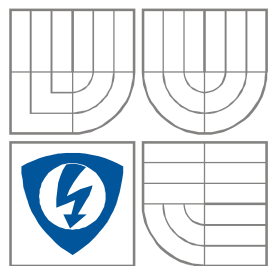


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

MĚŘENÍ OTÁČEK STROBOSKOPEM

STROBOSCOPE TACHOMETERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

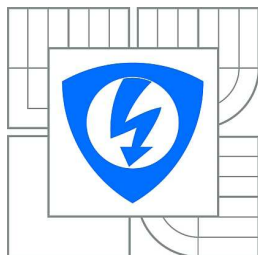
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

FRANTIŠEK HORTAI

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. PETR BENEŠ, Ph.D.

BRNO 2012



VYSOKÉ UCENÍ
TECHNICKÉ V BRNE

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Automatizační a měřicí technika

Student: František Hortai

ID: 125449

Ročník: 3

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Měření otáček stroboskopem

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem bakalářské práce je návrh bezkontaktního snímače otáček založeného na stroboskopickém jevu. V rámci práce snímač navrhnete, realizujete a proměříte jeho vlastnosti. Stroboskop by měl kromě obvyklých funkcí umožňovat také externí synchronizaci a nastavení fáze a svými parametry být srovnatelný s komerčně dostupnými přístroji. Zdrojem světla budou výkonové LED diody.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

ĎAĎO, S., KREIDL, M. - Senzory a měřicí obvody. Vydavatelství ČVUT, Praha, 1996. ISBN 80-01-01500-9.

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 28.5.2012

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

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNENÍ:

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 následku 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

Bakalářská práce se zabývá návrhem měřícího přístroje otáček, který využívá stroboskopický jev. V první části mé práci jsem prostudoval řešení problematiky měření otáček. Následně jsem napsal princip stroboskopického jevu. Samostatná kapitola je věnována průzkumu trhu stroboskopických otáčkoměrů.

V praktické části je návrh vlastního stroboskopu. Stroboskop umožňuje manuální nastavování, a externí synchronizaci, fázový posuv. Elektronika je řízená pomocí mikrořadiče od firmy Atmel, zdrojem světla jsou výkonové LED diody. Oboustranná deska plošného spoje byla navržena použitím návrhového programu Eagle 6.1.0 Professional, které jsem osadil a oživil. Následovala tvorba a odladění programu pro mikrořadič, který řídí činnost celého zařízení. Po funkčnosti elektroniky bylo nutné navrhnout a sestavit přenosnou ergonomickou krabici pro přístroj. Konečným výsledkem mé práce je funkční stroboskopický otáčkoměr v krabici společně s potřebnými elektronickými komponentami sloužících pro jeho správnou funkčnost.

Klíčová slova

Stroboskop, stroboskopický jev, měření otáček, otáčkoměr, snímač otáček, externí synchronizace, měření kmitočtu, výkonové LED, Atmel, mikrořadič

Abstract

This bachelor's thesis describes the design of a rotation measuring device using stroboscopic effect. In the first part of my work I have studied the solutions to the problems of rotation measuring, followed by description of the stroboscopic effect. Individual chapter presents a market research of the commercial strobe tachometers. The practical part proposes and designs an own stroboscope. The stroboscope allows manual adjustment, external synchronization, phase shifting. Electronics is controlled by a microcontroller from Atmel, the light source are power LEDs. It was designed a two-sided circuit board by using Eagle Professional 6.1.0. The circuit board was brought to function by planting the components on it. Development continued by creating the driving program for the microcontroller. The end result of my work is functional stroboscopic tachometer in a box together with the necessary electronic components serving for its proper functioning.

Keywords

Stroboscope, stroboscopic effect, speed measurement, tachometer, rotation sensor, extern synchronization, frequency measuring, power LED, Atmel, microcontroller

Bibliografická citace:

HORTAI, F. *Měření otáček stroboskopem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 51 s. Vedoucí bakalářské práce byl 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 bakalářské práce 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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **23. května 2012**

.....
podpis autora

Poděkování

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

V Brně dne: **23. května 2012**

.....
podpis autora

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Otáčkomery	11
2.1	Mechanické otáčkomery.....	12
2.2	Magnetické otáčkomery.....	12
2.3	Elektrické otáčkomery	13
2.4	Impulzné otáčkomery	13
2.5	Stroboskopický jav	15
2.5.1	Meranie otáčok pomocou stroboskopického javu	16
3	Teoretická časť.....	18
3.1	Fotodióda.....	18
3.1.1	Fotokonduktívny režim	18
3.1.2	Fovoltaický režim.....	19
3.2	LED dióda.....	19
3.2.1	Porovnanie LED diódy a výbojky	20
3.2.2	Biela LED dióda.....	20
4	Prieskum trhu	21
5	Praktická časť	23
5.1	Návrh napájacej časti.....	23
5.2	Návrh svietiacej časti.....	25
5.3	Návrh výkonovej časti	27
5.4	Návrh krabice zariadenia	27
5.4.1	Tlačidlá.....	28
5.4.2	Displej	28
5.4.3	Schéma zapojenia krabice	29
6	Návrh riadiacej časti.....	30
6.1	Zapojenie mikrokontroléra	32
6.2	Programovanie mikrokontroléra.....	33
6.3	Externá synchronizácia.....	34
6.3.1	Ošetrovanie vstupu externej synchronizácie	34
6.4	Ovládanie prístroja.....	36
7	Meranie parametrov	37
7.1	meranie doby záblesku	38
	Záver	39

Zoznam obrázkov

Obrázok 2.1 Mechanický odstredivý otáčkomer.....	12
Obrázok 2.2: Magnetický otáčkomer [7]	12
Obrázok 2.3: Tachodynamo	13
Obrázok 2.4: Tachometrický generátor.....	13
Obrázok 2.5: Impulzné snímače otáčok [1]	14
Obrázok 2.6: Ukážka stroboskopického javu [4]	15
Obrázok 2.7: Frekvencia svetelných impulzov sa zhoduje frekvenciu otáčania kotúča [4]	15
Obrázok 2.8: Frekvencia svetelných impulzov je väčšia ako frekvencia otáčania kotúča [4]	16
Obrázok 2.9: Frekvencia svetelných impulzov je menšia ako frekvencia otáčania kotúča [4]...	16
Obrázok 2.10: Príklad na meranie kotúča	16
Obrázok 3.1: Zapojenie fotodiódy vo fotokonduktívnom režime	19
Obrázok 3.2: Zapojenie fotodiódy vo fotovoltaiickom režime	19
Obrázok 5.1: Bloková schéma návrhu stroboskopu.....	23
Obrázok 5.2: Zadná časť prístroja.....	24
Obrázok 5.3: Dolná časť po odmontovaní stojana	24
Obrázok 5.4: Parabola s diódami	26
Obrázok 5.5: Zapojenie tlačidla	28
Obrázok 5.6: Schéma zapojenia krabice	29
Obrázok 6.1: ATmega16 v PDIP a TQFP puzdre [5].....	30
Obrázok 6.2: Vstup externej synchronizácie.....	34
Obrázok 6.3: Simulačné schéma komparátoru.....	34
Obrázok 6.4: Graf simulácie komparátoru.....	35
Obrázok 6.5: Blokové schéma jednotky „Input Capture“ [5]	35
Obrázok 6.6:Ukážka nastavovacej a signalizačnej časti prístroja.....	36
Obrázok 6.7: Vysvetlenie údajov na displeji	36
Obrázok 7.1:Zapojenie fotodiódy	37
Obrázok 7.2:Ukážka pôvodného signálu	38
Obrázok 7.3: Ukážka fázové posuny signálu o 90°.....	38
Obrázok 7.4:Realizovaný sroboskop	38
Obrázok 7.5: LUTRON DT2249	38

Zoznam tabuliek

Tabuľka 3.1: Porovnanie parametrov svetelných zdrojov [9].....	20
Tabuľka 4.1: Prieskum trhu meracích stroboskopov	22
Tabuľka 5.1: Parametre použitej výkonnej LED diódy L-ACULED VHL5555 [8].....	25
Tabuľka 5.2: Parametre použitej bodovej LED diódy, OSW5DKA131A [10]	25
Tabuľka 6.1: Dôležité parametre mikrokontroléra ATmega16.....	30
Tabuľka 6.2: Využitie pinov mikrokontroléra	32
Tabuľka 7.1: Meranie externej synchronizácie na harmonický signál.....	37
Tabuľka 7.2: Meranie externej synchronizácie na obdĺžnkový signál.....	37
Tabuľka 7.3: Meranie externej synchronizácie na impulzný signál.....	37

1 ÚVOD

Cieľom tejto práce je navrhnúť a zostrojiť prístroj na meranie otáčok využívajúc stroboskopický jav. V prvej kapitole sa vysvetlí meranie otáčok, spôsoby merania a ich fyzikálny princíp, ďalej rozbor existujúcich riešení merania otáčok. Rozdiely, výhody a nevýhody jednotlivých otáčkomerov sú stručne popísané v tejto časti.

V ďalšej časti nasleduje vysvetlenie zvolenej metódy (stroboskopický jav) a jej aplikovanie v praxi. Potom sa zaoberám samotnou metódou, vysvetlením funkčnosti fotodiódy a jej použitím na meranie osvetlenia a meranie doby svetelného impulzu. Po popise luminiscenčnej diódy (zvolený zdroj svetla prístroja) uvádzam jej výhody.

Samostatná kapitola je venovaná prieskumu trhu. Zdrojom informácií boli webové stránky výrobcov meracích prístrojov a komerčných predajní. Parametre stroboskopických otáčkomerov sú porovnané v tabuľke. Nájdene informácie slúžia ako požiadavky, ktoré by náš merací prístroj mal spĺňať (očakávané funkcie, požadovaný rozsah a presnosť). Na základe týchto poznatkov sa navrhla štruktúra systému.

V praktickej časti sa vysvetlí postup pri realizácii návrhu. Uvádza sa bloková schéma prístroja, zvolené súčiastky s parametrami. Jednotlivé časti a funkcie stroboskopu sú vysvetlené v podkapitolách. Schéma zapojenia, návrh plošného spoja a osadenie súčiastok sú znázornené na samostatných obrázkoch v prílohách.

Merací prístroj bol navrhnutý i pre použitie laickými osobami, a preto sa vmontoval do plastovej krabice so stupňom ochrany IP40. Pri konštrukcii prístroja som musel brať ohľad na to, aby bol prenosný, ľahko ovládateľný a dynamický. V práci je vysvetlené a znázornené riešenie tejto problematiky, popísané a zdokumentované sú schémy a návrh krabice.

Neoddeliteľnou súčasťou potrebnou pre dokončenie práce bola výroba programátora mikroradiča, ktorý je taktiež spomenutý a popísaný v tejto práci.

Výsledkom tejto práce je oživený funkčný stroboskopický otáčkomer s doplnkami a programátor mikrokontroléra, ktorý sa použil na jeho naprogramovanie a ladenie.

2 OTÁČKOMERY

Meraním počtu otáčok otáčajúcich sa častí zisťujeme rýchlosť otáčania. Jednotkou merania rýchlosti otáčania v technickej praxi je počet otáčok za minútu. Prístroje na meranie rýchlosti otáčania vo všeobecnosti nazývame otáčkomery. Aby sme vedeli porovnať výhody a nevýhody jednotlivých otáčkomerov najprv sa stručne vysvetlí ich princíp fungovania. Podľa konštrukcie a použitého fyzikálneho princípu rozdeľujeme otáčkomery na:

- mechanické
- magnetické
- elektrické
- impulzné
- optické.

Otáčkomery podľa prístupu na meraný systém sa ďalej rozlišujú na **kontaktné** a **bezkontaktné** (optické).

Prístroje na kontaktné meranie otáčok buď snímajú rotačný pohyb v jej osi (napríklad remenice alebo hriadeľa, často s využitím sústružníckeho vpichu), alebo obvodovú rýchlosť priložením snímacieho kolieska k obvodu rotujúcej remenice či kolesa. Pre rôzne meracie podmienky bývajú kontaktné otáčkomery vybavené výmennými nastavcami rôzneho prevedenia s gumovým povrchom pre spoľahlivý prenos pohybu bez preklzovania.

Prístroje pre bezkontaktné meranie otáčok využívajú v zásade dva princípy. U prvého z nich prístroj vysiela trvalý svetelný lúč, zvyčajne laserový, ktorý je odrážaný špeciálnou odrazovou vrstvou, nalepenou na rotujúce časti. Späť do prístroja sa teda vracia lúč pulzujúci. Tieto svetelné impulzy sú snímané a počítadlom prístroja je vyhodnocovaná ich frekvencia.

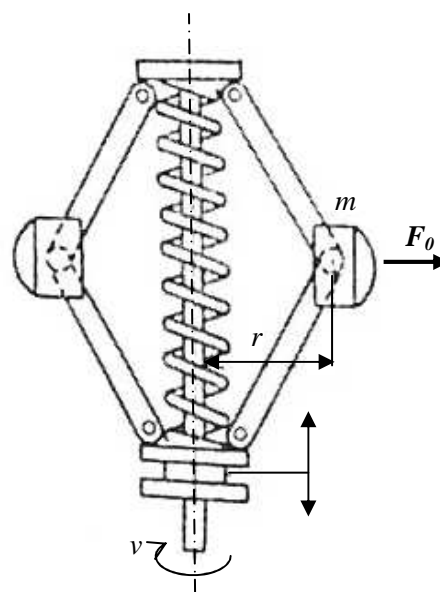
Druhý spôsob využíva zotrvačnosť ľudského oka. Vysielaný je prerušovaný svetelný lúč s nastaviteľnou frekvenciou. V okamihu, keď táto frekvencia súhlasí s rýchlosťou otáčania meranej súčasti, z pohľadu ľudského oka sa reflexné značenie zastaví v jednom bode. Týmto princípom sa podrobnejšie zaoberá časť: 2.5 Stroboskopický jav

2.1 Mechanické otáčkomery

Prvé otáčkomery vynájdené v roku 1817 pracujú na princípe pôsobenia odstredivých síl na otáčajúce sa teleso s konštantnou hmotnosťou. Ukážka takejto konštrukcie zobrazuje Obrázok 2.1. Odstredivá sila rastie štvorcom rýchlosti otáčania, rovnica (1).

Na vlastné merania sa tento spôsob využíva zriedkavo, boli nahradené novšími elektronickými otáčkomermi [7]

$$(1) \quad F_0 = m \frac{v^2}{r} \quad [N]$$

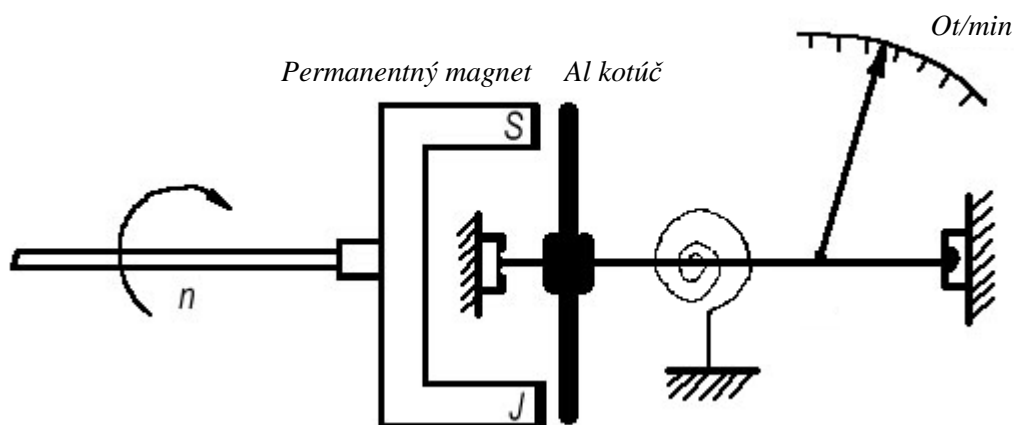


Obrázok 2.1 Mechanický odstredivý otáčkomer

2.2 Magnetické otáčkomery

Magnetické otáčkomery využívajú účinok vírivých prúdov indukovaných magnetickým polom v hliníkovom prstenci pri otáčaní magnetu.

Hliníkový kotúč je spojený so špirálovou pružinou, ktorá je zdrojom direktívneho momentu a ručička ukazovateľa sa preto natočí o uhol úmerný uhlovej rýchlosti kotúča.



Obrázok 2.2: Magnetický otáčkomer [7]

2.3 Elektrické otáčkomery

Elektrodynamické otáčkomery využívajú indukčný zákon ($U=B.l.v$), to znamená, že generujú napätie priamo úmerné otáčavej rýchlosti ω .

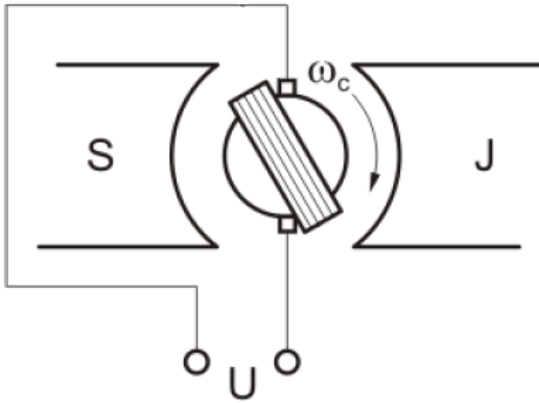
Z hľadiska funkčnosti ich môžeme deliť na:

- jednosmerné generátory (tachodynamo)

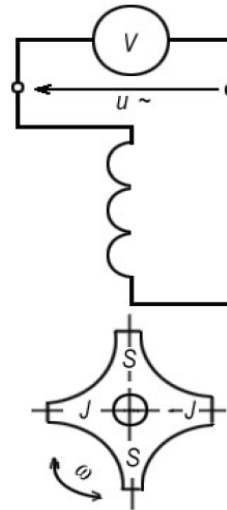
V poli permanentného magnetu sa otáča niekoľko párov vinutia, výstupné napätie je snímané z komutátora. (Obrázok 2.3)

- striedavé generátory (tachogenerátor/ tachogenerátor).

Vytvára na svojich svorkách striedavé napätie, ktorého veľkosť je opäť lineárne závislá od rýchlosti otáčania. (Obrázok 2.4) [7]



Obrázok 2.3: Tachodynamo



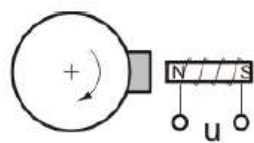
Obrázok 2.4: Tachometrický generátor

2.4 Impulzné otáčkomery

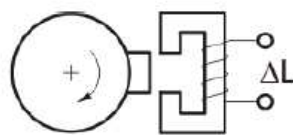
Vyšetrojú polohu značky na rotujúcom objekte a vyhodnocujú počet impulzov za jednotku času. K detekcii polohy značky sa dajú využiť kontaktné snímače (jazýčkové relé ovládané magnetickým polom), indukčný snímač (rotuje feromagnetický výstupok), optoelektronický snímač a iné.

Výhodou impulzných otáčkomerov je číslicový tvar signálu a presnosť.

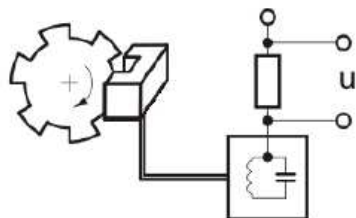
Nevýhodou je časovo determinovaná činnosť, nereagujú na zmeny uhlovej rýchlosti behom jednej otáčky. Pre zlepšenie môžeme použiť ozubené koleso, ktoré počas jednej otáčky vytvorí viac impulzov (citlivosť daná časovým intervalom medzi zubami/značkami).



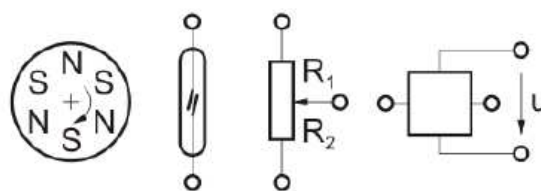
indukčný snímač



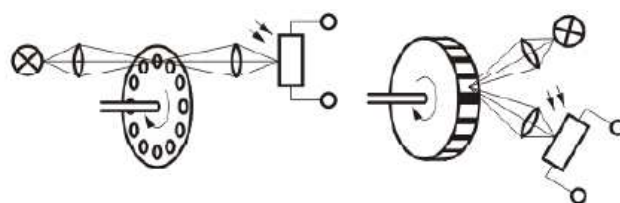
indukčnosťný snímač



indukčnosťný oscilátorový



*magnetický s jazyčkovým relé
magnetorezistorom, Hallovoú sondou*

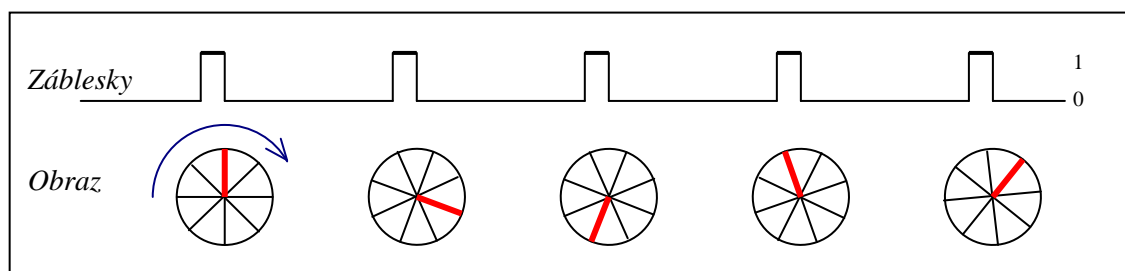


fotoelektrický snímač priechodný, odrazový

Obrázok 2.5: Impulzné snímače otáčok [1]

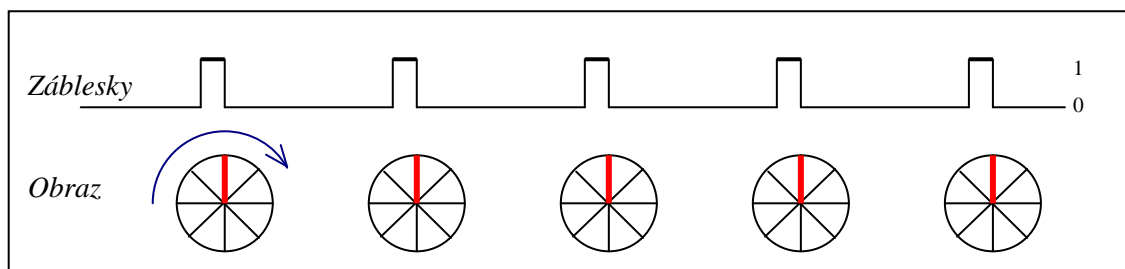
2.5 Stroboskopický jav

Princípom stroboskopického javu je, že vysielame vysoko intenzívne impulzy svetla na reflexnú značku umiestnenú na rotujúcej časti predmetu (viď Obrázok 2.6). Tu je vidieť rotujúci kotúč, na ktorom je umiestnená značka (farebne zvýraznená na kotúči). Hore je priebeh svetelných impulzov, ktoré spôsobujú, že sa nám ako pozorovateľovi vplyvom zotrvačnosti ľudského oka javí, že sa značka chaoticky presúva z miesta na miesto.



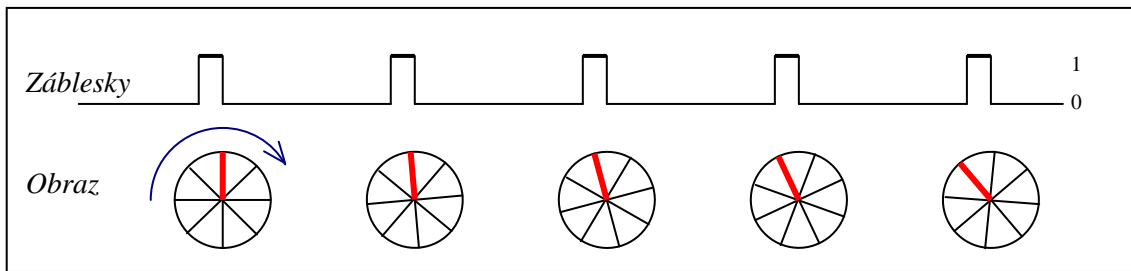
Obrázok 2.6: Ukážka stroboskopického javu [4]

Meranie vykonávame zvyšovaním frekvencie svetelných impulzov až na hodnotu, keď frekvencia svetelných impulzov vysielaných stroboskopom sa bude zhodovať s frekvenciou rotujúcej časti. Pri zhode frekvencií nastane jav, pri ktorom sa pohybujúca reflexná značka akoby zastavila. Značka sa bude zobrazovať stále na tom istom mieste, ilustrované obrázkom (viď Obrázok 2.7).

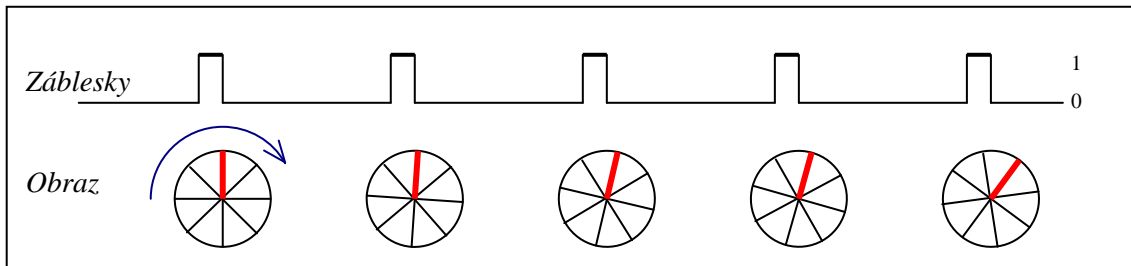


Obrázok 2.7: Frekvencia svetelných impulzov sa zhoduje frekvenciu otáčania kotúča [4]

V prípade, že frekvencia svetelných impulzov je väčšia (trochu predbieha frekvenciu rotujúcej časti) spozorujeme jav, ktorý zobrazuje Obrázok 2.8. Jav vnímame akoby sa reflexná značka otáčala v protismere otáčania rotoru. V prípade, že frekvencia svetelných impulzov je trochu nižšia (menšia) oproti frekvencii rotujúcej časti, reflexná značka z pohľadu ľudského oka sa začne pohybovať akoby v smere rotujúcej časti, viď Obrázok 2.9.



Obrázok 2.8: Frekvencia svetelných impulzov je väčšia ako frekvencia otáčania kotúča [4]



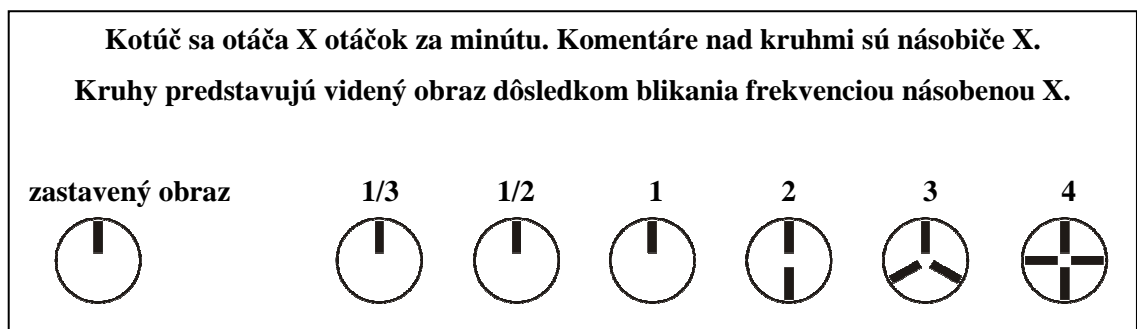
Obrázok 2.9: Frekvencia svetelných impulzov je menšia ako frekvencia otáčania kotúča [4]

2.5.1 Meranie otáčok pomocou stroboskopického javu

Meraná rotujúca časť nemusí byť značne upravovaná, stačí iba značka (reflexný pás, odrážka, čiarka, súčiastka).

Jedná sa o bezkontaktné meranie.

Pri meraní je nutné brať ohľad na to, že k zastaveniu rotujúcej časti (značenia) dochádza i pri násobkoch meranej veličiny a je nutné vidieť celú časť rotujúceho kotúča. Preto sa doporučuje merať od nižších frekvencií zábleskov a pozvoľna zvyšovať ich frekvenciu. Pri zvyšovaní kmitočtu niekoľkokrát dochádza k tomu, že sa pozorované značenie „akoby“ zastavilo. Bude to v bodoch, ktoré sú celočíselnými zlomkami meranej veličiny (reálneho kmitočtu), napríklad: $1/4$, $1/3$, $1/2$, atď. Preto je nutné nastavovať frekvenciu do tej doby, kým sa nám nepodarí „zastaviť“ značku na dvoch miestach. Keď túto frekvenciu (pri ktorej vidíme dve stojace značky) vydelíme dvoma, dostaneme hľadanú reálnu frekvenciu otáčania. Môžeme postupovať aj naopak - od vysokých kmitočtov k nižším. K lepšiemu pochopeniu viď Obrázok 2.10.



Obrázok 2.10: Príklad na meranie kotúča

Ak rýchlosť otáčania presahuje maximálny rozsah blikania stroboskopu, rýchlosť otáčania sa môže merať metódou harmonického a viacbodového výpočtu. Začína sa merať z maximálnej frekvencii blikania s postupným znižovaním blikania. Počítajme s tým, že uvidíme väčší počet obrazov sledovanej značky. Znižujme frekvenciu kým nevidíme **jeden** zastavený obraz. Túto frekvenciu nazvime **A**. Pokračujme znižovaním frekvencie blikania, kým nevidíme ďalší stav s **jedným** zastaveným obrazom. Túto frekvenciu nazvime **B**. Pokračujme ďalším znižovaním frekvencie blikania, kým narazíme na tretí stav s **jedným** zastaveným obrazom. Túto frekvenciu nazvime **C**.

Pri výpočte z dvoch hodnôt je aktuálna frekvencia:

$$(2) \quad f = AB / (A - B) \quad [Hz / RPM]$$

Pri výpočte z troch hodnôt je aktuálna frekvencia:

$$(3) \quad \begin{aligned} f &= 2XY(X + Y) / (X - Y)^2 \\ X &= (A - B) \\ Y &= (B - C) \end{aligned} \quad [Hz / RPM]$$

Ľudské oko nie je až tak ľahko oklamateľné aby videlo zastavený obraz stroboskopu, keď rýchlosť blesku je pomalšia než 300 FPM. Preto by sa nemal používať stroboskop na meranie otáčok pod 300 FPM. [11]

Je potrebné zaistiť dostatočne silný zdroj svetla. Zvlášť pri meraniach z väčších vzdialeností, alebo v miestach s vysokou úrovňou osvetlenia.

Pri porovnaní s kontaktnými meraniami má nevýhodu, že má časovo náročnejšie nastavovanie a s tým súvisiacu nemožnosť merania pri rýchlych zmenách rýchlosti otáčok.

3 TEORETICKÁ ČASŤ

Táto časť opisuje možnosti merania osvetlenia, možnosti zvolenia zdroju svetla a prieskum trhu komerčne predávaných stroboskopických otáčkomerov.

3.1 Fotodióda

Fotodióda je polovodičová súčiastka, určená predovšetkým pre detekciu zmien svetla a premenu svetla na elektrický prúd/napätie. Princíp činnosti je založený na vnútornom fotoelektrickom jave. Pri dopade fotónu dôjde ku generovaniu páru elektrón-diera (fotón narazí do valenčného elektrónu a predá mu časť energie). Elektróny dostatočnou energiou sa dostanú z valenčného pásma do vodivého pásma a ihneď budú priťahované ku kladnej elektróde. Diery sú zas priťahované k zápornej elektróde. Fotogenerované elektrón-dierové páry sú v oblasti PN prechodu separované elektrickým poľom, čím vytvárajú napätie a v pripojenom obvode prúd. Meraním tohto prúdu sa dá odmerať intenzita dopadajúceho svetla (zvyšujúcim sa osvetlením narastá indukovaný prúd). Zmerateľné spektrum vlnovej dĺžky závisí od materiálu danej diódy.

Prúd, ktorý tečie obvodom môže byť oveľa väčší než prúd, ktorý by tiekol pri polarizácii fotodiódy v priepustnom smere.

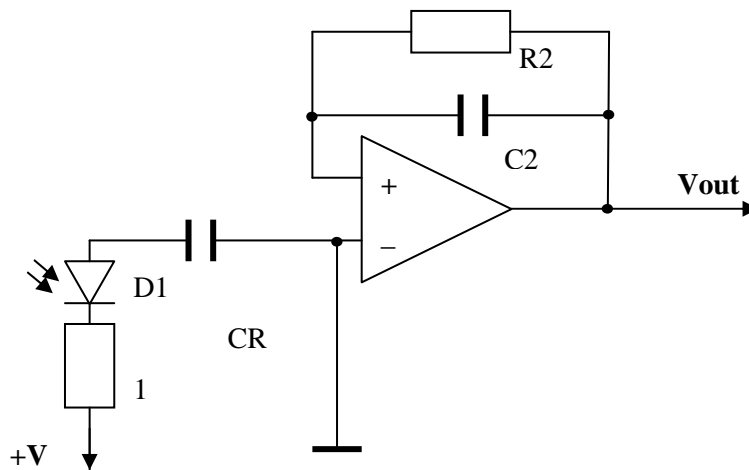
U fotodiódy sa uplatňuje i tzv. „temný prúd“, ktorý tečie diódou, keď nie je osvetlená. Tento prúd je závislý na teplote a ovplyvňuje meracie parametre fotodiódy. Temný prúd sa uplatňuje iba pri fotokonduktívnom režime fotodiódy a je kompenzovateľná kalibráciou merania.

Pre meracie účely sa používajú dva režimy fotodiódy:

- fotokonduktívny
- fotovoltaiický

3.1.1 Fotokonduktívny režim

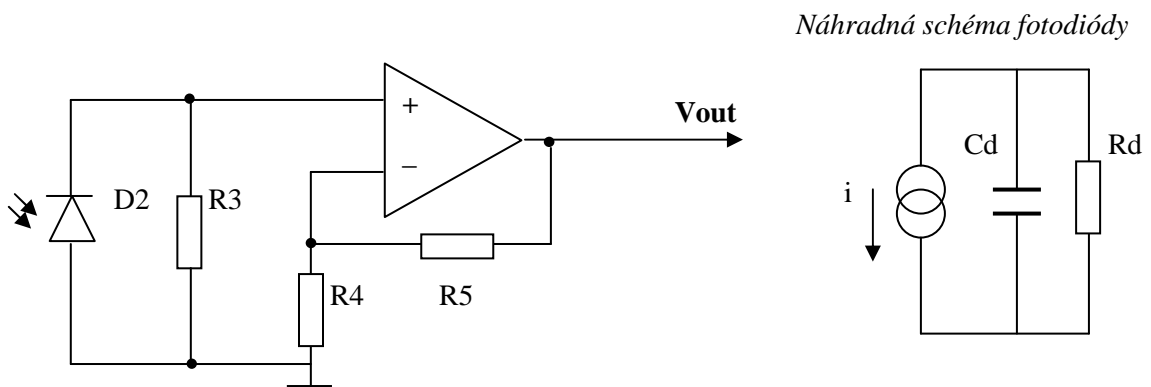
Fotodióda funguje ako dynamický odpor, ktorý mení svoju vodivosť na základe osvetlenia. V tomto režime sa fotodióda zapája s kladným predpätím (viď Obrázok 3.1). Toto zapojenie má nižšiu kapacitu, nižší sériový odpor a tak i kratšiu dobu odozvy.



Obrázok 3.1: Zapojenie fotodiódy vo fotokonduktívnom režime

3.1.2 Fovoltaický režim

V tomto režime nie je potrebné predpätie, fotodióda sa sama správa ako zdroj energie. Bez predpätia sa neuplatňuje ani temný prúd, čo umožňuje oveľa vyššiu citlivosť. Nevýhodou fotovoltážneho režimu je, že dochádza ku zvyšovaniu odozvy, pretože rastie kapacita fotodiódy. Tento režim nie je vhodný na meranie rýchlych zmien svetla.



Obrázok 3.2: Zapojenie fotodiódy vo fotovoltážnom režime

3.2 LED dióda

Luminiscenčná dióda alebo tzv. LED dióda je polovodičová elektronická súčiastka, ktorá vyžaruje úzkospektrálne svetlo, keď ňou prechádza elektrický prúd v priepustnom smere. Svetiaci efekt je následkom žiarivej rekombinácie elektrón-dierového páru a je formou elektroluminiscencie. Farba vyžarovaného svetla závisí od štruktúry PN prechodu a aj od použitého materiálu. Čas rozsvietenia LED diód je dostatočne malý na to aby mohol vzniknúť záblesk (stroboskopický jav), funkčné pozície sú bez obmedzenia. LED diódy majú malú spotrebu energie kvôli vysokej účinnosti

pretransformovať elektrickú energiu na svetelnú energiu. Ďalšie výhody LED oproti ostatným zdrojom svetla sú: dlhá životnosť, veľká odolnosť proti rozbitiu, malé prevádzkové napätie, malá potreba miesta.

Pre voľbu farby LED je odporúčaná biela farba, kvôli širokému spektru odrážania všetkých farieb a citlivosti ľudského oka na biele svetlo.

3.2.1 Porovnanie LED diódy a výbojky

Pre stroboskopické otáčkomery sa bežne využívajú dva typy zdroja svetla: Xenónové výbojky a LED diódy. Nasledujúca tabuľka porovnáva ich všeobecné parametre:

XENON HID	Výkonové LED
svetelný tok 30-60 lumen/Watt	svetelný tok cez 30-110 lumen/Watt
životnosť 500 - 3000 hodín	životnosť 50 000 hodín
po vypnutí nemožno výbojku ihneď zapnúť	možno bez oneskorenia zapínať/vypínať
k prevádzke potrebuje drahý elektronický predradník	napájací elektronika lacnejšie ako u HID
malé možnosti regulácii výkonu	možnosť regulácie výkonu
citlivá voči tvrdým nárazom	odolná voči nárazom

Tabuľka 3.1: Porovnanie parametrov svetelných zdrojov [9]

3.2.2 Biela LED dióda

Existujú dva základné spôsoby produkovania vysoko intenzívneho bieleho svetla s použitím LED. Prvý spôsob využíva samostatné LED-ky, emitujúce základné farby RGB (červenú, zelenú, modrú) a ich zmiešaním vznikne biele svetlo. Druhý spôsob je tvorený modrou (až ultrafialovou) LED diódou a s použitím vrstvy luminoforu, ktorá mení monochromatické svetlo na širokospektrálne biele svetlo. Primárne modré/fialové svetlo sa skombinuje s druhotným žiarením do výsledného tvaru, ktoré ľudské oko vníma ako bielu farbu. Čím je kvalitnejšia LED, tým je menej vidieť originálnu farbu. Typické napätie pre rozsvietenie jednej bielej LED diódy je $\Delta U = 3,5 \pm 0,5 \text{ V}$.

Zvolené typy LED diód aj s parametrami sú popísané v praktickej časti.

4 PRIESKUM TRHU

Na trhu sa objavuje široká škála stroboskopov. Meracie rozsahy sa pohybujú väčšinou v rozsahu 100 – 100 000 otáčok za minútu. Z konštrukčného hľadiska sa jednotlivé typy od seba odlišujú používaným zdrojom svetla. V dnešnej dobe sa stále viac začínajú presadzovať stroboskopy s LED, ktoré majú nižšiu spotrebu energie. Ďalším trendom sú batériou napájané stroboskopy, ktoré svojmu používateľovi prinášajú obrovskú výhodu a to mobilitu.

Nevýhoda xenón varianty je možnosť poškodenia lampy a potom jej časovo náročná výmena výbojky. U niektorých typov stroboskopov so xenónovými výbojkami pri veľkých kmitočtoch bliknutia nebudú s rovnakou intenzitou. Je to z dôvodu, aby sa náhodou nepreťažila a nepoškodila výbojka pri veľkých kmitočtoch. Následkom je blikajúce pulzujúce svetlo.

Čas bliknutia prístrojov sa pohybuje v rozmedziach od 5 do 100 μ s.

Lacnejšie typy týchto prístrojov umožňujú používateľovi iba nastavovanie blikania ($f+$, $f-$, $f*2$, $f/2$) a aj to iba v určitom rozsahu. Pri väčších kmitočtoch majú iba 1-10 FPM rozlíšenie.

Existujú aj v malom vreckovom prevedení, s malou spotrebou cca. 8W. Tieto typy majú obmedzené funkcie a relatívne vyššiu cenu.

Externú synchronizáciu majú iba drahšie typy prístrojov. Väčšina z nich má 3,5mm jack vstup 0-5V, TTL kompatibilný. Tieto prístroje zvyčajne majú aj výstup blikajúcej frekvencie na synchronizáciu ďalšieho prístroja (5V TTL / 12 V pulz výstupný signál). Na voľné kontakty jack konektora sa pripája výstupné jednosmerné napätie pre senzory. Veľkosť výstupného napätia závisí od daného typu cca. 5-24V DC. Iba drahé typy majú citlivý vstup externej synchronizácie. Väčšina z nich nevie snímať impulzy pod 0,8V a šírka impulzu má byť minimálne 50 μ s.

Stroboskopmi ktoré podporujú externý výstup a vstup sa dá dosiahnuť osvetlenie väčšej plochy keď ich synchronizujeme a budú blikat' naraz. Väčšina z nich má 3,5 mm stereo jack konektor, alebo vlastný typ konektora, pre ktorý je potrebné dokúpenie ďalších káblov.

Pri kúpe stroboskopického otáčkomera treba brať ohľad na to, v akých podmienkach ho budeme používať. Malý uhol svietenia má za následok ťažkopádne nájdenie reflexného bodu, hlavne pri veľkých plochách. Pri malých plochách je zas s veľkým prístrojom ťažká dostupnosť. Veľký uhol a intenzívne záblesky má DT-315A, ale bol by nepraktický kvôli veľkým rozmerom a hmotnosti (2,5 kg).

Doba napájania prístrojov cez batériu sa pohybuje medzi 1 až 4 hodín.

Niektoré typy majú podporu fázového posuvu, hodnoty sa udávajú v stupňoch 0 - 359° s krokom 1°.

Používaný display je zvyčajne LED display, u stroboskopoch novej generácie sa používa už LCD display. Vhodný displej je dostatočne veľký aby boli na ňom vypísané

všetky údaje a nastavené funkcie. Displeje, ktoré nemajú dostatočne veľký počet znakov používajú viacúrovňové menu. Nastavovanie cez menu môže byť pre používateľa nepraktické (je to vlastne kompromis veľkosti a komfortu).

Výrobca	Typ	Rozsah [ot/min]	Rozlíšenie [ot/min]	Presnosť	Napájanie [V]	Svetelný zdroj	Cena [Kč]
Monarch Instruments	Nova - STROBE DBX	30 – 20 000	0,1	0,002% +1dig	Baterie	Xenon	24 990
Monarch Instruments	Palm Strobe 115/230	5 – 12 500	0,1	0.01% + 1dig	Baterie	LED	36 860
Testo	476	30 - 12500	0,1	0.01% + 1dig	Bat / 230	Xenon	17 590
Lutron	DT 2239A	10 - 10000	1/10	0.05% + 1dig	230	Xenon	6000
Lutron	DT 2249	10 – 10 000	0,1/1	0.01% + 1dig	230	Xenon	7 116
Checkline	DT- 326	60 – 120 000	0,1-10	0,02% + 1dig	Bat/230	LED	16 900
Compact Instruments	DT-315N	40- 35 000	0,1/1	0,01% + 1dig	Bat/230	Xenon	29 647
Lutron	DT-2199	100- 120 000	0,1/1	0,5% + 1dig	Bat/230	LED	11 000
NIDEC SHIMPO	DT-315A -	40-35000	0,1/1	0,01+ 1dig	Baterie	Xenon	22 000
Uvedené ceny sú informatívne, zdroj: internet							

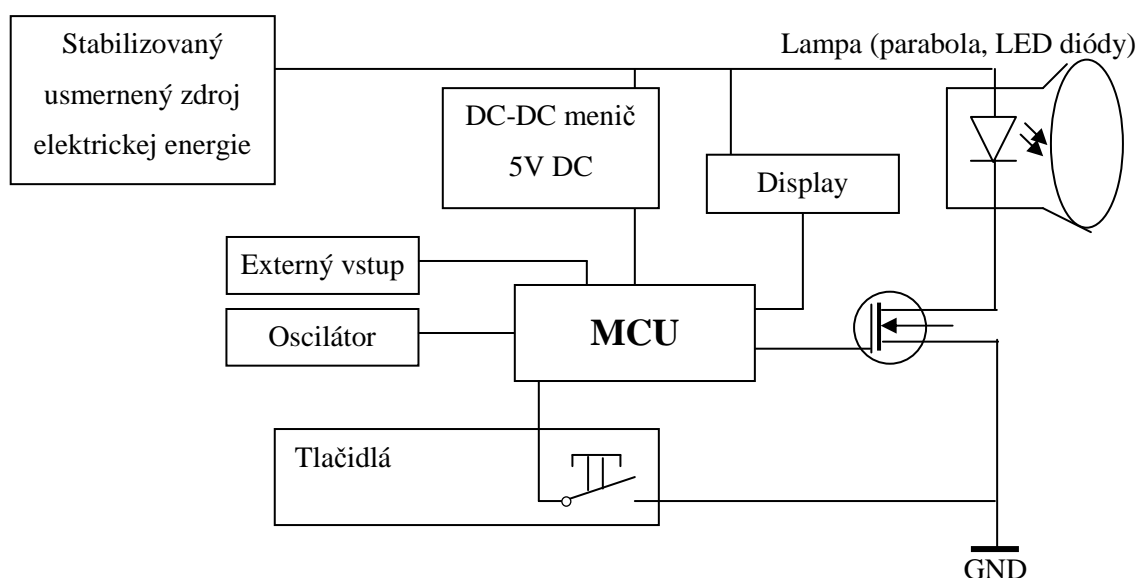
Tabuľka 4.1: Prieskum trhu meracích stroboskopov

5 PRAKTICKÁ ČASŤ

Praktická časť vysvetľuje návrh a výrobu funkčného LED stroboskopu. Na základe prieskumu trhu budú podporované nasledovné funkcie prístroja:

- digitálne nastavovanie frekvencie blikania vysokosvietivých LED
- násobenie a delenie blikajúcej frekvencie dvoma
- fázové posunutie blikania
- externá synchronizácia
- funkcie RPM alebo Hz

Navrhnutá bloková schéma je na obrázku (viď Obrázok 5.1), jednotlivé časti sú popísané v podkapitolách.



Obrázok 5.1: Bloková schéma návrhu stroboskopu

5.1 Návrh napájacej časti

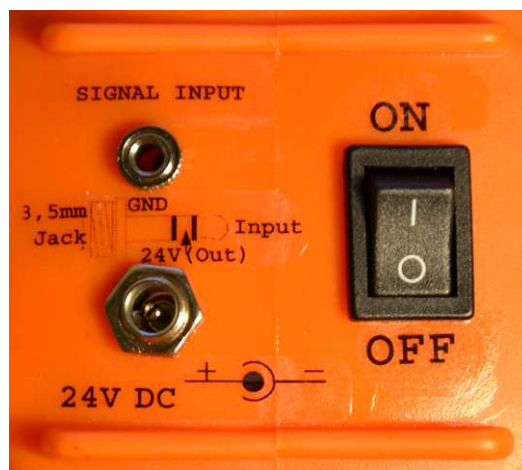
Prístroj je navrhnutý tak, aby sa mohol napájať dvomi spôsobmi, buď cez DC adaptér, alebo batériami zabudovanými resp. externými. Voľba napájania je na dolnej časti prístroja (SOURCE / BATTERY). Kvôli batériám sa zaistil dynamický prístup prístroja k elektrickému napätiu. Keďže prístroj bol navrhnutý pre použitie v laboratóriu (prístup k elektrickej sieti) do zariadenia nebol nakúpený vnútorný akumulátor. V prístroji som nechal možnosť domontovať vnútorný akumulátor. Prístroj je možné napájať aj z externej batérie. Kontakty externej batérie sú vyznačené na dolnej časti zariadenia (viď Obrázok 5.3). Kontakty sú prístupné po odmontovaní stojana prístroja. Pre externé napájanie treba nastaviť prístroj do režimu BATTERY. Externý batériový modul je dodaný k zariadeniu.

Pre správnu funkčnosť riadiacej časti a displeja je potrebné zaistiť jednosmerné napätie 5V. Riadiaca časť má vlastný integrovaný DC-DC menič (R-785.0-0.5 od firmy RECOM), ktorý zaisťuje stabilizované 5V DC napätie. Ďalší DC-DC menič sa používa na podsvietenie LCD displeja. Kvôli zníženiu spotreby sa podsvietenie dá vypnúť. Prístroj bol testovaný a funguje správne pri napätí od 6,5V do 30V DC.

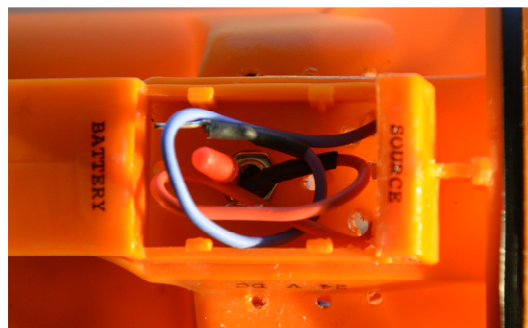
Stroboskop je dimenzovaný na napájanie 24V DC / 1A. Menšie napätie ako 24 V má za následok menšiu intenzitu svetla LED diód. Pod 6V nie je zaručené správne fungovanie prístroja. Väčšie napätie ako 35V by spôsobilo nefunkčnosť DC-DC meniča ako aj celej riadiacej časti. Ďalším následkom by bol aj skrátenie doby životnosti LED alebo jej poškodenie.

Relatívne vysoké prúdové impulzy cez svietiacu LED diódu môžu mať za následok zvlnenie prúdu, preťaženie zdroja, pád napätia batérií. Tieto nárazové odbery budú kompenzovať rýchle fóliové kondenzátory a väčší elektrolytický kondenzátor, ktoré sú priamo namontované v lampe prístroja (viď kapitolu 5.2)

Prístroj sa napája na elektrickú sieť cez adaptér. Napájací vidlicový konektor 5,5 x 2,5 mm je na zadnej časti prístroja. Prístroj sa zapína pomocou ON/OFF tlačidla na zadnej časti.



Obrázok 5.2: Zadná časť prístroja



Obrázok 5.3: Dolná časť po odmontovaní stojana

5.2 Návrh svietiacej časti

Aby bola osvetlená dostatočne veľká meracia plocha, treba použiť diódu s veľkým vyžarovacím uhlom. Preto som zvolil výkonný bielu LED od výrobcu PerkinElmer typu L-ACULED VHL5555. Táto dióda sa namontovala do ohniska paraboly lampy. Po nájdení reflexného bodu je potrebné zaistiť dostatočne veľkú intenzitu svetla. Preto sa použili doplnkové bodové LED typu OSW5DKA131A, ktoré svoje svetlo centralizujú na stredný bod osvetlenej plochy. Bodových LED sa použilo celkom 14 kusov. Parametre použitých LED sú uvedené v tabuľkách.

Parameter	Označenie	Hodnota
Menovité napätie v priepustnom stave	U_f [V]	3,5
Menovitý prúd	I_f [mA]	4*700
Uhol vyžarovania	Θ [°]	110
Svetelný tok	Φ [lm]	360
Max. príkon	P [W]	12,6
Puzdro	Hexagón [mm]	13
Počet čipov	-	4

Tabuľka 5.1: Parametre použitej výkonnej LED diódy L-ACULED VHL5555 [8]

Parameter	Označenie	Hodnota
Menovité napätie v priepustnom stave	U_f [V]	3,2
Menovitý prúd	I_f [mA]	30
Pulzový prúd	I_{fp} [mA]	100
Stratový výkon	P_D [mW]	108
Uhol vyžarovania	Θ [°]	30
Svietivosť	I_v [cd]	30-37
Puzdro	T10	-
Priemer	d [mm]	10

Tabuľka 5.2: Parametre použitej bodovej LED diódy, OSW5DKA131A [10]

Zníženie spotreby prístroja je umožnené vypnutím bodových LED na zadnej strane paraboly. Prístroj pracuje s napätím v limite bezpečných menovitých napätí pri predpokladanom dotyku neživých častí v priestoroch normálnych aj nebezpečných. Keďže táto podmienka je splnená, svietiacia časť je odmontovateľná od prístroja. Dostatočná dĺžka vodičov po odmontovaní svietiacej časti dovoľuje použitie svietidla i v ťažko prístupných miestach.

Konečný vyžarovací uhol svietiacej jednotky je 120°. Parabola má priemer 115mm bez krytu, s krytom 120mm, hĺbka paraboly je 64mm..

Pri výpočte kondenzátorov na impulzný odber prúdu boli použité vzorce 5 a 6.

Priemerný čas odberu prúdu je 250µs. Súčet max. odberu prúdu diód je 5,6A. Po výpočte elektrického náboja vydáme túto hodnotu s hodnotou napätia. Hodnota kondenzátora po zaokrúhlení nahor vychádza na 60µF.

Aby sa kompenzoval prietok prúdu medzi LED diódami rôzneho typu použili sa predradené odpory pred LED diódami. Pri výpočte boli zohľadnené aj kontaktné odpory zapínača a vodičov. Zaťažovací odpor vypočítame pomocou vzorca (4). Vypočítané hodnoty neboli dobrou voľbou pre reguláciu prúdu. Predradené odpory pred LED diódami boli experimentálne zistené pomocou svetelnej intenzity LED diód.

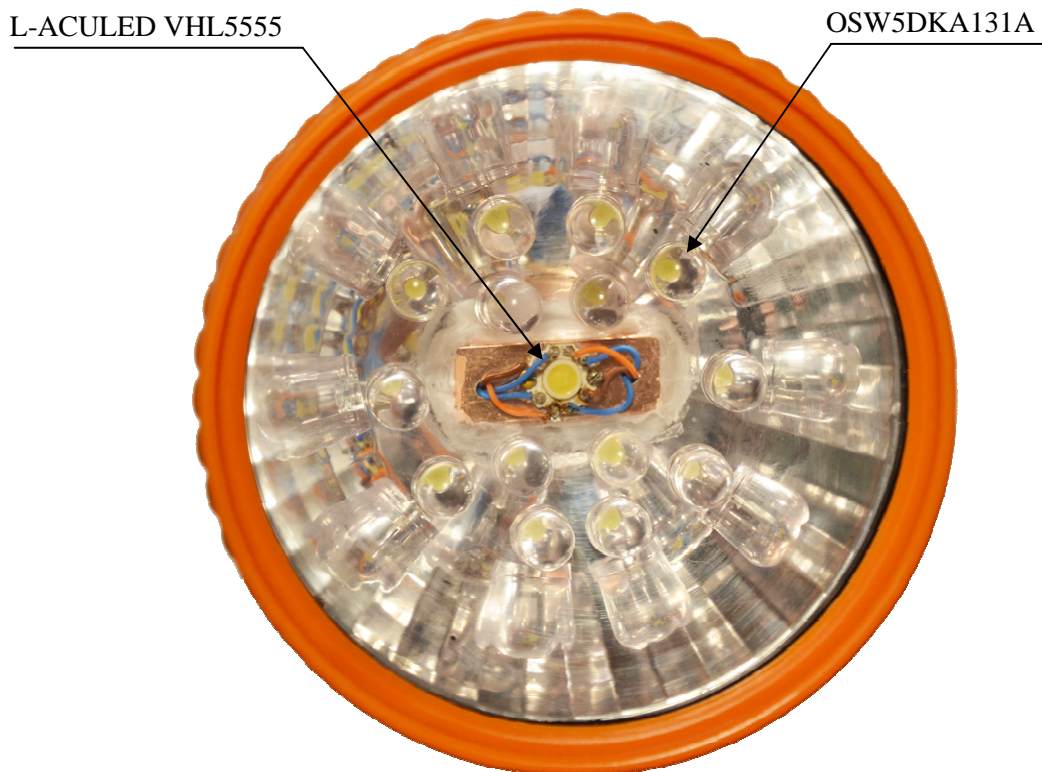
Suma odporu pred L-ACULED VHL5555 je 2,4Ω.

Suma odporu pred OSW5DKA131A diódami je 1,5Ω.

$$(4) \quad R = \frac{U}{I} = \frac{(\text{napätie} - \text{napätienadióde})}{\text{prúd}} \quad [\Omega]$$

$$(5) \quad Q = I \cdot t = (\text{prúd} \times \text{čas}) \quad [C]$$

$$(6) \quad C = \frac{Q}{U} = \frac{(\text{elektrický}_\text{ náboj})}{\text{napätie}} \quad [F]$$



Obrázok 5.4: Parabola s diódami

5.3 Návrh výkonovej časti

Najväčšiu spotrebu elektrickej energie majú LED diódy (niekoľko wattov, spotreba závisí od počtu aktuálne používaných LED) a podsvietenie LCD displeja (0,4 W). Riadiaca časť prístroja má malú spotrebu (mikrokontrolér, komparátor, logické hradlá).

Pre spínanie LED diód sa ukázalo, že stačí použiť bežný tranzistor MOSFET vodivosti typu N, tranzistor IRFZ24N. Brána (G-gate) tranzistora je otváraná pomocou jedného výstupu riadiaceho čipu. Tranzistor spína uzemnenie LED diód. Pre dynamickejšie zatvorenie brány je brána tranzistora uzemnená cez 100k odpor. Pre dosiahnutie čím väčšej intenzity svetla LED je možnosť impulzného preťaženia LED diód vyšším, ako menovitým prúdom. Keď bude doba preťaženia dostatočne krátka (menšia ako 10^{-4} s) nemalo by dôjsť k zničeniu súčiastky (efektívna hodnota prúdu bude menšia ako pri stálej prevádzke). Impulzný čas nestačí na to, aby došlo k veľkým tepelným účinkom v súčiastke, ktorá by pri zväčšenom prúde za stáleho prevádzkovania asi vyhorela. Kvôli bezpečnosti a preťažiteľnosti som na výkonovú LED diódu namontoval chladiacu časť (viď Obrázok 5.4: Parabola s diódami). Tepelné účinky veľkých návalových prúdov na spínací tranzistor som kompenzoval namontovaním chladiča na tranzistor.

LCD podsvietenie sa dá vypnúť pomocou tlačidla na hornej časti prístroja „LCD light“. Vypnutie podsvietenia prístroja slúži na zníženie celkovej spotreby prístroja.

Celkový príkon prístroja je, $P_{MAX} = 15W$. Priemerný príkon je 10W. Príkon bol vypočítaný pomocou vzorca (7) po odmeraní hodnôt prúdu a napätia.

$$(7) \quad P_{(t)} = I_{(t)} \cdot U_{(t)} \quad [W]$$

5.4 Návrh krabice zariadenia

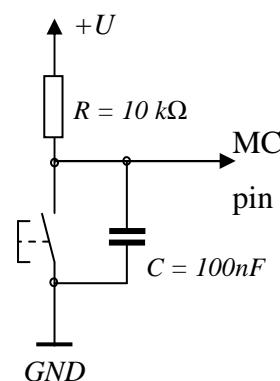
Merací prístroj bol navrhnutý i pre použitie laickými osobami. Aby prístroj bol chránený pred nesprávnym prístupom používateľa, vmontoval sa do plastovej krabice so stupňom ochrany IP40. Prístroj je prenosný a váži 0,3 kg (bez bateriek).

Nastavovanie prístroja je možné pomocou tlačidiel s popiskami. Na vizualizáciu hodnôt a funkcií je vmontovaný 2 riadkový 16 znakový displej. Tlačidlá a displej sa nachádzajú na hornej časti zariadenia. Pre lepšie pochopenie celého zapojenia je doložený Obrázok 5.6. Vonkajší vzhľad prístroja je fotodokumentovaný viď prílohy.

5.4.1 Tlačidlá

Tlačidlá sú zapojené priamo na vstupy mikrokontroléra a pri zopnutí ich uzemňujú (na základe týchto zmien reagujú podmienky algoritmu). Aby sa zabránilo vzniku nedefinovaných stavov je privedené kladné napájacie napätie na vstupy mikroprocesora cez 10k odpor, ktoré ich v prípade uvoľneného tlačidla udržiava v logike 1.

Aby sa zabránilo nežiadúcim rušeniam na kontakte a kmitaniu pri stlačení tlačidla, bol použitý 100nF filtračný kondenzátor paralelne zapojený ku každému tlačidlu, vid' Obrázok 5.5: Zapojenie tlačidla



Obrázok 5.5: Zapojenie tlačidla

Na hornej časti sa nachádza otáčací potenciometer slúžiaci na nastavenie referenčného napätia komparátora.

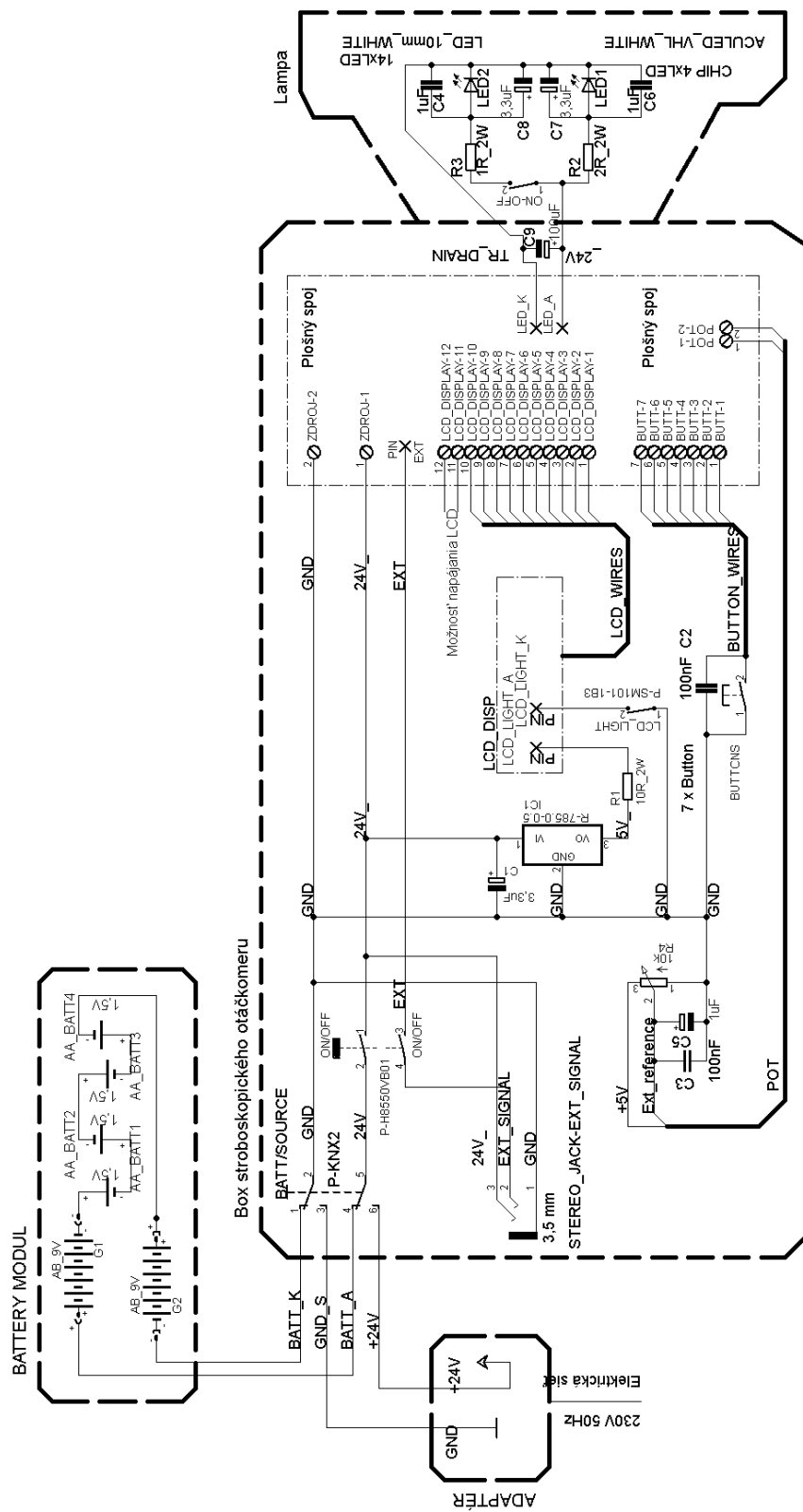
5.4.2 Displej

Na vizualizáciu hodnôt a funkcií postačí 2 riadkový 16 znakový displej. Na zobrazenie bol použitý alfanumerický typ BC1602AFNHEH od výrobcu BOLYMIN. Konkrétne je to čierno-biely displej z tekutých kryštálov s rozmermi 80x36mm a radičom HD44780.

Dátová komunikácia prebieha pomocou 4 bitov, plus 3 ovládacie bity E, RS a R/W. V mikroprocesore je pre displej a jeho ovládanie využitý celý port A. Nezávisle od mikroprocesora je podľa datasheetu zapojený trimer na nastavenie kontrastu displeja.

Pretože displej je ťažko čitateľný bez podsvietenia a zároveň má byť umožnené zníženie spotreby celého zariadenia, bolo potrebné namontovať tlačidlo ovládania podsvietenia.

5.4.3 Schéma zapojenia krabice



Obrázok 5.6: Schéma zapojenia krabice

6 NÁVRH RIADIACEJ ČASTI

Pre riadenie zábleskov sa využije mikrokontrolér, ktorý spĺňa stanovené požiadavky na bezproblémové zvládnutie danej úlohy.

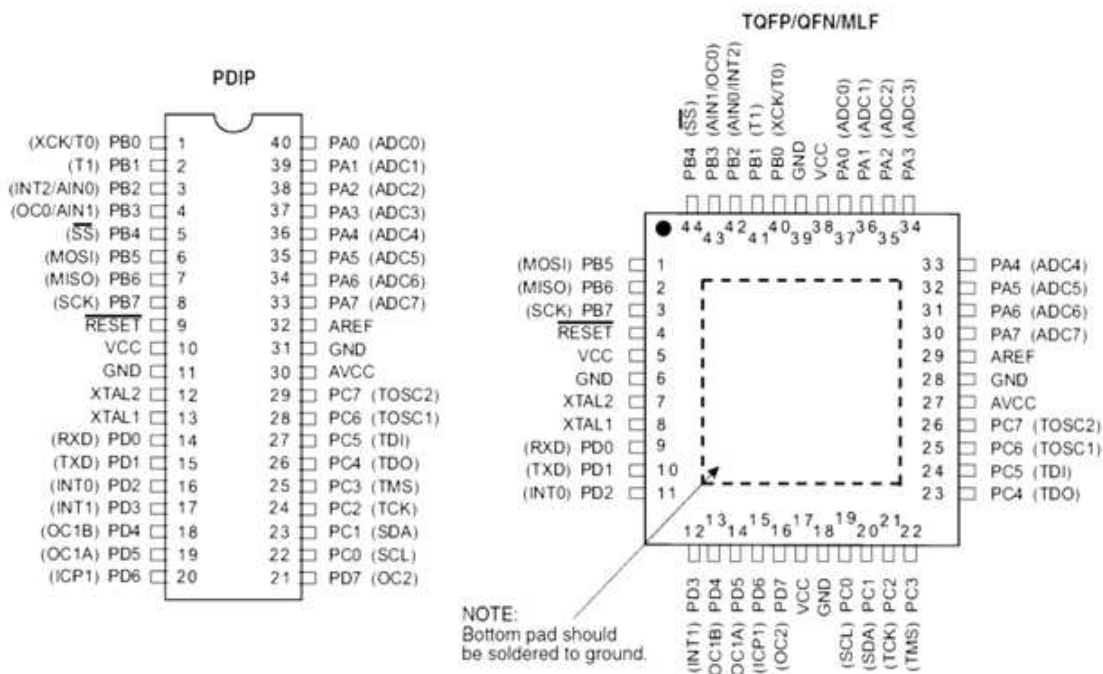
Požiadavky sú:

- relatívne vysoká taktovacia frekvencia, pre dosiahnutie širokého meracieho rozsahu a jemné nastavovanie frekvencie zábleskov
- 20 I/O kontaktov minimálne.
- časovací modul

Bol zvolený 8-bitový mikrokontrolér od firmy Atmel typu ATmega16. Jeho parametre zobrazuje Tabuľka 6.1

Parameter	Hodnota
Flash pamäť	16 kB
EEPROM	512 B
SRAM	1 kB
Operačné napätie	4,7 – 5,5 V
Taktovacia frekvencia	Až 16 MHz (16 MIPS)
Počet I/O kontaktov	32

Tabuľka 6.1: Dôležité parametre mikrokontroléra ATmega16



Obrázok 6.1: ATmega16 v PDIP a TQFP puzdre [5]

Presnosť celého zariadenia vo veľkej miere závisí na presnosti taktovacej frekvencie mikrokontroléra. Pre vyžadovanú presnosť časovania je vnútorný RC oscilátor nepostačujúci. Hodinový signál mikrokontroléra bude dodávať externý oscilátor s vyššou presnosťou a s väčším kmitočtom. Bola zvolená 16MHz frekvencia oscilátora. Je to maximálna frekvencia, pri ktorej je ešte zaistená správna funkčnosť mikrokontroléra. Oscilátor pri prevádzke od 0° do 50°C má presnosť $\pm 20\text{ppm}$, teda 0.0020% (16MHz \pm 320 Hz). Externý oscilátor sa pripája na fixne dané kontakty mikrokontroléra XTAL1 a XTAL2. Oba kontakty sa potom „uzemnia“ cez 22pF kondenzátor. Voľba externého kryštálového oscilátora zvyšuje presnosť pre celý použiteľný rozsah teplôt i pri kolísaní napätia.

Mikrokontrolér za bežnej činnosti plní inštrukcie rad za radom v presne stanovenom poradí. Na každú nábežnú hranu hodinového impulzu je vykonaná daná operácia v poradí a zaoberá sa iba danou úlohou (v našom prípade to bude riadenie blikania). Prerušenia sú vonkajšie alebo vnútorné udalosti, ktoré nie sú v súlade s hlavným chodom programu (prerušia hlavný chod programu). Ak dôjde k prerušeniu, postupy ktoré im slúžia dostanú plnú pozornosť mikrokontroléra. Vopred nevieme kedy k prerušeniu dôjde (stlačenie tlačidla). V kóde definujeme iba to, že ako má mikrokontrolér reagovať na tieto udalosti. Po vykonaní inštrukcií prerušenia MC sa vráti do hlavného programu.

Na riadenie pomocou tlačidiel boli použité dva prerušovacie kontakty mikrokontroléra (INT0 a INT1). Tlačidiel je viac ako prerušovacích kontaktov. Táto problematika bola vyriešená pomocou 4 hradlových NAND obvodov. NAND obvody zlučujú kontakty tak, aby sa na prerušovacie kontakty vedeli pripojiť všetky. Počas stlačenia ktoréhokoľvek tlačidla sa zmení hodnota na danom prerušovacom kontakte. Súčasne každé tlačidlo má vlastný kontakt na mikrokontroléri. Pri ich stlačení sa uzemní tento kontakt a volá sa prerušenie (na základe týchto zmien reagujú podmienky kódu).

6.1 Zapojenie mikrokontroléra

Zapojenie mikrokontroléra je na schéme zapojenia v prílohe. Pripojenie jednotlivých zariadení na kontakty mikrokontroléra a nastavené funkcie na pinoch znázorňuje Tabuľka 6.2

Pin	Funkcie
PA0 - PA3	Displej data
PA4	DisplejRS
PA5	Displej RW
PA6	Displej - EN
PB5	Programátor MOSI
PB6	Programátor MISO
PB7	Programátor SCK
PC0	Tlačidlo zvyšovania frekvencie blikania
PC1	Tlačidlo znižovania frekvencie blikania
PC2	Tlačidlo násobenia 2
PC3	Tlačidlo delenia 2
PC4 - PC4	Voľný kontakt na plošnom spoji
PC7	Riadenie LED diódy
PD2	Prerušenie skupiny 1 (INT0)
PD3	Prerušenie skupiny 2 (INT1)
PD4	Tlačidlo fázového posunu +
PD5	Tlačidlo fázového posunu -
PD6	Kontakt na výstup z komparátoru (externý mód) ,ICP1
PD7	Tlačidlo na výber v menu (SET)
RESET	Programátor RESET
XTAL1	Kontakt na externý oscilátor
XTAL2	Kontakt na externý oscilátor
GND	Napájací kontakt na zem
VCC	5V napájanie mikrokontroléra

Tabuľka 6.2: Využitie pinov mikrokontroléra

6.2 Programovanie mikrokontroléra

Na programovanie mikrokontroléra sa musí zabezpečiť ISP programátor (elektronické zariadenie umožňujúce komunikáciu počítača s mikrokontrolérom) a vývojové prostredie na návrh programu.

Programátor som vytvoril podľa vzoru, ktoré som našiel na internetovej stránke našej fakulty „Fakulta elektrotechniky a komunikačných technológií VUT v Brně“ u ústavu „Ústav radioelektroniky“ dostupné na webe:

http://www.urel.feec.vutbr.cz/~fryza/downloads/biprogram_urel.pdf.

BiProg je stk500v2 kompatibilný programátor. Podľa skúseností autora osvedčil sa ako bezproblémový univerzálny programátor procesorov Atmel rady AVR a 51. Kvôli zabudovanému FTDI čipu je USBv2 kompatibilný. FT232RL vytvára virtuálny sériový port, ktorý umožňuje komunikáciu medzi mikroprocesorom a PC. Po nainštalovaní FTDI ovládačov sa programátor napája na voliteľný COM port. [6]

Ako sa zistilo počas práce tento programátor nie je kompatibilný s najnovšími vývojovými prostrediami mikrokontroléra. Musela sa použiť staršia verzia vývojového prostredia AVR studio 4 od voľne dostupná od výrobcu Atmel.

Program som vytváral v kóde C. Použité knižnice na ovládanie LCD displeja, hlavičkové súbory a zdrojové texty sú doložené v elektronickej forme v prílohe na DVD.

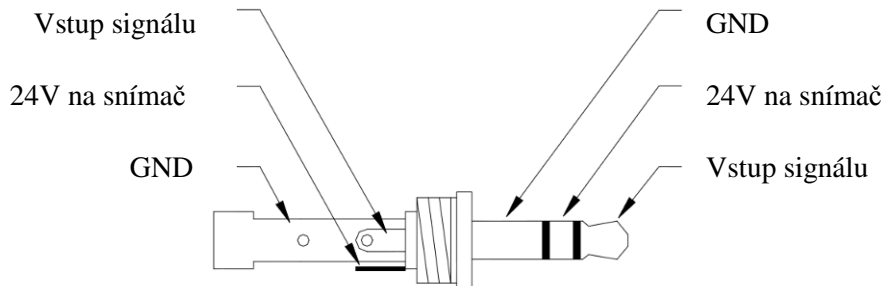
Konštrukciou vlastného programátora som si prehľbil znalosti ohľadne vytvárania DPS a funkčnosť programátorov.

Pri vytváraní programu je nutné zaistiť:

- komunikáciu s displejom
- obsluhu tlačidiel
- možnosť nastavovania frekvencie užívateľom
- spínanie LED diódy
- externé spustenie
- doplnkové funkcie

6.3 Externá synchronizácia

Na pripojenie externého signálu bude slúžiť 3,5 mm stereo jack konektor. Jack konektor má 3 kontakty. 2 kontakty slúžia na napájanie externého senzora. Cez kontakt „vstup signálu“ sa dostáva signál do riadiacej časti prístroja.



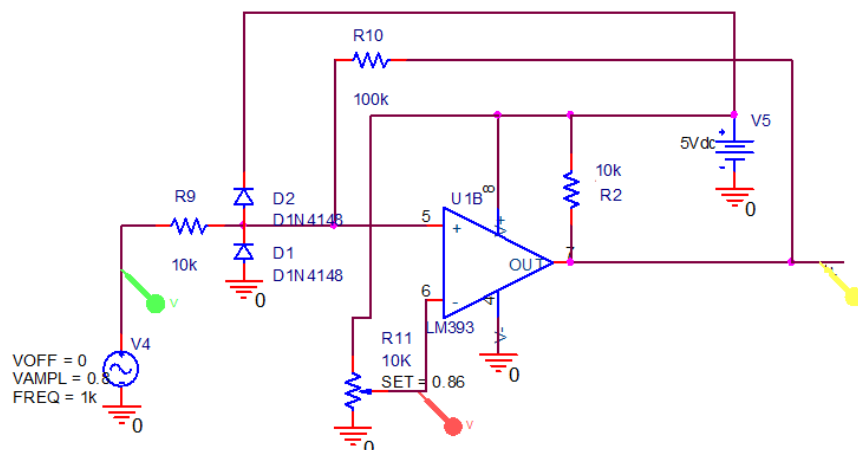
Obrázok 6.2: Vstup externej synchronizácie

6.3.1 Ošetrovanie vstupu externej synchronizácie

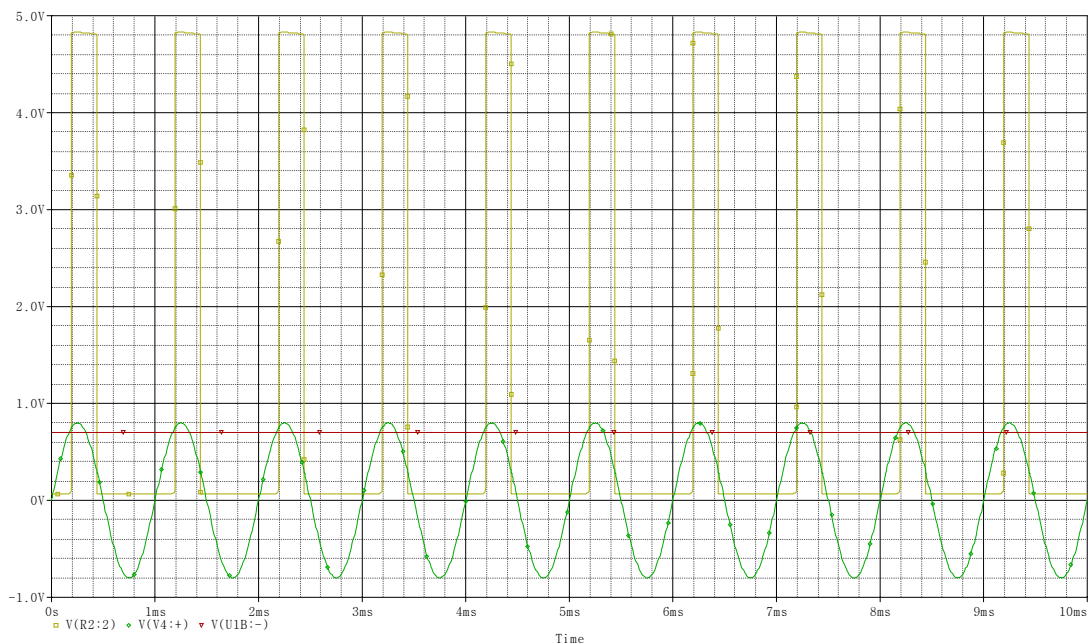
Ošetrovanie vstupu externej synchronizácie je cez komparátor LM393 (LM2903). Táto súčiastka obsahuje 2 komparátory. Aby sa zabránilo nežiadúcim rušeniam na komparátore, vstupy druhého komparátora sa uzemnili. Hysterézia komparátora sa vypočíta pomocou vzorca 8. Ako dostatočná hodnota hysterézie sa ukázala 0,5V. Aby vstup na riadiacu časť bol dostatočne chránený pred možným veľkým vstupným prúdom sa použil 10kΩ odpor na vstup. Z tejto hodnoty pri 0,5V hysterézi vyplýva že $R_{10} = 100k\Omega$. Možné špičky väčších napätí sú zrezané pomocou spínajúcich diód.

Referenčné napätie vstupu sa nastavuje pomocou potenciometra od 0 do 5V. Zapojenie komparátora som najprv odsimuloval. Simulačná schéma vid' Obrázok 6.3. Farebné páky ukazujú napätia, ktoré sú ukážkou príkladu použitia na grafe Obrázok 6.4.

$$(8) \quad \Delta V_{Hys} = \frac{V_{cc} \cdot R_9}{R_{10}}$$

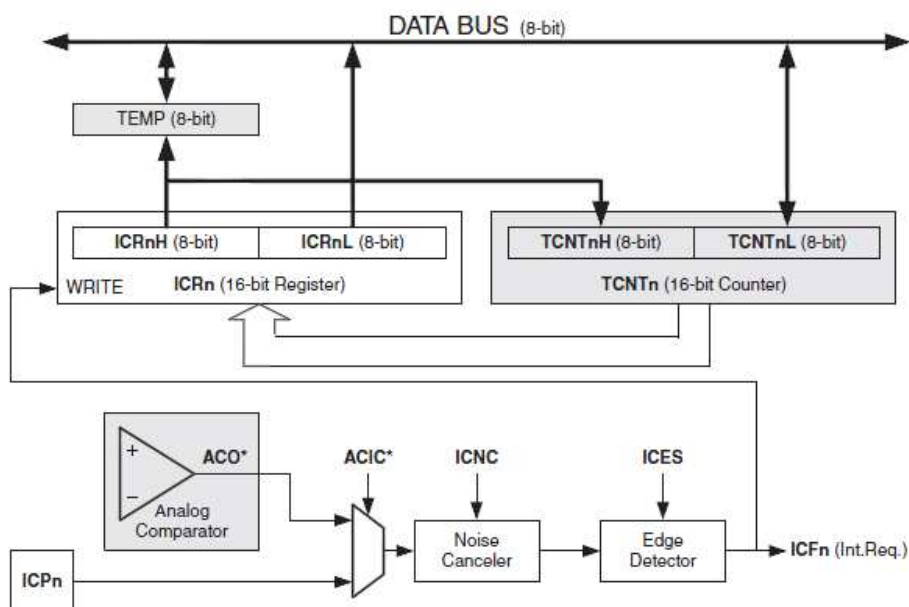


Obrázok 6.3: Simulačná schéma komparátora



Obrázok 6.4: Graf simulácie komparátora

Výstup komparátora vstupuje na kontakt mikrokontroléra ICP1. Program pri aktívovaní externej synchronizácie využíva algoritmus, ktorý porovnáva časový rozdiel 2 za sebou idúcich impulzov. Pri každom signále vyšle signál na bázu tranzistora, ktorý blikne LED diódami. Pri nastavení fázového oneskorenia vypočíta aktuálny čas oneskorenia a počká kým tento čas uplynie. Iba po uplynutí oneskorenia vyšle signál na bliknutie. Pre details algoritmu je doložený a popísaný zdrojový kód v elektronickej prílohe.



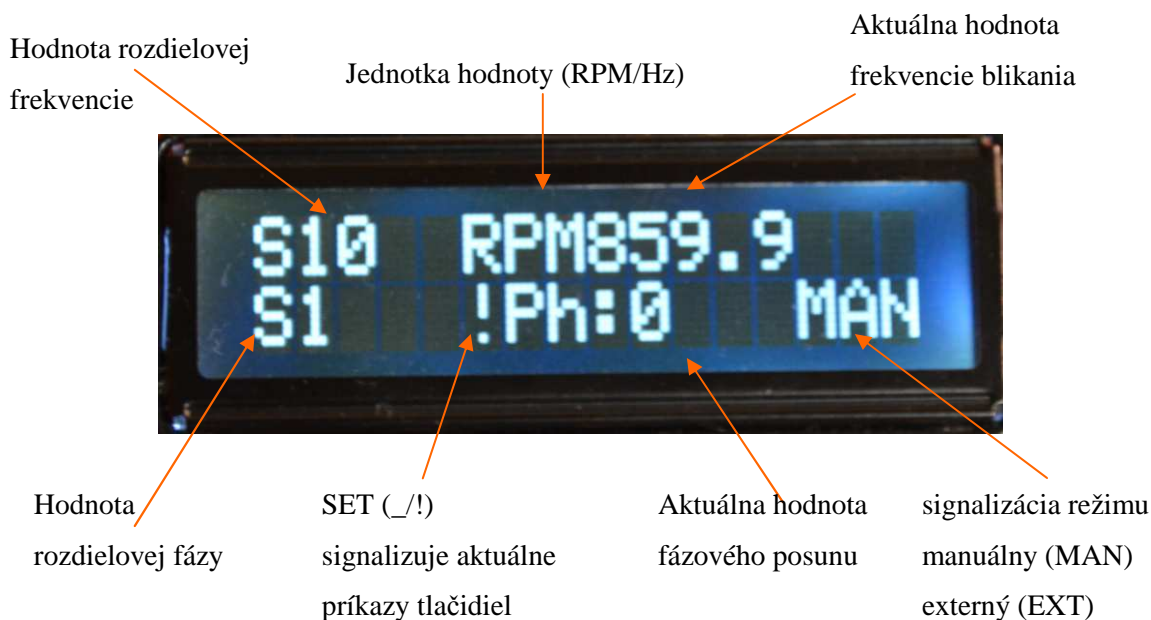
Obrázok 6.5: Bloková schéma jednotky „Input Capture“ [5]

6.4 Ovládanie prístroja

Prístroj sa ovláda pomocou tlačidiel. Každé tlačidlo má 2 typy príkazov. Pri ich stlačení sa splní príkaz podľa aktuálneho stavu SET. Tlačidlá majú popisky aby ich význam bol jednoznačný. K lepšiemu pochopeniu sú doložené obrázky nižšie.



Obrázok 6.6: Ukážka nastavovacej a signalizačnej časti prístroja

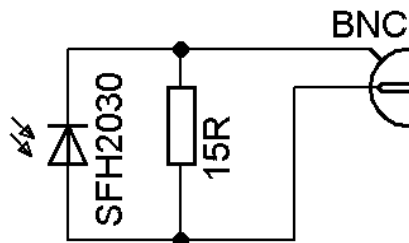


Obrázok 6.7: Vysvetlenie údajov na displeji

7 MERANIE PARAMETROV

Merania boli prevedené na nasledujúcich prístrojoch:

- PICOTEST G5100A 50 MHz - Function/Arbitrary waveform generator
- Fotodióda SFH2030 (zapojenie vid' Obrázok 7.1)
- Osciloskop UNI-T UT2025C
- LUTRON DT2249



Obrázok 7.1: Zapojenie fotodiódy

Nasledujúce tabuľky obsahujú výsledky merania prevedené na externom vstupe. Signál dodávaný prístrojom PICOTEST G5100A 50 MHz.

Sin 50mV	
Generátor	Merané
f[Hz]	f[Hz]
10,000	9,999
60,000	59,980
200,000	200,320
400,000	400,641
800,000	801,282
1500,000	1488,095
2000,000	2016,128

Tabuľka 7.1: Meranie externej synchronizácie na harmonický signál

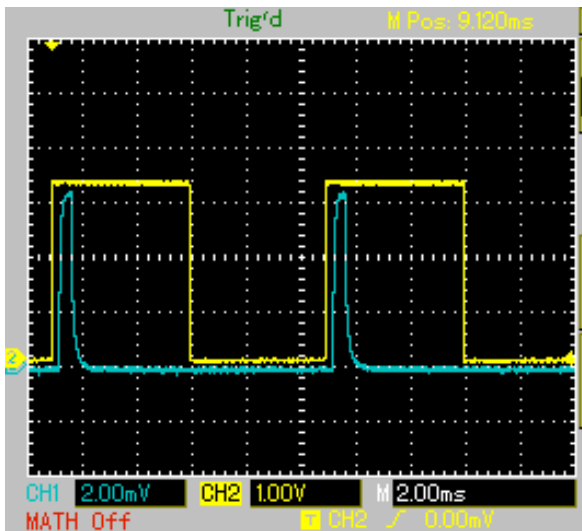
1 us pulz +5,5V	
Frek	Meran
f[Hz]	f[Hz]
2,000	1,999
20,000	19,999
50,000	50,000
100,000	100,000
300,000	300,490
1000,000	992,630
1500,000	1488,950
2000,000	2016,128

Tabuľka 7.3: Meranie externej synchronizácie na impulzný signál

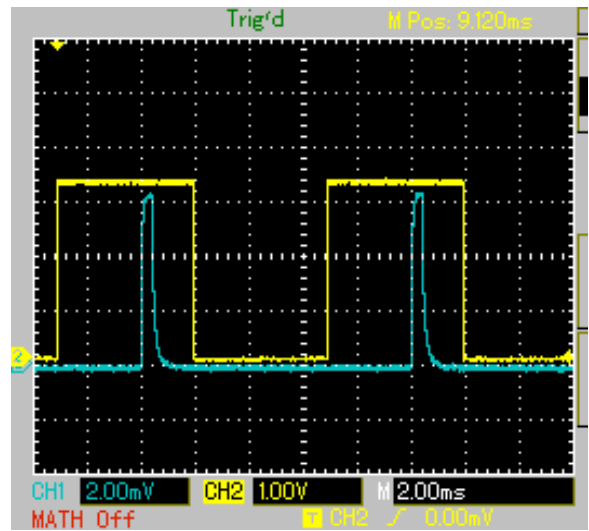
Square, 800 mV (Vpp), Duty 50	
Frek	Merané
f[Hz]	f[Hz]
50,000	50,000
50,040	50,040
80,000	80,025
120,000	119,961
150,000	149,880
210,000	209,731
420,000	419,463
488,000	488,281
600,000	600,916
1000,000	992,063
1500,000	1488,095
2000,000	2016,128
2800,000	2840,909
3500,000	3472,222
3900,000	3906,249

Tabuľka 7.2: Meranie externej synchronizácie na obdĺžnikový signál

Ukážka fázového posuvu pri externej synchronizácii



Obrázok 7.2: Ukážka pôvodného signálu

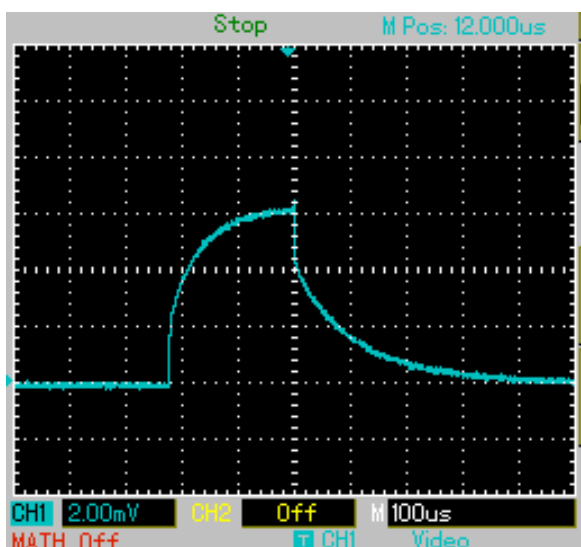


Obrázok 7.3: Ukážka fázového posuvu signálu o 90°

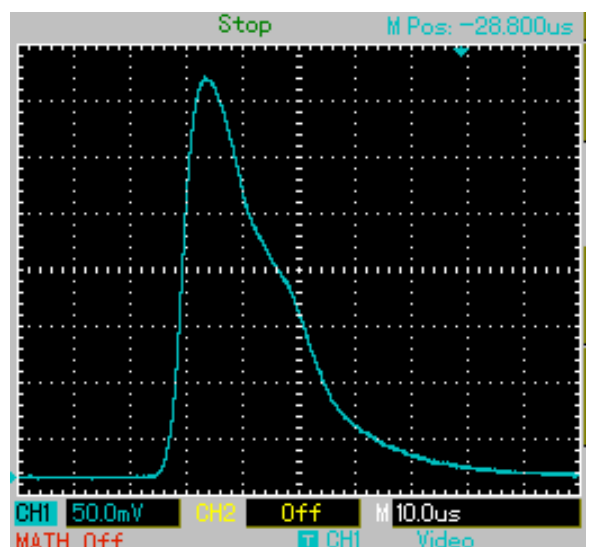
7.1 Meranie doby záblesku

Časové priebehy zábleskov realizovaného stroboskopu a stroboskopu • LUTRON DT2249 zobrazuje Obrázok 7.4 a Obrázok 7.5. LUTRON DT2249 šírku záblesku 30 μ s.

Realizovaný sproboskop má dobu záblesku 200 μ s. Je to dostatočne krátky záblesk aby vznikol stroboskopický jav. Tvar a dĺžka signálu by mohla byť modifikovaná ďalším rozvojom prístroja. Intenzita svetla záblesku nebola odmeraná.



Obrázok 7.4: Realizovaný sroboskop



Obrázok 7.5: LUTRON DT2249

ZÁVER

Počas vytvárania tohto projektu som si rozšíril vedomosti ohľadom merania otáčok. Dozvedel som sa čo všetko prináša návrh a konštrukcia meracieho prístroja. Zároveň som zdokonalil svoju zručnosť pracovať s návrhovým programom plošných spojov Eagle 6.1.0. Neposlednej rade som si prehĺbil vedomosti z oblasti programovania mikrokontrolérov a rozvinul svoje programátorské zmysľovanie.

Navrhnutý stroboskop umožňuje všetky funkcie, ktoré boli v zadaní bakalárskej práce. Externá synchronizácia a fázový posuv sú otestované a fungujú. Externá synchronizácia má presnosť 0,01% v rozsahu používania. Bol testovaný do 4000 Hz presnosťou 1%. Prístroj dodáva dostatočnú intenzitu a svetla a krátku dobu impulzu aby vznikol stroboskopický jav. Algoritmus ktorý riadi rozsvietenie by potreboval doladenie, aby sa šírka impulzu sa ešte viac skrátila. Z bezpečnostných dôvodov sa rozsah prístroja zredukoval na 24000 RPM (400 Hz). Je to kvôli ochrane pred preťažením LED diódy a spínacieho tranzistora.

Pri konštrukcii bol kladený dôraz na ergonomický tvar krabice.

Ako každé zariadenie aj toto by mohlo byť ďalej rozšírené o ďalšie funkcie, napr.: možnosť memorizovať nastavenia.

Navrhnutý stroboskop umožňuje väčšinu funkcií, ktoré ovládajú ostatné štandardné komerčné stroboskopy. Tento projekt obsahuje funkčný zdrojový kód mikrokontroléra, návrh plošného spoja, zhotovenie celého meracieho prístroja a klasifikačné meranie prístroja. Pri návrhu plošného spoja boli zohľadnené parametre zvoleného krytu prístroja.

Výsledkom tejto práce je oživený funkčný stroboskopický otáčkomer s doplnkami a programátor mikrokontroléra, ktorý sa použil na jeho naprogramovanie a ladenie. Prístroj sa dá použiť ako stroboskopický otáčkomer a merač frekvencie.

Literatura

- [1] ĎAĎO, S., KREIDL, M. - Senzory a měřicí obvody. Vydavatelství ČVUT, Praha, 1996. ISBN80-01-01500-9.
- [2] Using stroboskop to measure RPM [online]. 2000 [cit. 2011-12-10]. Dostupné na URL: <<http://www.monarchinstrument.com/pdfs/Strobe%20for%20RPM.pdf>>.
- [3] Qtest [online]. Stroboskopy. 2009 [cit. 2011-12-10]. Dostupné na URL: <<http://www.qtest.cz/mereni-otacek/stroboskopy.htm>>.
- [4] An LED stroboscopore [online]. 2004 [cit. 2011-12-12]. <<http://robots.freehostia.com/Circuits/Stroboscope/Stroboscope.html>>.
- [5] ATmega16 [datasheet]. Netherlands : Atmel Corporation, 2003. [online]. 2011 [cit. 2011-12-8]. Dostupné na URL: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2486.pdf>
- [6] RUCK, L.: Biprog - nejen ISP programátor [online]. Aktualizováno 16. 6. 2008 [cit. 2011-12-28]. Dostupné na URL: <<http://web.quick.cz/ruckl/biprog/biprog.html>>
- [7] PROKOP, M., RUSŇÁK, J.: Snímače otáčok [online]. 2004 [cit. 20012-12-30]. Dostupné na URL: <<http://www.elektronicke-systemy.sk/rusnak/automatizacia/prs/snimace-otacok.pdf>>
- [8] Perkin Elmer: ACULED VHL 5555 datasheet [online]. 2011 [cit. 20012-11-28]. Dostupné na URL: http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/511/511-285/dsh.511-285.2.pdf
- [9] Urbanis s.r.o. [online]. 2008-2011, [cit. 2012-3-10] Dostupné na URL <<http://www.nejvykonnejsi-led-svitilny.cz/porovnani-led-a-xenon-technologie-pro-svitilny/led-versus-xenon.html>>.
- [10] OSW5DKA131A [datasheet]. .OptoSupply. Dostupné na URL <<http://www.optosupply.com/UploadFile/PDF/osw5dka131a.pdf>>
- [11] MONARCH INSTRUMENT, Instruction Manual Nova-Strobe DA Plus and Nova-Strobe DB Plus Portable Stroboscopes . Dostupné na URL: <http://www.monarchinstrument.com/pdfs/manuals/1071-4810-114.pdf>
- [13] CSERI, P. Systém řízení slunečních kolektorů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 64s. Vedúci diplomovej práce bol doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.
- [14] SFH618-2X [datasheet]. Dostupné na URL: <<http://www.datasheetcatalog.com>>.
- [15] Texax Instruments, LM2903 [datasheet]. Dostupné na URL: <<http://www.ti.com/product/lm2903>>.

Zoznam skratiek a symbolov

cca	–	circa, približne
char.	–	charakter, znak
DPS	–	doska plošného spoja
f	–	frekvencia, kmitočet
FPM	–	bliknutia za minútu (flash per minute)
LCD	–	displej z tekutých kryštálov (liquid crystal display)
LED	–	dióda vyžarujúca svetlo (Light-Emitting Diode)
MC	–	mikroradič
MIPS	–	milión inštrukcií za sekundu
RPM	–	otáčky za minútu (rotation per minute)
TTL	–	tranzistorovo-tranzistorová logika (transistor-transistor-logic)
μsec	–	μs, mikrosekunda

Zoznam príloh

Príloha 1 Schéma zapojenia plošného spoja riadiacej časti stroboskopu

Príloha 2 DPS stroboskopu a jeho súčastí (pohľad zo strany spojov)

Príloha 3 Osadenie súčiastok na DPS stroboskopu

Príloha 4 Rozpis súčiastok

Príloha 5 Finálny vzhľad, fotodokumentácia prístroja

Príloha 6 Popisy prístroja

Príloha 7 DVD

Obsah DVD

Bakalárska práca v elektronickej podobe:

Návrh schémy a plošného spoja:

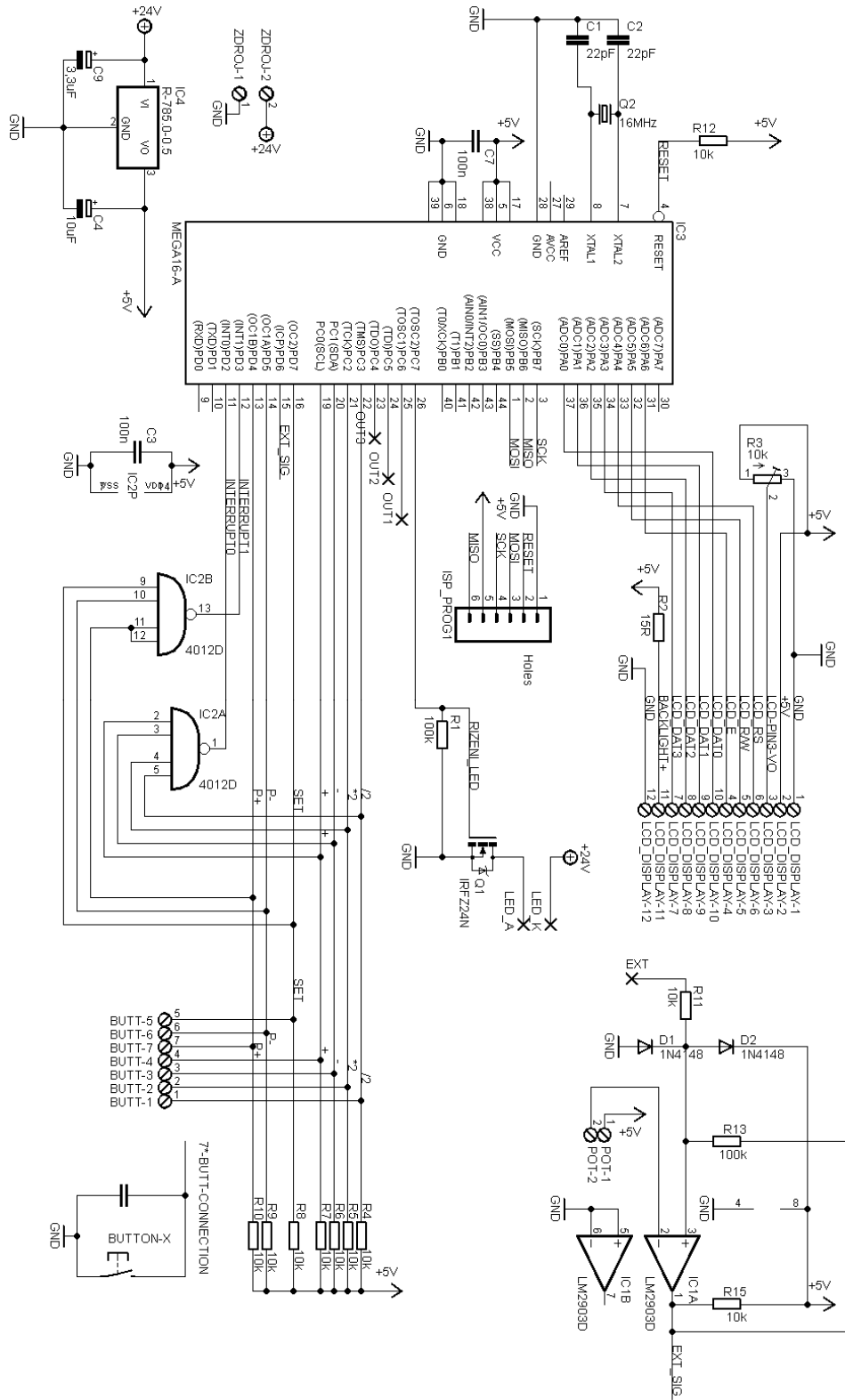
Návrh schémy krabice prístroja

Software pre stroboskop:

Fotodokumentácia prístroja

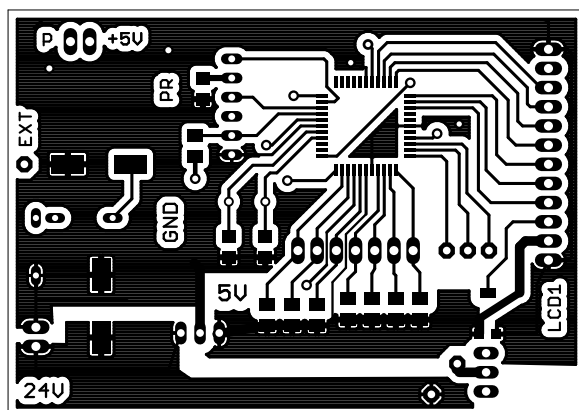
Ukážka videa použitia v praxi

Príloha 1 Schéma zapojenia plošného spoja riadiacej časti stroboskopu

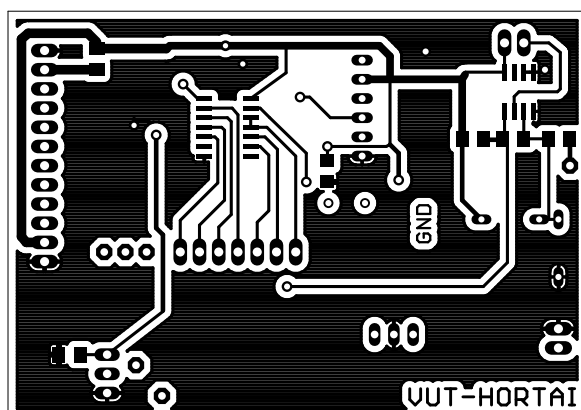


Príloha 2 DPS stroboskopu a jeho súčastí (pohľad zo strany spojov)

Horná časť



Spodná časť:



Príloha 4 Rozpis súčiastok

Rozpis súčiastok na DPS:

Označenie	Typ / Hodnota	Puzdro
C1, C2	22pF kondenzátor	C1206
C3, C7	100n kondenzátor	C1206
C4	10uF kondenzátor	150CLZ-1014
C9	3,3uF kondenzátor	150CLZ-1014
D1, D2	1N4148 dióda	DO35-7
EXT	PIN	2,15/1,0
IC1	LM2903D komparátor	SO08
IC2	4012D (2x4NAND)	SO14
IC3	MEGA16-A	TQFP44
IC4	R-785.0-0.5 (DC-DC menič)	TO220V
ISP_PROG1	6 samica pin kontakt	
LCD_DISPLAY	12 Pin	12POL254
LED_A, LED_K	Pin	2,15/1,0
OUT1, OUT2, OUT3	Pin	2,15/1,0
POT	2 Pin	2POL254
Q1	IRFZ24N (tranzistor)	TO220BH
Q2	16MHz kryštalicový osc.	HC49/S
R1, R13	100k rezistor	M1206
R2	15R rezistor	M1206
R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R15	10k rezistor	M1206
ZDROJ	2 Pin	2POL254

Rozpis súčiastok použitých v krabici prístroja:

Označenie	Typ / Hodnota	Popis funkcie
Display	BC1602AFNHEH	2x16 charakterový displej
BUTT	P-PB11 -7 krát na panelu	Navigačné tlačidlá
SOURCE / BATTERY	P-KNX2 -2 pólový prepínač do panelu ON-ON	Voľba zdroja energie
SIGNAL INPUT	3,5 stereo jack konektor	Externá synchronizácia
LAMP	PB-22E08 – ON/OFF tlačidlo	Bodové LED
ON/OFF LCD Light	P-SM101-1B3	LCD podsvietenie
ON/OFF	P-H8550VB01	Hlavný vypínač, zapínač prístroja
24V DC	K3716B - súosý konektor do panela 5,5 x 2,5mm	Konektor na zdroj
R1	10R/2W rezistor	Predradený odpor na LCD podsvietenie
POT	PC1221NK010 - 10k potenciometer 12mm – mono	Externá synchronizácia
IC1	R-785.0-0.5 (DC-DC menič)	LCD podsvietenie
C1 C7, C8	3,3uF elektrolyt kondenzátor	LCD podsvietenie, LED
C4, C6	1uF fóliový kondenzátor	LED
C9	100uF elektrolyt kondenzátor	LED

Príloha 5 Finálny vzhľad, fotodokumentácia prístroja







Príloha 6 Popisy prístroja

	SET OFF	PHASE -	PHASE +	FREQ /2	FREQ -	FREQ +	FREQ x2
	SET ON!	Dphase-	Dphase+	MAN/EXT	Dfreq-	Dfreq+	RPM/HZ

Stroboskopický otáčkoměr

VUT Brno



F E K T

Ústav automatizace a měřicí techniky

ext signal sense +

Stroboskopický otáčkoměr

VUT Brno



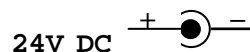
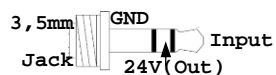
F E K T

Ústav automatizace a měřicí techniky

ON

OFF

SIGNAL INPUT



24V DC

BATTERY

ON

LCD light

24V DC

SOURCE

OFF

Príloha 7 DVD