

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra Elektroniky**

**Návrh a realizace hlídacího relé pro  
čerpadla**

**Design and Realization of Watchdog  
Relay for Pumps**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroniky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Marek Bukovan**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 2612R003 Aplikovaná elektronika  
Téma: **Návrh a realizace hlídacího relé pro čerpadla**  
**Design and Realization of Watchdog Relay for Pumps**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoreticky zpracujte možnosti kontroly chodu čerpadla
2. Navrhněte a realizujte relé pro dohled chodu čerpadla
3. Funkčnost relé ověřte měřením

Seznam doporučené odborné literatury:


Dle doporučení vedoucího závěrečné práce

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Sobek, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017

  
doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

Prehlásenie :

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostrave dňa ..... 26.4.2017 .....

.....  
Podpis autora

## Abstrakt :

Táto bakalárska práca sa venuje návrhu a realizácii sledovacieho relé pre čerpadla. Cieľom tejto práce je navrhnuť a zostrojiť systém ktorý dokáže odhaliť poruchové stavy na zariadení (čerpadle), správne na ne zareagovať a zároveň musí dokázať kontrolovať či je zariadenie v prevádzke aj po nami nastavenom čase a ak áno musí ho vedieť bezpečne vypnúť.

## Kľúčové slová :

Atmel, mikrokontroler, čerpadlo, merací prúdový transformátor, A/D prevodník

## Abstract:

This Bachelor's thesis is dedicated to the design and implementation of watchdog relay for the pump. The aim of this work is to design and construct a system which can detect failure states on the device (pump), correctly respond to them and at the same time it must be able to check whether the device is in operational state even after the time set by us and if so it must be able to safely shut it down.

## Key words :

Atmel, microcontroller, pump, measuring current transformer, A/D converter

## Obsah

Zoznam použitých obrázkov .....	6
Zoznam tabuliek .....	6
Zoznam použitých symbolov a skratiek .....	7
Úvod .....	8
1. Teoretický rozbor .....	9
1.1 Metódy merania chodu čerpadla .....	9
1.1.1 Meranie prúdu bočníkom .....	9
1.1.2 Meranie prúdovým transformátorom .....	11
1.1.3 Meranie pomocou Hallovej sondy .....	13
1.2 Zhrnutie teoretických výsledkov .....	15
2. Vlastné vypracovanie .....	16
2.1 Mikrokontrolér - MCU .....	18
2.1.1 Analógovo/Digitálny prevodník .....	19
2.1.2 Čítač/Časovač .....	20
2.1.3 Externé prerušenie .....	21
2.2 Displej .....	22
2.3 Prúdový transformátor .....	22
2.4 Relé .....	24
2.4.1 SSR .....	24
2.4.2 Elektromagnetické relé .....	24
2.6 Operačný zosilňovač .....	28
2.7 Zmena zosilnenia pomocou multiplexera .....	29
2.8 Vyhľadovací filter .....	30
2.9 Ovládacie prvky .....	32
2.10 Notifikačné diódy .....	33
3. Návod na použitie .....	34
3.1 Namerané priebehy signálu .....	35
Záver .....	37
Použité zdroje .....	38
Zoznam príloh .....	39

## Zoznam použitých obrázkov

Obr. 1 Schéma zapojenia pre meranie úbytku napätia na bočníku.....	9
Obr. 2 Konštrukčné vyhotovenie bočníka.....	10
Obr. 3 Prúdový transformátor schématické zapojenie [1].....	11
Obr. 4 Zopár z mnohých možných vyhotovení prúdových transformátorov [2] .....	12
Obr. 5 Puzdrá v ktorých sa vyrábajú hallové sondy (A) MLP - pre povrchovú montáž (SMD), (B) SOT23W, (C) CSP, (D) K-SIP, (E) TO9AU [3].....	13
Obr. 6 Princíp funkcie Hallovej sondy.....	14
Obr. 7 Bloková schéma sledovacieho relé na čerpadla.....	17
Obr. 8 Puzdrá v ktorých sa vyrába ATmega 328p.....	19
Obr. 10 Bloková schéma princípu funkcie A/D prevodníka s postupnou aproximáciou .....	20
Obr. 9 Puzdro kryštálu HC49/USSMD Q 16.00MHz použitého v práci .....	19
Obr. 11 Počet slučiek pri zapojení prúdového transformátora .....	23
Obr. 12 Prúdový transformátor AC1010 použitý v práci.....	23
Obr. 13 Schéma zapojenia elektromagnetického relé a jeho riadenia.....	25
Obr. 14 Schéma zapojenia operačného zosilňovača .....	26
Obr. 15 Prechodová charakteristika dvojcestného operačného usmerňovača.....	26
Obr. 16 Vnútorne zapojenie zosilňovača TL074BCD .....	27
Obr. 17 Schéma neinvertujúceho zosilňovača s nastaviteľným zosilnením .....	28
Obr. 18 Vnútorne zapojenie a rozloženie pinov multiplexera.....	29
Obr. 19 Schéma zapojenia navrhnutého vyhladzovacieho filtra.....	30
Obr. 20 Odsimulovaný priebeh v Orcade - Priebeh na zdroji sínusového napätia.....	31
Obr. 21 Odsimulovaný priebeh v Orcade - sínusový priebeh po prechode dvojcestného operačného usmerňovača ( vid'. Kapitola 2.5 obr. 14 ) .....	31
Obr. 22 Odsimulovaný priebeh v Orcade- priebeh usmerneného signálu cez operačný zosilňovač ( vid'. Kapitola 2.6 obr. 17) a vyhladzovací filter(vid'. Kapitola 2.8 obr.19).....	32
Obr. 23 Nameraný priebeh signálu na operačnom usmerňovači pri $f = 50\text{Hz}$ ( žltý = sínusový zdroj napätia , zelený = signál po prechode usmerňovačom .....	35
Obr. 24 Nameraný priebeh signálu po prechode OZ a vyhladzovacím filtrom ( žltý = sínusový zdroj napätia , zelený = vyhladený signál po prechode vyhladzovacím filtrom .....	35

## Zoznam tabuliek

Tab. 1 Zoznam použitých symbolov .....	8
Tab. 2 Zoznam použitých skratiek .....	8
Tab. 3 Základné parametre tohto transformátora : .....	23
Tab. 4 Parametre elektromagnetického relé použitého v práci .....	26
Tab. 5 Základné parametre operačného zosilňovača TL074BCD: .....	27

## Zoznam použitých symbolov a skratiek

**Tab. 1 Zoznam použitých symbolov**

B	Magnetický tok	[Wb]
C	Kapacita kondenzátora	[F]
Hz	Jednotka frekvencie	[Hz]
I	Prúd	[A]
i(t)	Okamžitý prúd tečúci obvodom v aktuálnom čase	[A]
I <sub>1</sub>	Prúd na primárnom vinutí prúdového transformátora	[A]
I <sub>2</sub>	Prúd na sekundárnom vinutí prúdového transformátora	[A]
N <sub>1</sub>	Počet závitov primárneho vinutia prúdového transformátora	[-]
N <sub>2</sub>	Počet závitov sekundárneho vinutia prúdového transformátora	[-]
Ohm / $\Omega$	Elektrický odpor	[ $\Omega$ ]
R	Odpor	[ $\Omega$ ]
R <sub>z</sub>	Odpor záťaže	[ $\Omega$ ]
U	Napätie	[V]
u(t)	Okamžité napätie v obvode v aktuálnom čase	[V]
U <sub>0</sub>	Výstupné napätie	[-]
U <sub>1</sub>	Vstupné napätie	[-]
V	Voltmeter	[-]
$\tau$	Časová konštanta	[s]

**Tab. 2 Zoznam použitých skratiek**

A/D	Analógovo / digitálny prevodník
EEPROM	Elektricky programovateľná a mazateľná pamäť
FLASH	Druh pamäte
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Luminiscenčná dioda
MCU	Mikrokontrolér
RAM	Random access memory - pamäť s náhodným prístupom
ROM	Read only memory - pamäť iba na čítanie
SMD	Surface Mount Device - súčiastky pre povrchovú montáž
TTL	Tranzistorovo tranzistorová logika

## Úvod

Cieľom tejto práce je navrhnuť a zostrojiť systém na kontrolovanie chodu čerpadla. Tento systém musí byť schopný odhaliť poruchové stavy na čerpadle a merať po aký čas toto čerpadlo pracuje. Do tohto systému je možné nastaviť maximálnu dobu po ktorú má čerpadlo pracovať a po tomto časovom intervale ho musí bezpečne vypnúť a svetelnou a zvukovou signalizáciou dať o poruche vedieť.

Toto zariadenie bude umiestnené v rozvádzači na DIN lište. Napájané bude zo sieťového napätia 230V. Ako metódu merania prúdu som zvolil meranie pomocou prúdového transformátoru.

V prvej kapitole stručne vysvetlím a popíšem teoreticky základy metódy merania prúdu odoberaného čerpadlom.

V druhej kapitole je celý problém rozdelený do jednotlivých blokov. Pri jednotlivých blokoch sú rozobraté ich teoretické základy pre prácu, ich implementácia do systému, a popísané reálne súčiastkami ktoré sú v použité pri zhotovovaní systému.



# 1. Teoretický rozbor

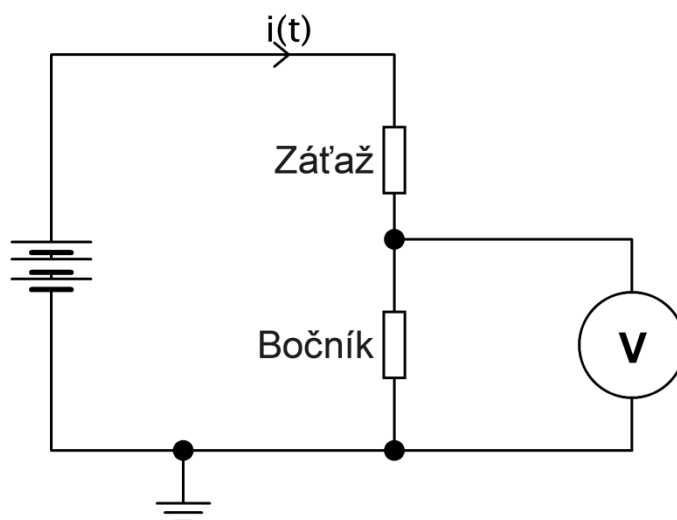
## 1.1 Metódy merania chodu čerpadla

Jedna z hlavných častí systému je zistenie stavu čerpadla. Stavom čerpadla sa myslí či motor pracuje normálne, či je vypnutý, poprípade či sa na ňom neprejavuje nejaký poruchový stav ako skrat alebo chod naprázdno. Ak by čerpadlo pracovalo naprázdno t.j. netlačilo by vodu alebo inú tekutinu tak by nevykonávalo žiadnu prácu a prúd ktorý by odoberalo zo zdroja by klesol na úroveň potrebnú na udržanie čerpadla v chode naprázdno. Aby sme zistili v akom stave je práve teraz čerpadlo bude najjednoduchšie merať prúd ktorý aktuálne odoberá zo siete. Spôsobov na meranie prúdu je viacero a preto je potrebné ich v ďalšej časti podrobnejšie popísať a vysvetliť ich klady a zápory. Zároveň je potrebné mať na mysli že hodnota prúdu ktorý bude meraný je ďalej spracovávaný mikrokontrolérom preto musí byť táto hodnota v rozsahu hodnôt aké je schopný spracovať A/D prevodník mikrokontroléru.

### 1.1.1 Meranie prúdu bočníkom

Meranie prúdu bočníkom je aj doteraz stále používaná metóda merania prúdu. Bočník nám umožňuje merať prúdy ktoré sú príliš vysoké na priame meranie napríklad ampérmetrom alebo mikroprocesorom. Bočník je vlastne odpor o veľmi malej hodnote. Tento odpor je sériovo zaradený do série so záťažou na ktorej je potrebné merať odoberaný prúd. Prúd pretekajúci bočníkom je priamo úmerný úbytku napätia na bočníku a je daný vzťahom Ohmovho zákona :

$$i(t) = \frac{u(t)}{R}$$



Obr. 1 Schéma zapojenia pre meranie úbytku napätia na bočníku

Bočník môže byť zhotovený vo veľa variantoch ale väčšinou pozostáva z nekovovej podložky na ktorej sú namontované dve svorkovnice do ktorých sa upnú prívodné vodiče od obvodu kde sa má bočník zaradiť do série a vodiče na od meracieho systému. Medzi týmito svorkovnicami je upevnený

odporový drôt rôznej hrúbky a odporu. Tento môže mať rôzne veľkosti. Jeho parametre ( dĺžka, hrúbka, šírka ) závisia na tom aké veľké prúdy chceme pomocou neho merať, z akého materiálu je vytvorený ( aký má odpor na jednotku dĺžky ). Môže byť aj poohýbaný vid' obrázok 2. Toto nemá na meranie žiaden vplyv. Ohyb odporového drôtu je čisto len z konštrukčných dôvodov - zmenšenie celkovej veľkosti celého bočníka aj s podložkou a lepšie chladenie odporového drôtu.



Obr. 2 Konštrukčné vyhotovenie bočníka

Výhody merania prúdu pomocou bočníka:

- bočníky sú lacné
- jednoduché na použitie
- pri poruche jednoduché na výmenu
- presné

Nevýhody merania prúdu pomocou bočníka:

- nie je zaistené galvanické oddelenie - pri skrate na zariadení možnosť zničenia bočníku poprípade meracieho systému
- ovplyvňuje meranie svojím vlastným odporom
- bočník nie je zaizolovaný teda pri neodbornom zachádzaní môže nastať úraz elektrickým prúdom
- odpor bočníka je tepelne závislý - so zmenou teploty sa mení

## 1.1.2 Meranie prúdovým transformátorom

Prúdový transformátor je druh transformátora ktorý sa používa na meranie striedavého prúdu. Na sekundárnej strane sa vytvára striedavý prúd ktorý je priamo úmerný striedavému prúdu na primárnej strane.

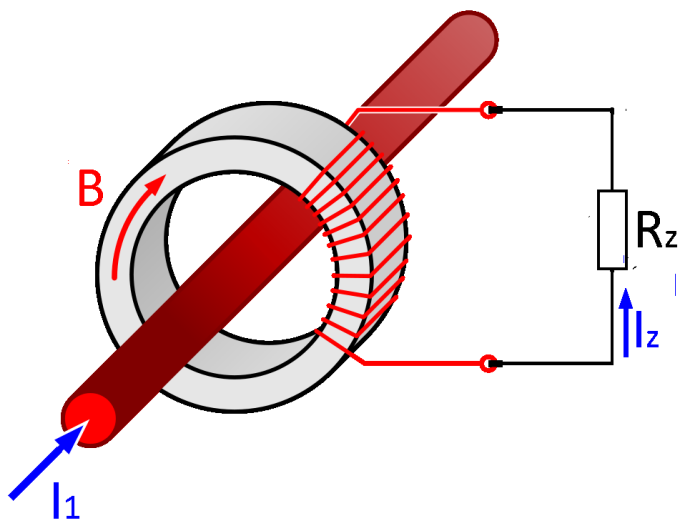
Tieto transformátory transformujú prúd zo zvyčajne vysokých hodnôt na hodnoty s ktorými dokážu pracovať aj mikrokontroléry. Ďalšou veľmi výhodnou vlastnosťou je to, že transformátor galvanicky oddeľuje meraciu sekundárnu časť obvodu od výkonovej primárnej časti.

Prúdové transformátory majú ako všetky transformátory primárne vinutie, sekundárne vinutie a jadro. Tieto však využívajú vzduchové jadro. Pri prechode prúdu primárnym vinutím sa v jadre indukuje magnetické pole ktoré vytvára prúd na sekundárnom vinutí. Tento prúd je daný vzťahom:

$$I_2 = I_1 \cdot \frac{N_1}{N_2}$$

Kde  $I_2$  je prúd sekundárnym vinutím,  $I_1$  je prúd primárnym vinutím,  $N_1$  je počet závitov primárneho vinutia a  $N_2$  je počet závitov sekundárneho vinutia.

Prúdové transformátory bežne pozostávajú z jadra z kremíkovej ocele s mnoho závitmi. Jadrá môžu mať rôzne tvary. Primárna cievka ktorou tečie meraný prúd je prevlečená cez prsteneц a zvyčajne pozostáva z jedného závitú. Primárna cievka môže byť aj trvalou súčasťou transformátora, napr. hrubé medené pláty na meranie veľmi vysokých prúdov. Prevod pri bežných malých transformátorov bežne býva 1000:1 tj. 1A na primáre sa rovná 1mA na sekundárnej strane. Hodnoty prevodu sú uvádzané v dátových listoch.



Obr. 3 Prúdový transformátor schématické zapojenie [1]

Prúdový transformátor má pri meraní striedavého prúdu svoju charakteristiku prevažne lineárnu a zhoršovať sa začne až keď je preťažený. Dôležitým poznatkom pri používaní meracieho transformátoru prúdu je fakt, že transformátor pracuje akoby v režime naprázdno. Teda veľmi dôležitú rolu hrá aj dĺžka prívodných káblov od transformátoru k miestu merania. čím dlhšie sú prívodne vodiče tak tým je väčšia nepresnosť merania v dôsledku možnosti naindukovania rušivého napätia na tieto vodiče a taktiež väčšia dĺžka spôsobuje väčšie straty a teda väčšiu chybu merania.

Ďalším pravidlom je, že svorky transformátora nesmú zostať nepripojené a byť len "voľne visiace". V dôsledku magnetického toku cez meraný vodič by mali nepripojené svorky za následok naindukovanie vysokého napätia na sekundárnej strane čo by viedlo až k zničeniu meradla či už voltmetra alebo mikroprocesoru. Preto sa vždy musia všetky nepoužité vývody pripojiť k zemi alebo k meraciemu systému.



Obr. 4 Zopár z mnohých možných vyhotovení prúdových transformátorov [2]

Výhody merania pomocou prúdového transformátora

- galvanické oddelenie výkonovej časti a časti meracej
- veľký rozsah meraných prúdov - vyrábaný v rôznych veľkostiach a rozsahoch
- kompletne zaizolované - malá šanca poranenia elektrickým prúdom
- lineárna charakteristika

Nevýhody tejto metódy

- Drahšie ako bočník
- pre meranie väčších prúdov je potreba väčšie rozmery

### 1.1.3 Meranie pomocou Hallovej sondy

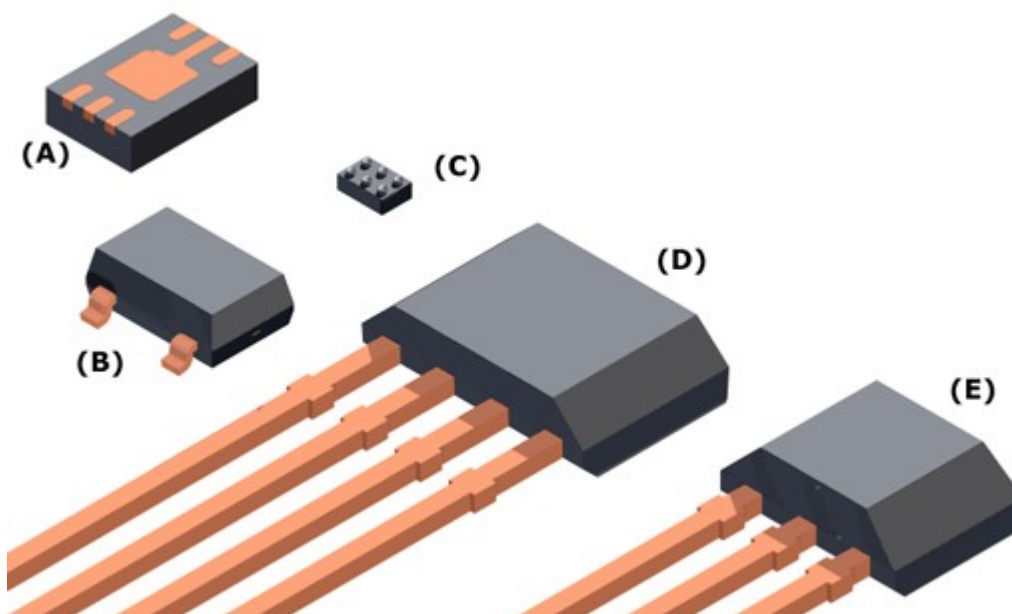
Hallov snímač alebo Hallova sonda je snímač ktorý mení svoje výstupné napätie na základe zmeny magnetického poľa ktoré ním prechádza. Hallove snímače sú bežne používané na meranie rýchlosti otáčania hriadeľov alebo kolies napríklad vo vnútri spaľovacieho motora a na meranie aktuálnej polohy hriadeľa z čoho sa počíta riadenie časovania motora. Ďalšie použitie je napríklad pri meraní rýchlostí ventilátorov alebo riadenie rýchlostí pevných diskov v počítači.

Technické vyhotovenie:

Hallove sondy sú vyrobené zo zlúčenín polovodičových kryštálov u ktorých je hlavným faktorom ovplyvňujúcim citlivosť sondy pohyblivosť elektrónov. Medzi materiály používané na výrobu sond patria zlúčeniny ako:

- Galium Arzenid (GaAs)
- Indium Arzenid (InAs)
- Fosfid India (InP)
- Antimod India (InSb).

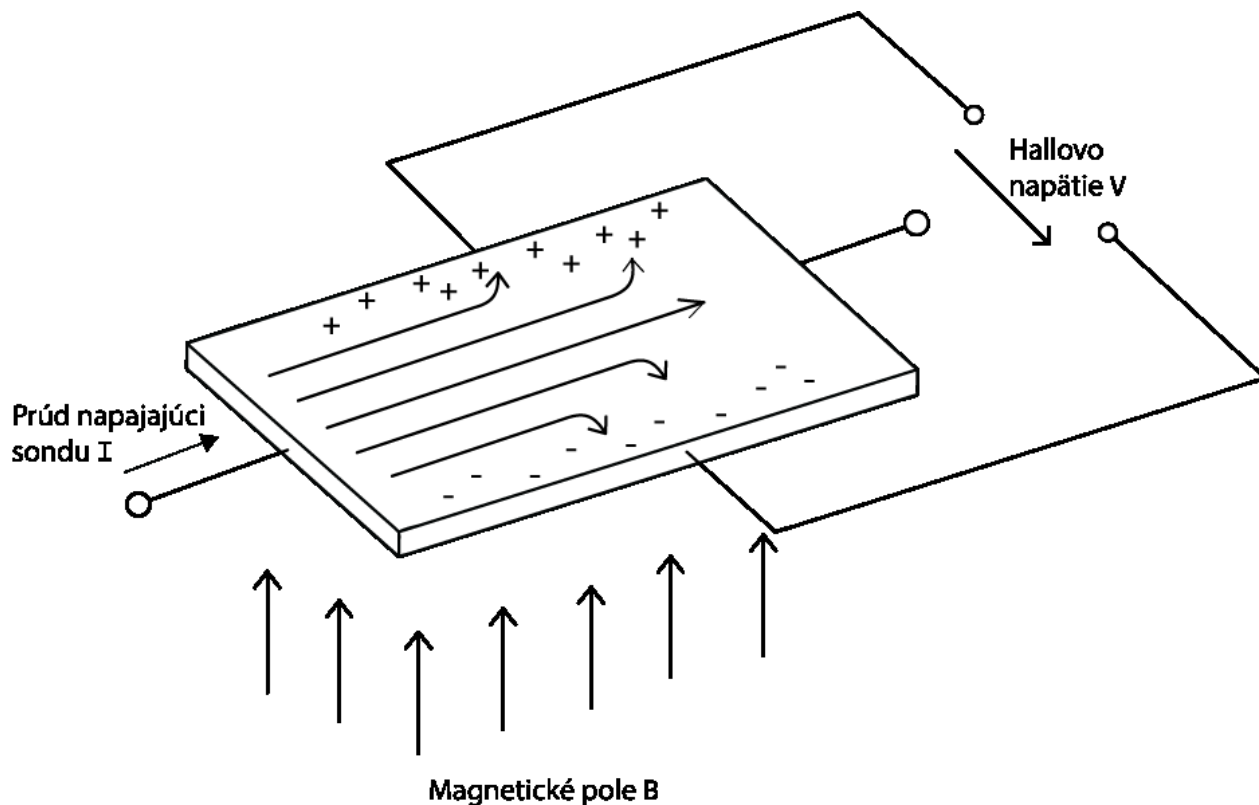
Tieto kryštály sú vyhotovené ako tenká polovodičová doštička/pásik s odporom 0,01 až 20 ohmov a hrúbkou okolo 0,1 mm. Pri tejto hrúbke ide o kompromis medzi mechanickou pevnosťou doštičky a citlivosťou sondy, keďže čím je doštička tenšia tým je jej citlivosť vyššia. Táto doštička je namontovaná na držiaku ktorý musí byť vyrobený z neferomagnetického materiálu aby neovplyvňoval a nerušil meranie. Doštička má dva páry kontaktov. Jeden pár kontaktov je širší ako druhý. Širšie kontakty sú na prívod prúdu do sondy, pričom tenšie sú na snímanie výstupného Hallovho napätia. Celé je to zapuzdrené a kontakty sú vyvedené von z puzdra.



Obr. 5 Puzdrá v ktorých sa vyrábajú hallove sondy (A) MLP - pre povrchovú montáž (SMD), (B) SOT23W, (C) CSP, (D) K-SIP, (E) TO9AU [3]

Hallová sonda musí byť udržiavaná v magnetickom poli tak, že magnetické siločiaru prechádzajú cez ňu kolmo. Prúd ktorý prechádza kryštálom keď je sonda v magnetickom poli má za následok takzvaný "Hallov jav".

Hallov jav vzniká keď tok elektrónov vodičom prechádza magnetickým poľom, sila známa ako Lorentzova sila pôsobí na častice a Tok elektrónov je vychýlený z priamej dráhy. Ak je vodič umiestnený v magnetickom poli kolmo na smer elektrónov, budú vychýlené z priamej dráhy. V dôsledku tohto javu sa jedna rovina vodiča stane záporne nabitá a opačná bude nabitá kladne. Napätie medzi týmito rovinami sa nazýva ako Hallovo napätie.



Obr. 6 Princíp funkcie Hallovej sondy

Keď je sila pôsobiaca na nabitú časticu v elektrickom poli rovnaká ako sila produkovaného magnetického poľa, separácia nosičov sa zastaví. V prípade že prúd sa nemení, je veľkosť Hallovho napätia úmerná veľkosti hustoty magnetického toku. V podstate existujú dva druhy Hallových sond.

Jedným z nich je sonda lineárna. To znamená že táto sonda konvertuje hustotu magnetického toku ktorý cez ňu prechádza na Hallovo napätie ktoré je priamo úmerné veľkosti toku. Táto sonda je vhodná na meranie prúdu ktorý tečie vodičom, meranie vzdialenosti magnetu od sondy.

Druhý druh sondy je sonda v tak zvanom spínacom režime. V tomto režime funguje ako magnetický spínač na ktorého výstupoch sa objavujú len logické úrovne 1 a 0. Táto sonda býva doplnená o histeréziu, aby sa zabránilo prekmitávaniu medzi úrovňami počas toho ako bude magnet alebo meraný objekt v medznej hodnote medzi vzdialenosťou kedy je výstup sondy v log 0 a vzdialenosťou kedy je v log 1.

Výhody merania prúdu pomocou Hallovej sondy :

- môže fungovať aj ako bezkontaktný prepínač
- dokáže operovať až do frekvencie desiatok kHz
- vytvára galvanické oddelenie od meranej časti obvodu
- veľmi malé rozmery - aj SMD
- dokáže merať široký rozsah veľkosti magnetického poľa

Nevýhody :

- je teplotne závislá
- na výstupe je vždy takzvané offsetové napätie aj keď sondou neprechádza magnetické pole
- zo stúpajúcou vzdialenosťou od zdroja magnetického poľa klesá jej schopnosť ho merať

## 1.2 Zhrnutie teoretických výsledkov

V teoretickom rozbere boli vysvetlené hlavné možnosti merania chodu čerpadla ktoré je možné použiť v tejto práci a boli vypísané som ich hlavné výhody a nevýhody.

Meranie pomocou bočníka nie je vhodné použiť kvôli požadovanému galvanickému oddeleniu meracej časti od časti výkonovej.

Ďalšia podmienka vyhotovenia výrobku ktorá je zadaná je, že toto zariadenie má byť umiestnené v krabičke v rozvodnej skrini primontované na DIN lište a zároveň musí byť schopné plnohodnotnej prevádzky počas celého roka. V tejto rozvodnej skrini bude teda počas roka veľký rozptyl teplôt. Táto skutočnosť vylučuje použitie Hallovej sondy kvôli jej teplotnej závislosti.

V práci je použitý na meranie prúdu odoberaného čerpadlom Prúdový transformátor AC1010. Tento transformátor je schopný merať prúdy na primárnej strane až do 10A. Ak by bolo potrebné merať prúd cez čerpadlá alebo motory ktoré majú vyšší odber, tak by bolo potrebné vybrať transformátor ktorý by túto podmienku splňoval.

## 2. Vlastné vypracovanie

Základným podnetom na vypracovanie tejto práce bola problematika nádržou s vodou ktorá sa pravidelne naplňa a vypúšťa. Vypúšťanie tejto nádrže je realizované pomocou čerpadla ktoré je riadené mechanickým plavákom ktorý je umiestnený v nádrži ( keď hladina vody stúpne nad nejakú hodnotu tak sa čerpadlo zapne a je zapnuté až pokým hladina vody neklesne pod určitú hodnotu ). Takto sa čerpadlo pravidelne zapína a vypína. Problém však nastáva keď sa výpusť z nádrže upchá ( voda netečie do čerpadla ). Vtedy voda neodteká z nádrže a plavák je v hodnote kedy je čerpadlo zapnuté. V tomto stave toto čerpadlo môže bežať niekoľko hodín, pri dobrom chladení čerpadla aj niekoľko dní. Keďže pri chode naprázdno ( keď čerpadlo netlačí vodu ) nevykonáva žiadnu prácu tak jeho prúd odoberaný zo siete je menší a preto na tento stav nadprúdové ochrany nezareagujú. Toto čerpadlo sa vypne až keď sa prehreje a zareaguje jeho vnútorná tepelná ochrana. Tento stav však môže mať za následok už tepelné poškodenie čerpadla, pri najlepšom len veľké množstvo zbytočne spotrebovanej elektrickej energie. Tomuto stavu sa sa chce zabrániť. V nasledujúcej časti bude popísaná funkcia zariadenia ktoré bude sledovať stav čerpadla, merať čas po ktorý beží a v prípade poruchy ( príliš dlhý chod čerpadla, elektrické poruchy - skrat ) vyhlási chybu a pomocou svetelných a akustických zariadení ju oznámi.

Cieľom tejto práce je teda navrhnúť a zostrojiť systém ktorý by dokázal merať elektrický prúd čerpadlom, zistiť jeho aktuálny stav a vypnúť ho po nami nastavenom časovom intervale alebo pri detekcii poruchového stavu tj. chodu nakrátko alebo naprázdno a o tejto udalosti dať vedieť svetelnými a zvukovými signálmi.

Tento výrobok má fungovať nasledovne :

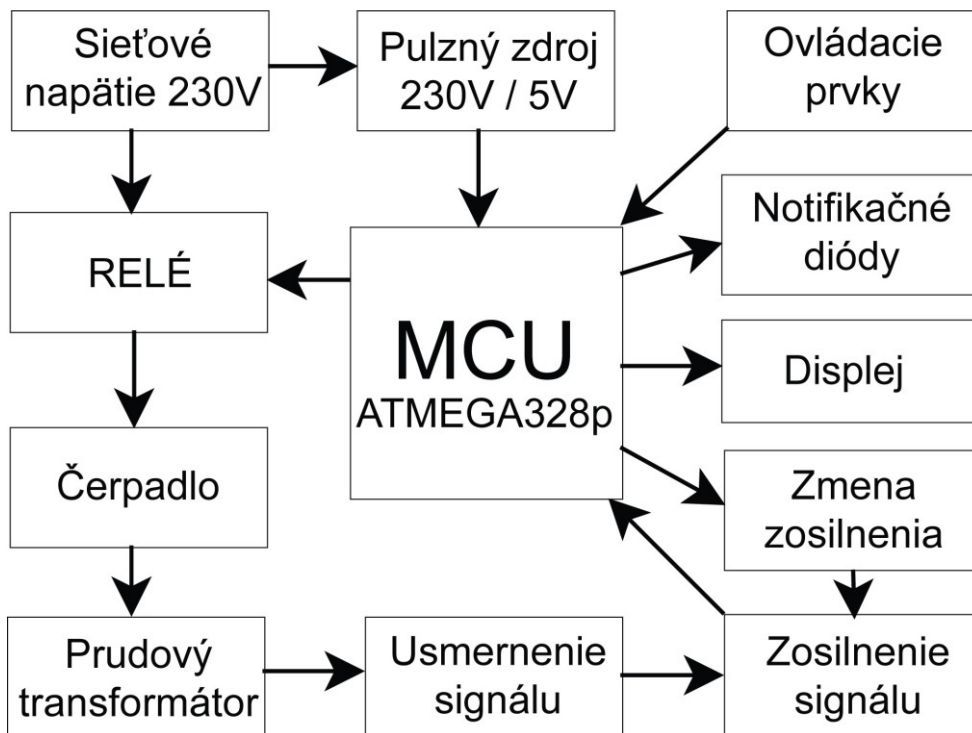
Na ovládacích prvkoch si nastavíme čas počas ktorého ma byť čerpadlo v prevádzke ( tento čas bude zobrazovaný aj na displeji ). Zariadenie má merať prúd odoberaný čerpadlom. Aby zariadenie bolo schopné dobre zisťovať poruchové stavy, treba ho nakalibrovať na aktuálne pripojené čerpadlo počas toho ako toto čerpadlo bude v bezporuchovom stave pracovať. Toto je vykonávané pomocou tlačidla "Kalibrácia". Po stlačení tohto tlačidla sa začne zariadenie kalibrovať čo znamená že začne merať prúd odoberaný čerpadlom po dobu asi 30 sekúnd a tieto namerané hodnoty spriemeruje a uloží si ich do EEPROM pamäte ( táto pamäť sa aj po odpojení napájania mikrokontroléra nevymaže ) a vždy pri resete zariadenia si ju mikrokontrolér načíta. Táto hodnota sa používa na zistenie elektrických poruchových stavov čerpadla - skrat/ chod naprázdno. Ak však zariadenie nie je nakalibrované tak nebude merať prúd ani hlásiť poruchy.

Hneď ako prúd stúpne z nuly tak na túto skutočnosť zareaguje časovač ktorý začne počítat čas po ktorý čerpadlo beží. Ak sa čerpadlo vypne ( prúd odoberaný ním klesne na 0 ) tak sa časovač vynuluje a čaká až kým sa čerpadlo znova nerozbehne. Ak sa však čerpadlo nezastaví ani za nami požadovaný čas, tak mikrokontrolér rozopne relé cez ktoré je zapojené čerpadlo, teda vypne čerpadlo. Následne na displej vypíše oznámenie o chybe, rozsvieti led diódu ktorú má za účel oznámiť chybu svetelným signálom a zapne buzzer ( bzučiak ) ktorý bude o chybe oznamovať akustickým signálom. V takomto stave to ostane až kým užívateľ fyzicky nepríde k zariadeniu a nezresetuje ho. Resetom alebo inak reštartom zariadenia sa vymažú chybové hlásenia, zhasne "chybová" led dióda, vypne sa buzzer a znova sa zopne relé ovládajúce čerpadlo, ktoré je možné teraz znova zapnúť pomocou plaváka v nádrži.

Ako už bolo spomenuté, zariadenie má byť uzavreté v krabičke, ktorá je pripevnená na DIN lište v rozvážači. Všetky ovládacie prvky, notifikačné diódy a displej musia byť vyvedené z vonkajšej strany krabičky a musia byť dobré viditeľné. Zariadenie musí zabezpečovať galvanické oddelenie meracej časti od časti výkonovej a musí byť schopné nepretržitej prevádzky, a malo by byť



schopné merať ľubovoľné čerpadlo / motor ktorý k nemu pripojíme ( pokiaľ prúd odoberaný čerpadlom nepresiahne maximálnu hodnotu prúdu na ktorú je stavaný prúdový transformátor a relé.)



Obr. 7 Bloková schéma sledovacieho relé na čerpadla

Popis blokovej schémy sledovacieho relé :

Jadrom celej blokovej schémy je mikrokontrolér ATmega 328p. Tento bude umiestnený na doske plošných spojov ktorá bude v krabičke. Krabička bude umiestnená v rozvážači a teda bude napájaná zo siet'ového napätia 230V. Kvôli malým rozmerom krabičky a potreby nemať v okolí prúdového transformátora žiaden rušivý zdroj indukovaného napätia ktoré by sa mohlo nepriaznivo naindukovať na prúdovom transformátore a tým ovplyvňovať merané hodnoty ktoré zaznamenáva A/D prevodník je použitý malý pulzný zdroj ktorý mení 230V striedavého napätia na vstupe na jednosmerné napätie o hodnote 5V na výstupe, čo bude slúžiť jak pre napájanie mikrokontrolera, displeja, operačných zosilovačov ale aj relé.

Čerpadlo je umiestnené pri nádrži a cez toto zariadenie je cez relé pripojený jeho fázový vodič ( pomocou wago svoriek ). Tento vodič je prevlečený cez prúdový transformátor kde tvorí jeden závit primárneho vinutia transformátora. Zo sekundárnej strany transformátora je vyvedený signál ďalej spracovávaný. Keďže signál z transformátora má striedavý charakter a ATmega dokáže pracovať len s jednosmernými signálmi, musí byť usmernený.

Usmernenie je vykonávané pomocou operačného usmerňovača a to z dôvodu že pri odbere čerpadla 1A je na sekundárnej strane transformátora 1mA a na zaťažovacom odpore o hodnote 100 ohmov je

teda 100mV. Z tohto dôvodu nie je možné použiť usmerňovanie napríklad pomocou diódového mostíka keďže úbytok napätia na každej usmerňovacej dióde je 0.6 - 0.7V a na šotkyho dióde 0.5V. Následne je tento signál zosilnený aby ho dokázal A/D prevodník dobre zaznamenať.

Zmena zosilnenia je do tejto práce zimplementovaná z dvoch dôvodov. Jedným z nich je to aby bol využitý celý rozsah A/D prevodníka a druhým je to že ak by sa v budúcnosti pripojilo výkonnejšie čerpadlo tak by hodnota na výstupe zosilňovača mohla byť príliš vysoká čo by mohlo viesť k zničeniu mikrokontroléra.

Ďalšími blokmi sú bloky s riadiacimi prvkami, notifikačnými diódami a displej na ktorý sa vypisuje aktuálny čas merania a aktuálny odoberaný prúd.

V nasledujúcej sekcii sa podrobne vysvetlia jednotlivé bloky a ich reálne implementovanie.

## 2.1 Mikrokontrolér - MCU

Pod pojmom mikrokontrolér (z angličtiny MCU - microcontroller unit ) sa rozumie jedno čipový mikropočítač tvorený jedným integrovaným obvodom.

Mikrokontrolér pozostáva z [4] :

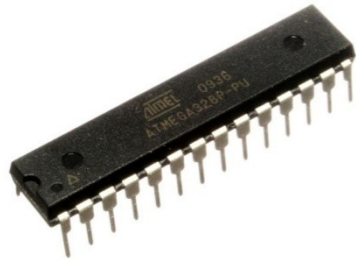
- Procesorové jadro
- Pamäť RAM
- Pamäť s programom vo forme FLASH / ROM / EPROM
- Časovače
- Programovateľné vstupno/výstupné periférie kompatibilne s úrovňami TTL
- Kontroléry komunikácií ( UART , I2C , SPI )
- A/D a D/A prevodníky

V tejto práci používam mikrokontrolér ATMEGA 328p z rodiny MEGA AVR vyrobený nórskou spoločnosťou Atmel. Atmega 328p je 8 bitový mikrokontrolér využívajúci RISC inštrukčnú sadu.

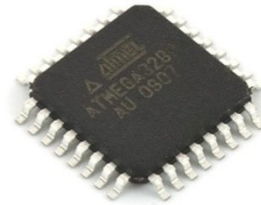
Kombinuje:

- 32kB ISP flash pamäte s možnosťou čítania a zapisovania
- 1kB EEPROM pamäť
- 2kB SRAM pamäte
- 23 všeobecne použiteľných vstupno/výstupných pinov
- 2 čítače/časovače
- vnútorné a vonkajšie prerušenie
- sériovú programovateľnú USART komunikáciu
- I2C komunikáciu
- SPI sériový port
- 10-bitový A/D prevodník s možnosťou multiplexu až na 6 kanálov
- programovateľný watchdog časovač
- vnútorný 1MHz oscilátor

- 5 možností spánku(úspory energie pre aplikácie požadujúce dlhú trvácnosť batérie).
- výpočtový výkon až 1 MIPS pri frekvencii jadra 1MHz



DIP-28



TQFP-32

**Obr. 8 Puzdrá v ktorých sa vyrába ATmega 328p**

Atmega 328p je TTL integrovaný obvod. Je napájaný zo zdroja napätia o hodnote +5V ktorý je reprezentovaný pulzným zdrojom. V mojej schéme používam kvôli šetreniu miesta Atmegu v SMD puzdre TQFP-32.

Má v sebe integrovaný 1MHz oscilátor ale kvôli vyššiemu výpočtovému výkonu som na jej vývody pripojil 16MHz SMD kryštál s ktorým dosahuje výpočtového výkonu až 16MIPS. Dokáže však pracovať až na 20 MHz. [5]



**Obr. 9 Puzdro kryštálu HC49/USSMD Q 16.00MHz použitého v práci**

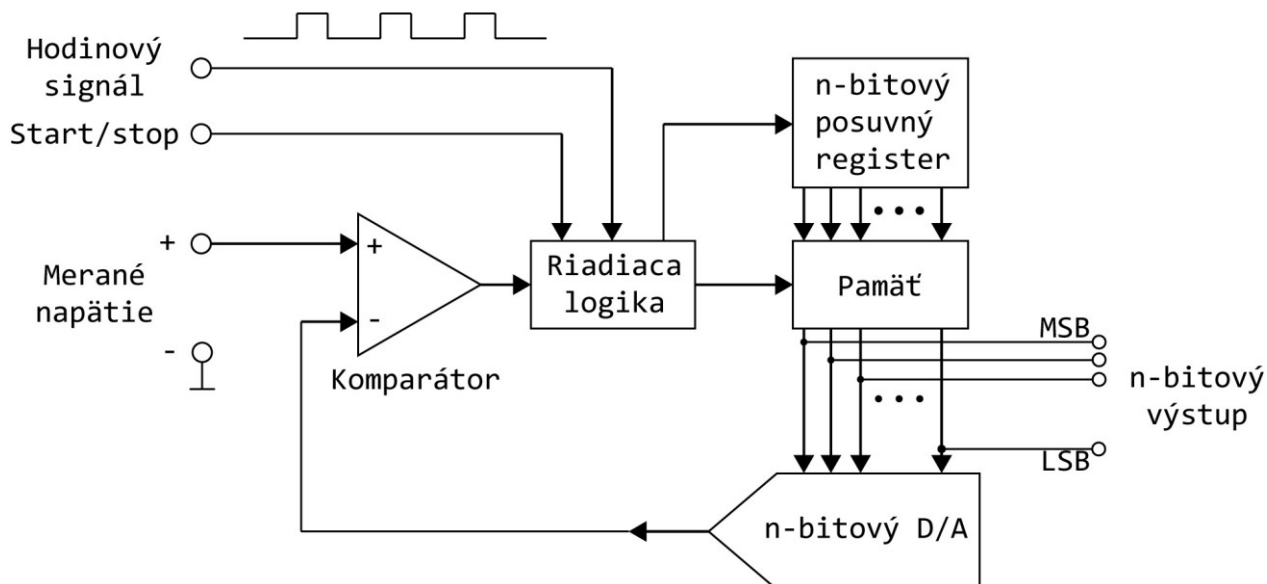
Rozmery tohto kryštálu sú 11.5x4.8 mm. A má teplotný rozsah od -40 do +85°C

### **2.1.1 Analógovo/Digitálny prevodník**

Atmega 328 p využíva jeden 10-bitový A/D prevodník s postupnou aproximáciou. Tento A/D prevodník je pripojený na 7 multiplexovaných vstupov. 6 z toho je pripojených na vstupno/výstupné piny na potre A, jeden je pripojený na teplotný senzor integrovaný do mikrokontroléra. A/D prevodník má napájanie vyvedené na vlastnom pine Avcc a obsahuje vnútornú napäťovú referenciu o hodnote 1.1V. A/D prevodník s postupnou aproximáciou prevedie analógovú hodnotu na vstupe na 10-bitovú číselnú hodnotu ktorej minimum je 0V čiže zem a jej maximum je napätie pripojené na referenčnom pine Aref.

Rozlíšenie tohto prevodníka je dané hodnotami referenčného napätia  $U_{ref}$  a počtu bitov prevodníka  $n$  je dané vzťahom :

$$\text{Rozlíšenie} = \frac{U_{ref}}{2^n}$$



Obr. 10 Bloková schéma princípu funkcie A/D prevodníka s postupnou aproximáciou

To že má prevodník 7 multiplexovaných vstupov znamená že je vždy možné robiť prevod len jedného vstupu. Prevod môže trvať 13 - 260us a maximálna vzorkovacia frekvencia je pri maximálnom rozlíšení 15kSPS ( 15000 vzorkou za sekundu ).

V práci je A/D prevodník využívaný na meranie prúdu z prúdového transformátora ( až po jeho úprave ) a druhý multiplexovaný vstup je využitý na meranie hodnoty potenciometra ktorým sa nastavuje čas po ktorého uplynutí sa čerpadlo vypne.

## 2.1.2 Čítač/Časovač

Atmega obsahuje 2 čítače časovače jeden je 8-bitový a druhý 16-bitový. Atmega má veľmi zaujímavú štruktúru čítačov. Obvod má dva vstupy a jeden výstup. Ak sa bude používať tak, že signál pripojíme na pin Tn tak bude počítat' pulzy na tomto pine. Ak sa nastaví nech pracuje na internom alebo externom kryštáli tak z neho bude časovač ktorý pri každom takte hodinového signálu zvýši svoju hodnotu o 1. Takto ju zvyšuje až kým nedosiahne svoju maximálnu hodnotu ( hodnotu ktorá sa mu nastaví ). Pri 8-bitovom čítači je to hodnota 255 a pri 16-bitovom zase 65535. Keď dosiahne túto hodnotu tak do registra TOVn zapíše log 1 ktorá znamená že čítač "pretiekol" teda sa dostal na maximálnu hodnotu. Po prečítaní tohto registra sa vynuluje a čítač/časovač začne znova počítat' od nuly. Ak nastavíme tento časovač na výstupný pin, môže sa používať ako PWM generátor z nastaviteľnou striedou.

Časovač je používaný na meranie času po ktorý beží čerpadlo. Tento čítač/časovač je nastavený tak, aby každú sekundu pretiekol, teda sa dopočítal svojej maximálnej hodnoty, zapísal log 1 do registra na jeho pretečenie. Vždy keď toto pretečenie nastane tak sa do premennej na meranie času pripočíta 1. Kontrolu či prerušenie pri pretečení čítača/časovača už nastalo sprostredkováva funkcia ktorá nastane ihneď po prerušení. Teda sa nemôže stať že by mikrokontrolér vykonával nejakú inú činnosť keď nastane táto pretečenie, teda meranie tohto času je pomerne presné. Jeho presnosť závisí najmä od presnosti kryštálu ktorý je použitý v zapojení.

V prípade ako je tento keď je potrebné aby čítač "pretiekol" každú sekundu by bolo nemožné sa dopočítať do tejto hodnoty kvôli obmedzenej veľkosti registra kde sa zapisuje maximalna hodnota čítača. Keďže kryštál má frekvenciu 16 MHz a maximálna hodnota do ktorej môže čítač počítať je 65535 tak by prerušenie od čítača bolo približne každé 4ms. Tento problém sa dá jednoducho vyriešiť predeličkou ( ang. Prescaller ). Predelička má za úlohu podeliť frekvenciu kryštálu nejakým číslom. Tieto čísla sú (0, 8, 32, 64, 128, 256 a 1024) Aby sa nastavil časovač na presne jednu sekundu, je potrebné vypočítať jeho maximálnu hodnotu do ktorej má rátať aby tento čas presne odpovedal 1s. Register do ktorého sa ukladá maximálna hodnota sa označuje rovnako ako táto hodnote, teda OCRn register.

$$OCR_n = \left( \frac{\text{frekvencia kryštálu}}{\text{hodnot a predeličky}} \cdot \text{požadovaný čas v sekundách} \right) - 1$$

po dosadení dostanem

$$OCR_n = \left( \frac{16\,000\,000}{1024} \cdot 1 \right) - 1 = 15624$$

táto hodnota sa už do 16-bitového registra uložiť dá a čítač bude počítať do tejto hodnoty presne 1s.

V programe je tak nastavené, nech čítač začne počítať až keď je hodnota prúdu ktorý odoberá čerpadlo väčšia ako 0 tj. čerpadlo pracuje. Hneď ako prestane pracovať tak sa časovač vynuluje a čaká kým sa čerpadlo znova neuvedie do chodu.

### 2.1.3 Externé prerušenie

Externé prerušenie je veľmi užitočná funkcia mikrokontroléru. ATmega má 2 piny na ktoré je možné naprogramovať externe prerušenie napr. tlačidlom. Sú to INT0 a INT1. Na týchto pinoch môže byť prerušenie nastavené aby reagovalo na 4 stavy :

- logická 0 vytvorí prerušenie
- logická zmena vytvorí prerušenie ( log.0 → log.1 , log.1 → log.0)
- zmena logickej úrovne z log.0 → log.1 vytvorí prerušenie ( ang. rising edge )
- zmena logickej úrovne z log.1 → log.0 vytvorí prerušenie ( ang. falling edge )

Externé prerušenie sa dá nastaviť síce na všetkých pinoch ATmegy, avšak už sa nedajú nastaviť parametre pri ktorých sa vytvorí požiadavka na prerušenie tak ako je tomu na pinoch INT0 a INT1. Na obyčajných I/O pinoch sa vytvorí prerušenie po ľubovoľnej logickej zmene ( log.0 → log.1 , log.1 → log.0).

Prerušenie funguje tak, že hneď ako príde požiadavka na prerušenie ( napr. z nejakého pinu ) tak mikrokontrolér preruší aktuálne vykonávanú časť kódu, preskočí do kódu pre prerušenie, táto časť sa vykoná a znova sa vráti to časti kódu ktorá sa prerušila kvôli prerušeniu.

Toto je výhodná vlastnosť aby sme dokázali zachytiť deje ktoré nevieme kedy presne nastanú ( napríklad spomínané stlačenie tlačidla užívateľom ). Toto môže nastať hocikedy a ak by práve vtedy mikrokontrolér vykonával inú činnosť ( a nekontroloval pin na stlačenie tlačidla ) tak by táto akcia nemusela byť zaznamenaná. Pokiaľ je však prerušenie správne nastavené tak sa akcia stlačenia tlačidla užívateľom vždy zachytí a vykoná.

V práci je použité prerušenie na tlačidlo "Kalibrácia" ( viď. kapitola 2 - vlastné vypracovanie - popis funkcie).

## 2.2 Displej

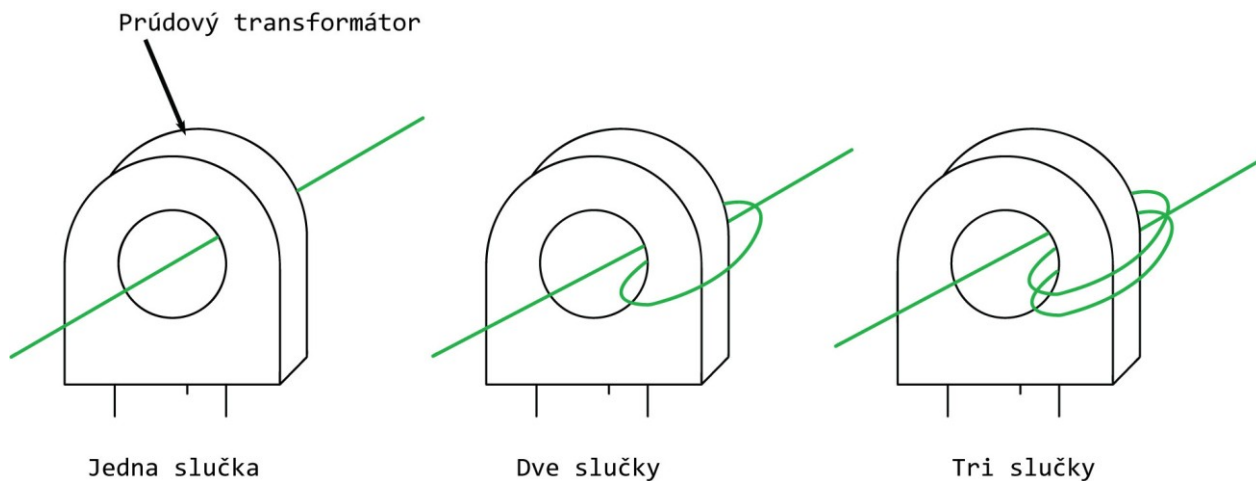
Údaje o aktuálnom prúde odoberanom čerpadlom a o nastavenom čase po ktorý má bežať čerpadlo musia byť zobrazené užívateľovi pre ľahkú obsluhu zariadenia. Na zobrazenie týchto údajov je použitý alfanumerický displej WINSTAR WH0802A1-YGH-ET. Jedná sa o dvojriadkový LCD (ang. liquid crystal display) displej ktorý má na každom riadku 8 znakov.

Tento displej komunikuje s MCU pomocou sériovej komunikácie SPI ( ang. Serial Peripheral Interface ). Táto komunikácia sa stala štandardom kvôli jej vysokej používanosti. Komunikácia prebieha medzi dvoma zariadeniami z ktorých jedno je Master ( ATmega ) a druhé je Slave ( displej ). Na túto komunikáciu sú potrebné 4 vodiče.

- SCLK - obsahuje hodinový takt pre synchronizáciu oboch zariadení a správne čítanie dát
- MISO - Master In Slave Out - Slave posiela dáta do Mastera
- MOSI - Master Out Slave In - Slúži na posielanie dát od Mastera do Slave
- SS - V prípade pripojenia viacerých Slave zariadení slúži tento pin na výber medzi nimi.

## 2.3 Prúdový transformátor

Ako metódu na meranie prúdu odoberaného čerpadlom som zvolil prúdový transformátor. Je to transformátor ktorý má len sekundárne vinutie. Ako primárne vinutie sa používa vodič ktorý cez ktorý chceme merať prúd. Prúdový transformátor transformuje vysoký prúd na primárom vinutí na prúd o nízkej hodnote na sekundárnom vinutí pričom tvorí galvanické oddelenie primárnej a sekundárnej strany.



Obr. 11 Počet slučiek pri zapojení prúdového transformátora

V tejto práci je použitý malý prúdový transformátor AC1010. Označenie hovorí o tom že je navrhnutý na meranie prúdov do 10A, aj keď chvíľkovo zvláda až 60 A. Pri dlhšom prúdovom preťažení je pravdepodobné že dôjde k zničeniu vinutia transformátora kvôli teplotnému preťaženiu a môžu byť zničené aj ďalšie obvody na spracovávanie tohto signálu.

Tab. 3 Základné parametre tohto transformátora :

Prúd pretekajúci primárnym vinutím	10A nominálne ( 60A maximálne )
Počet závitov sekundárneho vinutia	1000
Jednosmerný odpor pri 20°C	41.8 ohm
Maximálna dielektrická pevnosť	4kV rms
Pracovný rozsah teplôt	-55°C - 130°C



Obr. 12 Prúdový transformátor AC1010 použitý v práci.

## 2.4 Relé

Pri poruchovom stave alebo pri stave keď by čerpadlo pracovalo aj po nami nastavenom čase je treba aby MCU toto čerpadlo vypol. Kvôli bezpečnosti je nutné aby bola riadená výkonová časť ( napájanie čerpadla ) galvanicky oddelená od riadiacej časti ( MCU ) a preto je potrebné použiť Relé. Je to elektrotechnická súčiastka ktorá slúži na spínanie a rozpínanie elektrického obvodu.

Existuje niekoľko druhov relé.

Napríklad:

- SSR - polovodičové relé ( ang. Solid State Rele )
- elektromagnetické relé
- hydraulické relé
- pneumatické relé

### 2.4.1 SSR

SSR je polovodičový spínací prvok ktorý sa používa ako náhrada za elektromagnetické relé alebo stykač. Preto sa aj zaradzuje medzi relé. Keďže sa jedná o polovodičový prvok neobsahuje na rozdiel od elektromagnetického relé žiadne pohyblivé kontakty ktoré by sa pri spínaní mohli opotrebovať, vytvárali by hluk a rušenie pri spínaní. Medzi ďalšie výhody sa radia jeho menšie rozmery a vysoká spínacia frekvencia ktorú je možné dosiahnuť. Medzi nevýhody však patrí vyšší úbytok napätia, preto je nutné ho v niektorých prípadoch osadiť aj chladičom a tiež je aj drahšie ako elektromagnetické. Pre túto prácu je však najväčšia nevýhoda to, že toto relé nevytvára galvanické oddelenie riadenej a riadiacej časti elektrického obvodu. To znamená že pri preťažení a chybe je možné aby sa škodlivé vysoké napätie dostalo do riadiacej časti čo by spôsobilo jej deštrukciu. Pre tento dôvod je toto relé pre tento systém nepoužiteľné. [6]

### 2.4.2 Elektromagnetické relé

Elektromagnetické relé je elektrotechnická súčiastka ktorá obsahuje elektromagnetom spínané kontakty. Ako elektromagnet je použitá cievka navinutá na jadre z feromagneticky mäkkého materiálu. Magnetický obvod je uzavretý pohyblivou kotvou. Kotva je pomocou pružiny udržiavaná v pokojovej polohe a súčasne sa opera o jeden z kontaktov. Po privedení elektrickej energie na elektromagnet vyvolá prúd tečúci cievkou v magnetickom obvode magnetický tok. Ten vytvorí príťažlivú silu na kotvu. Táto sila premôže silu pružiny a pohyblivý kontakt sa preklopí. Po odpojení elektrickej energie sa kotva s kontaktom vráti do pokojovej polohy. [7]

Výhody elektromagnetického relé:

- tvorí galvanické oddelenie riadiacej a spínanej časti obvodu
- malý odpor
- vysoký počet spínacích cyklov
- jednoduchá nahraditeľnosť v prípade poruchy

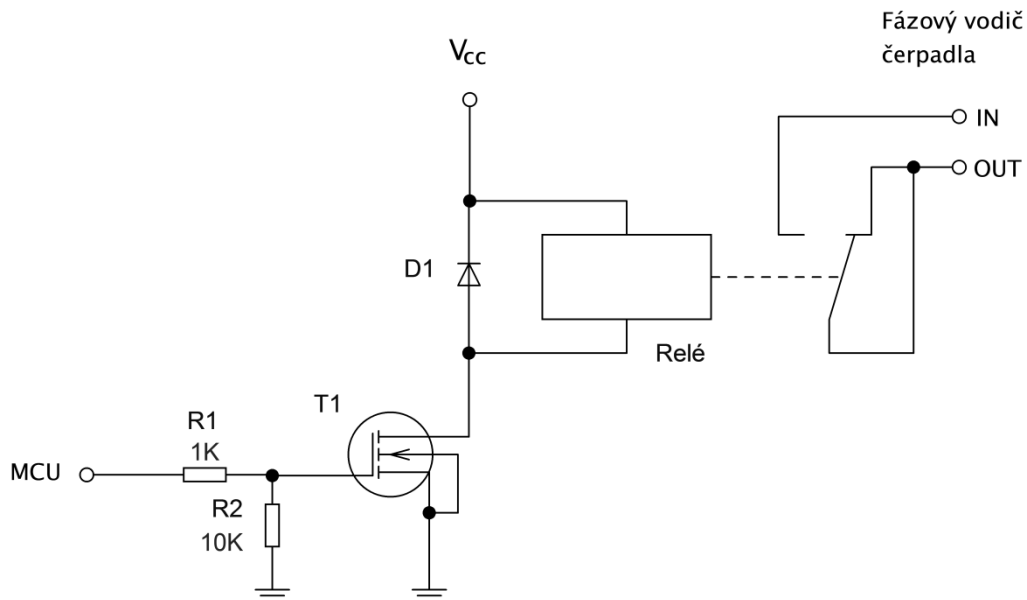


Nevýhody :

- spínacia a rozpínacia rýchlosť - +/- 10Hz
- väčšia hmotnosť kvôli prítomnosti cievky ktorá zabezpečuje spínanie
- pri spínaní a rozpínaní odskakujú kontakty - vzniká rušenie

Keďže prúd odoberaný cievkou v relé je podstatne vyšší ako maximálny prúd ktorý sme schopný odoberať z pinu na ATmege ( 40 mA/pin ) je potrebné relé spínať pomocou unipolárneho tranzistora. Týmto spôsobom bude všetok prúd potrebný na prepnutie kontaktov v relé odoberaný priamo zo zdroja napätia a nie z MCU.

Cievka ktorá je v relé je ako každá cievka akumuláčný prvok ktorý v sebe akumuluje energiu. Pri vypínaní relé dôjde k prechodovému javu pri ktorom cievka vytvorí napät'ový ráz do obvodu. Ak by sa táto napät'ová špička dostala na unipolárny tranzistor tak by ho zaručene zničila. Preto treba



Obr. 13 Schéma zapojenia elektromagnetického relé a jeho riadenia

tranzistor pred touto skutočnosťou ochrániť. To sa dá jednoducho pomocou klasickej usmerňovacej diódy ktorú zapojíme antiparalelne k cievke relé. Táto dióda vyruší napät'ovú špičku vďaka tomu že je zapojená v opačnom smere ako je napät'ová špička ktorá túto diódu namáha. Ako antiparalelnu diódu som zvolil bežnú usmerňovaciu diódu 1N4007 ktorá má maximálne opakovateľné špičkové napätie v závernom smere  $U_{RRM} = 1000V$ .

V zapojení je použité relé JS1-5V-F od spoločnosti Panasonic [8]

Parametre tohto relé :

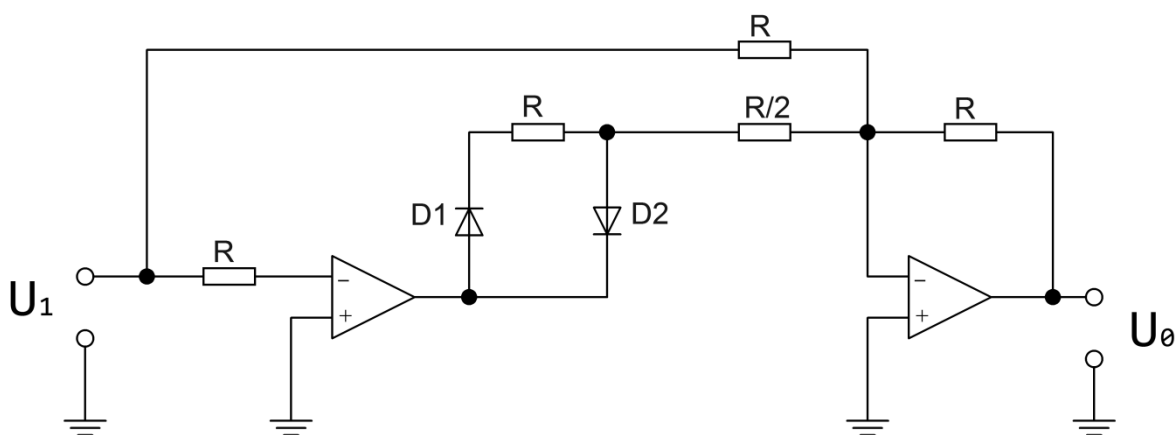
Tab. 4 Parametre elektromagnetického relé použitého v práci

Maximálny spínaný prúd	10A
Maximálne striedavé spínané napätie	250V
Nominálne napätie cievky	5V
Prúd odoberaný cievkou pri 20°C	72mA
Odpor cievky pri 20°C	69.4Ω
Nominálny výkon odoberaný pri spínaní cievky	360mW

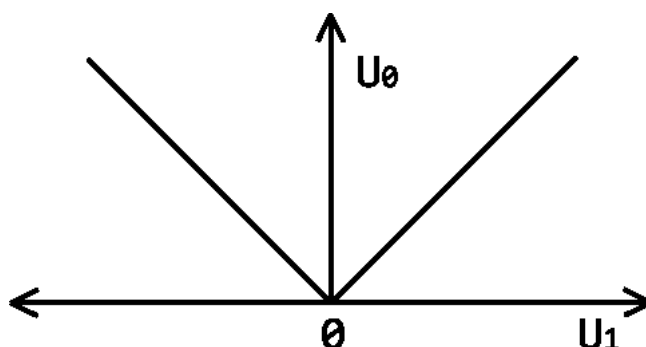
## 2.5 Usmernenie signálu

Signál ktorý je odoberaný zo zaťažovacieho odporu prúdového transformátora má pri prechode prúdu v primárnom vinutí 1A hodnotu 0.1V striedavého napätia. Aby bolo možné túto hodnotu spracovať A/D prevodníkom v ATmege tento signál musí byť najskôr usmernený. Na usmernenie tohto signálu nie je možné použiť usmerňovač z usmerňovacími diódami pretože na každej usmerňovacej dióde vzniká úbytok napätia 0.6 - 0.7V a signál z transformátora má 0.1V .

Ako riešenie predstavuje použitie zapojenia s operačnými zosilňovačmi. Toto zapojenie má označenie "Dvojcestný operačný usmerňovač" alebo "Člen absolútnej hodnoty".



Obr. 15 Schéma zapojenia operačného zosilňovača



Obr. 14 Prechodová charakteristika dvojcestného operačného

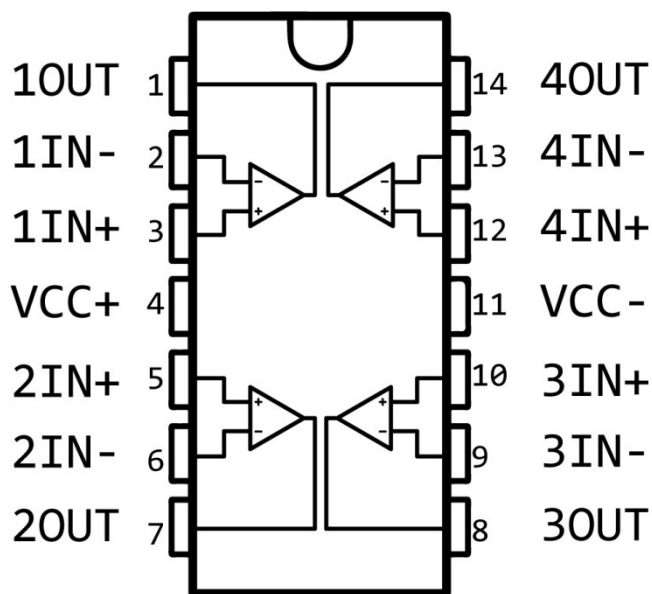
Z prechodovej charakteristiky je zrejme že nech na vstup tohto zapojenia príde akýkoľvek signál ( kladný alebo záporný ) tak na výstupe bude vždy kladná hodnota, preto sa nazýva aj člen absolútnej hodnoty. Táto hodnota však nemôže ísť do nekonečna ale je obmedzená napájacím napätím operačných zosilňovačov ktoré býva bežne okolo 15V.

V mojom zapojení som použil operačný zosilňovač TL074BCD [9].

Tab. 5 Základné parametre operačného zosilňovača TL074BCD:

Napájacie napätie	$\pm 15V$
Šírka pásma	3MHz
Šírka pracovných teplôt	0°C - 70°C
Vstupný napät'ový offset	3mV
Maximálne napätie na výstupe	13.5V
Vstupný odpor	$10^{12} \Omega$

Tento model operačného zosilňovača som vybral najmä kvôli jeho malému napät'ovému offsetu na jeho vstupoch ktorý len 3mV na jedno hradlo. Pri vysokých teplotách môže však stúpnuť až na 5mV čo je aj tak nízka hodnota v porovnaní s inými OZ. Napät'ový offset alebo inak napät'ová nesymetria vstupov nepriaznivo vplyva na signál na vstupe operačného zosilňovača keďže sa tento signál pričíta alebo odčíta k užitočnému signálu. Teda čím je napät'ový offset menší, tým je aj menšia chyba ktorá vzniká pri prechode signálu operačným zosilňovačom.



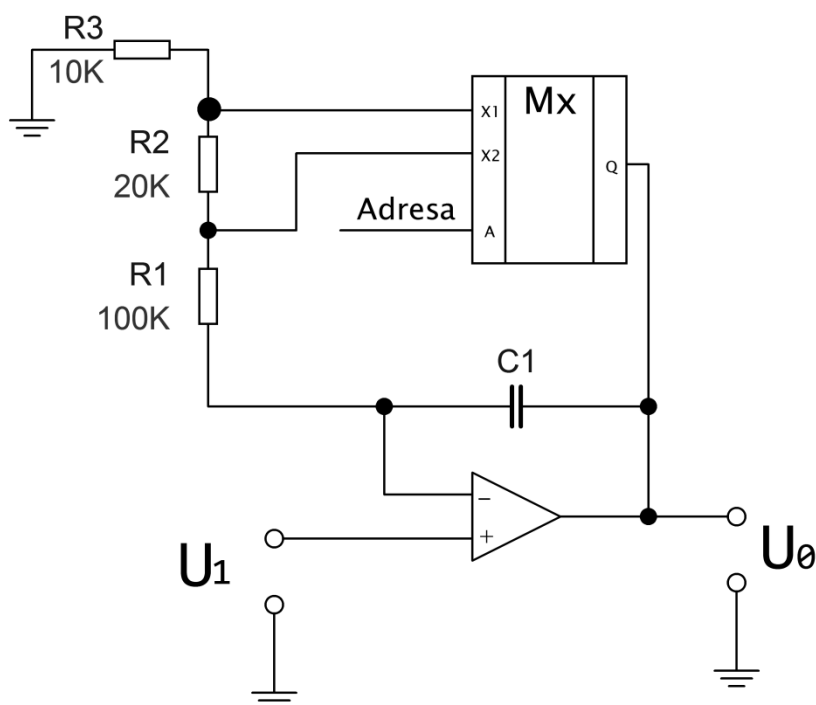
Obr. 16 Vnútorne zapojenie zosilňovača TL074BCD

Ako už je z vnútorného zapojenia zrejme, obsahuje 4 samostatné hradlá operačných zosilňovačov. Dva z nich sú použité na usmernenie signálu v operačnom usmerňovači a ďalšie dva v neinvertujúcom operačnom zosilňovači ktorý je popísaný na nasledujúcej strane.

## 2.6 Operačný zosilňovač

Signál ktorý je na výstupe dvojcestného operačného usmerňovača už je síce usmerný len do kladnej polarity, ale stále má príliš malú hodnotu na to aby mohol byť dobre spracovaný A/D prevodníkom. Preto sa musí zosilniť na úroveň ktorá je dobre spracovateľná prevodníkom a zároveň nie tak vysoká aby tento prevodník dokázala poškodiť. Maximálne napätie pripojiteľné na prevodník je v tomto prípade +5V.

Pri odbere čerpadla 1A ne na výstupe z usmerňovača signál s maximálnou hodnotou 0.1V. Tento signál musím zosilniť, ale musím brať do úvahy že pri rozbehu čerpadla je chvíľkový záberný prúd tečúci do čerpadla 2.5 - 3.5 krát vyšší. Kvôli tejto skutočnosti som ako činiteľ zosilnenia zvolil číslo 13. Keď sa signál zosilní 13 krát tak pri odbere 1A čerpadlom bude mať signál hodnotu 1.3V a pri zábernom prúde môže táto hodnota vystúpiť až na 3.5 A čo čini hodnotu po zosilnení 4.55 V. Táto hodnota je dostatočne veľká na presne snímanie A/D prevodníkom a zároveň dostatočne nízka na to aby sa A/D prevodník zničil.



Obr. 17 Schéma neinvertujúceho zosilňovača s nastaviteľným zosilnením

Na tejto schéme je zapojenie neinvertujúceho operačného zosilňovača s nastaviteľným zosilnením pomocou multiplexora. Tento multiplexor nemá žiadnu inú úlohu len prepínať jednotlivé vstupy na výstup na základe adresy ktorá je posielaná z mikrokontroléra.

## 2.7 Zmena zosilnenia pomocou multiplexera

Zosilnenie u neinvertujúceho operačného zosilňovača je v tomto prípade dané dvoma vzťahmi podľa toho aká adresa teda ktorý vstup je pripojený na výstup.

Ak je na pine adresa log 0 tak je zvolený vstup X1:

$$Au = 1 + \left( \frac{R1 + R2}{R3} \right) = 1 + \left( \frac{100\,000 + 20\,000}{10\,000} \right) = 13$$

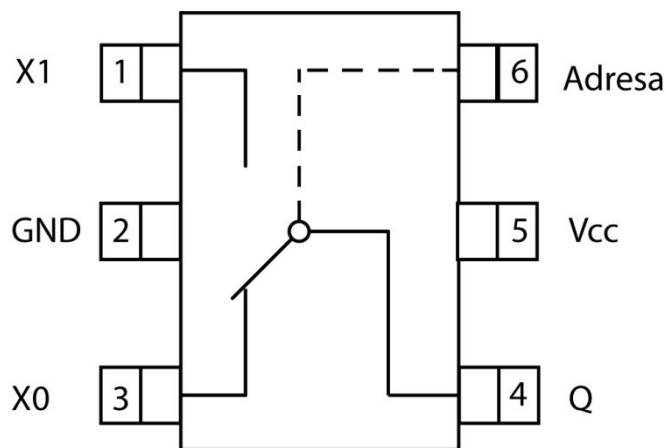
Ak je na pine adresa log 1 tak je zvolený vstup X2:

$$Au = 1 + \left( \frac{R1}{R3 + R2} \right) = 1 + \left( \frac{100\,000}{10\,000 + 20\,000} \right) = 4.33$$

Toto riešenie je implementované v práci kvôli možnosti niekedy v budúcnosti pripojiť ku sledovaciemu relé výkonnejšie čerpadlo ktoré odoberá vyššie prúdy. Po usmernení a zosilnení konštantným zosilnením 13 by tento signál mohol byť príliš veľký pre A/D prevodník čo by ho mohlo zničiť.

Toto riešenie je jednoduché a funkčné. V programe je navrhnuté tak, že vždy keď sa odmeria hodnota z A/D prevodníka tak sa porovná či nie je vyššia ako 0.9-rozsah A/D prevodníka(5V) čo je 4.5V . Ak je táto podmienka splnená, tak ATmega pošle na multiplexer log 1 čo prepne vstup a teda sa zmenší zosilnenie Aby sa nemohlo stať že je zosilnenie stále prepínané, je v programe naprogramovaná hysterezia. Táto hysterezia znamená že zosilnenie sa neprepne znova až pokým hodnotana A/D prevodníku neklesne na hodnotu 0.15-rozlišenie A/D prevodníka čo je približne 0.75V. Ak by hodnota klesla až na túto hodnotu tak sa na multiplexer pošle log 0 čo prepne zosilnenie znova na hodnotu 13. A proces sa opakuje.

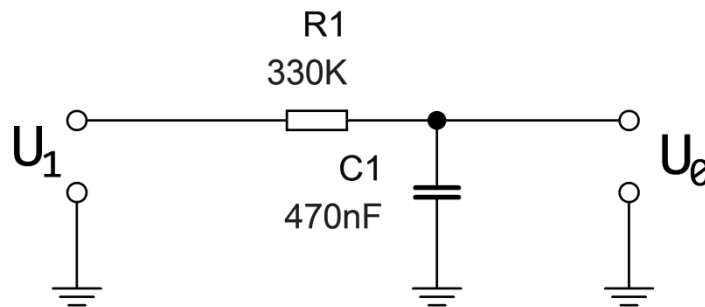
Ako multiplexer som použil malý SMD multiplexer NC7SB3157P6X. [10]



Obr. 18 Vnútročné zapojenie a rozloženie pinov multiplexera

## 2.8 Vyhľadzoací filter

Signál po usmernení a zosilnení má už správnu polaritu, správnu veľkosť, ale stále má tvar sínusovky ktorá je usmernená do kladnej polarity. Ak by sa tento signál dostal na A/D prevodník, tak z prevodníka by sme dostávali nezmyselné hodnoty ktoré by nám o veľkosti prúdu odoberaného čerpadlom nič nepovedali. To by sa dialo preto že by signál menil svoju hodnotu od 0 do svojho maxima a s prevodníkom by sme sa nikdy netrafili do tej istej hodnoty dva krát keďže prevod nemá presne určený čas aký trvá. Tento problém sa dá vyriešiť pomocou vyhladzovacieho filtra.



Obr. 19 Schéma zapojenia navrhnutého vyhladzovacieho filtra

Vyhľadzoací filter je navrhovaný na základe niekoľkých požiadavkou. Prvým kritériom bolo, aby bolo zvlnenie čo najmenšie a ďalšou aby časová konštanta bola dostatočne krátka aby dokázala čo najlepšie kopírovať zmeny prúdu odoberané čerpadlom. Keďže kondenzátorom so stúpajúcou kapacitou výrazne stúpajú rozmery tak sa musel zvoliť väčší odpor. Čím väčší je odpor tak tým je menšie zvlnenie ale na druhej strane je aj dlhšia časová konštanta. Preto sa zvolil kompromis medzi týmito dvoma požiadavkami.

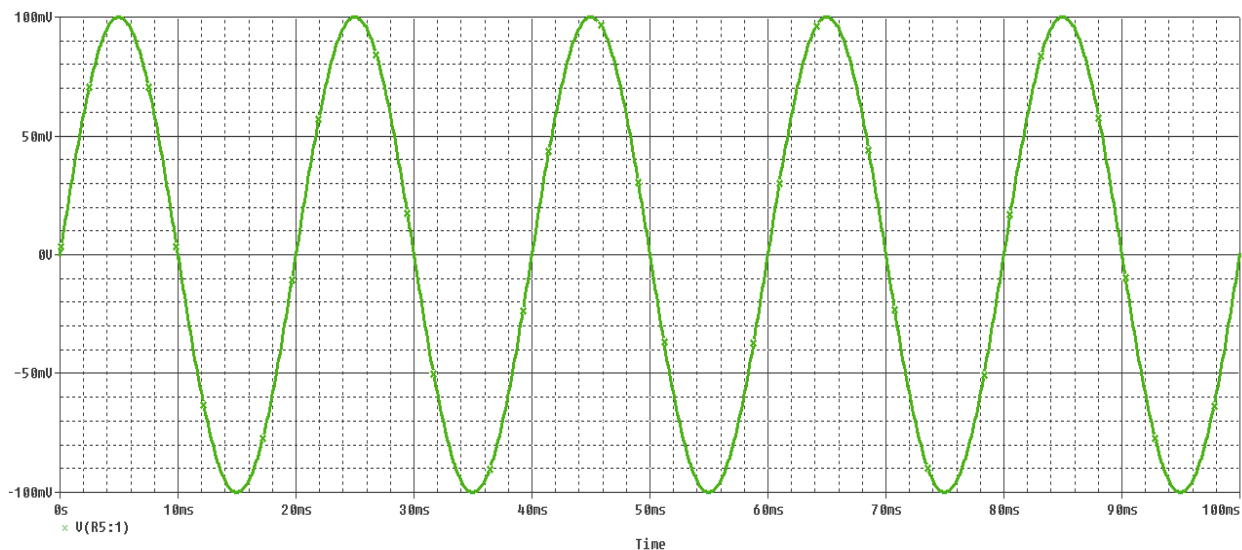
Časová konštanta tau sa vypočíta podľa vzťahu

$$\tau = R \cdot C$$

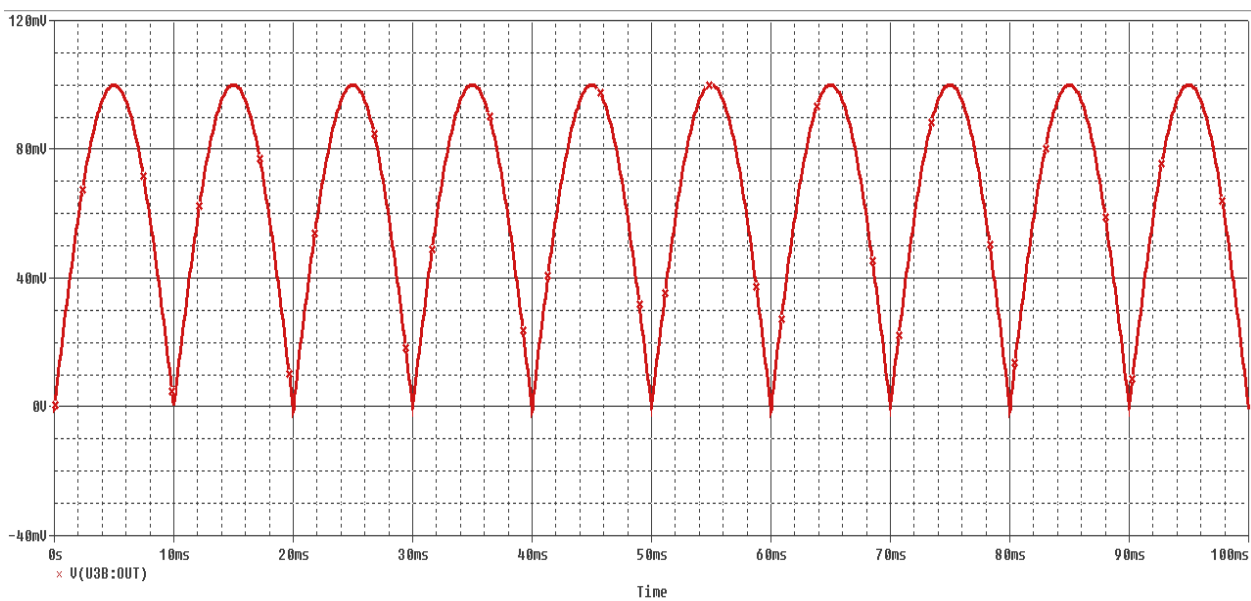
Po dosadení do vzorca dostaneme

$$\tau = 300\,000 \cdot 470 \cdot 10^{-9} = 0.141 \text{ s}$$

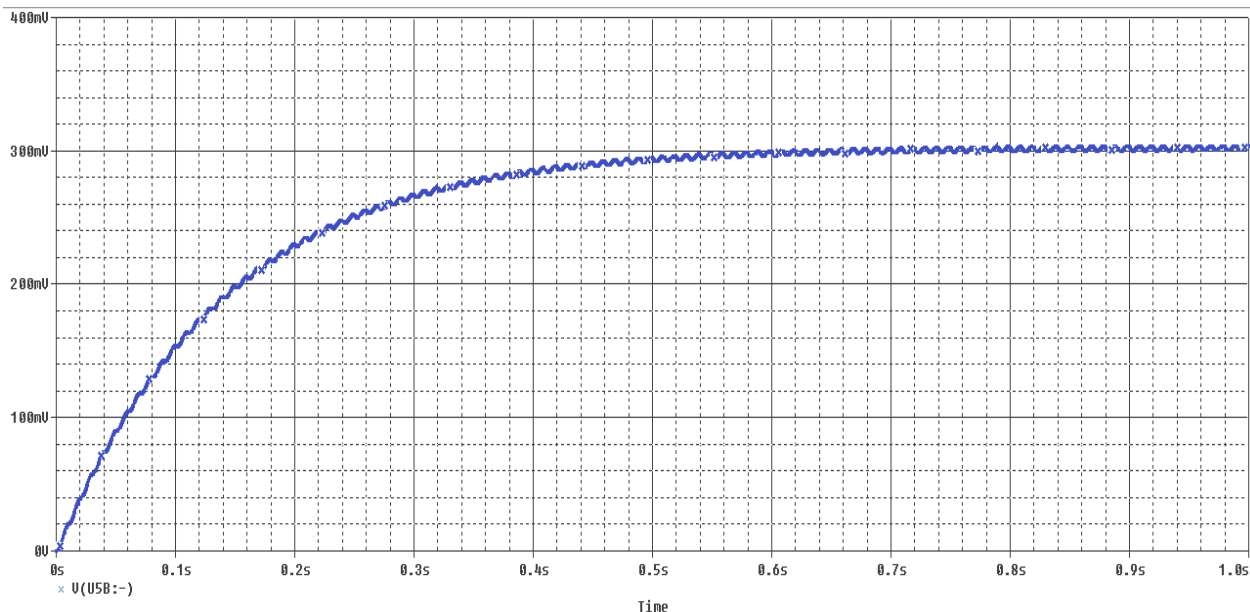
Táto časová konštanta je dostatočne malá na to aby dokázala kopírovať zmeny odoberaného prúdu čerpadlom a zároveň dostatočne veľká aby zamedzila prechodu veľkých záberných prúdov pri rozbehu čerpadla do meracej časti na A/D prevodník. K ustáleniu hodnoty na výstupe vyhladzovacieho filtra dôjde približne pri  $3 - 5\tau$  čo predstavuje približne 0.4s



Obr. 20 Odsimulovaný priebeh v Orcade - Priebeh na zdroji sínusového napätia



Obr. 21 Odsimulovaný priebeh v Orcade - sínusový priebeh po prechode dvojcestného operačného usmerňovača ( vid' Kapitola 2.5 obr. 14 )



Obr. 22 Odsimulovaný priebeh v Orcade- priebeh usmerneného signálu cez operačný zosilňovač ( vid'. Kapitola 2.6 obr. 17) a vyhladzovací filter(vid'. Kapitola 2.8 obr.19)

Zo simulácií je zjavné že striedavý sínusový signál na vstupe( obr.12 ) pred operačným usmerňovačom je po prechode týmto usmerňovačom celý usmernený do kladnej časti ( obr.21 ). Záporné polvlny sa preklopiť a signál je "jednosmerný" ale stále je na meranie veľmi zvlnený a má tiež malú amplitúdu. Po prechode operačným zosilňovačom sa zosilní podľa nami nastaveného zosilnenia ( v tomto prípade 3- násobné zosilnenie ) a po prechode vyhladzovacím filtrom postupne narastá až sa nakoniec ustáli na maximálnej hodnote signálu. Narastanie hodnoty ( z 10% hodnoty na 90% maximálnej hodnoty) trvá približne 0.4 sekundy. Prekmit ktorý je na výstupnom signále pri najvyššom zosilnení ( zosilnenie 13 krát) má hodnotu 19mV. Táto hodnota pri meraní nerobí žiaden problém. Tento prekmit sa na hodnote A/D prevodníka prejaví ako chyba 0.5%.

## 2.9 Ovládacie prvky

Pre jednoduchú obsluhu zariadenia sú na vonkajšiu stranu krabičky vyvedené len tie najpotrebnejšie ovládacie prvky. Prvky ktoré sú vyvedené na čelnom paneli sú:

Tlačidlo "Reset" - slúži na zresetovanie zariadenia pri vyhlásení poruchy. Stlačením tohto tlačidla sa zariadenie reštartuje, vypne sa zvuková signalizácia o chybe a prestane blikať LED-ka oznamujúca chybu.

Tlačidlo "Kalibrácia" - Toto tlačidlo slúži na nakalibrovanie zariadenia na normálnu hodnotu prúdu odoberanú čerpadlom pri bezporuchovom chode (vid'. Kapitola 2 Funkcia zariadenia)



Tlačidlo "Podsvietenie LCD" - Slúži na zapnutie podsvietenia LCD displeja pre dobrú čitateľnosť aj v tmavých podmienkach. Po stlačení tohto tlačidla sa zapne podsvietenie na LCD. Podsvietenie nie je spínané priamo tlačidlom ale ovláda ho MCU kde je naprogramované že sa podsvietenie automaticky vypne po 60 sekundách. To by mala byť dostatočne dlhá doba na nastavenie požadovaného času vypnutia a na kalibráciu zariadenia.

Potenciometer "Nastavenie času" - Tento potenciometer slúži na nastavenie času po ktorom požadujeme aby sa čerpadlo vyplo. Hodnota je z neho meraná pomocou A/D prevodníka. Tento čas je zobrazovaný aj na LCD displeji

Prepínač "Rozsah času" - Na tomto prepínači sa nastavujú rozsah času pre potenciometer na nastavenie tohto času. Funguje to tak že ak je prepínač prepnutý v hornej polohe tak sa na potenciometri dá nastaviť čas od 0 - 15minút. Ak je v spodnej polohe tak sa dá nastaviť čas 0 - 60minút.

## **2.10 Notifikačné diódy**

Na vonkajšiu stranu krabičky sú vyvedené len dve notifikačné LED diódy.

Dióda "Kalibrácia" - Táto dióda sa rozsvieti ak sa zariadenie kalibruje a zhasne až po kalibrácii

Dióda "Porucha" - Táto dióda má červenú farbu a začne blikať hneď ako nastane nejaký z poruchových stavov na čerpadle. Dá sa výpnúť jedine stlačením tlačidla Reset.

### 3. Návod na použitie

#### 1. Zapojenie prírodných vodičov ktoré slúžia na napájanie celého zariadenia :

1.1 Do svorky označenej "L1" pripojte fázový vodič striedavého napätia 230 V ktoré bude slúžiť pre napájanie systému

1.2 Do svorky označenej "N1" pripojte pracovný vodič

#### 2. Zapojenie fázového vodiča čerpadla aby bolo možné merať jeho odoberaný prúd. :

2.1 Do svorky označenej "X1" pripojte fázový vodič ktorý bude slúžiť na napájanie čerpadla

2.1 Do svorky označenej "X2" pripojte fázový vodič vedúci k čerpadlu

#### 3. Uvedenie zariadenia do chodu :

Po pripojení fázových vodičov a zapnutí napájania sa po krátkej chvíli rozsvieti displej a začne signalizovať aktuálny odoberaný prúd čerpadlom a Vami nastavený čas. Aby však dokázalo správne zachytávať poruchové stavy čerpadla musí sa nakalibrovať.

**POZOR:** Pre správnu funkciu zariadenia je potrebné aby ste zariadenie kalibrovali vtedy keď viete že čerpadlo pracuje bezporuchovo a v svojom menovitom zaťažení

3.1 Stlačenie tlačidla "Kalibrácia" - Pri kalibrování začne svietiť notifikačná LED dióda o kalibrácií a aj na displeji sa zobrazí slovo KALIBRACIA.

Po Dokončení kalibrácie sa na displeji na krátku chvíľu zobrazí hodnota prúdu ktorá bola nameraná. Ak by táto hodnota bola nesprávna napríklad kvôli tomu že sa v polovici kalibrácie čerpadlo vyplo, jednoducho môžete zariadenie znovu dať kalibrovať keď bude čerpadlo normálne pracovať

#### 4. Nastavenie času po ktorý má čerpadlo maximálne pracovať :

4.1 Na prepínači "Rozsah času" si zvolíte v akom časovom intervale chcete čas nastavovať

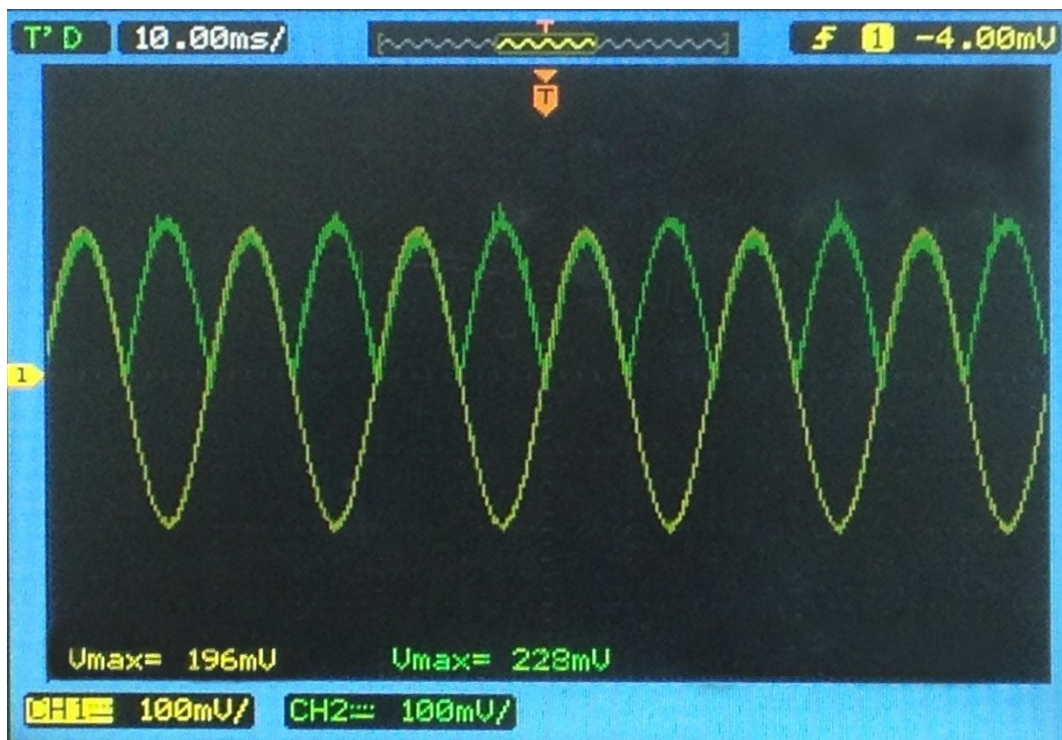
4.2 Otočným potenciometrom otáčajte a tým nastavujete hodnotu času. Táto hodnota sa zobrazuje na displeji v druhom riadku textom napríklad : "T = 250s" čo znamená že ste nastavili čas maximálnej dĺžky chodu čerpadla na 250 sekúnd.

#### 5. Resetovanie chyby

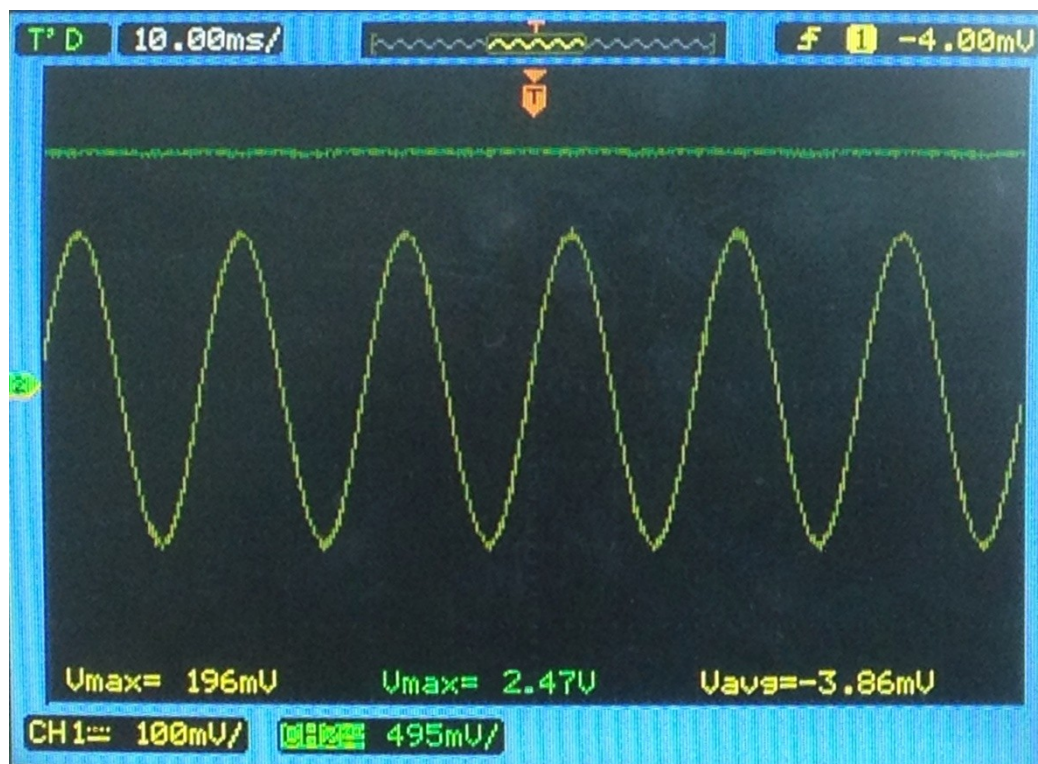
5.1 Hlásenie o chybe vypnete stlačením tlačidla RESET.

POZNAMKA: Po stlačení tohto tlačidla sa zariadenie reštartuje. Netreba ho však už znova kalibrovať. Samo si načíta poslednú hodnotu prúdu na ktorý bolo nakalibrované.

### 3.1 Namerané priebehy signálu



Obr. 23 Nameraný priebeh signálu na operačnom usmerňovači pri  $f = 50\text{Hz}$  ( žltý = sínusový zdroj napätia , zelený = signál po prechode usmeňovačom



Obr. 24 Nameraný priebeh signálu po prechode OZ a vyhladzovacím filtrom ( žltý = sínusový zdroj napätia , zelený = vyhladený signál po prechode vyhladzovacím filtrom

Obr. 22 - Na nameranom priebehu je vidieť, že sínusový signál na vstupe je celý usmerný do kladnej polarity. Maximálna hodnota výstupného ( zeleného ) priebehu sa líši len kvôli malému rušivému signálu. Keďže tento signál má hodnotu len približne 200mV tak ide iba o rušenie ktoré sa naindukovalo na cestičkách, poprípade ide o napäťový offset ktorý sa pripočítal k užitočnému signálu.

Obr. 24 - Z priebehu je zrejme že po prechode cez operačný usmerňovač je signál zosilnený ( v tomto prípade 13 krát ). Zosilnenie však nie je úplne presné a to kvôli nepresnosti použitých odporov. Signál je však správne usmerný a jeho prekmit je malý, takže ho nie je vidno.

Z nameraných priebehov je zrejme že systém upravuje signál presne tak ako bol navrhnutý.

## Záver

Náplňou tejto bakalárskej práce bolo za úlohu teoreticky rozobrať metódy merania chodu čerpadla, po nami nastavenom čase ho vypnúť a tento systém navrhnuť a postaviť tento systém.

Navrhnutý systém dokáže merať okamžitý prúd odoberaný čerpadlom, usmerní ho pomocou operačného usmerňovača a tento analógový signál dokáže ho zosilniť jedným z dvoch zosilnení podľa jeho veľkosti a to preto aby ochránil A/D prevodník pred privedením signálu s príliš vysokou amplitúdou na neho.

Ďalej dokáže merať čas po ktorý beží čerpadlo a keď sa čerpadlo vypne tak znova čaká až pokým nezačne pracovať a znova mu meria čas. Ak čerpadlo beží dlhšie ako je čas ktorý sa nastaví na ovládacích prvkoch tak ho dokáže bezpečne vypnúť a o tejto udalosti dať následne patrične vedieť akustickými a svetelnými signálmi.

Toto zariadenie je napájané zo sieťového napätia 230V pomocou pulzného zdroja výstupným jednosmerným napätím 5V ktoré je potrebné na napájanie mikrokontroléra, relé, LCD displeja. Operačné zosilňovače potrebujú napájanie +/- 15V. Toto je sprostredkované pomocou dvoch DC/DC meničov 5V/15V.

Vo výsledku považujem tento navrhnutý systém za použiteľný čo sa týka riešenej problematiky tak je systém funkčný a splňajúci aj niektoré bezpečnostné predpisy.

Ako možnosti úprav do budúcnosti by sa oplatilo rozšíriť funkciu kontroly a ovládania týchto zariadení o internetové služby. Ak si predstavíte že máte nejakú firmu a v nej niekoľko takýchto zariadení bolo by rozumné ich nastavovať ovládať a kontrolovať ich stav prostredníctvom nejakej aplikácie alebo webovej stránky.

## Použité zdroje

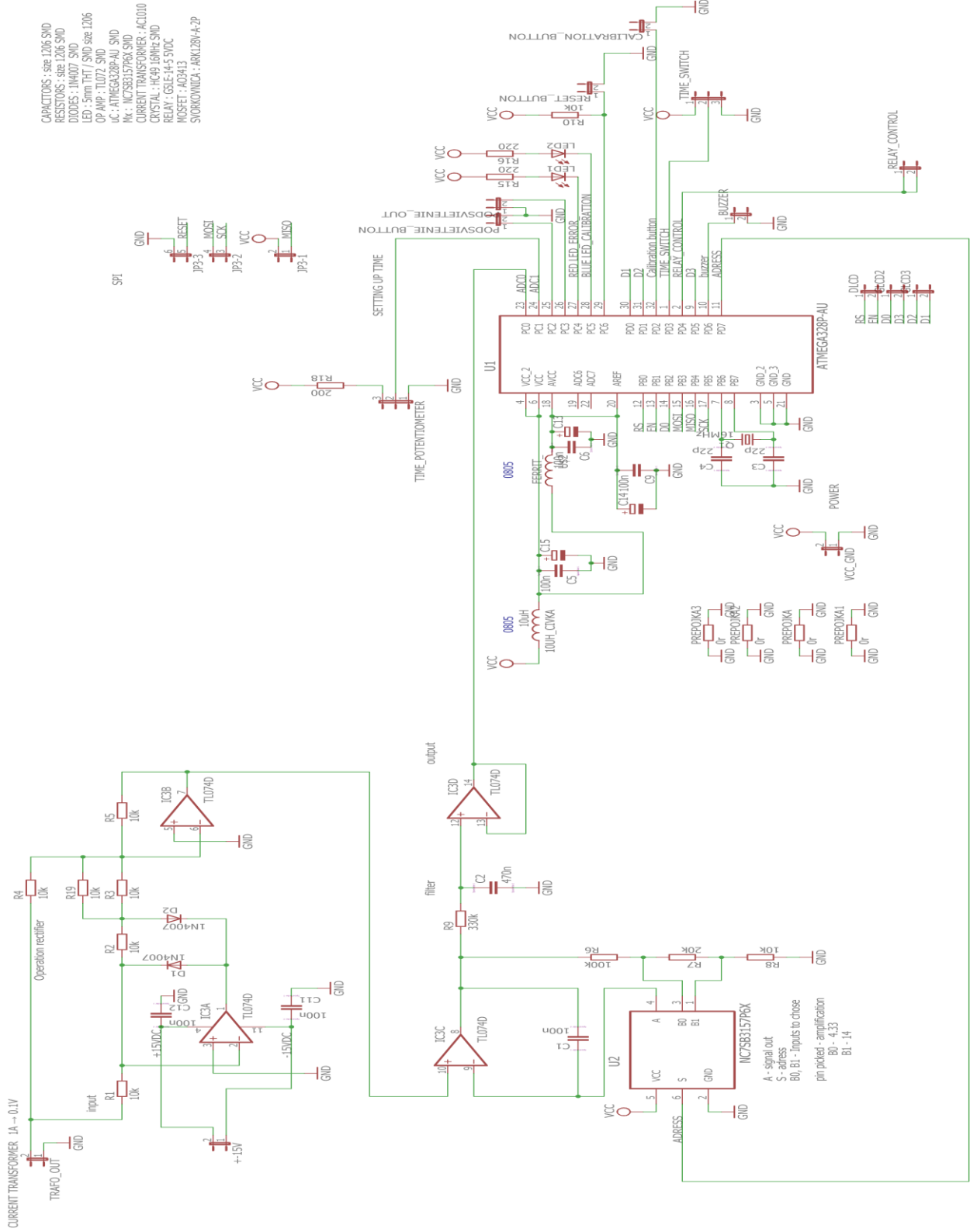
- [1] : Current Transformer. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit.2017-04-05]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Current\\_transformer](https://en.wikipedia.org/wiki/Current_transformer)
- [2] : *NK Technologies* [online]. San Jose: NK Technologies [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <http://www.nktechnologies.com/current-transformers/>
- [3] : Allegro Hall-Effect Sensor ICs. *Allegro MicroSystems* [online]. Usa [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: <http://www.allegromicro.com/en/Design-Center/Technical-Documents/Hall-Effect-Sensor-IC-Publications/Allegro-Hall-Effect-Sensor-ICs.aspx>
- [4] : Microcontroller. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Microcontroller>
- [5] : ATmega328. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/ATmega328>
- [6] : Relay. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Relay#Solid-state\\_relay](https://en.wikipedia.org/wiki/Relay#Solid-state_relay)
- [7] : Elektromagnetické relé. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetické\\_relé](https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetické_relé)
- [8] : Farnell. *Farnell* [online]. USA [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: [http://www.farnell.com/datasheets/651602.pdf?\\_ga=1.57417322.1773386505.1492711879](http://www.farnell.com/datasheets/651602.pdf?_ga=1.57417322.1773386505.1492711879)
- [9] : TL07xx Low-Noise JFET-Input Operational Amplifiers. *Texas Instruments* [online]. USA [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl074b.pdf>
- [10] : NC7SB3157 Low-Voltage SPDT Analog switch or 2:1 multiplexer. *Mouser.com* [online]. USA [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://www.mouser.com/ds/2/149/NC7SB3157-1011386.pdf>

## Zoznam príloh

I.	Schéma mikrokontroléra a analógovej časti .....	42
II.	Navrhnutá DPS mikrokontroléra a analógovej časti.....	43
III.	Schéma pre napájaciu časť dosky a 15V DC/DC meniče.....	44
IV.	Navrhnutá DPS pre napájaciu časť dosky a 15V DC/DC meniče.....	45
V.	Schéma pre ovládacie prvky.....	46
VI.	Navrhnutá DPS pre ovládacie prvky.....	47

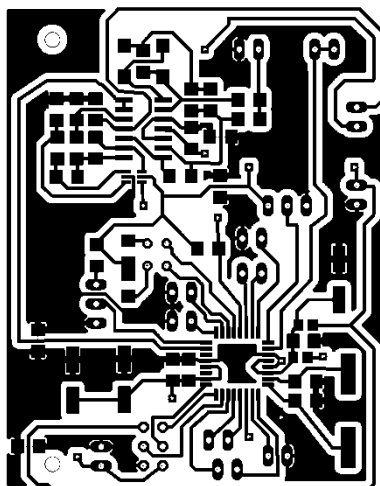
**Poznámka :** Všetky rozmery dosiek plošných spojov na obrázkoch odpovedajú reálnym rozmerom dosiek pri vyrobení.

# I - Schéma mikrokontroléra a analógovej časti

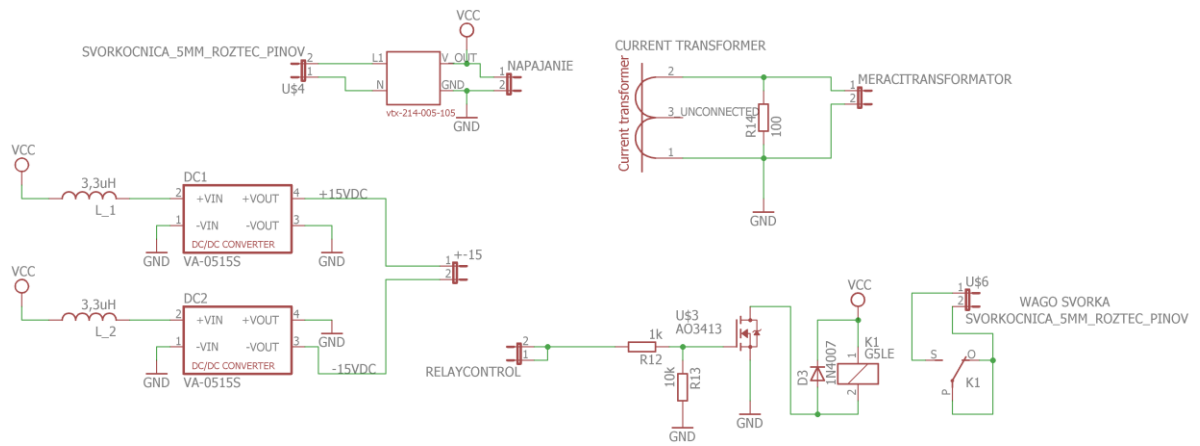




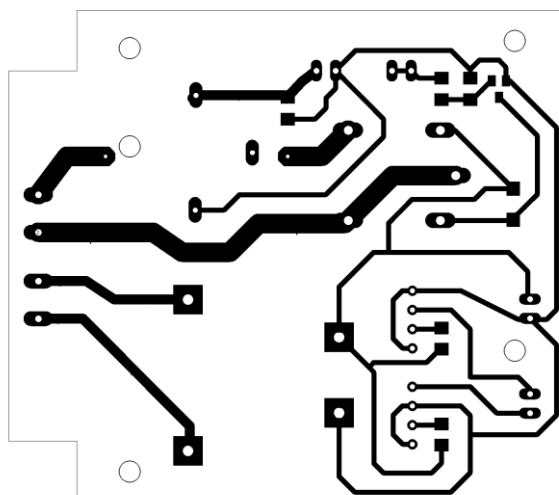
## II - Navrhnutá DPS mikrokontroléra a analógovej časti



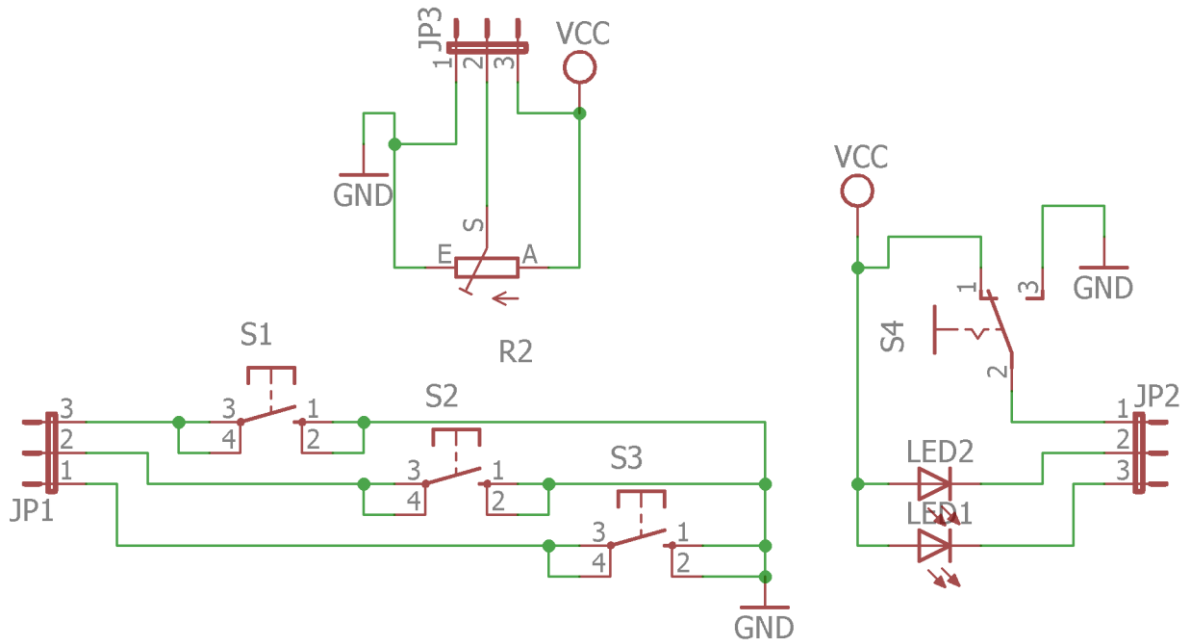
### III - Schéma pre napájaciu časť dosky a 15V DC/DC menič



#### IV - Navrhnutá DPS pre napájaciu časť dosky a 15V DC/DC meniče



## V - Schéma pre ovládacie prvky



## VI - Navrhnutá DPS pre ovládacie prvky

