

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

BEZKONTAKTNÍ OTÁČKOMĚR PRO TOČIVÉ STROJE

CONTACTLESS REVOLUTIONS COUNTER FOR ROTARY MACHINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE **JIŘÍ ZATLOUKAL**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE **ING. DANIEL ZUTH, PH.D.**
SUPERVISOR

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jiří Zatloukal

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902R001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Bezkontaktní otáčkoměr pro točivé stroje

v anglickém jazyce:

Contactless revolutions counter for rotary machines

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Při diagnostice strojů pomocí frekvenční analýzy je velmi vhodné znát i aktuální otáčky stroje. Jeden ze způsobů jak efektivně a levně vyhodnotit otáčky je otáčkoměr pracující na principu odrazu světla. Jako řídící jednotku se doporučuje pro své vlastnosti využít mikrokontrolér. Práce je součásti řešení VVZ MSM 0021630529 - Inteligentní systémy v automatizaci.

Cíle bakalářské práce:

- Zpracovat problematiku měření otáček
- Vybrat vhodné prvky pro realizaci
- Navržené prvky otestovat
- Navrhnout řídicí jednotku
- Realizovat a otestovat otáčkoměr

Seznam odborné literatury:

- MATOUŠEK D.: Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR – Atmega16, BEN, 2006
- BURKHARD M.: C pro mikrokontroléry, BEN, 2004
- Firemní literatura

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Daniel Zuth, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne

L.S.

Ing. Jan Roupec, Ph.D. Ředitel ústavu	prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc. Děkan fakulty

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Danielu Zuthovi, Ph.D za čas, cenné rady a pomoc při realizaci a zpracování této bakalářské práce.

ABSTRAKT

Bakalářská práce je rozdělena na dvě části. Zabývá se nejprve přehledem způsobů měření otáček od historie až po současné metody. V druhé části je návrh a výroba vlastního stroboskopického snímače otáček a snímače otáček v infračerveném spektru. Vše je realizováno v nepájivém poli a za pomoci vývojového kitu EvB 4.3, který je osazen mikrokontrolérem Atmega 644p.

ABSTRACT

The Bachelor's Thesis consists of two parts. At first it deals with methods of the speed rotary measurement summary from history to the current methods applied. In the second part we can see a project and the actual production of the strobe rotation speed scanner and IR rotation speed scanner. All it is implemented in the solderless breadboard and under employment of the development kit EvB 4.3 based with the microcontroller Atmega 644p.

KLÍČOVÁ SLOVA

Měření otáček, otáčkoměr, mikrokontrolér, AVR, Atmega 644p, Stroboskopické snímání otáček, Infračervené snímání otáček , CodeVision AVR, Vývojový kit EvB 4.3.

KEYWORDS

Rotation speed measurement, revolutions counter, microcontroller, AVR, Atmega 644p, rotation speed strobe scanning, IR rotation speed scanning, CodeVision AVR, development kit EvB 4.3.

Obsah:

Zadání závěrečné práce.....5
Poděkování.....7
Abstrakt.....9
1 Úvod.....13
2 Měření otáček.....15
2.1 Kontaktní měření otáček a jeho principy.....15
2.1.1 Odstředivý otáčkoměr.....15
2.1.2 Magnetický otáčkoměr.....16
2.1.3 Magnetický otáčkoměr s elektrickým přenosem.....16
2.1.4 Kapacitní otáčkoměr 17
2.1.5 Tachodynamo (generátor stejnosměrný) 17
2.1.6 Tachoalternátor (generátor střídavý).....17
2.2 Bezkontaktní měření otáček a jeho principy.....18
2.2.1 Fototachometry 18
2.2.2 Stroboskopické otáčkoměry.....19
2.2.3 Indukční magnetický bezkontaktní otáčkoměr.....20
2.2.4 Hallův snímač 20
2.2.5 Rotační snímač (Enkodér).....21
3 Stavba otáčkoměru.....23
3.1 Vývojový kit EvB 4.3 – v3.....23
3.1.1 Podrobný obsah kitu EvB 4.3 – v3.....23
3.1.2 Mikrokontrolér Atmega644p.....24
3.2 Výběr vhodných elektronických součástek.....27
3.3 Způsob otestování součástek.....29
4 Program Mikrokontroléru.....31
4.1 Program otáčkoměru.....32
4.1.1 Inicializace LCD displeje.....32
4.1.2 Tvorba a ovládání menu.....33
4.1.3 Program a ovládání stroboskopu.....34
4.1.4 Program infračerveného snímače.....35
Celkové zapojení pinů vývojového kitu a sondy, ovládání 37
5 Závěr.....39
Seznam příloh :.....40
Seznam použité literatury.....41

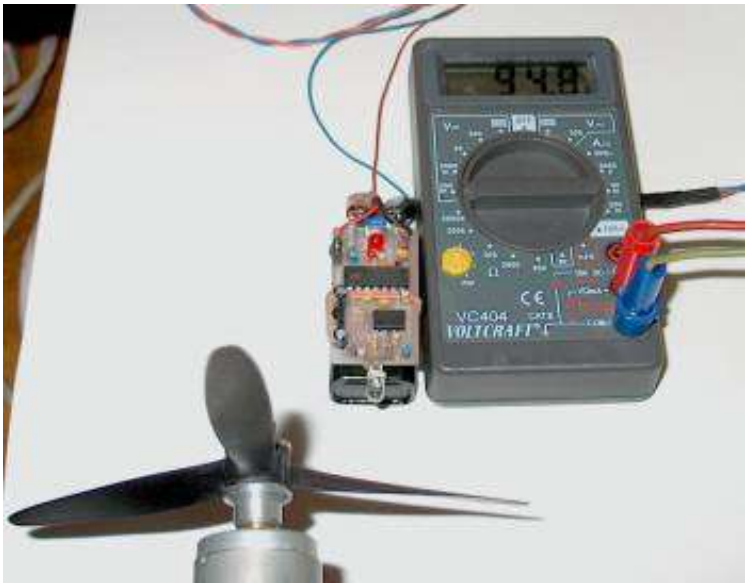
1 ÚVOD

Měření otáček je v praxi velmi častým a důležitým úkolem. Jedná se například o kontrolu rychlosti otáčení motorů, hřídelí, řemenic, ozubených kol, generátorů a jiných rotujících částí strojních zařízení nebo měření obvodové rychlosti těchto součástí.



Obr. 1 Otáčkoměr pro bezkontaktní měření .[1]

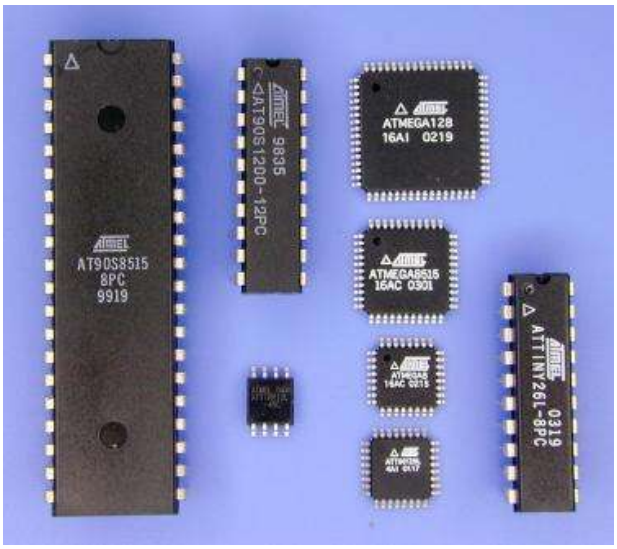
Je životně důležité znát například otáčky vrtulí letadel, automobilových hřídelů, lodních šroubů a dalších točivých strojů, aby bylo možné vypočítat účinnost pohonu motorů nebo bezpečnost použitých materiálů.



Obr. 2 Měření otáček vrtule modelu letadla optickým snímačem pomocí multimetru. [2]

V dnešní době se velmi často užívají impulzní metody měření otáček, kde jsou impulzy generovány magneticky, opticky a podobně. Tyto impulzy je pak nutné zpracovat vhodným

způsobem. Jednodušším způsobem pro zpracování elektrických impulzů může být například využití analogového voltmetru, kde se využívá setrvačnosti ručičky a upravená stupnice nám ukazuje přibližný počet otáček. U složitějších způsobů se využívá mikroprocesorové techniky, a to buď počítače s vhodným softwarem nebo jednodušších a pro měření otáček dostačujících mikrokontrolérů.



Obr. 3 Různé typy mikrokontrolérů ATMEL[3]

2 MĚŘENÍ OTÁČEK

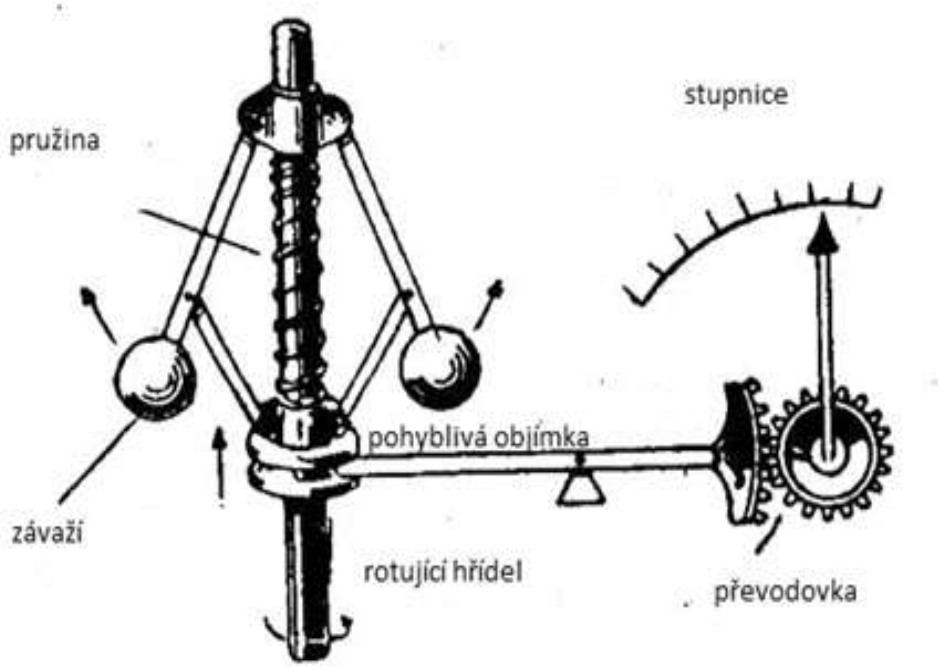
Měření otáček lze z principu realizovat dvěma způsoby a to kontaktním měřením otáček a bezkontaktním měřením otáček.

2.1 Kontaktní měření otáček a jeho principy

Kontaktní měření otáček vyžaduje dotyk. Pro měření existují například ruční přístroje. Tyto přístroje snímají rotační pohyb například řemenice, hřídele nebo kola v jejich ose (často s využitím soustružnického vpichu) nebo obvodovou rychlost přiložením snímacího kolečka k obvodu rotující části stroje. Pro snímání rotačního pohybu jsou tyto přístroje vybaveny různými výměnnými nástavci s gumovým povrchem, přizpůsobenými pro jednotlivá měření. Při měření obvodové rychlosti hřídele s malým průměrem je tento způsob vhodnější, nebo dokonce jediný možný než bezdotykové měření otáček. Stejně je tomu tak při nevhodném uspořádání měřených součástí.

2.1.1 Odstředivý otáčkoměr

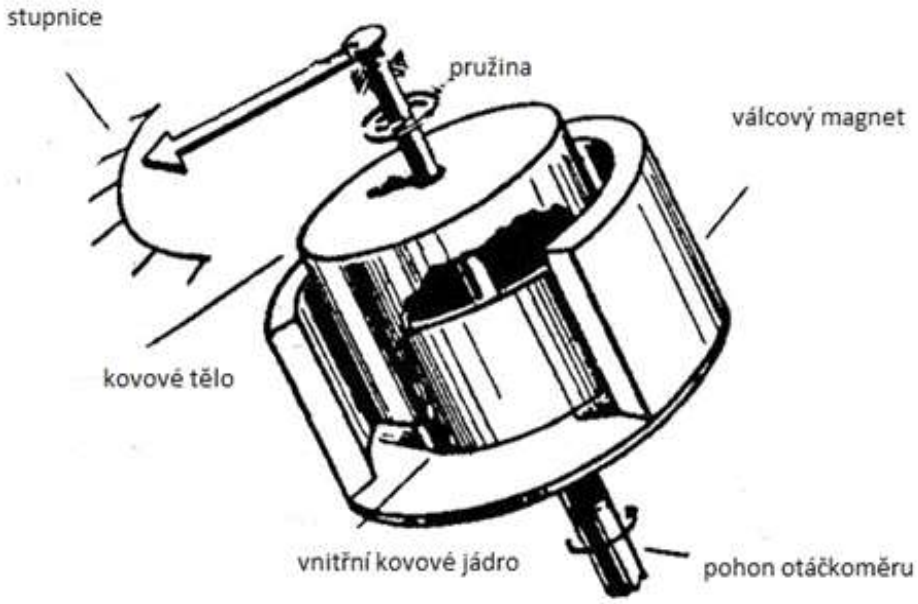
Jedním z prvních otáčkoměrů byli odstředivé otáčkoměry. Pracují na principu Wattova regulátoru.Využívají odstředivou sílu rotujícího závaží. Skládají se z převodovky a převodu na ukazatel, závaží a pružiny. Závaží se v důsledku rotace hřídele snaží vzdálit dokud nedojde k vyrovnání odstředivé síly a síly pružiny. Pro určitou rychlost otáček tedy odpovídá určitá poloha objímky a tím i polohy ručičky na stupnici. Tyto otáčkoměry se již nepoužívají. Jejich problémem je nutnost pohonu ohebným hřídelem a nutnost neustálého mazaní. Nejčastější závady byly právě v důsledku poruchy mazání.[4]



Obr. 4 Mechanický odstředivý otáčkoměr [4]

2.1.2 Magnetický otáčkoměr

Jednoduché magnetické otáčkoměry se používají pro přímé měření otáček nebo pro měření v blízkosti otáčející se součásti. Používají se u automobilů jako tachometry a také pro kontrolní měření otáček. Hlavním prvkem otáčkoměru je otočný magnet, hřídelí spojený s rotující součástí. Magnet je obklopen kovovým hrníčkem, který je hřídelí spojen s ukazující ručičkou. Magnet a hrníček nejsou nijak spojeny. Rotací magnetu se v hrníčku indukuje elektromotorické napětí, a vzniká elektrický proud, který vytváří vlastní magnetické pole. To se snaží ustálit s magnetickým polem magnetu. Hrníček se tedy natáčí ve smyslu otáčení magnetu, přičemž jeho úplnému otáčení brání spirálová pružina. Když je indukovaná magnetická síla v rovnováze se silou spirálové pružiny, ručička otáčkoměru se ustálí. Pro pohon otáčkoměru tedy slouží ohebná hřídel, která se v případech, kdy je otáčkoměr umístěn ve větší vzdálenosti od zdroje rotačního pohybu (např. v letadle) nahrazuje trojfázovým kabelem, pak jde o elektrický přenos rotačního pohybu. [4]



Obr. 2 Magnetický mechanický otáčkoměr[4]

2.1.3 Magnetický otáčkoměr s elektrickým přenosem

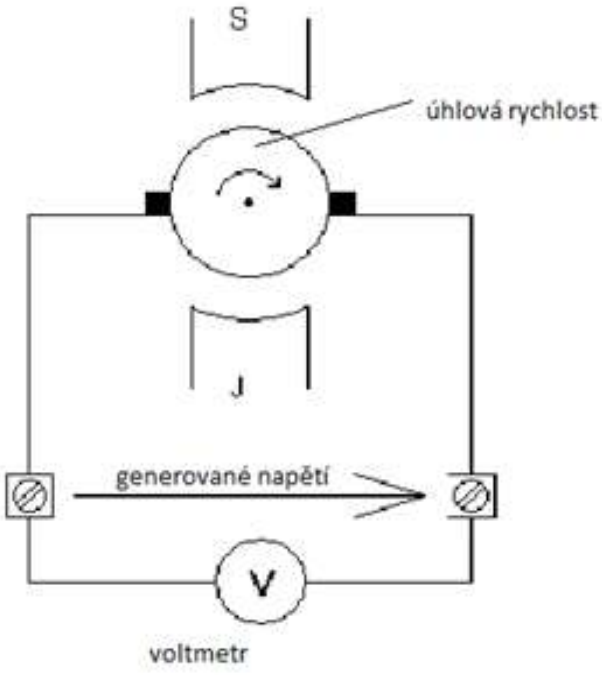
Rotující část je spojena s permanentním magnetem. To vytváří rotor malého třífázového synchronního alternátoru, který je spojen třífázovým vedením se synchronním třífázovým motorkem. Rotor indukuje třífázové napětí které se přenáší do motorku a roztáčí ho stejnou rychlostí jako je rychlost otáčení měřené součásti. Rychlost otáčení motorku se měří magnetickým otáčkoměrem. Ten má většinou dvě ručičky s převodem a několik stupnic, a to díky tomu, že stupnice otáčkoměru může být rozprostřena na velký středový úhel a je stále rovnoměrná. Tento typ magnetického otáčkoměru se používá hlavně u letadel. [5]

2.1.4 Kapacitní otáčkoměr

Využívá principu kondenzátoru s proměnou kapacitou. Využívá se změna vzdáleností elektrod nebo změna plochy elektrod. Nevýhodou je že měří jen malé natočení.

2.1.5 Tachodynamo (generátor stejnosměrný)

V poli permanentního magnetu se nachází kotva dynama spojená s měřenou rotující částí. Při otáčení se indukuje elektromotorické napětí. Toto napětí je přímo lineárně úměrné úhlové rychlosti otáčení. Vnitřní odpor zatížené kotvy způsobuje úbytek elektromotorického napětí, proto je skutečné svorkové napětí menší. Zatěžovací odpor proto bývá předepsán z výroby. Výsledné napětí dynama a tedy i otáčky za minutu lze měřit klasickým voltmetrem. Nevýhodou tachodynama je použití klasického sběracího komutátorového a kartáčkového ústrojí.[5]



Obr. 6 Princip fungování tachodynama[5]

2.1.6 Tachoalternátor (generátor střídavý)

Generátor s otočným magnetem

Rotor je tvořen permanentním magnetem, spojeným s rotační součástí. Za rotace tento magnet indukuje do statorové cívky elektromotorické střídavé napětí, přímo úměrné rychlosti otáčení. Tachoalternátor tedy nemá sběrací ustrojí, střídavé napětí se získává z cívek, které se nepohybují. Toto napětí se měří klasickým voltmetrem. Změnou rychlosti otáčení měníme napětí a také kmitočet. Ten je závislý na úhlové rychlosti rotace a je dán vztahem $f=pn/60$ [Hz], kde p je počet pólových dvojic rotoru a n je počet otáček za minutu. Proto je možno místo voltmetru k zobrazení otáček za minutu použít měřič kmitočtu. Tohoto se využívá při přesnějším měření otáček, protože kmitočet se při změně magnetického pole, teploty, tedy odporu obvodu nemění, kdežto napětí ano. [5]



Obr. 7 Ukázka tachometrického generátoru [7]

Generátor s bubínkovým rotorem

Jedna ze dvou pevných statorových cívek je trvale připojena na střídavou síť, a má funkci budícího vynutí. Druhá, snímací cívka je připojena na voltmetr. Obě cívky jsou prostorově natočeny o 90°. Budící cívka vytváří magnetický tok, který nezasahuje do snímacího vinutí a nevytváří žádné elektromotorické napětí. Roztočením bubínkového rotoru, protínají jeho stěny magnetický tok z budící cívky a do rotoru se indukuje elektromotorické napětí. Směrem, podle pravidla pravé ruky, prochází stěnami bubínku proud. Tento proud vytváří v bubínku vlastní magnetický tok kolmý na magnetický tok budící cívky, a tento magnetický tok prochází snímacím vinutím a indukuje elektromotorické voltmetrem měřené napětí.[5]

2.2 Bezkontaktní měření otáček a jeho principy

Bezkontaktní měření otáček nepotřebuje dotyk a pohyb se snímá například světelným paprskem nebo magneticky. Nedá se však říci, že je vždy výhodnější nebo lepší, ale je ve většině případů jednodušší a praktičtější. Obě metody se tedy vzájemně nenahrazují, ale doplňují. Vhodným řešením pro univerzální použití jsou proto kombinované měřiče otáček.

2.2.1 Fototachometry

Otáčkoměr vysílá trvale, nepřerušovaně světelný paprsek (viditelné světelné spektrum nebo infračervené světelné spektrum). Tento paprsek dopadá na nalepovací odrazový materiál, který je nalepen na měřené rotující části. Tento odrazový materiál vždy při otáčce rotující části odrazí světelný paprsek zpět do otáčkoměru a ten je snímán optikou (fotodiodou, fototranzistorem) otáčkoměru, převáděny na elektrické impulsy a počítány přesným čítačem. Poté je jejich frekvence vyhodnocována a výsledek je zobrazen na displeji. Měření není závislé na lidském faktoru a díky tomu má značný měřící rozsah a hodnoty měření jsou jednoznačné a přesné.



Obr. 8 Ruční laserový otáčkoměr AT-6 [8]

2.2.2 Stroboskopické otáčkoměry

Stroboskopické snímání otáček využívá setrvačnosti lidského oka.Viditelný světelný paprsek je vyzařován přerušovaně s nastavitelnou frekvencí. Jakmile se tato rychlost blikání shoduje s rychlostí otáčení měřené součásti, pak se měřená součást opticky zastaví.

Základním prvkem stroboskopu je zdroj světelného parsku. A to buď výkonná halogenová výbojka nebo výkonná LED dioda. Při měření v nepříznivých podmínkách s velkým okolním osvětlením nebo s velkou vzdáleností od měřeného předmětu je potřeba velmi silný zdroj světla. Zde je proto vhodnější použití stroboskopu s halogenovou výbojkou. Tento zdroj světla vyzařuje velmi krátké záblesky, jejichž frekvenci lze regulovat. Většinou se tato frekvence postupně pomalu zvyšuje a měřený předmět opticky zpomaluje až se úplně zastaví, tehdy je frekvence blikání shodná s otáčkami. Měřený předmět se opticky zastaví i v případě kdy je frekvence blikání dvojnásobná, trojnásobná atd. Proto je nutné začít měřit s velmi nízkou frekvencí blikání. Na displeji se zobrazuje frekvence záblesků a tedy i velikost rychlosti otáček. Při měření stroboskopickým otáčkoměrem je nutno zohlednit lidský faktor. Měření tedy není jednoznačné a natolik přesné jako měření fototachometrem. Naproti tomu je možné měřit rotující součást na kterou z technologického hlediska není možné umístit odrazový materiál. Na měřené součásti se ale musí vyskytovat nějaký bod, který je možno sledovat, například drážka, rýha, součástka, výstupek a podobně, nebo se musí tento sledovaný bod vytvořit například fixem nebo křídou. V případě měření malého průměru hřídele je možné upevnit na hřídel stroboskopický kotouč, na kterém se rychlost otáčení lépe posuzuje. Některé stroboskopy umožňují měřit kromě otáček i některé další parametry, např. fázi a zpoždění.

2.2.3 Indukční magnetický bezkontaktní otáčkoměr

Malý permanentní magnet je umístěn na rotující hřídeli v blízkosti pevného vinutí. Ten při rotaci indukuje napěťové impulzy úměrně rychlosti otáčení. Tyto impulzy lze měřit například čítačem. Ten zaznamenává impulzy na vstupu, vyhodnocení je pak na výstupu čítače v podobě nějakého kódu.

Při jiné možnosti využívání tohoto principu se magnet vloží přímo do vinutí a tento celek se umístí proti nějaké nerovnosti na hřídeli (drážka, klín, šroub, apod.) Tok permanentního magnetu se mění změnou magnetického odporu a na vinutí se opět indukují napěťové impulzy. [6]

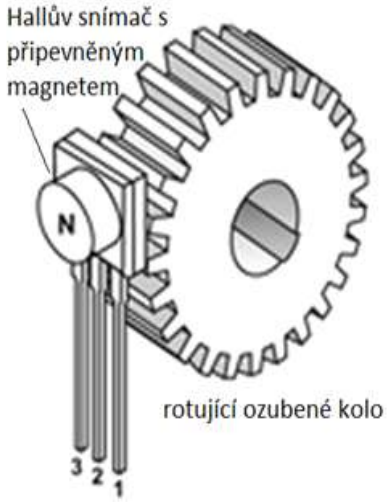
2.2.4 Hallův snímač

Hallův jev vzniká vychylováním směru toku elektrického proudu v závislosti na velikosti indukce magnetického pole se na bocích Hallova elementu generuje rozdílné napětí přímo úměrně na velikosti působícího magnetického pole nebo jeho kolmosti vzhledem k destičce. Hallův element je tenká polovodičová křemíková destička, umístěna kolmo k magnetickému poli.



Obr. 9 Ukázka Hallova snímače a Hallova elementu [10]

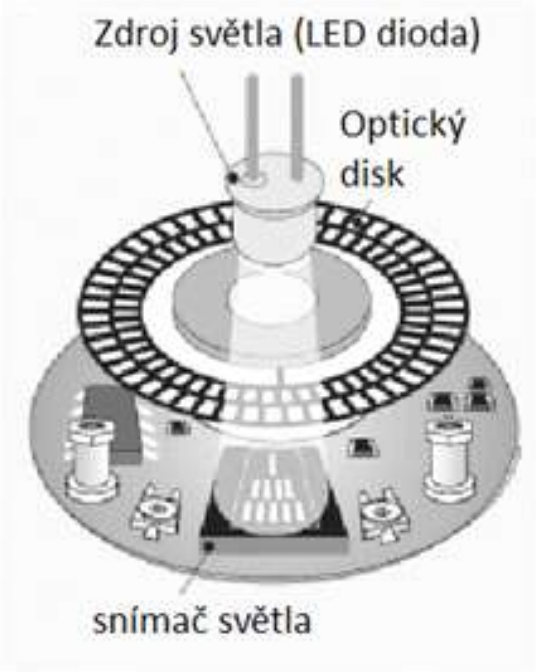
Pro měření otáčení například ozubeného kola je využit Hallův snímač ke kterému je zezadu připevněn permanentní magnet, který vytváří kolmé konstantní magnetické pole. Toto magnetické pole se mění s velikostí vzduchové mezery. Metoda tedy vhodná právě pro ozubené kolo, ale i pro jiné kotouče s prohlubněmi, drážkami, otvory a podobné.[9]



Obr. 10 Ukázka využití Hallova snímače [9]

2.2.5 Rotační snímač (Enkodér)

Jde o elektromechanický převodník, který převádí rotační pohyb na sekvence elektrických digitálních impulzů. Základní částí je optický disk s průhlednými okénky spojený s osičkou snímače. Zbytek disku je černý a neprůhledný a pohlcuje světlo. Před diskem je světelný zdroj, nejčastěji LED dioda, která vysílá světelný paprsek. Ten prochází jen průhlednými okénky disku. Na druhé straně disku je světelný snímač, který procházející impulzy světla přijímá. Tyto impulzy se převádí na elektrické, a ty se dále mohou zpracovávat různými řídícími přístroji. Vygenerované impulzy je možné používat ke kontrole rotačních, případně i lineárních pohybů. Hlavní využití těchto snímačů je v obráběcích strojích, při zpracování materiálu, v robotech, elektromotorech, měřících a řídících systémů se zpětnou vazbou a podobně.[11]



Obr. 11 Princip rotačního enkodéru [11]



Obr. 12 Tip miniaturního enkodéru STEC12E08 ALPS [12]

3 STAVBA OTÁČKOMĚRU

Otáčkoměr bude mimo jiné používán i ve výuce předmětu Automatická diagnostika a mikroprocesorová technika. Proto byla vlastní konstrukce otáčkoměru zvolena, z důvodu přehlednosti a rozšiřitelnosti, v nepájivém poli a za použití vývojového kitu EvB 4.3 s mikrokontrolérem Atmega 644p od firmy And-Tech. Otáčkoměr má dvě funkce, a to stroboskopickou část a fototachometrickou část. Stroboskopická část je realizována čtyřmi led diodami. Fototachometrická část byla vytvářena v infračerveném světelném rozsahu, a to hlavně kvůli většímu výběru součástek a nižšímu rušení okolním světlem.

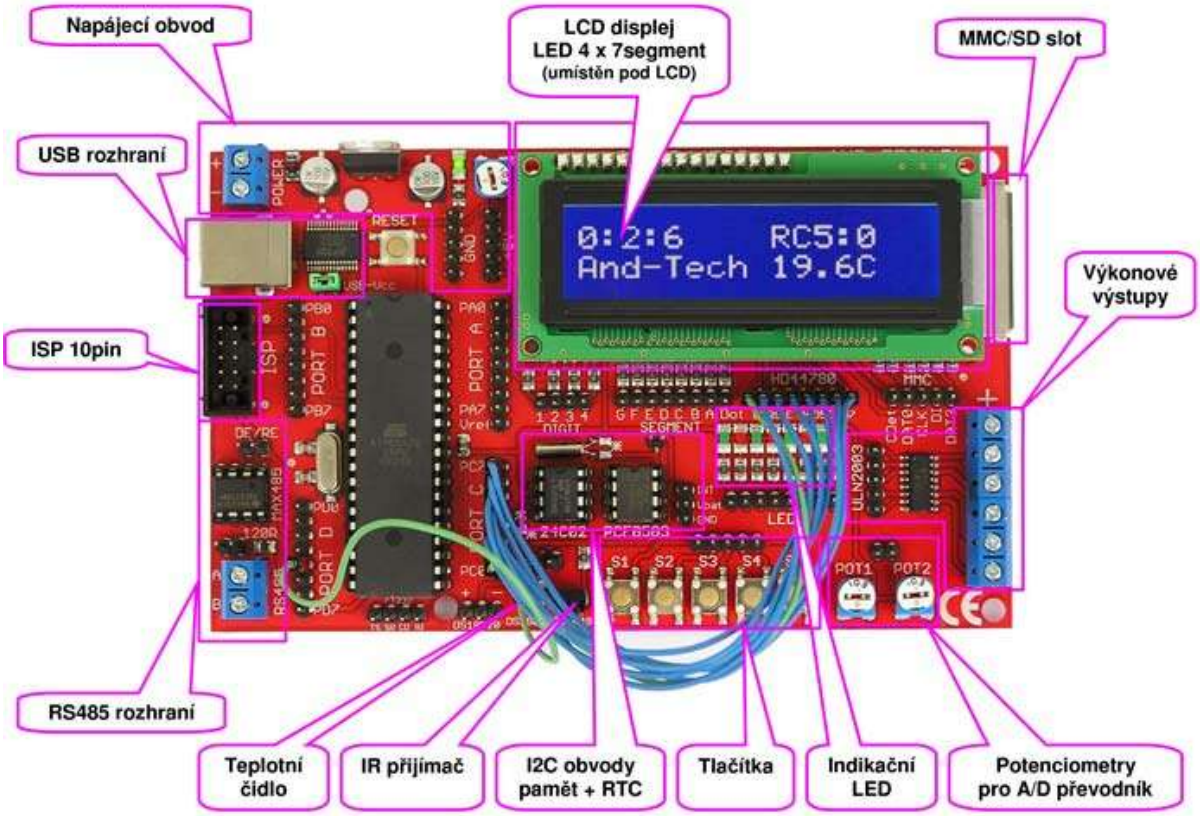
3.1 Vývojový kit EvB 4.3 – v3

Jedná se o univerzální kit s vlastním mikrokontrolérem. Ke každému kitu lze připojit mikrokontrolér Atmega 16, Atmega 32 nebo Atmega 644p a jakýkoliv jiný mikroprocesor v pouzdru DIL40 který má shodné piny XTAL 1,2, RESET, VCC a GND jako mají výše zmíněné čipy (například Atmega 644). Mimo příslušný mikrokontrolér obsahuje v základní sestavě i LCD modul s řadičem HD44780, 5 x tlačítko, 8 x LED diodu, 5 x výkonový výstup a další užitečné periferie které se mezi sebou a mikrokontrolérem propojují drátovými propojkami. Pro stavbu otáčkoměru obsahuje tento kit všechny potřebné součásti, není proto nutné připojovat jiné komponenty, kromě vlastní „sondy“ infračerveného snímače a čtyř bílých vysocesvítivých LED diod pro funkci stroboskopu. Napájení kitu je realizováno buď z USB portu (v tomto případě musí být propojen jumper USB-VCC), ISP konektoru z připojeného programátoru (musí být propojen jumper JP1 programátoru) nebo externím zdrojem min. 9V DC, které je stabilizováno na 5V.

3.1.1 Podrobný obsah kitu EvB 4.3 – v3

- Procesor AVR ATMega644p , krystal 16MHz
- Obvod reálného času PCF8583
- Paměť EEPROM AT24C02
- Infračervený přijímač TSOP4836
- Teplotní čidlo DS18B20
- Převodník sběrnic RS485/RS232 - SN75176BP
- Patici pro kartu MMC/SD
- 5 tlačítek
- 8 indikačních LED diod
- 2 potenciometry pro nastavení napětí
- 4 x sedmisegmentový LED zobrazovač
- 5 x výkonový výstup s otevřeným kolektorem ULN2003
- Podsvětlený displej LCD 2x16 znaků (4-bitová komunikace)
- USB konektor
- ISP programovací konektor
- Reset tlačítko

Podrovná dokumentace v českém jazyce ke kitu je umístěna na přiloženém CD.



Obr. 13 Vývojový kit EvB 4.3 -v3 [13]

3.1.2 Mikrokontrolér Atmega644p

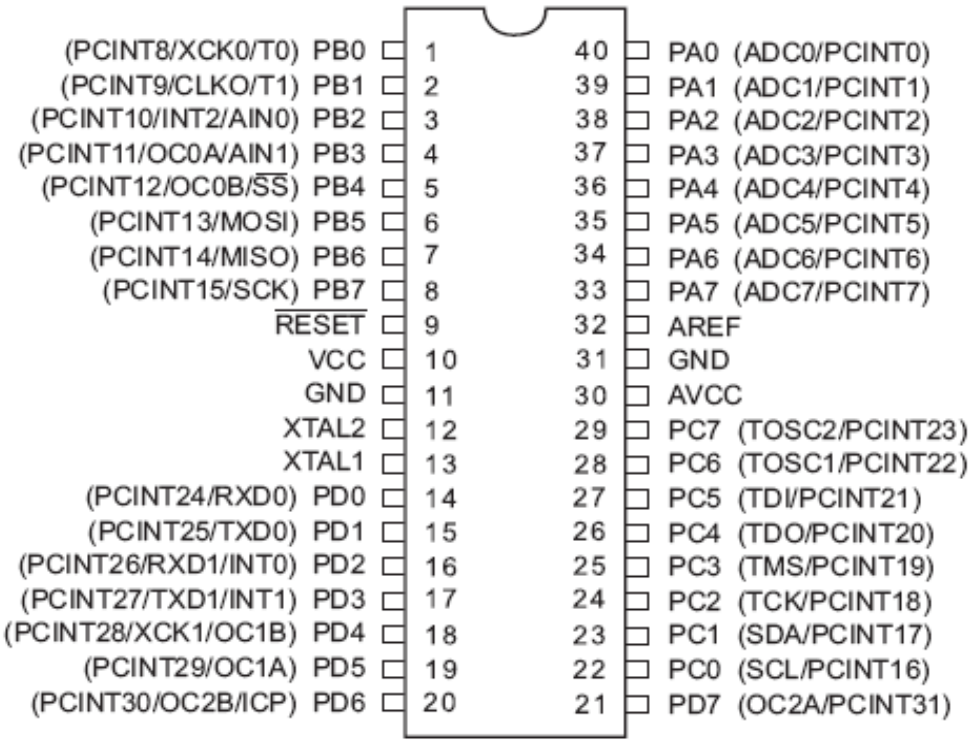
Jako řídící jednotka otáčkoměru byl zvolen mikrokontrolér AVR. Každý jednočipový mikrokontrolér AVR obsahuje řadu funkcí, které detailně popisuje datasheet. Také k naprogramování AVR mikrokontrolérů lze použít celou řadu způsobů a programovacích jazyků, a to např. Basic – BASCOM-AVR , Pascal – AVRco nebo C – CodevisionAVR atd. Z důvodu universálnosti, cenové dostupnosti a dostupnosti na trhu v mnoha různých variantách byl zvolen pro funkci řídící jednotky právě mikrokontrolér z řady AVR.

Jako konkrétní mikrokontrolér byl zvolen kvůli použitelnosti v kitu EvB 4.3 mikrokontrolér Atmega644p. Nabízí spoustu funkcí, které jsou pro potřeby otáčkoměru nadmíru dostatečné a bude bez problému možné i budoucí případné rozšíření celého projektu. Veškerý popis funkcí a ovládání je uveden v datasheetu [14] , který je umístěn i na CD.

Základní vlastnosti mikrokontroléru Atmega644p-20pu [14]:

• High-performance, Low-power AVR® 8-bit Microcontroller
• Advanced RISC Architecture
– 131 Powerful Instructions – Most Single-clock Cycle Execution
– 32 x 8 General Purpose Working Registers
– Fully Static Operation

– Up to 20 MIPS Throughput at 20 MHz
• High Endurance Non-volatile Memory segments
– 64K Bytes of In-System Self-programmable Flash program memory
– 2K Bytes EEPROM
– 4K Bytes Internal SRAM
– Write/Erase cyles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM(1)(3)
– Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C(2)(3)
– Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
In-System Programming by On-chip Boot Program
True Read-While-Write Operation
– Programming Lock for Software Security
• JTAG (IEEE std. 1149.1 Compliant) Interface
– Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
– Extensive On-chip Debug Support
– Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface
• Peripheral Features
– Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes
– One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture
Mode
– Real Time Counter with Separate Oscillator
– Six PWM Channels
– 8-channel, 10-bit ADC
Differential mode with selectable gain at 1x, 10x or 200x
– Byte-oriented Two-wire Serial Interface
– One Programmable Serial USART
– Master/Slave SPI Serial Interface
– Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
– On-chip Analog Comparator
– Interrupt and Wake-up on Pin Change
• Special Microcontroller Features
– Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
– Internal Calibrated RC Oscillator
– External and Internal Interrupt Sources
– Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby and Extended Standby
• I/O and Packages
– 32 Programmable I/O Lines
– 40-pin PDIP, 44-lead TQFP, and 44-pad QFN/MLF
• Speed Grades
– ATmega644V: 0 - 4MHz @ 1.8 - 5.5V, 0 - 10MHz @ 2.7 - 5.5V
– ATmega644: 0 - 10MHz @ 2.7 - 5.5V, 0 - 20MHz @ 4.5 - 5.5V
• Power Consumption at 1 MHz, 3V, 25°C
– Active: 240 µA @ 1.8V, 1MHz
-Power-down Mode: 0.1 µA @ 1.8V



Obr. 14 Popis pinů mikrokontroléru Atmega644p-20pu [14]



Obr. 15 Mikrokontrolér Atmega644p-20pu

3.2 Výběr vhodných elektronických součástek

Pro stavbu stroboskopu nebylo třeba žádných speciálních součástek. Jsou použity pouze čtyři vysocesvítivé bílé LED diody (LED 5MM WHITE 2500/60° DIFF). Připojení LED diody přímo na výstupní pin mikrokontroléru je však kvůli zátěži nebezpečné a mohlo by dojít ke zničení mikrokontroléru. Proto je využito výkonových výstupů mikrokontroléru EvB 4.3. Tyto výstupy mohou proti zemi spínat elektronické součástky až do proudu 500mA, což je pro LED diody s maximálním odběrem 30mA (LED dioda má sice maximální odběr 20mA, avšak při stroboskopickém použití, kdy stejnou dobu svítí a stejnou dobu nesvítí lze zvýšit přidáním napětí, v tomto případě nezapojením odporu, odběr na výsledných 30mA) dostatečné i pro paralelní zapojení všech čtyř diod. Ve výsledném zapojení je však použito dvou výstupů, LED diody jsou tedy zapojeny po dvou na jednom výstupu. Při zapojení je však nutné dát pozor na první svorku (blíž displeje), která je přímo spojená s kladným pólem napájení kitu ještě před stabilizátorem napětí. Výstupní proud zde tedy není nijak omezen a nesprávné použití může vést ke zničení celého kitu.



Obr. 16 Výkonové výstupy kitu EvB 4.3

Pro stavbu infračervené části otáčkoměru (tedy v podstatě sondy, zbytek obstará mikrokontrolér) bylo sestaveno zapojení podle schématu *[Obr. 17]*. Všechny součástky byly zakoupeny v prodejně GM electroniks. Výstup z operačního zesilovače (ve schématu vede k multimetru) je ve výsledném zapojení připojen na vstupním pinu mikrokontroléru. Jsou použity dvě infračervené LED diody (L-7104F3C), jeden infračervený fototranzistor (L-93DP3BT – modré pouzdro), jeden komparátor (LM339), jeden 100K trimr (PT15VK100) a čtyři odpory (1K, 10K, 220R, 220R).

Komparátor zajišťuje převod z pozvolného zesilování a zeslabování napětí podle intenzity odrazu na TTL logiku která je pro chod mikrokontroléru nutná. Obsahuje čtyři různé operační zesilovače, zapojen je však jen jeden. Dále je nutné celý čip v pouzdru DIP 14 připojit na vlastní napájení 5V, což není naznačeno ve schématu kvůli přehlednosti. Datasheet komparátoru s popisem všech pinů je přiložen na CD.

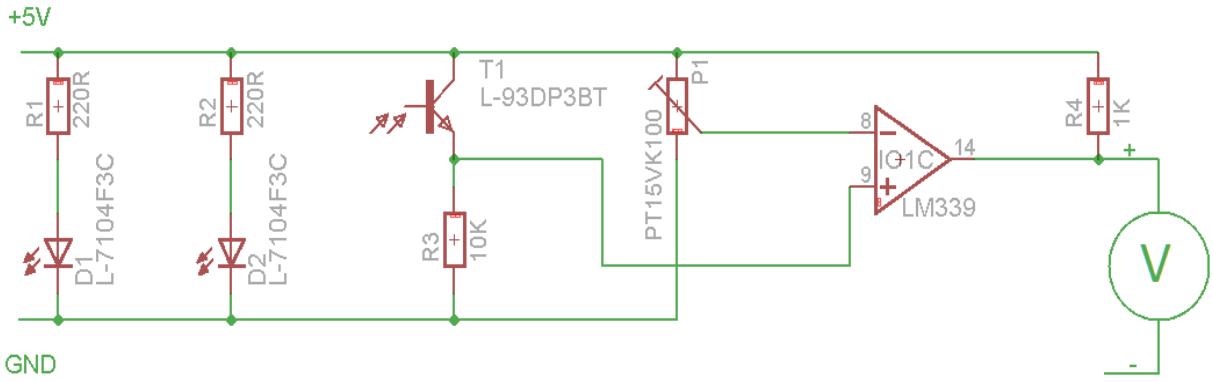
Snímací část sondy, tedy dvě infračervené LED diody a fototranzistor jsou umístěny ve stínící krabičce k odstínění nadměrného okolního světla. Pouzdro fototranzistoru je navíc zahaleno a zataveno v černé smršťovací bužírce aby nedocházelo k nežádoucímu snímání

například od vnitřní stěny stínící krabičky nebo přímo od LED diod. Díky tomu je dodržen správný, tedy velmi malý úhel snímání.

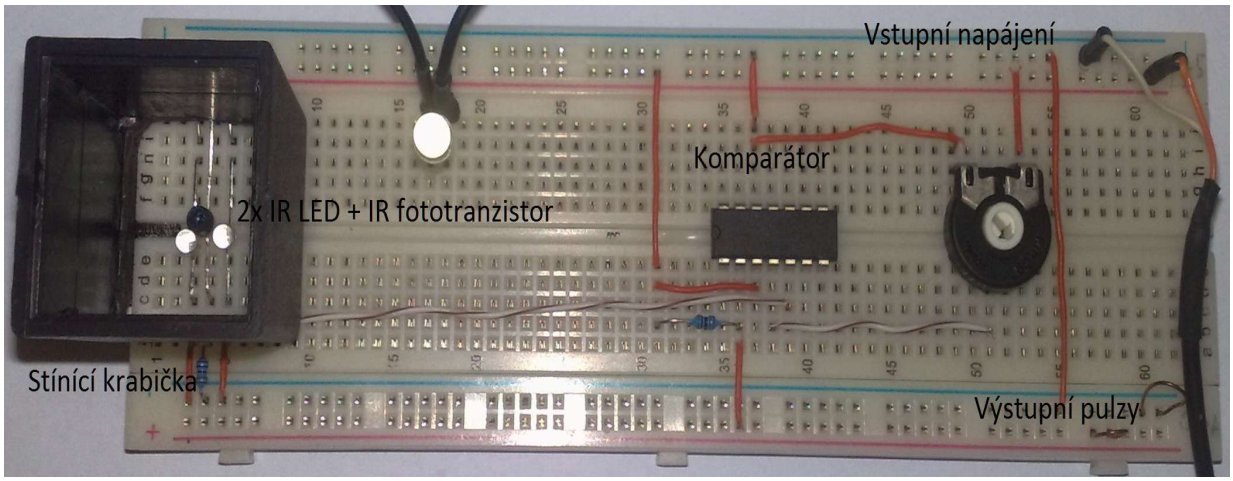
Zapojeným trimrem se dá nastavovat chování komparátoru. Při určité intenzitě odrazu tranzistor propouští určité napětí a to od 0V do 5V. Trimrem se dá nastavit při jakém napětí bude na výstupu komparátoru buď 0V nebo 5V. Zjednodušeně se dá říct že se nastavuje vzdálenost snímání. Otáčkoměr je nastaven tak, aby při tlumeném pokojovém světle, nereflexní materiál (například ruku) detekoval na okraji stínící krabičky . Naopak reflexní materiál je snímán při stejném okolním světle ze vzdálenosti více jak 20 cm.

Reflexní materiál je od firmy 3M. Jde o sadu nalepovacích odrazek na kolo, které se dají sehnat v jakékoliv cyklo prodejně.

Napájení sondy je vyvedeno také z vývojového kitu z výkonového výstupu, který je sepnut jen v případě zvolení infračerveného snímání otáček v menu programu. To je vhodné zejména proto, aby infračervené LED diody nesvítili neustále. I přes to, že toto světlo není lidským okem vidět, může i při nevědomém dlouhodobém svitu do očí zrak poškodit stejně jako viditelné světlo.



Obr. 17 Schéma zapojení sondy IR snímače

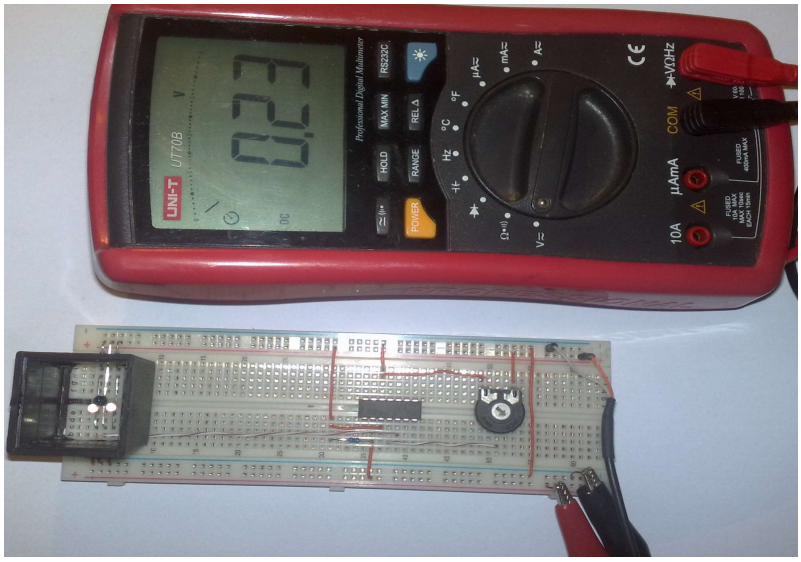


Obr. 18 IR sonda

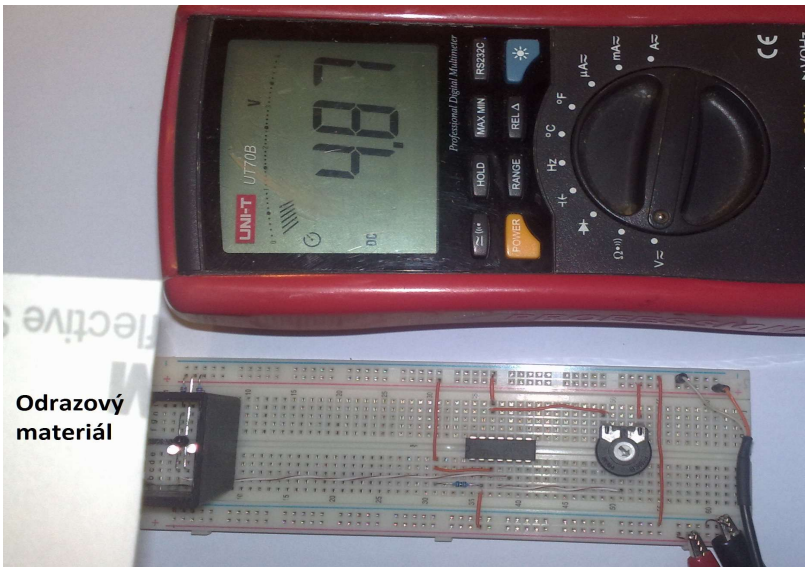
3.3 Způsob otestování součástek

Mikrokontrolér ke své korektní činnosti potřebuje k detekování pulzů z infračerveného snímače napětí přibližně 0V nebo 5V, jak bylo popsáno v kapitole 3.2. Z datasheetu je zřejmé, že horní hodnota napětí musí spadat do intervalu 4,5V - 5,5V. Spodní hodnota by se měla co nejvíce blížit nule. Bylo tedy nutné ověřit, zda zvolené součástky a zvolené zapojení pracuje správně. K zapojení je připojen voltmetr který detekuje výstupní napětí z komparátoru. V případě že je před sondou odrazový materiál je výstupní napětí 4,87V a v případě kdy před sondou odrazový materiál není je výstupní napětí 0,23V. Žádné jiné hodnoty napětí voltmetr nedetekoval. Obě tyto hodnoty spadají do potřebného intervalu a to i s dostatečnou rezervou.

Zvolené součástky a zapojení je tedy pro funkci otáčkoměru vhodné.



Obr. 19 Ukázka testování zapojení a součástek - bez odrazového materiálu

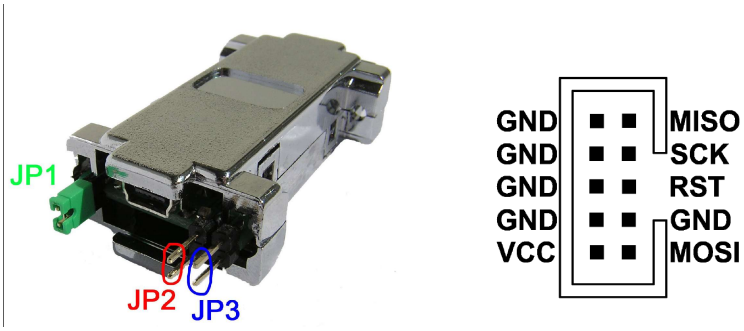


Obr. 20 Ukázka testování zapojení a součástek - s odrazovým materiálem

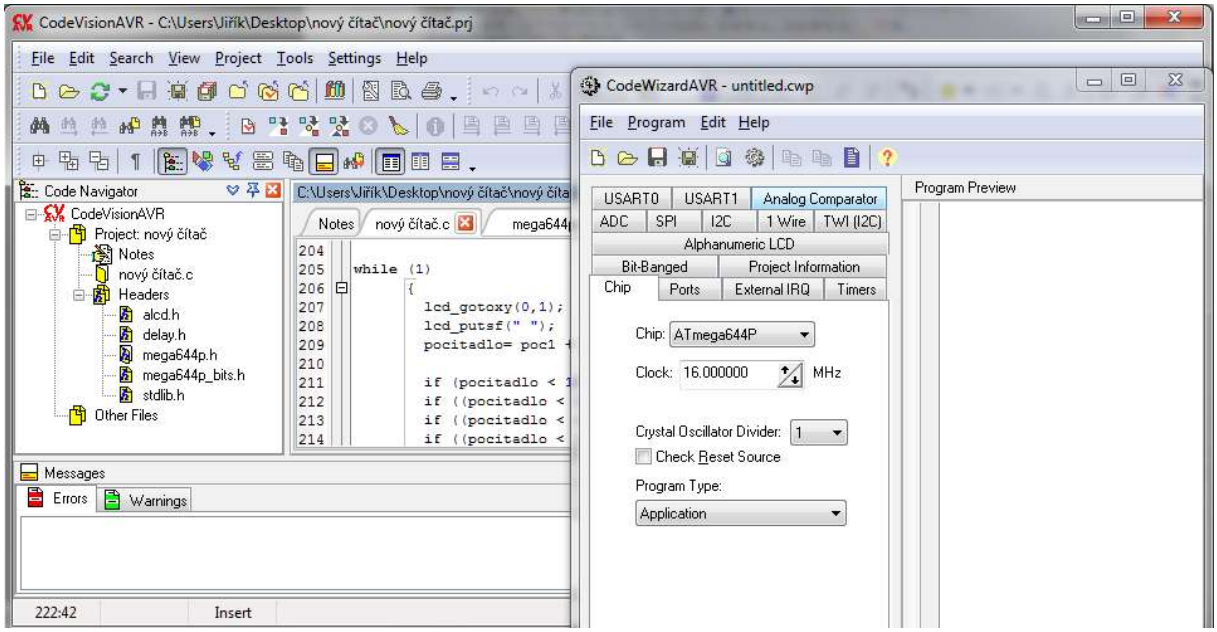
4 PROGRAM MIKROKONTROLÉRU

Program byl psán v jazyku C za pomoci vývojového prostředí CodeVisionAVR. Toto vývojové prostředí je výhodné zejména díky bezplatné verzi pro nekomerční účely. Navíc obsahuje spoustu knihoven a podporuje velké množství mikrokontrolérů. Veškeré potřebné funkce každého mikrokontroléru lze přehledně a pohodlně zapnout nebo nastavit pomocí funkce CodeWizardAVR.

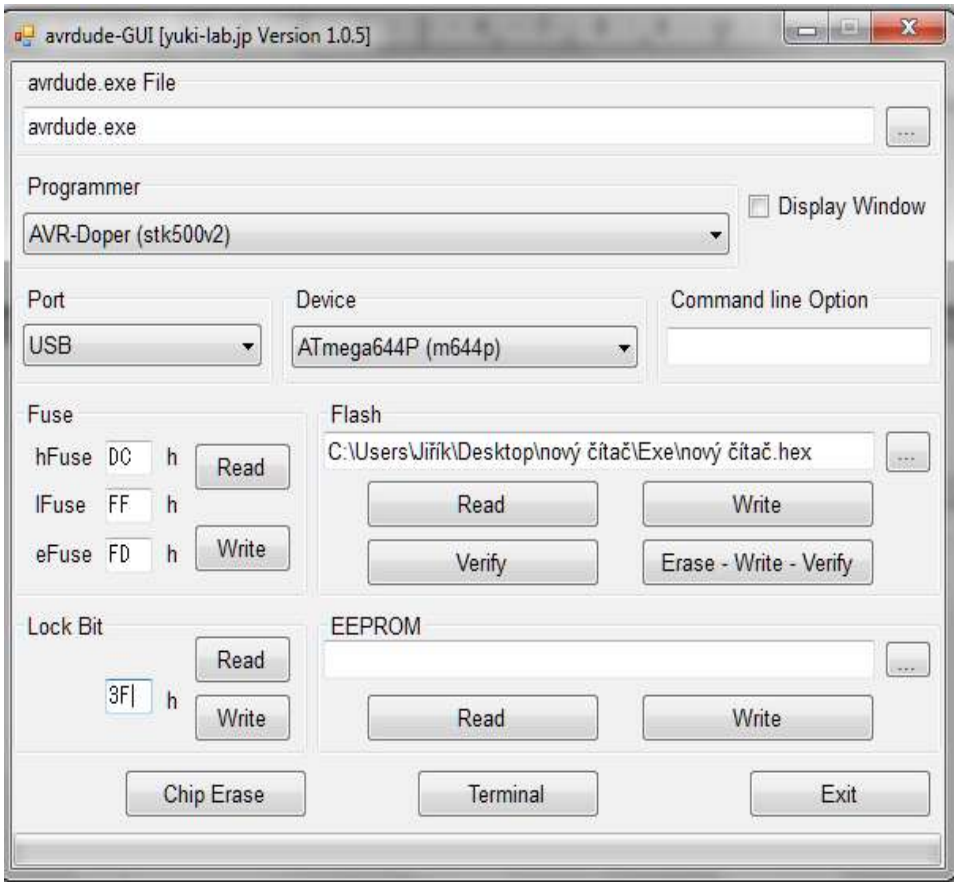
Do mikrokontroléru byl program nahrán USB programátorem AVR-Doper(STK500v2), přes ISP konektor pomocí programu AVR-DUDE. Programátor je zapojen v režimu HID (modrý jumper JP3 je sepnut, jumper červený JP2 je pro programování pomalých frekvencí a je pro potřeby programování otáčkoměru rozepnut). Před programováním bylo nutné nastavit Fuse bity mikrokontroléru na správné hodnoty (Atmega644p-hFuse=DC, iFuse=FF, eFuse=3F), a to proto, aby mikrokontrolér pracoval v kitu korektně. Dokumentace programátoru je přiložena na CD stejně jako složka celého projektu programu.



Obr. 21 Programátor AVR-Doper a popis ISP pinů [15]



Obr. 22 Vývojové prostředí CodeVisionAVR se zapnutou funkcí CodeWizardAVR



Obr. 23 Programovací software AVR-DUDE-GUI

4.1 Program otáčkoměru

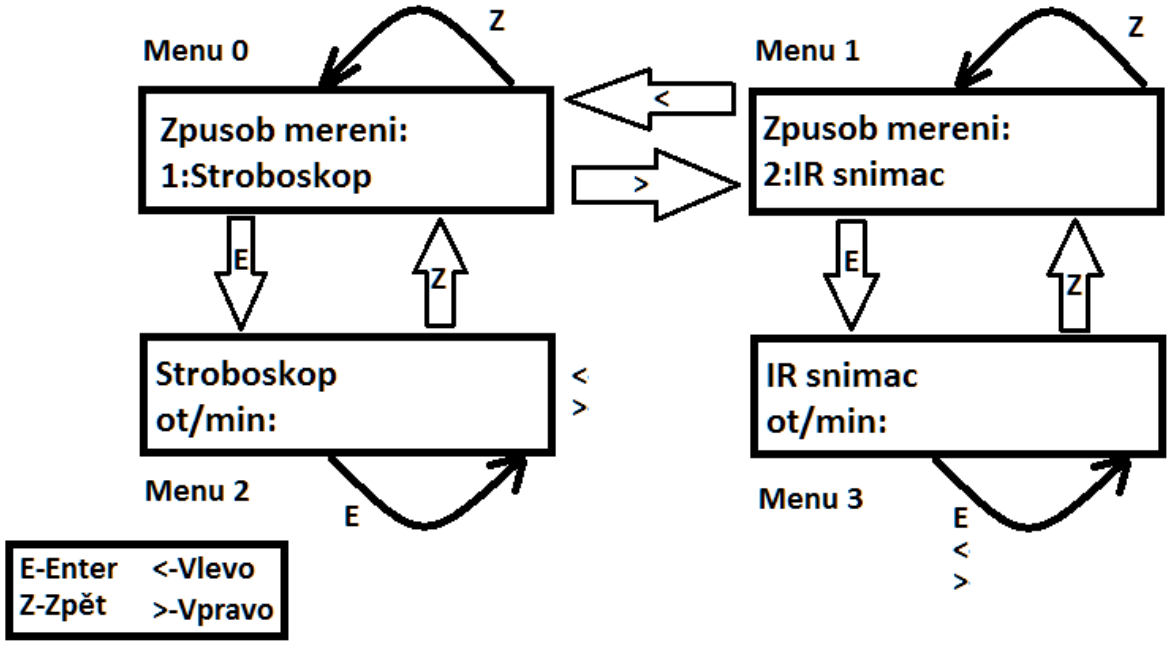
Jako první bylo potřeba inicializovat LCD displej s řadičem HD44780, aby bylo možné kontrolovat další postup programování. A to vytvoření menu programu a poté program pro stroboskopický snímač a pro infračervený snímač.

4.1.1 Inicializace LCD displeje

U kitu EvB 4.3-v3 je podporována pouze 4-bitová komunikace. Lze připojit pouze konektory RS (přepínání zápisu instrukcí / dat), E (hodinový vstup), D4-D7 (datové vodiče), pin RW (čtení obsahu displeje) je natrvalo připojen se zemí. Data nebo instrukce jsou vyslány vždy nadvakrát. Nejprve se na DB4-DB7 pošle horní polovina bytu, vygeneruje se kladný pulz na E, na sběrnici se pošle spodní polovina bytu a generuje se druhý pulz na E [16]. Podle definic instrukcí pro řadič HD44780 [16] se inicializovalo LCD takto: Nastavení portu ke kterému je LCD připojené, nastavení 4-bitové komunikace a počtu řádků, vymazání displeje, vypnutí displeje a zapnutí displeje.

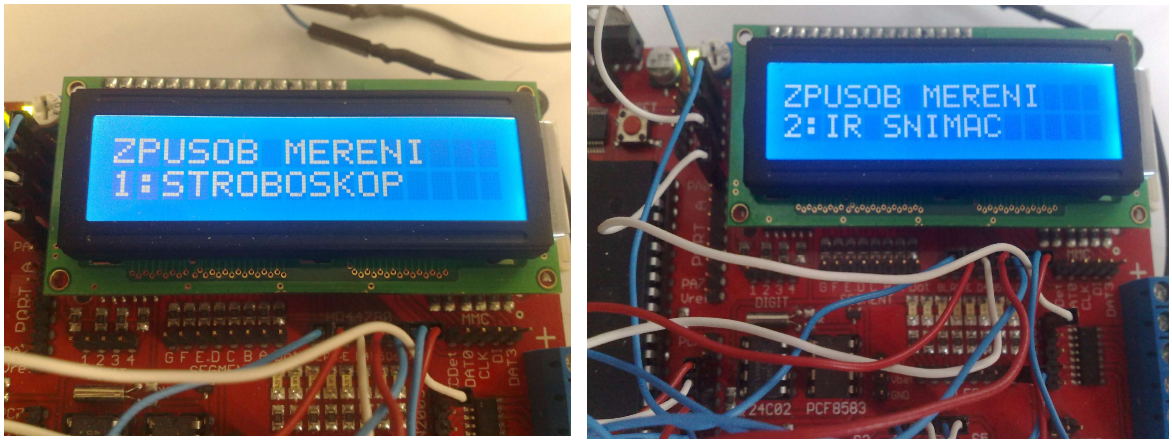
4.1.2 Tvorba a ovládání menu

Jako další krok v programování bylo vytvoření menu programu. Celý program má čtyři (Menu0 - Menu3) různé obrazovky mezi kterými se přepíná dvěma tlačítky, VPRAVO (tlačítko S2) a VLEVO (tlačítko S1), dále je jedno potvrzovací tlačítko ENTER (tlačítko S3) a jedno tlačítko ZPĚT (tlačítko S4). Celé menu bylo vytvořeno pomocí příkazů „switch“ a „case“.



Obr. 24 Diagram možností pohybu v menu

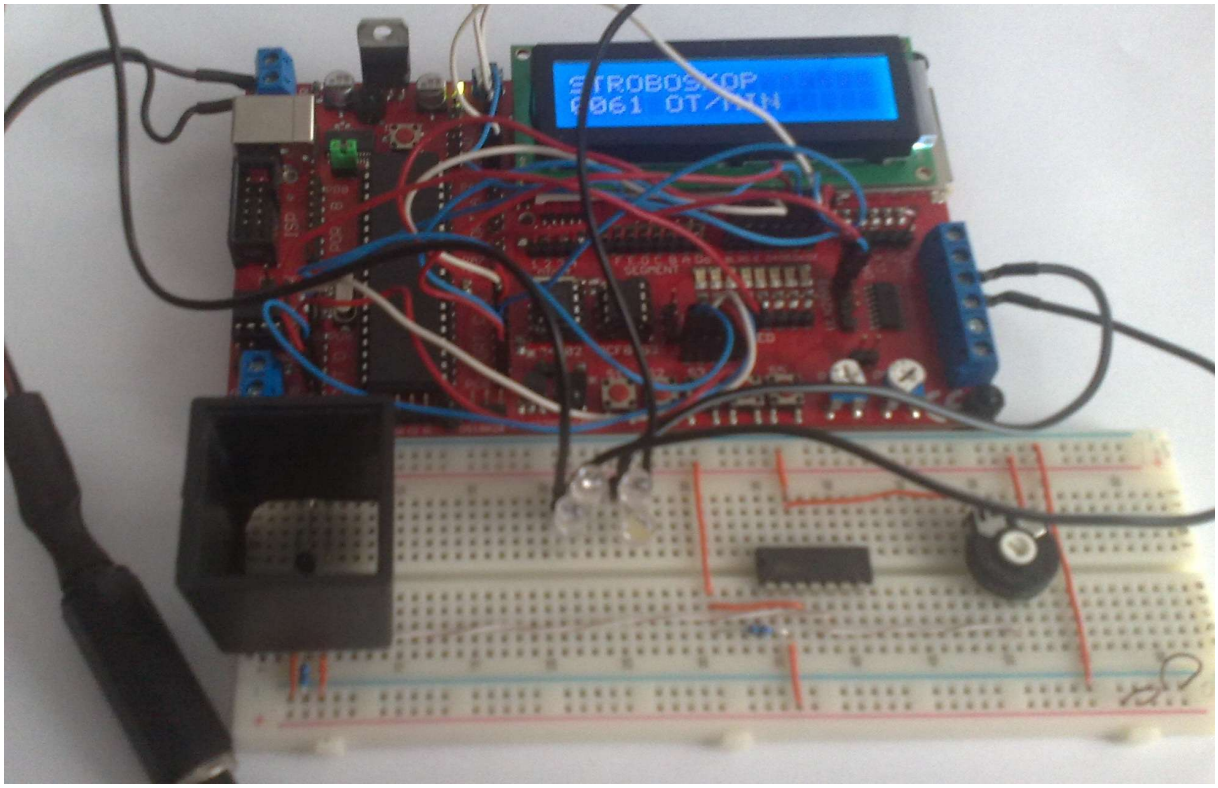
Při stisku tlačítka **Z** v **Menu 0** nebo **Menu 1** a nebo tlačítka **E** v **Menu 2** nebo **Menu 3** displej problikne a zůstane na stejné pozici. Sejně tak při stisku tlačítka **VPRAVO** a **VLEVO** v **Menu 3.** V **Menu 0** a **Menu 1** slouží tlačítka **VPRAVO** a **VLEVO** k přepínání obrazovek mezi sebou. Dále pak tlačítka **VPRAVO** a **VLEVO** slouží k měnění frekvence blikání stroboskopu.



Obr. 25 Menu otáčkoměru

4.1.3 Program a ovládání stroboskopu

K této části programu bylo nutné zvolit přepínání frekvence blikání LED diod. Je nutné, aby LED diody po spuštění začali blikat s velmi nízkou frekvencí a to proto, aby nedošlo k nesprávnému (dvojnásobnému, trojnásobnému...) vyhodnocení počtu otáček. To by se mohlo stát v případě, kdy by otáčky byli např. 400 za minutu a frekvence blikání začínala na 10Hz. Postupným zvyšováním frekvence by se došlo až k frekvenci 13.3Hz (800 ot/min), kdy by se měřený předmět opticky zastavil a došlo by k nesprávného odečtení počtu otáček (dvojnásobnému). Z tohoto důvodu začínají LED diody blikat s frekvencí 1Hz (30 ot/min). Frekvence blikání se tedy bude hlavně zvyšovat. Jelikož uživatel většinou zná přibližný nebo předpokládaný počet otáček tak není nutné frekvenci blikání snižovat po velkých krocích. Z tohoto důvodu se dá frekvence blikání snižovat vždy pouze o 1 ot/min a to stisknutím tlačítka S1 - **VLEVO.** Tlačítko S2 – **VPRAVO** zvyšuje frekvenci blikání o 1 ot/min, tlačítko S3 – **E** zvyšuje frekvenci blikání o 10 ot/min a doplňkové tlačítko **S5** zvyšuje frekvenci blikání o 100 ot/min, a to v rozsahu od 10 ot/min až do teoretického maxima 10000 ot/ min. Tlačítkem S4 – **ZPĚT** se vypne stroboskop a program se vrátí do počátečního menu.



Obr. 26 Ukázka funkce stroboskopu

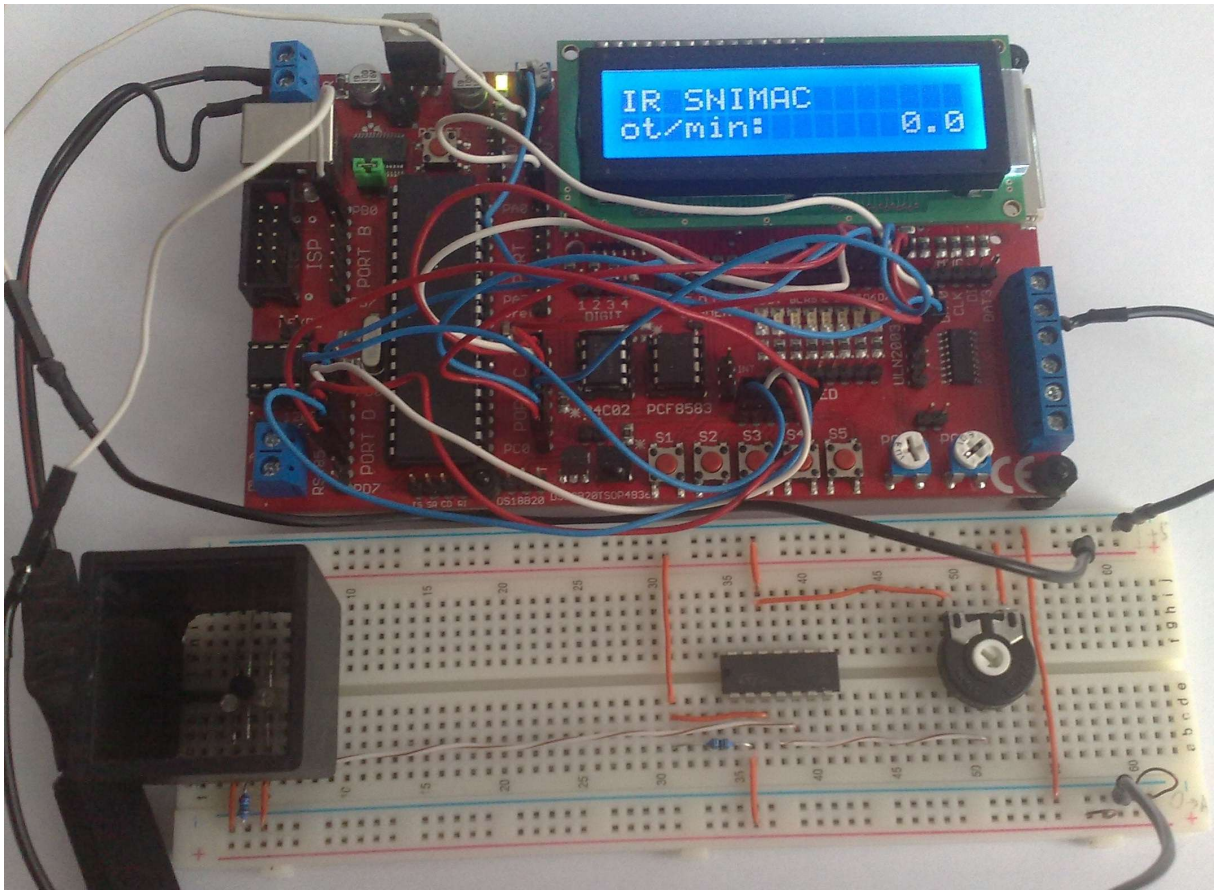
Základem programu je spuštěný 16-ti bitový čítač/časovač, který vyvolá přerušení po přetečení čítače. Hodinová dělička čítače/časovače je nastavena na hodnotu 1024, což s použitým krystalem ve vývojovém kitu o hodnotě 16 MHz dává výslednou frekvenci časovače 15625 Hz. Za jednu sekundu tedy čítač načte 15625 pulzů. 16-ti bitový čítač může načíst až 65536 pulzů než dojde k přetečení. V takovém případě by k přetečení došlo za cca 4 sekundy. Pokud však čítač nepočítá tyto pulzy od nuly, ale od nějaké hodnoty „a“, dojde k

přetečení o tento počet pulzů dřív. Tato hodnota „a“ je uložena v registrech TCNT1H a TCNT1L, což jsou dva osmibitové registry. Hodnota „a“ je však 16-ti bitová a je nutné ji převést na dvě osmibitové hodnoty. K tomu slouží bitové operátory „>> 8” a „& 0xff”. Díky tomuto zápisu se nejprve uloží spodní polovina 16-ti bitové hodnoty a poté horní polovina 16-ti bitové hodnoty. Ve funkci stroboskopu je využito toho, že hodnota „a“ může být proměnná a je dopočítávána z otáček za minutu (hodnota „b”), které se mění pomocí tlačítek a jsou zobrazeny na displeji, a to podle upraveného vzorce uvedeného v datasheetu [14]

$$a = 65536 - \frac{7812.5}{(b/60)} \quad .$$

4.1.4 Program infračerveného snímače

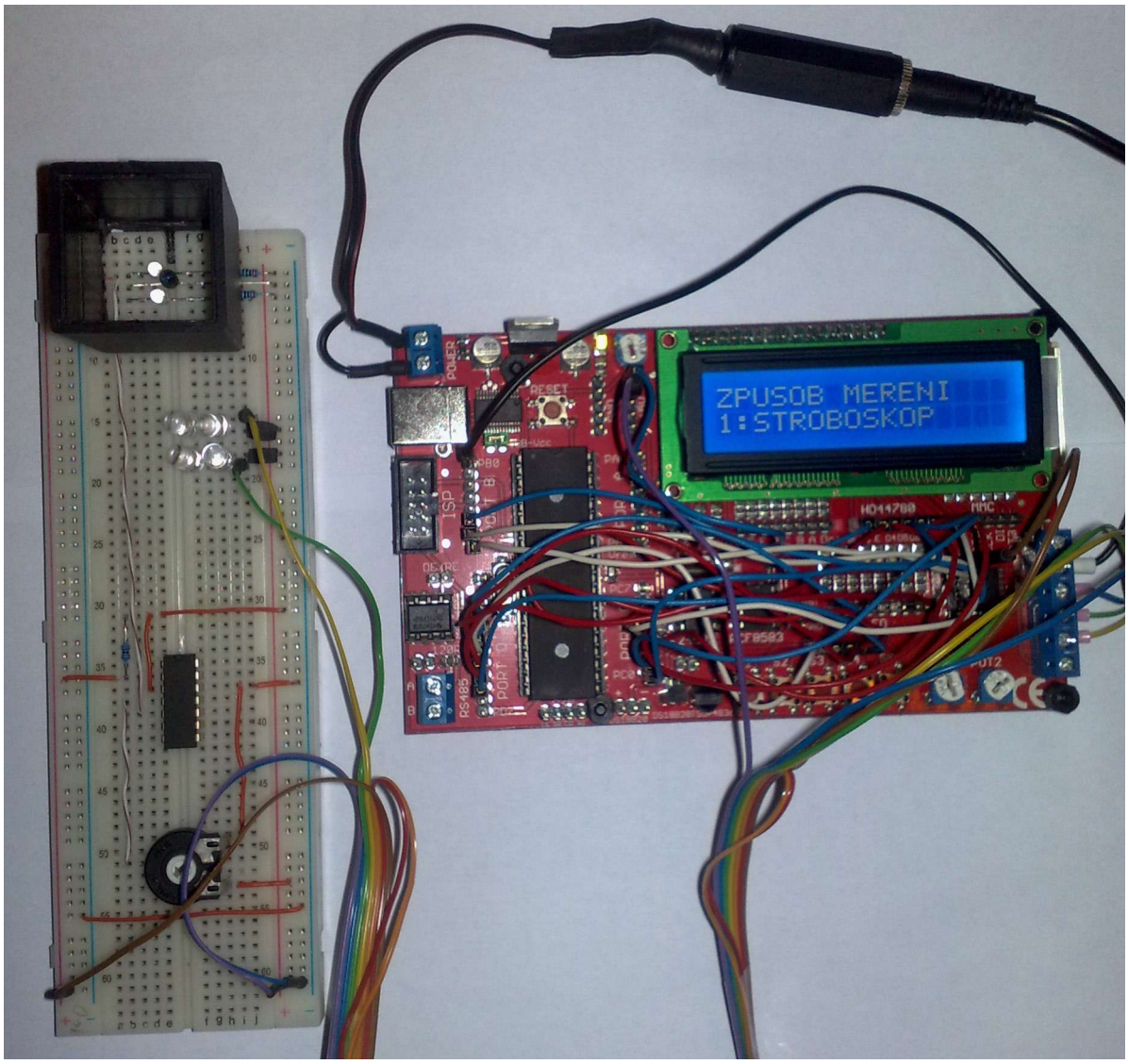
Pro funkci infračerveného snímače není nutné žádné další ovládání. Program se pustí při potvrzení příslušného menu, tím se zapne napájení sondy a vše je již připraveno k měření. Tlačítkem **ZPĚT** se vše opět vypne a program se vrátí do počátečního menu. Ostatní tlačítka nejsou v této části programu funkční.



Obr. 27 Ukázka funkce IR snímače

Základem této části programuje opět 16-ti bitový čítač/časovač. Tentokrát je hodnota „a“, určující dobu přetečení čítače nastavena pevně na hodnotu 34286. Dojde proto k přetečení čítače za přesně 2 sekundy. Tuto dobu počítá 8-mi bitový čítač/časovač „0“ pulzy vedené ze sondy, a to vždy s náběžnou hranou pulzu, a ukládá tuto hodnotu do proměnné „c“.

Po dvou sekundách je čítač „0“, tedy i proměnná „c“, vynulován. Na displeji je zobrazena opět hodnota „b“ v otáčkách za minutu, která je z hodnoty „c“ dopočítána podle vzorce $b = c \cdot 30$. Díky tomu, že je čítač spuštěn na 2 sekundy, je dosažena přesnost měření půl Hz, tedy 30 otáček za minutu.



Obr. 28 Celkové zapojení funkčního modelu

Celkové zapojení pinů vývojového kitu a sondy, ovládání

Ovládání:

Tlačítko S1: Vlevo pro pohyb v menu, -1 ot/min pro stroboskop
Tlačítko S2: Vpravo pro pohyb v menu, +1 ot/min pro stroboskop
Tlačítko S3: Enter pro pohyb v menu, +10 ot/min pro stroboskop
Tlačítko S4: Zpět pro pohyb v menu
Tlačítko S5: Doplňkové tlačítko pro stroboskop, +100 ot/min

Tlačítko RESET: Reset chodu programu

Zapojení:

Displej
E.....PC4
RS.....PC5
D4.....PC0
D5.....PC1
D6.....PC2
D7.....PC3

Tlačítka
Vlevo …..S1.…..PD1.....Vstup (Pull up on)
Vpravo.…S2.....PD2.....Vstup (Pull up on)
Enter..... S3.....PD3.....Vstup (Pull up on)
Zpět ….....S4.....PD4.....Vstup (Pull up on)
+100 …...S5.....PD5.....Vstup (Pull up on)

Kontrolka stisknutí tlačítka.....PD0.....Výstup.....LED7…..Vstup

Čítač
T0.....PB0.....Vstup (Pull up on).....Zapojeno přes výkonový výstup svorka 1

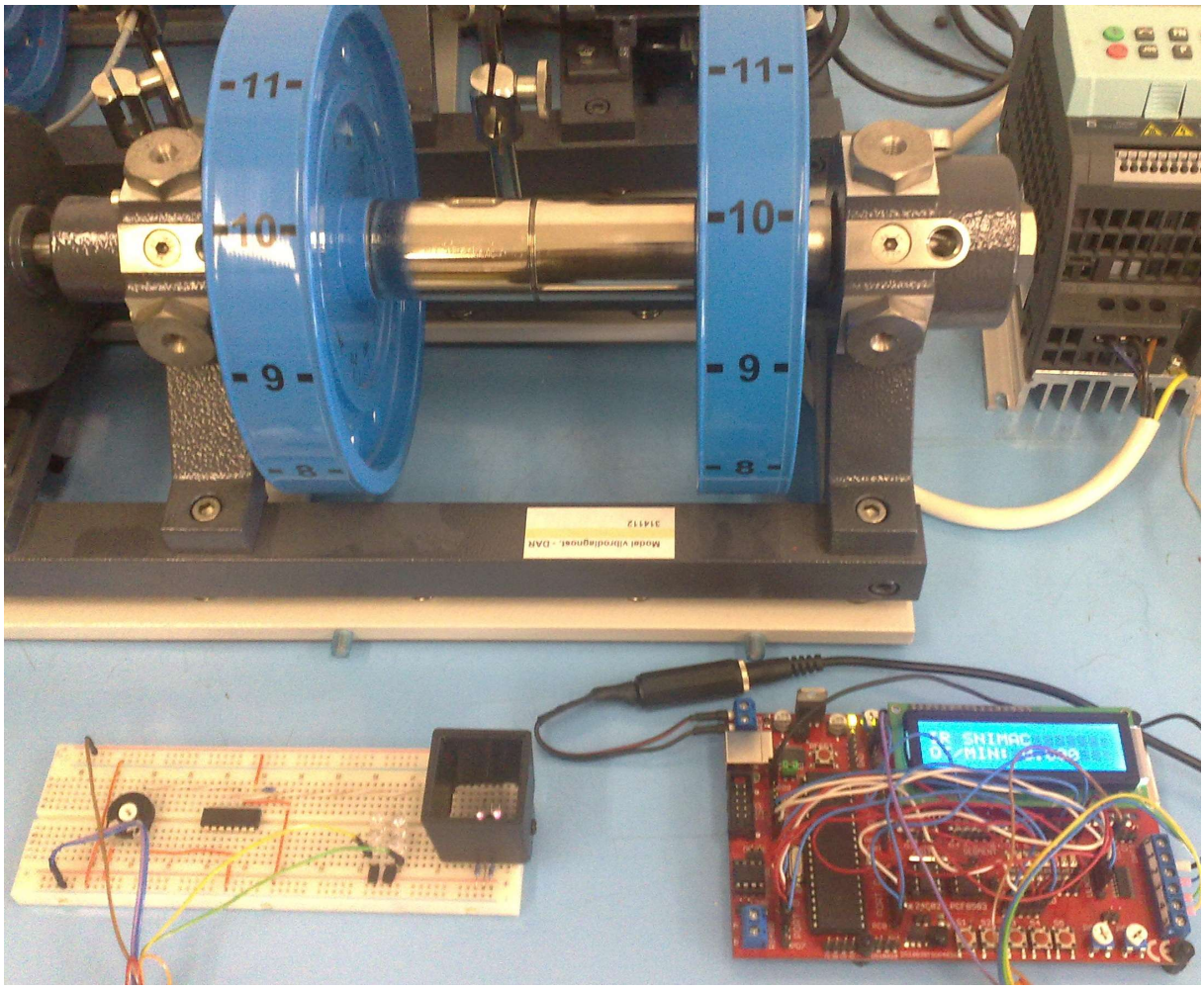
Stroboskop
Výstup.....PB5 ….... Výkonový výstup pro svorku 3
Výstup.....PB6 ….... Výkonový výstup pro svorku 4

Napájení sondy čítače
Výstup.....PB7 (zapojeno přes výkonový výstup, svorka 2)

(Svorka 0 výkonového výstupu je propojena napřímo s kladnou větví napětí před stabilizátorem, nesprávné zapojení může poškodit kit nebo připojené periferie!!)

Zapojení propojovacího kabelu mezi sondou a vývojovým kitem

Fialová.....+5V (strana u kitu).....+5V Napájení sondy (strana u sondy)
Modrá.....Výstup GND svorka 2 (strana u kitu).....GND (strana u sondy)
Zelená.....Výstup GND svorka 3 (strana u kitu).....GND 1.větev LED diod u sondy
Žlutá.....Výstup GND svorka 4 (strana u kitu).....GND 2.větev LED diod u sondy
Oranžová.....Nezapojeno (náhradní)
Červená.....Nezapojeno (náhradní)
Hnědá.....Vstup svorka 1 (strana u kitu).....Výstupní +5V pulzy (strana u sondy)



Obr. 29 Testování otáčkoměru v laboratoři

5 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo seznámení se s problematikou měření otáček, seznámit se s použitím 8-bitových mikrokontrolérů a navrhnout, sestrojit a otestovat otáčkoměr pro bezkontaktní měření otáček.

V první části je uveden souhrn jak používaných, tak i již zastaralých a nepoužívaných způsobů měření otáček. Pro kontaktní měření to byl princip odstředivého, magnetického, kapacitního otáčkoměru a dále pak tachodynama a tachoalternátoru. Pro bezkontaktní měření jde o principy indukčního magnetického otáčkoměru, hallova snímače, enkodéru a dále bylo nutné se seznámit zejména s principem stroboskopického měření otáček a s principem fototachometrického snímání otáček.

Následující kapitola se zabývá realizací otáčkoměru, výběrem vhodného vývojového kitu a programátoru. Byl zvolen vývojový kit EvB 4.3 v3, osazený mikrokontrolérem AVR Atmega644p, s programátorem AVR-Doper(STK500v2). Dále pak výběrem vhodných elektronických součástek pro potřeby otáčkoměru. Byly vybrány dvě IR LED diody, jeden IR fototranzistor, jeden komparátor LM339, trimr 100K, rezistory 2 x 220 Ohm, 1KOhm, 10KOhm, a pro funkci stroboskopu čtyři bílé LED diody. Následně se tato část věnuje testování vybraných součástek. Zde se dospělo k závěru, že jsou součástky pro otáčkoměr vhodné.

Další část práce je věnovaná vlastnímu programu otáčkoměru. Pro psaní a ladění programu byl zvolen jazyk C a vývojové prostředí CodeVisionAVR, kde bylo využito automatického generování kódu pomocí funkce CodeWizardAVR. Samotné naprogramování provádí program AVRDude-GUI. Dále pak popisu menu programu a popisu funkcí stroboskopického a infračerveného snímače otáček, popisu použitých programovacích technik a použitých časovačů/čítačů. Kompletní model otáčkoměru byl otestován v laboratoři při měření otáček elektromotoru pomocí stroboskopického jevu i pomocí infračerveného snímače.

Celý program a veškeré dokumentace použité při návrhu, stavbě a programování otáčkoměru jsou uloženy na přiloženém CD.

Použitý mikrokontrolér i vývojový kit je pro funkci otáčkoměru nadmíru dostatečný. V kombinaci s realizací snímací sondy v nepájivém poli nabízí takřka neomezenou možnost rozšiřování, a to například rozšíření menu programu a zahrnutí měření teploty okolí (teplotní čidlo je součástí vývojového kitu), propojení mikrokontroléru s počítačem pomocí linky USART a nebo například využití slotu na paměťovou kartu MMC, který je součástí vývojového kitu, pro ukládání naměřených hodnot na kartu.

Díky tomu, že je mikrokontrolér ve vývojovém kitu volně k vyjmutí a vyměnění za libovolný mikrokontrolér Atmega16, 32, nebo 64 v pouzdru DIL 40 , lze celý kit použít pro tvorbu nebo vývoj dalších zařízení při současném zachování programu otáčkoměru.

Seznam příloh :

CD-R obsahující:
- Tento dokument ve formátu PDF
- Datasheet k Atmega644p-20PU
- Datasheet ke komparátoru LM339
- Popis od výrobce k vývojovému kitu EvB 4.3-v3.
- Popis od výrobce k programátoru AVR-Doper(STK500v2)
- Kompletní složku programu otáčkoměru
- Celkové schéma zapojení vývojového kitu

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1]http://www.e-pristroje.cz [online]. 2011 [cit. 2011-04-15]. Otáčkoměry, tloušťkoměry. Dostupné z WWW: <http://www.e-pristroje.cz/pictures/meter/p402-1.jpg>,
[2]SYSALA, Petr. Http://www.sysala.cz [online]. 2010 [cit. 2011-04-15]. Měření otáček. Dostupné z WWW: <http://www.sysala.cz/Elektro/otacky/otacky.html>,
[3]http://atmelmikrokontroler.wordpress.com [online]. 2011 [cit. 2011-04-15]. Mikrokontroler. Dostupné z WWW: <http://atmelmikrokontroler.wordpress.com/2009/06/12/dasar_mikrokontroler/mikrokontroler>,
[4]http://www.palba.cz [online]. 2011 [cit. 2011-04-19]. Platba. Dostupné z WWW: <http://www.palba.cz/forumfoto/albums/userpics/12062/pristoje1.jpg>,
[5]KALOUSEK, Jiří. Měření otáček. ,, 2005. 7 s. Semestrální práce ,
[6]http://www.tzb-info.cz [online]. 2011 [cit. 2011-05-01]. Čidla, snímače. Dostupné z WWW: <http://www.tzb-info.cz/download.py?file=docu/texty/0001/000102_cidla_snimace.pdf>,
[7]www.sahilelectronics.com [online]. 2011 [cit. 2011-04-19]. Sahilelectronics. Dostupné z WWW: <http://www.sahilelectronics.com/tacho-generators-encoders.html>,
[8]www.gme.cz [online]. 2011 [cit. 2011-04-19]. GME. Dostupné z WWW: <http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/759/759-433/pctdetail.759-433.1.jpg>,
[9]http://www.micro.feld.cvut.cz [online]. 2011 [cit. 2011-05-08]. Hallův jev. Dostupné z WWW: <http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/cviceni/Navody%20na%20cviceni/05.Hall.pdf>,
[10]http://imfsoft.cz [online]. 2011 [cit. 2011-05-08]. Snímače. Dostupné z WWW: <http://imfsoft.cz/hardware/prislusenstvi/halluv-snimac-H01.asp>,
[11]http://www.odbornecasopisy.cz [online]. 2011 [cit. 2011-05-08]. Odbornecasopisy. Dostupné z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26250>,
[12]http://www.soselectronic.cz [online]. 2011 [cit. 2011-05-08]. Soselectronic. Dostupné z WWW: <http://www.soselectronic.cz/a_info/img_data/a/enkodery/70234.jpg>,
[13]http://hw.cz [online]. 2010 [cit. 2011-05-10]. Hw. Dostupné z WWW: <http://hw.cz/teorieapraxe/programovani/art3679-hardwarove-pomucky-pro-podporu-vyvoje-aplikaci-s-mikrokontrolery-a>,
[14]GM electronic [online]. 2010 [cit. 2011-05-22]. Www.gme.cz. Dostupné z WWW: <http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/958/958-155/dsh.958-155.1.pdf>,
[15]www.and-tech.pl [online]. 2010 [cit. 2011-05-11]. And-tech. Dostupné z WWW: <http://www.and-tech.pl/Stk500/AVRProgUSB-v1.3-ang.pdf>,
[16]http://elektronika.kvalitne.cz [online]. 2010 [cit. 2011-05-11]. Elektronika kvalitne. Dostupné z WWW: <http://elektronika.kvalitne.cz/ATMEL/necoteorie/LCDmatice.html>,
[17]VÁŇA, Vladimír. Mikrokontroléry ATMEL AVR - Programování v jazyce C. Praha : BEN, 2003. 216 s.