky impulzu ku perióde som zistil pri rýchlosti 1500 ot.min^{-1} , a overil aj pre iné veľkosti otáčok.

V druhom kroku sa či sa pri impulznom riadení dióda zohrieva, ak je šírka impulzu o veľkosti zistenej z predošlého bodu merania, čiže 1%. Vykonalo sa dlhodobé meranie (približne 10 minút) a sledovala teplota chladiacej plošky diódy. Počas tejto doby nebolo sledované zvýšenie teploty chladiacej plošky diódy. Taktiež sa vykonalo meranie aj pre šírku impulzu 5% a 10%. Ani pri týchto veľkostiach impulzu sa LED nezahrievala.

V treťom kroku bola zistená doba nábehu a dobehu diódy spínanú s tranzistorovým spínačom. Z odozvy na jednotkový impulz je vidieť, že doba nábehu bola $10 \mu\text{s}$ a doba dobehu $25 \mu\text{s}$. Do úvahy sa nebral zotrvačnosť fotodiódy a zdroja, ktoré by sa teoreticky pohybovali v rozmedzí jednotiek ns.

VÝPOČET TEORETICKEJ MAXIMÁLNEJ FREKVENCIE

Aby dióda dosiahla svoje maximum intenzity, potrebuje čas 10 μ s. Takáto dlhú dobu potrebujeme privádzať na diódu napájacie napätie. Zo zistenej hodnoty doby nábehu sa môže stanoviť maximálna možná frekvencia blikania, pri ktorej je šírka impulzu 1% z celkovej periódy. Uvažujme, že táto doba impulzu je najkratšia možná, čiže 1%. Celková perióda T potom bude trvať 1000 μ s. Frekvencia potom bude:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1.10^{-3}} = 1000 \text{ Hz} \quad (2.5)$$

Maximálni možný kmitočet blikania diódy pre účely merania otáčok je 1kHz, čo predstavuje 1000 otáčok za sekundu. Prepočítaním dostaneme, že snímačom je možné merať rýchlosť až 60000 otáčok za sekundu. Ak sa šírka impulzu zväčší na 5%, značka sa nejaví dokonale ostrá, ale je ešte dostatočne rozlíšiteľná. Takto sa maximálna možná merateľná hodnota otáčok zvýši až na 300 000 otáčok za sekundu.

2.7 MCU

Na riadenie sa použije mikrokontrolér rady AVR typ ATmega8 od firmy ATMEL. Nakoľko som mal už k dispozícii aj programátor, výber bol jednoznačný. Klodom je jeho nízka cena a dostupnosť. Tento mikrokontrolér má viac portov, na ktoré sa dajú pripojiť periféria, ako napríklad ovládanie alebo displej.

MCU má v sebe zabudovaný RC obvod na taktovanie s frekvenciou 8 MHz, ktorá je však závislá na teplote. Na zvýšenie presnosti využijeme možnosť pripojenia externého kryštálu. Použijeme kryštál s frekvenciou oscilácie 10 MHz, ktorý má menšiu závislosť kmitočtu na teplote ako zabudovaný RC oscilátor.

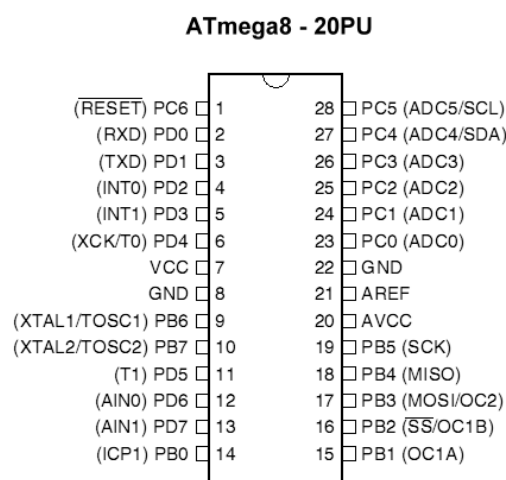
2.7.1 Mikrokontroléry ATMEL AVR

Mikrokontroléry ATMEL AVR sú nízkoпрíkonové 8 bitové, založené na AVR RISC architektúre a využívajú koncepciu Hardwardskej architektúry. To znamená, že majú oddelenú pamäť programu od pamäte dát. Podľa typu môže mať rôzny počet portov na pripojenie periférií. Tým že sa vykonávajú výkonné inštrukcie v jednom hodinovom cyklu, dosahujú tieto mikrokontroléry výpočetný výkon 1 MIPS na 1 MHz. Inštrukčný súbor týchto mikrokontrolérov obsahuje 89 alebo 118 inštrukcií.

Každý mikrokontrolér má k dispozícii 32 registrov dĺžky 8 bit. Architektúra AVR vychádza z koncepcie rýchlo prístupného registrového pola. Prístup do registrového pola je prevedený v jednom strojovom cyklu. To znamená, že behom jedného strojového cyklu sa vykoná jedna aritmeticko-logická operácia.

Oba operandy aritmeticko-logickej inštrukcie sú načítané z registrového pola, operácia je prevedená a výsledok smeruje opäť do registrového pola. To všetko sa prevedie v jednom strojovom cykle. Táto technika dáva mikrokontrolérom AVR veľký výpočetný výkon.

Strojový cyklus mikrokontrolérov AVR priamo odpovedá hodinovému cyklu. Nepochádza k žiadnemu deleniu hodinových cyklov ako u iných mikrokontrolérov. Používajú veľmi primitívny predvýber inštrukcií.



Obrázok 2.11 Rozloženi portov mikrokontroléru Atmega8 [8]

3. KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE

Schéma zapojenia a návrh plošného spoja sa robil pomocou návrhového programu Eagle ver 5.6.0. Použila sa voľne dostupná verzia zo stránok <http://www.elcad.cz/eagle>.

3.1 STABILIZOVANÝ ZDROJ

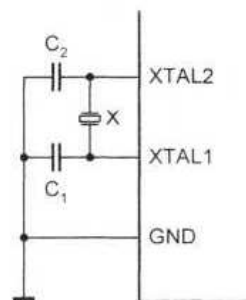
ATmega8 a ďalšie logické obvody potrebujú stabilné napájacie napätie 5V. Z toho dôvodu bolo potrebné najprv navrhnuť stabilizovaný zdroj.

Najprv si treba zistiť celkový odoberaný výkon. Najväčší odber má prebudená dióda, ktorá má impulzný odber až 1,0 A. Ostatné zariadenia majú zanedbateľný odber. ATmega8 má pri frekvencií 10MHz odber 13mA a prevodník MAX232 má okolo 8mA.

Na stabilizáciu napätia sa použil lineárny regulátor napätia 78S05. Tento regulátor má výstupné napätie 5V a je schopný dodávať prúdy do 2A. Nevýhodou je pomerne malá účinnosť. Stabilné napätie 5V dodáva až pri vstupnom napätí najmenej 7V. Aby obvod dôsledkom náhleho odberu veľkého prúdu nezakmital a nespôsobil reštart mikrokontroléru, pridal som na výstup aj vstup elektrolytický kondenzátor. Na takto stabilizované napätie už je možné pripojiť mikrokontrolér.

3.2 MIKROKONTROLÉR ATMEGA8

Mikrokontrolér nebude využívať svoj vstavaný RC oscilátor, ale externe pripojený kryštál. Ten sa zapája podľa schémy uvedeného v dátových listov.



Obrázok 3.1 Pripojenie kryštálu na MCU [4]

Použijú sa keramické kondenzátory s kapacitou 22pF. Krištál sa pripája medzi výstupy XTAL1 a XTAL2, čo sú pri ATmega8 porty PB6 a PB7. Tieto porty sú potom obsadené, a nedajú sa už využiť na iné účely.

3.3 PREVODNÍK MAX232

Stroboskop umožňuje pripojenie na sériový port RS232 cez USART mikrokontroléra. Pomocou neho sa dal ovládať stroboskop, alebo posielat' namerané údaje zistené externou synchronizáciou.

Aby ATmega8 bola schopná komunikácie pomocou RS232 potrebuje prevodník. Použil som prevodník MAX232 od firmy TEXAS INSTRUMENT. Výhodou tohto prevodníku je, že potrebuje iba jeden zdroj napätia +5V a nie +15V, -15V a +5V.

Porty ATMEGA8 RxD (received data) a TxD (transcieved data) sa pripoja na porty MAX232 T1IN a R1OUT. Na komunikáciu sa využije dvojvodičové spojenie cez konektor CANON 9. Zvyšná časť obvodu MAX232 je zapojená podľa dátových listov.

3.4 DISPLEJ

Na zobrazenie aktuálnych hodnôt potrebujeme zobrazovacie zariadenie. Kvôli malým rozmerom som musel vybrať dostatočne malý LCD displej. Použil som displej CM0820S1LY od výrobcu DATA IMAGE. Je to alfanumerický, osemznakový dvojriadkový displej. Súčasťou displeja je aj zabudovaný radič HD44780U firmy HITACHI, čím sa podstatne zjednoduší zapojenie a ovládanie displeja. Dá sa využiť 8 bitová ale aj 4 bitová komunikácia.

Využila sa 4 bitová komunikácia s mikrokontrolérom kvôli jednoduchšiemu návrhu.. Celkom je potrebné na riadenie displeja 6 portov a to 4 dátové, jeden na RS (slúži na výber dát alebo inštrukcií) a E (povolenie zápisu alebo čítania). Vývod R/W(zapis alebo čítanie z displeja) je pevne pripojený k zemi. Logický obvod displeja je napájaný napätím 5V.

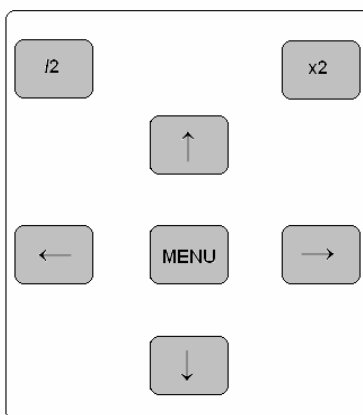
Napájecie napätie zobrazovača LCD je závislé od teploty. Predpokladám, že zariadenie sa bude používať vo vnútorných priestoroch s teplotou okolo 25 °C. Pre 25 °C je to typických 4,3 V. Potrebné napájecie napätie dostaneme jeho znížením pomocou trimra.



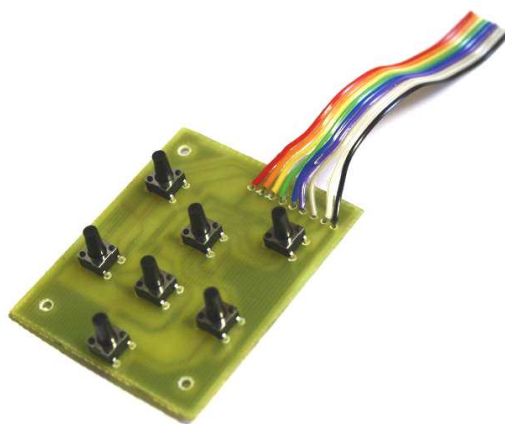
Obrázok 3.2 Displej CM0820

3.5 OVLÁDANIE

Celý stroboskop sa ovláda pomocou klávesnice. Klávesnica má sedem tlačidiel. Štyri smerové na nastavenie hodnôt, jedno na voľbu menu a ďalšie dve umiestnené na vrchu slúžia na rýchlu voľbu funkcie x2 a /2. Celá klávesnica je vyvedená pomocou 9 vodičov, kde červený vodič je +5V, čierny je zem a ostatné sú vyvedené na vstupy mikrokontroléra. Upevnená je na vrchnú stranu konštrukčnej krabičky pomocou troch distančných stĺpikov.



Obrázok 3.3 Rozmiesnenie kláves

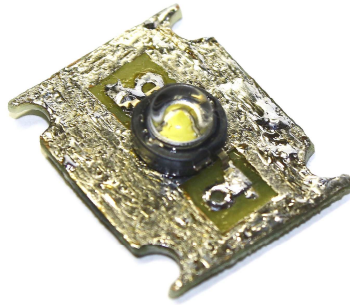


Obrázok 3.4 Klávesnica

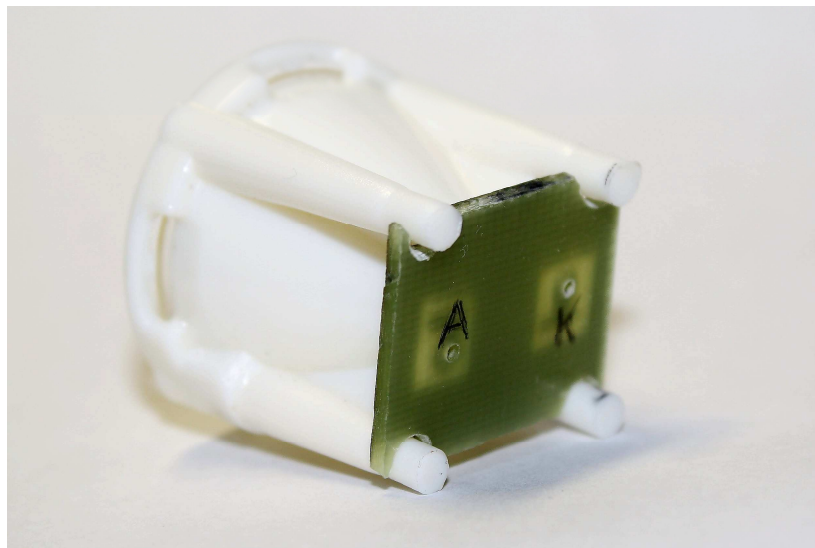
3.6 LED

Výkonový spínací člen LED diódy je umiestnení na základnej doske. Spínanie sa zrýchľuje pomocou schottkiho diódy, ktorého princíp je uvedený v kapitole 2.4.2. Samostatné napájanie diódy je vyvedené, aby sa dala LED umiestniť do prednej časti konštrukčnej krabice spolu s reflektorom. Pretože LED dióda nesvieti konštantne ale používa sa v impulznom režime, môžeme ho napájať väčším napätím. Napájanie LED diódy je 5V, ktoré je však v skutočnosti iba 4,4 V. Približne 0,6 voltov sa stratí medzi prechodom tranzistora kolektor-emitor. Dióda je pripevnená na ďalší menší plošný spoj a jeho chladiaca ploška sa dotiká medenej

plôšky, čím sa zaistí jeho chladenie. Z meraní s kapitoly 2.6 síce vyplýva, že pri impulznom riadení nie je potrebné chladiť LED, ak však pri poruche bez chladiča by sa mohla zničiť.



Obrázok 3.5 LED na plošnom spoji



Obrázok 3.6 Upevnenie LED na reflektore

4. SOFTWARE

Zdrojový kód mikrokontroléru je napísaný v programe AVR Studio v jazyku C. Tento program je voľne dostupný zo stránok firmy ATMEL.

4.1 PROGRAMOVANIE

Na nahratie programu do ATmega8 som použil programátor STK500, ktorý sa pripája na USB port počítača. Použije sa rozhranie SPI, toto rozhranie slúži na ISP programovanie. ISP je možnosť programovania MCU priamo na obvode bez nutnosti jeho vloženia do špeciálneho programátora.

4.2 POPIS PROGRAMU

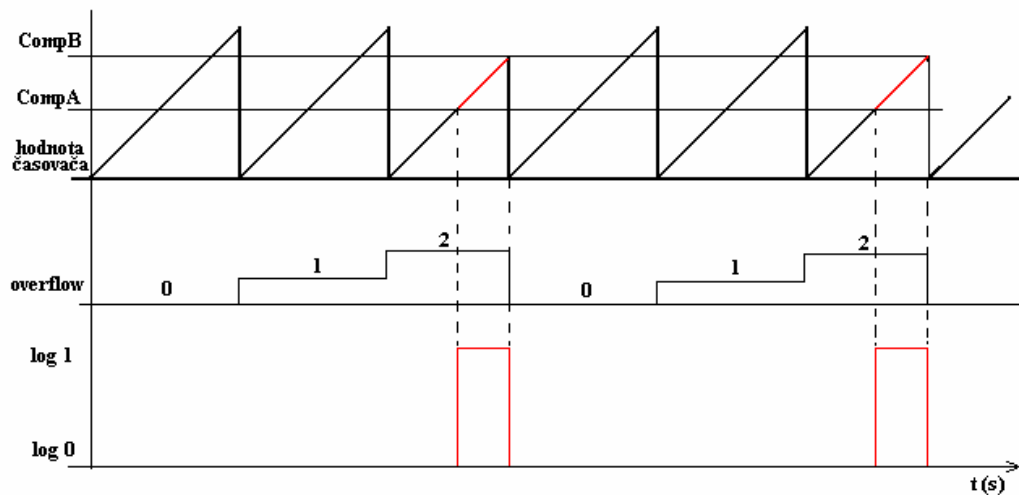
Pomocou algoritmu potrebujeme zabezpečiť rozsvietenie a nasledovné zhasnutie LED diódy za presne zadanú dobu. Ak chceme pomocou mikrokontroléra počkať presne určitú dobu, je k dispozícii príkaz `_delay_ms()` alebo `_delay_us()`. Tieto príkazy však nie sú vhodné, pretože pri vykonávaní týchto príkazov sa procesor zahlučuje, a počas nastavenej doby nie je možné pristupovať k mikrokontroléru. Preto využijeme časovač, ktorý beží nezávisle na procesore a tým ho nezaťažuje.

Mikrokontrolér ATmega8 má v sebe zabudovaný jeden 8 bitový a dve 16 bitové časovače. Využije sa jeden 16 bitový časovač. Tento časovač v každom takte inkrementuje svoju hodnotu, až do jeho naplnenia potom začne čítať znova od nuly. 16 bitový čítač vie čítať do $2^{16}=65536$.

Aby sa dal presne určiť ubehnutá doba, použijú sa prerušenia ktoré sa vykonajú až pri splnení určitej podmienky. V programe sa používa prerušenie od komparačných registrov COMPA, COMPB a pretečenia OVF. Pri zhode hodnoty časovača s komparačným registrom skočí do príslušného prerušenia, a vykoná príkazy v ňom. Ak hodnota časovača pretekla, volá sa prerušenie pretečenia OVF.

Tieto poznatky sa využijú v algoritme stroboskopu. Zo zadanej hodnoty otáčok a poznatku taktovacej frekvencie sa dá presne vypočítať koľko taktov musí ubehnúť aby zodpovedala presnému časovému úseku. Známá hodnota otáčok sa prepočíta na frekvenciu. Nasledovne sa taktovacia frekvencia podelí vypočítanou

hodnotou frekvencie a maximálnou hodnotou čítača, čiže 65536 a tak sa zistí potrebný počet pretečení. Tú uloží do premennej overflowB Zvyšný počet taktov sa zistí zo zvyšku predošlého delenia. Hodnota sa uloží do komparačného registra COMPB. Obdobne sa vypočíta aj pre komparačný register A, ten však bude trvať kratčšiu dobu v závislosti od veľkosti impulzu. Ak v programe nastane pretečenie, zavolá sa príslušné prerušenia inkrementuje hodnota overflow. Ak nastane zhoda časovača s komparačným registrom A, vykoná sa prerušenie, v ktorom sa sleduje hodnota overflow a porovnáva s vypočítanou overflowA. Ak je overflowA rovná alebo väčšia, rozsvieti sa LED dióda. Obdobne je to aj pri komparačnom registri B, tam sa však príslušný port LED diódy dostane do logického stavu 0, a nasledovne vynuluje hodnotu overflow a hodnotu čítača.

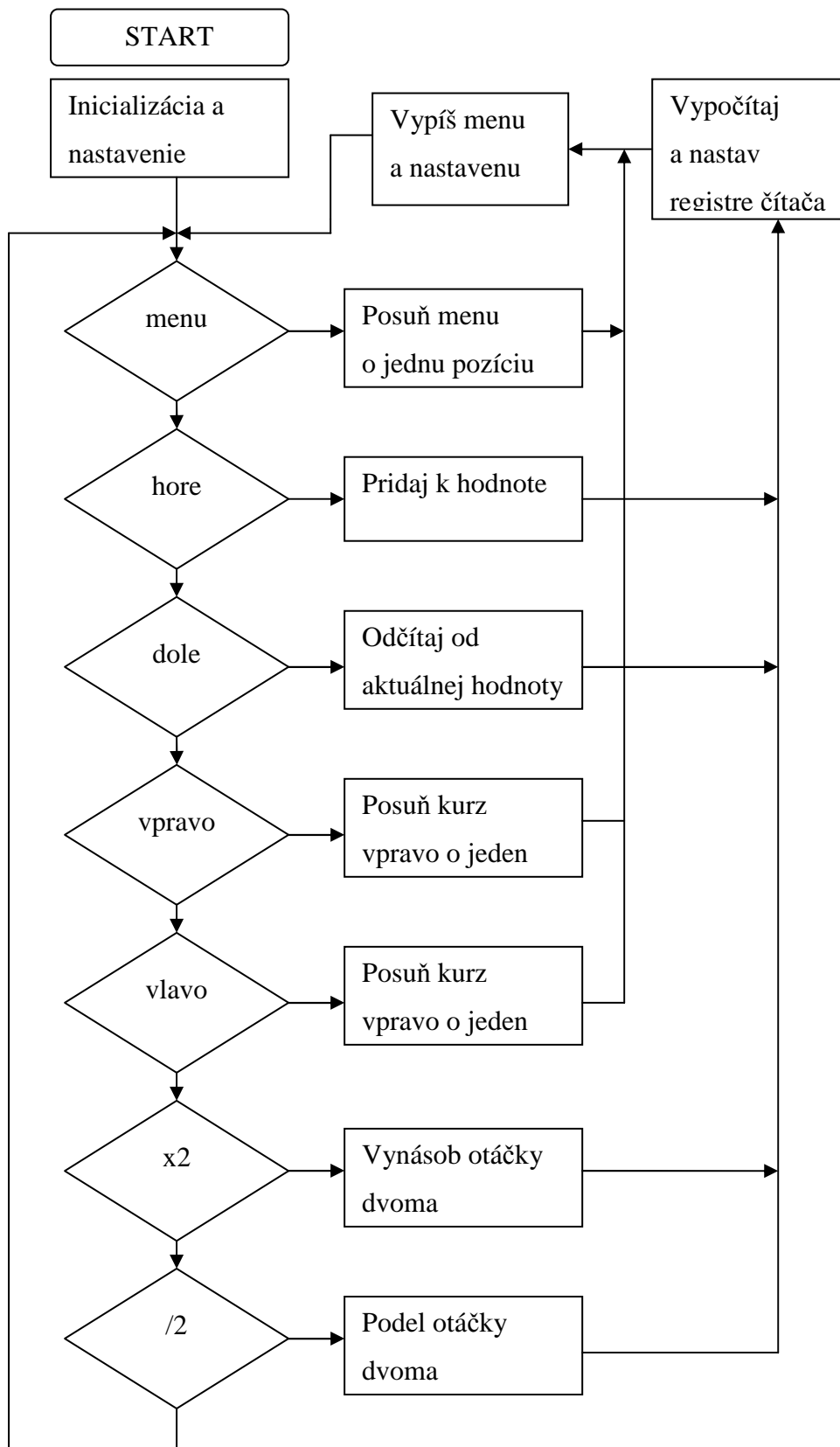


Obrázok 4.1 Funkcia časovačov

Konkrétny príklad je uvedený na obrázku 4.1. Hodnoty komparačných registrov sú CompA a CompB. Hodnoty overflowA a overflowB sú 2.

4.3 POPIS OVLÁDANIA

Program umožňuje pohyb v menu pomocou kláves a nastavenie hodnôt. V menu sa dá rolovať jedným smerom pomocou tlačidla MENU. Pomocou kurzových kláves vpravo a vľavo sa dá pohybovať kurzorom a voliť rád ktorý sa môže meniť tlačidlami hore a dole. Minimálna nastaviteľná hodnota je 60 otáčok za minútu (čo je frekvencia 1 Hz)a maximálna je 99999,99 otáčok za minútu (1666,67 Hz). Ak sa hodnota prekročí, vypíše sa hlásenie “Out of range“ po dobu pol sekundy a po ňom sa vráti predošlá nastavená hodnota. Klávesy x2 a /2 umožňujú okamžitú zmenu frekvencie. Kláves x2 zdvojnásobí nastavenú hodnotu, a /2 ju podelí dvoma. Tieto funkcie sú okamžite dostupné bez ohľadu na zvolene menu, pretože pomocou nich sa preveruje správnosť nastavenej hodnoty.



Vývojový diagram obsluhy

4.4 POPIS FUNKCIÍ

void main(void) – hlavná funkcia kde nastáva inicializácia prerušení časovača a nastavenia portov. Po nastavení sa dostáva sa do nekonečnej slučky while(1) kde sa sledujú klávesnice.

void nastav_strobe_hz (void) – nastaví hodnoty registrov časovača na základe hodnoty frekvencie alebo otáčok za sekundu a šírky impulzu

void vypis_menu (void) – vypíše názov aktuálnej menu a nastavenú hodnotu

void out_range (void) – pri prekročení rozahu sa vypíše na displej správa a po pol sekunde sa vráti späť do menu.

ISR(TIMER1_OVF_vect) – Nastane pri pretečení zásobníku časovača a inkrementuje hodnotu overflow.

ISR(TIMER1_COMPA_vect) – Nastane pri zhode s čítača s registrom OCR1A, a nastaví port PD3 na logickú nulu(rozsvieti sa LED).

ISR(TIMER1_COMPB_vect) – Nastane pri zhode s čítača s registrom OCR1B, a nastaví port PD3 na logickú jednotku(zhasne LED).

5. MERANIE VLASTNOSTÍ

Cielom merania bolo overiť správnu funkčnosť prístroja a jeho presnosť. Priebeh merania bol nasledovný. Na navrhnutom stroboskope sa nastavila požadovaná hodnota blikania f_n v jednotkách hertz a na jeho výstupe sa sledovala skutočná frekvencia f_s pomocou digitálneho multimetra Agilent 33401A. Výsledky sa zapísali do tabuľky a vyhodnotili.

f_n [Hz]	1	5	10	20	50	100	200
f_s [Hz]	1,0001	5,0002	10,0003	19,9996	49,9929	99,9645	199,8460
Δf [Hz]	0,0001	0,0002	0,0003	-0,0004	-0,0071	-0,0355	-0,1540
δf [%]	0,01	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,04	-0,08

f_n [Hz]	300	400	500	600	700	800	900
f_s [Hz]	299,6440	399,3530	498,9700	598,5440	698,0050	797,3710	896,6590
Δf [Hz]	-0,3560	-0,6470	-1,0300	-1,4560	-1,9950	-2,6290	-3,3410
δf [%]	0,12	0,16	0,21	0,24	0,29	0,33	0,37

f_n [Hz]	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
f_s [Hz]	995,8540	1095,0700	1194,0200	1293,0200	1392,0200	1490,8200	1589,2900
Δf [Hz]	-4,1460	-4,9300	-5,9800	-6,9800	-7,9800	-9,1800	-10,7100
δf [%]	0,42	0,45	0,50	0,54	0,57	0,62	0,67

Tabuľka 5.1 Namerané a vypočítané hodnoty

Absolútna chyba je:

$$\Delta f = f_n - f_s = 99,9645 - 1000 = -0,0355 \text{ Hz} \quad (5.1)$$

Relatívna chyba:

$$\delta f = \frac{\Delta f}{f_s} \cdot 100 = \frac{0,0355}{99,9645} \cdot 100 = 0,04 \text{ \%} \quad (5.2)$$

Z nameraných vypočítaných hodnôt je zrejme že najväčšia chyba prístroja je pri frekvencií 1600 Hz o hodnote 0,67 %. So zvyšujúcou hodnotou frekvencie sa zväčšuje absolútna aj relatívna chyba. Môže to byť spôsobované chybami pri

zaokružľovanie hodnôt v algoritme. Ďalším zdrojom chým je samostatný kryštál, ktorý nemusí oscilovať presne pri udávanej hodnote. Chyba by sa dala odstrániť priamo v algoritme použitím kalibračných konštánt.

6. ZÁVER

Výsledkom bakalárskej práce je funkčný prístroj na meranie otáčok využívajúci stroboskopickú metódu. Prístroj som navrhol, skonštruoval, naprogramoval, umiestnil do konštrukčnej krabičky a odmeral jeho vlastnosti.

V podstate sa jedná o presne nastaviteľný stroboskop so zobrazovačom aktuálnej nastavenej hodnoty frekvencie blikania, ktorú riady mikrokontrolér ATMEL AVR ATmega8. Ako svetelný zdroj sa použila LED dióda firmy LUXEON typ LXHL-BW02. Pomocou prístroja sa dajú merať aj iné periodicky sa meniace deje ako napríklad kmity. Rozsah meracieho prístroja je 60 až 99 999,99 otáčok za minútu čo predstavuje frekvenciu blikania 1 až 1666,667 Hz. Jeho presnosť je 0,67%.

Prístroj umožňuje zvoliť jednotky v ktorých sa má zobrazovať meraná hodnota a je možné zvoliť šírku impulzu svetelného záblesku udávanú v percentách.

Prístrojom sa dá zistiť kolísanie otáčok. Ak po presne nastavenej hodnote otáčok začne značka zdanlivo posúvať niektorým smerom, otáčky mierne zaostávajú alebo predbiehajú frekvenciu blikania stroboskopu. Konkrétnu hodnotu však zistiť pomocou tejto metódy nevieme. Riešením by mohlo byť použitie počítačového videnia. Počítač by poznal nastavenú hodnotu frekvencie, a vyhodnocovala by uhlový posun značky voči predchádzajúcej polohe a tým jeho odchýlku voči nastavenej hodnote otáčok.

Stroboskop som chcel mať pripojiteľný na sérovú linku RS232. Túto časť sa mi nepodarilo urobiť do konca. Pretože hardwareová časť je hotová, je potreba už iba napísať algoritmus ku komunikácií a obslužný program.

7. ZOZNAMY

7.1 ZOZNAM POUŽITÉJ LITERATÚRY

- [1] prof. Ing. CHUDÝ Vladimír, CSc a kol. *Meranie technických veličín*. 1.vyd. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 1999. ISBN 80-227-1275-2
- [2] RIPKA Pavel a kol. *Senzory a převodníky*. Praha: 1.Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03123-3
- [3] HILL Paul. *An LED stroboscope*. [online]. 27.6.2004, ver.2.0[cit 2009.11.10]. <<http://homepages.which.net/~paul.hills/Circuits/Stroboscope/Stroboscope.html>>.
- [4] MATOUŠEK David, *Práce s mikrokontrolery ATMEL AVR AT90S*. 1.vyd. Praha: BEN-Technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-088-1
- [5] PATOČKA Miroslav. *Řídicí elektronika –aktivní obvody 2.díl*. Skriptum. VUT Brno 2004
- [6] Datasheet, *Atmega8* [online]. 08/2009, [cit 2010.01.25]. <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8159.pdf>.
- [7] Datasheet, *DS25*. [online]. 04/2005, [cit 2009.10.07]. <<http://www.farnell.com/datasheets/82558.pdf>>.
- [8] Datasheet, *FDS-01L-EN*. [online]. 16.06.2003, [cit 2009.11.15]. <<http://www.farnell.com/datasheets/16887.pdf>>.
- [9] Vít Olmr. *Sériová linka RS-232*. [online]. 12.12.2005, [cit 2010.05.25]. <<http://hw.cz/rs-232>>
- [10] Ing. Miloslav Čejka CSc. *Elektronické měřicí systémy*. Skriptum VUT Brno 1.8.2002
- [11] Dušan Kollár. *Elektronika a automatizácia 1*. Skriptum MFF UK, 1991
- [12] FLEUREY, Peter. *Peter Fleury's Home Page* [online], [cit 2010.04.08]. LCD Interface. Dostupné z <<http://homepage.hispeed.ch/peterfleury/avrlcd44780.Html>>
- [13] VAŇA Vladimír, *Mikrokontroléry ATMEL AVR - Programování v jazyce C*. 1.vyd. Praha: BEN-Technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-102-0
- [13] Datasheet, Displej CM0820S1LY. [online]. [cit 2010.04.05] <<http://www.ges.cz/sheets/c/cm0820.pdf>>

7.2 ZOZNAM SKRATIEK

ISP	In System Programing, programovanie v systéme
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode, eletroluminisenčná dióda
MCU	Mikrocontroler Unit, mikrokontrolér
MISO	Master In – Slave Out, sériový vstup dát do mikroprocesoru
MOSI	Master Out – Slave In, sériový výstup dát z mikroprocesoru
PWM	Pulse-Width modulation
SCK	Serial clock, sériové hodiny na synchronizáciu prenosu dát
SPI	Serial Programming Interface, rozhranie na sériové programovanie
USART	Addressable universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter
USB	Universal seriál bus, univerzálna sériová zbernica

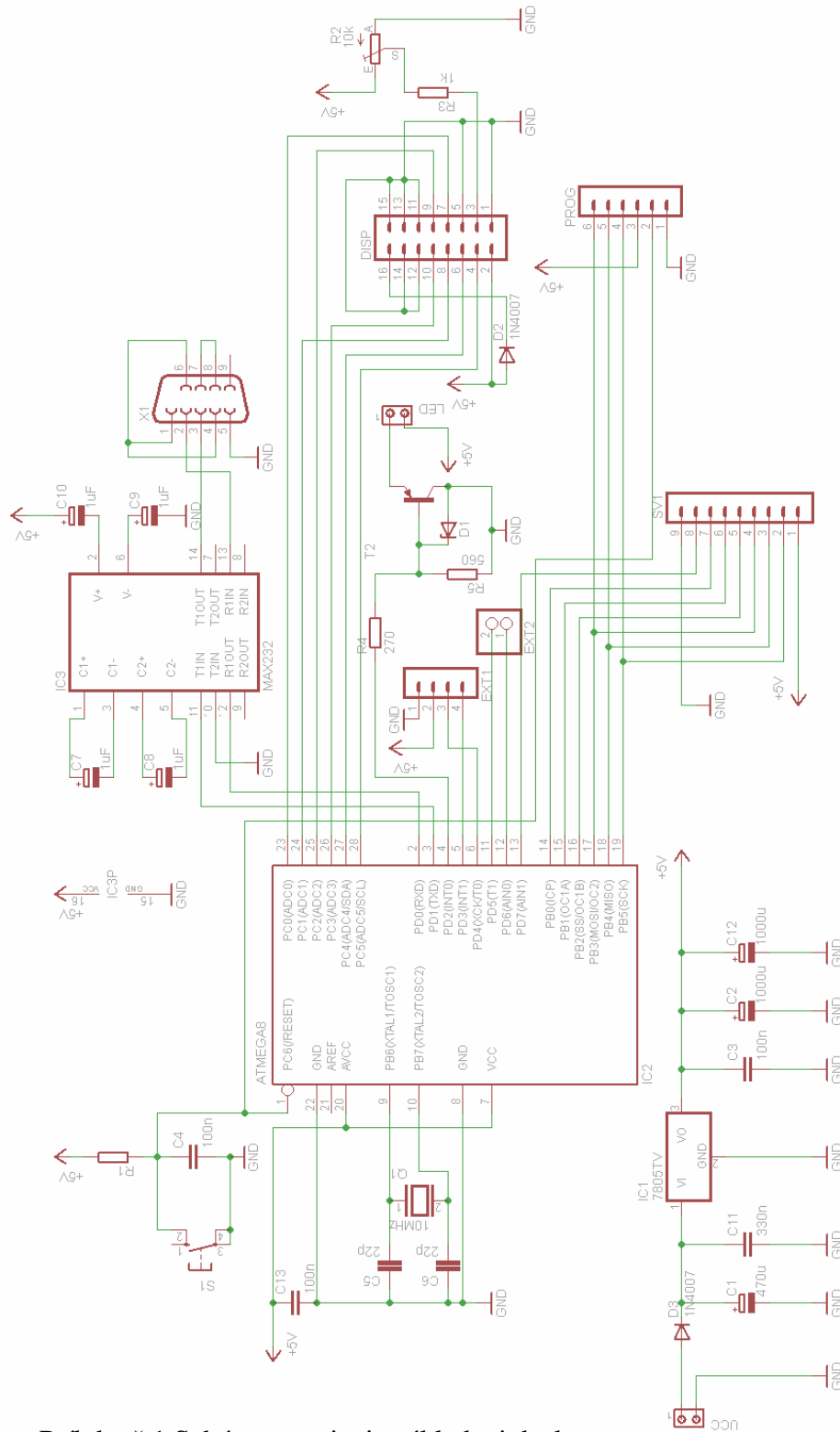
7.3 ZOZNAM PRÍLOH

Príloha č.1 Schéma zapojenia základnej dosky.....	49
Príloha č.2 Schéma zapojenia klávesnice.....	49
Príloha č.3 Upevnenie klávesnice.....	50
Príloha č.4 Celkový pohľad na merací prístroj.....	50

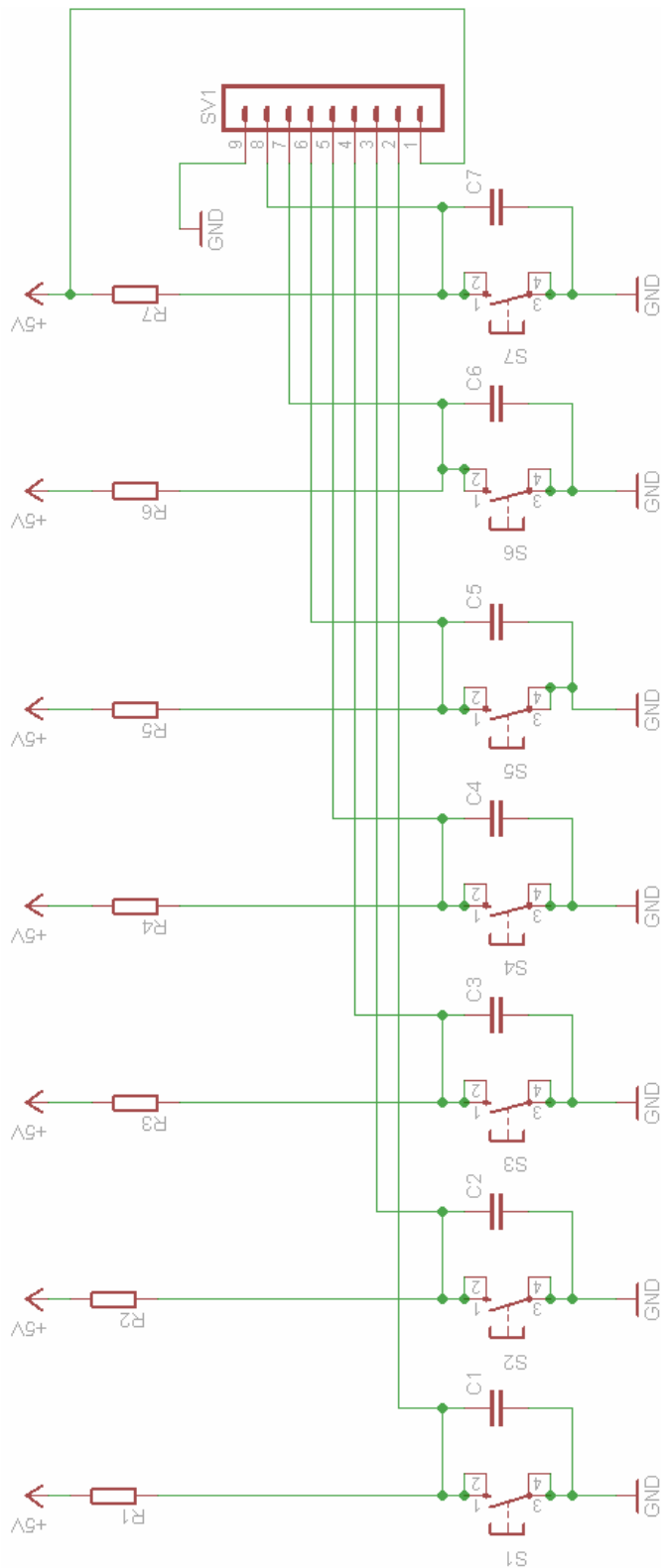
7.4 OBSAH PRILOŽENÉHO CD

Fotografie	Fotografie prístroja a plošných spojov
Dokumentácia	Elektronická verzia dokumentácie
Schémy	Schémy zapojení a navrhnuté plošné spoje
Software	Firmware prístroja na meranie otáčok

8. PRÍLOHY



Príloha č.1 Schéma zapojenia základnej dosky



Príloha č.2 Schéma zapojenia klávesnice



Príloha č.3 Upevnenie klávesnice



Príloha č.4 Celkový pohľad na merací prístroj