Bezpečnostní zařízení laboratorních soustav

Safety Device for a Laboratory System

Radek Vendolský

Bakalářská práce
2013

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Radek VENDOLSKÝ**
Osobní číslo:	**A10184**
Studijní program:	**B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor:	**Informační a řídicí technologie**
Forma studia:	**kombinovaná**
Téma práce:	**Bezpečnostní zařízení laboratorních soustav**

Zásady pro vypracování:

1. **Seznamte se s laboratorním zařízením umístěným na FAI UTB ve Zlíně.**
2. **Vypracujte literární studii zaměřenou na měření teploty, průtoku a dalších veličin nutných pro zajištění bezpečnosti laboratorní soustavy.**
3. **Navrhněte na základě technologických požadavků bezpečnostní systém pro monitorování a signalizaci vybraných technologických veličin.**
4. **Navrhněte vhodné řídicí algoritmy a postupy pro vybrané veličiny.**
5. **Realizujte monitorovací a bezpečnostní systém z dostupných prvků, sestavte software pro jeho běh a otestujte funkčnost tohoto systému.**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **MATOUŠEK, David. Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR. 2. vyd. Praha: BEN, 2006, 375 s. ISBN 80-730-0209-4.**
2. **HRUŠKA, František. Senzory: fyzikální principy, úpravy signálů, praktické použití. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky, 2011. ISBN 978-80-7454-096-7.**
3. **HRUŠKA, František. Technické prostředky informatiky a automatizace: (úvod, popis funkce, konstrukce a aplikace). Vyd. 1. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2007, 193 s. ISBN 978-80-7318-535-0.**
4. **CADY, Fredrick M. Microcontrollers and microcomputers: principles of software and hardware engineering. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 2010, xii, 477 s. ISBN 978-0-19-537161-1.**
5. **BUMBA, Jiří. Programování mikroprocesorů: praktický návod nejen pro mikroprocesory PIC. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2011, 135 s. ISBN 978-80-251-2838-1.**
6. **PINKER, Jiří. Mikroprocesory a mikropočítače. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2004, 159 s. ISBN 80-7300-110-1.**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Stanislav Plšek**
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce: **24. února 2013**

Termín odevzdání bakalářské práce: **14. června 2013**

Ve Zlíně dne 24. února 2013

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan

L.S.

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Cílem práce je navrhnout a sestavit bezpečnostní obvod laboratorních soustav za použití mikrokontroléru Arduino, který zabezpečí snímání sledovaných veličin a na jejich základě zajistí včasné řízené odstavení celé soustavy. Tím lze předejít škodám, které by mohly vzniknout.

V teoretické části se věnuji různým typům snímačů fyzikálních veličin, jejich zpracování a taktéž základním vlastnostem mikrokontrolérů. V praktické části jsou uvedeny konkrétní typy snímačů, jež jsem pro tuto práci použil spolu s popisem činnosti mikrokontroléru.

Klíčová slova: Arduino, mikrokontrolér, ATMEL, senzor, elektrotechnika.

ABSTRACT

This bachelor's thesis purpose is to set up safety device for laboratory system using the Arduino microcontroller. Arduino microcontroller provides scanning and monitoring specific terms. Based on exact conditions Arduino will stop the procedure on time. Due to this, is possible to avoid damage. Theory part is focus on various types of sensors and general microcontroller description. Practical part is focus on specific types of sensors which were used for laboratory system.

Keywords: Arduino, microcontroller, ATMEL, sensor, electrotechnic.

PODĚKOVÁNÍ:

Chtěl bych touto formou poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Stanislavu Plškovi za veškerou pomoc, rady a podporu při zpracovávání zadaného tématu.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně …….

podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD **9**
I TEORETICKÁ ČÁST **10**
1 VÝZNAM A URČENÍ SENZORŮ **11**
1.1.1 Odporové senzory teploty 12
1.1.2 Platinové odporové senzory 13
2 POLOVODIČOVÉ MONOKRYSTALICKÉ SENZORY S PN PŘECHODY **15**
2.1 POLOVODIČOVÉ SENZORY FOTOELEKTRICKÉ 15
2.1.1 Polovodičová fotodioda 16
2.1.2 Fototranzistor 16
2.2 HALLŮV JEV 17
2.2.1 Hallův senzor 17
3 TEKUTINOVÉ SENZORY **19**
3.1 SENZORY RYCHLOSTI PROUDĚNÍ TEKUTIN 19
3.1.1 Senzor rotační objemový 19
3.1.2 Plováčkové průtokoměry 20
3.1.3 Další způsoby měření průtoku 20
3.2 MĚŘENÍ VÝŠKY HLADINY 20
3.2.1 Měření výšky hladiny mechanickým způsobem 21
3.2.2 Měření výšky hladiny pneumatickým způsobem 21
3.2.3 Měření výšky hladiny kapacitním způsobem 22
3.2.4 Měření výšky hladiny pomocí ultrazvuku 22
3.2.5 Další způsoby měření výšky hladiny 24
4 ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLŮ ZE SNÍMAČŮ **26**
4.1 ANALOGOVÉ PŘEVODNÍKY 26
4.1.1 Operační zesilovače 26
4.1.2 Převodníky odporových snímačů 27
4.1.3 Převodníky indukčnostních a kapacitních snímačů 28
4.2 ČÍSLICOVÉ PŘEVODNÍKY 28
4.2.1 Analogově číslicové převodníky 29
4.2.2 Číslicově analogové převodníky 30
5 MIKROPROCESORY A MIKROPOČÍTAČE **31**
5.1 NÁVRH PROGRAMU 31
6 POUŽITÍ MIKROKONTROLERŮ **32**
II PRAKTICKÁ ČÁST **33**
7 VÝVOJOVÝ KIT ARDUINO MEGA 2560 ..... **34**

7.1 ÚSPORNÉ REŽIMY 35
7.2 ARDUINO MEGA 2560, SROVNÁNÍ S DALŠÍMI TYPY 35
7.3 LCD SHIELD 37
7.4 SNÍMAČ TR 125 38
7.5 ULTRAZVUKOVÝ MODUL MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI 38
7.6 INDIKÁTOR PRŮTOKU 40
7.7 HALLŮV SENZOR OTÁČKY RYCHLOST 40
7.8 DVOU KANÁLOVÉ RELÉ 41
7.9 VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ 42
ZÁVĚR 44
ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ 45
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 46
SEZNAM OBRÁZKŮ 49
SEZNAM TABULEK 50
SEZNAM PŘÍLOH 51

ÚVOD

Tato práce se zabývá v teoretické části různými typy snímačů fyzikálních veličin. Pro měření teploty jsou zde vysvětleny odporové a platinové odporové senzory, dále polovodičové fotoelektrické senzory jako jsou fotodioda a fototranzistor. Pro snímání otáček popisuji princip Hallova jevu a Hallova snímače. V kapitole tekutinových senzorů jsou zmíněny principy snímání rychlosti proudění tekutin a měření výšky hladiny zaměřeného zejména na ultrazvukové. Následuje popis zpracování signálů ze snímačů analogovými převodníky, jako jsou operační zesilovače, převodníky odporových snímačů a převodníky indukčnostních a kapacitních snímačů. Samostatně je popsán princip digitálních (číslicových) převodníků Analog/Digital, Digital/Analog. Kapitoly mikroprocesory a mikropočítače, použití mikrokontrolérů nás uvedou do základních vlastností a možností jejich využití v oblasti měření.

V praktické části se zabývám využitím konkrétních typů snímačů zabezpečujících monitorování laboratorní soustavy a bezpečné odstavení při havárii. Tyto snímače jsou připojeny na mikrokontrolér Arduino. Tento mikrokontrolér jsem zvolil jako snadno dostupný, lze k němu připojit snímače, které jsou již připraveny na DPS (deska plošných spojů) a jsou tedy velice vhodné pro vývoj a testování. Vývojové prostředí je jednoduché a přehledné, použit je programovací jazyk, který vychází z jazyka Wiring.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VÝZNAM A URČENÍ SENZORŮ

Systémy informatiky a automatizace se neustále rozvíjí v průmyslu, ve službách, ve zdravotnictví i v domácnosti. Tyto systémy mají své funkce založené na kvalitních vstupních informacích, tj. na kvalitním podsystému měření. Měřící okruh v obecném pohledu tvoří snímač – převodník – případně vyhodnocovací jednotka. [1]

Funkční prvek, který se nachází na začátku měřícího řetězce a je v přímém styku s měřeným prostředím, budeme nazývat citlivou částí snímače (senzor). Citlivá část snímače snímá měřenou fyzikální veličinu a transformuje ji na veličinu, která je vhodná na zpracování. [2]

Senzor tvoří primární rozhraní mezi vnějším podnětem sledovaného objektu a obvody dalšího zpracování informace. Další částí snímače je mechanická případně elektronická konstrukce. Převodník zpracuje primární signál senzoru na unifikovaný signál měřené veličiny. V případech dalšího zpracování signálů měřené veličiny, např. při vyhodnocení množství integrací, se používá vyhodnocovací jednotka s výstupem. [1]

Měřící obvod nebo sestava pro snímání je obdoba čidel nebo receptorů u živých tvorů na Zemi, kteří mají jako snímače oči, uši, nos atd. a jejich buňky jako senzory jsou citlivé na světlo, zvuk, vůně a vyhodnocovací jednotkou je mozek. [1]

Senzory pracují podle různých mechanických, fyzikálních nebo fyzikálně chemických principů. Pochopení prostředků senzorů znamená získat interdisciplinární znalosti z fyziky, elektroniky, chemie, mechaniky. Mezi základní principy používané u senzorů lze řadit:

- mechanické efekty
- hydraulické účinky proudění tekutin
- elektrický odpor
- elektrické pole, náboj a kapacitance
- piezoelektrický efekt
- pyrometrický efekt
- induktance a magnetismus
- indukce
- Hallův efekt

- Seebeckův a Peltierův jev
- přenos elektromagnetického záření
- optické vlastnosti materiálů
- radioaktivní záření
- polovodičový jev
- fyzikálně chemické reakce [1]

1.1.1 Odporové senzory teploty

Měření teploty odporovými senzory využívá změny elektrického odporu vodičů nebo polovodičů v závislosti na teplotě. Materiál odporového teploměru určuje jeho rozsah, přesnost a konstrukci. [2]

Materiálem pro senzor je nejčastěji vybraný kovový nebo polovodičový materiál. Pro správnou funkci musí mít tento materiál správné složení, především být fyzikálně a chemicky stálý. [1]

Teoretický výklad jevu změn odporu podle teploty používá argument, že při zvyšující se teplotě zvětšuje se amplituda termických kmitů krystalové mřížky materiálu a zvětšuje se pravděpodobnost srážek elektronů a iontů. Tím se zkracuje volná dráha elektronů a doba zrychlování částic elektrickým polem. Proto klesá elektrická vodivost γ daná výrazem:

$$\gamma = \frac{n_0 e_0^2 \tau}{2m_0}$$

Pro závislost změn odporu podle teploty platí Lorentzův - Lorenzův zákon:

$$\frac{\lambda}{\gamma} = T$$

λ – tepelná vodivost, γ – elektrická vodivost, T – absolutní teplota

Významným parametrem pro teplotní závislosti je tzv. teplotní součinitel α. Pro teplotní součinitel α je stanoven vztah:

$$\alpha = \frac{\rho_{100} - \rho_0}{100\rho_0}$$

1.1.2 Platinové odporové senzory

Platina se používá u kovových odporových senzorů jako standard pro svoji vysokou chemickou stálost, vysokou teplotu tavení a možnost dosažení vysoké výrobní čistoty. Používá se vysoce „čistá“ platina s obsahem nečistot do 0,07 %. Nečistotami jsou zpravidla železo, iridium apod. Tato čistota zaručuje změny základního odporu kolem $5,10^{-6}$, což odpovídá změnám teploty pro typ Pt 100 asi 0,001K. [1;2]

Platina vyhovuje pro měření teploty od -200 do 860°C. Její měrný odpor při teplotě 20°C je 0,098. 10^{-6} (Ωm) a čistota až 99,999%. Změna odporu v závislosti na teplotě je dána funkcí:

$$R = R_o(1 + A.t + B.t^2)$$

R_o odpor při 0 °C

t teplota °C

A = $3,9075 .10^{-3}$

B = $-0,575 .10^{-6}$

Používají se senzory s odporem při 0°C R_o= 100Ω, 500Ω, 1000Ω, dnes již přistupuje hodnota 10 000Ω a ve vývoji jsou senzory s hodnotou 100 kΩ. Platinové senzory mají dle IEC 751 stanovené toleranční pásmo ve třídách A, B, C, D, které se mezi sebou liší rozsahem pracovních teplot a absolutní chybou při stanovených podmínkách. [1;2]

Teplotní součinitel v ČR je α = 0,00385 (1/K) čili 3850 (ppm/K). Poměr odporů $W_{100} = R_{100}/R_0$ je 1,385. Pro platinové senzory platí tyto hodnoty podle normy ČSN 25 8301 nebo IEC 751. US Industrial Standard má hodnoty α=0,00391 (1/K) čili 3910 (ppm/K) a poměr odporů je $W_{100} = R_{100}/R_0$ je 1,391, norma British Standard udává α = 0,00390 (1/K) čili 3890 (ppm/K) tj. W_{100} = 1,390, norma GOST používá hodnotu α = 0,003905 (1/K) čili 3895 (ppm/K) tj. W_{100} = 1,3905. Tyto odlišnosti jsou dány čistotou platiny různých standardů. [1]

Senzor je vyroben z platinového drátu o průměru 0,045 mm nebo jako folie z platiny na keramické podložce. Vinutí z drátu je bifilární, jednoduché nebo dvojité. Provedení je se 2 nebo 4 vývody, tvar nosné části je plochý, válcovitý z keramiky, skla nebo slídy nebo plast. Příkladem provedení jsou typy:

a) plochý senzor s platinovým vinutím na slídové podložce opatřené krytem

b) válcový senzor s vinutím, s keramickým tělískem a vývody

c) typ foliového senzoru, kde na keramické podložce je folie Pt. Foliové senzory jsou zpravidla v provedení typu Pt1000, Pt10k a Pt100k. [1]

Proudové zatížení Pt senzoru se musí dodržet na hodnotě dané výrobcem, aby nevznikala nejistota měření v důsledku ohřátí od protékajícího proudu. Např. u senzoru Pt 100 je udávána doporučená hodnota měřicího proudu 1 mA, což za běžných provozních podmínek znamená chybu menší než 0,05°C. U výrobců, kteří udávají 5 - 10 mA může chyba vzrůst až na 2°C. Dlouhodobá stabilita závisí na čistotě kovu a má hodnotu 0,05%/1000h. [1]

Rovnice pro výpočet chyby ΔT_{SO} vlivem samoohřevu:

$$\Delta T_{SO} = \frac{R_t \,.\, I^2}{h}$$

R_t - elektrický odpor

I^2 - měřicí proud

H - ztrátová konstanta

Jako příklad uvedu odporový kovový citlivý prvek Pt100 měřicí teplotu 80 °C v potrubí s vodou proudící rychlostí 1 m/s. Měřicí proud je 1 mA. Výrobce udává pro tyto podmínky H = 30 mW/°C. Odpor prvku při 80 °C je asi 130 Ω. Chyba je potom rovna 4,3 mK (při proudu 2 mA je rovna 20 mK, tj. 0,02 °C). [3]

2 POLOVODIČOVÉ MONOKRYSTALICKÉ SENZORY S PN PŘECHODY

Polovodiče s přechody PN (dále jen polovodiče) využívají pro vznik volných elektronů příměsí, tj. přítomnost jiných atomů v krystalové mřížce. Je-li např. přidán do krystalové mřížky čistého germania, které má ve vnější slupce 4 elektrony, atom pětimocného kovu (např. antimon), vzniká ve struktuře přebytek elektronu. Takový typ polovodiče se nazývá typ *n* a příměs *donor*. Naopak je-li přidán třímocný prvek (např. indium), vzniká místo s chybějícím elektronem. Tento typ polovodiče se nazývá typ *p* a příměs *akceptor*. Vodivost je dána existencí míst bez elektronů, tj. děr. [1]

Vytvořením dvou vrstev v krystalu polovodiče pomocí různých příměsí, vzniká polovodičový přechod PN. Při difúzních pochodech mezi nosiči vzniká na rozhraní přechodu PN rozložení nábojů a vytváří elektrickou dvojvrstvu. Na rozhraní je maximum elektrického náboje. Toto pole omezuje difúze majoritních nosičů a rozhraní dvojvrstvy je hradicí vrstvou. Při zapojení elektrického napětí na přechod PN tak, že na vrstvu *n* přiložíme kladný pól, hradící vrstva klade vysoký odpor, vzniká omezený průchod elektrického proudu a protéká jen tzv. zbytkový (závěrný) proud I_0 . Při přiložení záporného pólu na vrstvu *n* počíná klesat náboj na hradící vrstvě, sníží se elektrický odpor hradící vrstvy a přechodem protéká difúzní elektrický proud I_D. Je to proud v propustném směru, který roste exponenciálně s rostoucím napětím. [1]

Výchozím materiálem polovodičů je křemík, germanium, Al_2O_3 apod. Podle způsobu přenosu elektrického náboje polovodičovým přechodem rozlišujeme dvě základní skupiny polovodičů: bipolární a unipolární. V bipolárních obvodech je přenos náboje realizován pohybem děr nebo elektronů a tento tok je řízen elektrickým proudem. Dynamika změn je v kratších časech, je k tomu potřeba většího příkonu a prvky neumožňují vysoký stupeň integrace. [1]

2.1 Polovodičové senzory fotoelektrické

Polovodičové senzory s přechodem PN jsou používány jako fotodioda, fototranzistor, fototyristor a fotočlánek. Fotoelektrický jev je dán dopadem světelného záření do bezprostřední blízkosti přechodu PN. Ve větší vzdálenosti od přechodu, např. 1 mm, je jen poloviční účinek. [1]

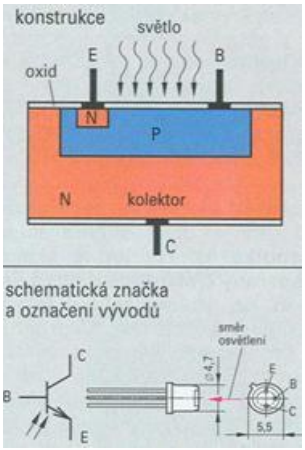
2.1.1 Polovodičová fotodioda

Fotodioda je konstruována tak, že světelný tok vstupuje rovnoběžně nebo kolmo na přechod PN. Používá se materiál z monokrystalu Si nebo Ge. Pro hodnocení vlastností fotodiod jsou používány charakteristiky: voltampérová, luxampérová, spektrální, frekvenční a časová. Kladem fotodiody je velká citlivost, mechanická odolnost, malé rozměry, dlouhá životnost a malé provozní napětí. Nevýhodou je velký proud za tmy, citlivost na teplotu okolí a malá časová stálost. [1]

2.1.2 Fototranzistor

Fototranzistor má dva přechody PN citlivé na elektromagnetické záření.

- jde zpravidla o *Si* součástku s několika *mm2* okénkem
- dopadající světlo přiotevírá přechod B - E
- fototranzistor je 100x citlivější na světlo než fotodiod [4]

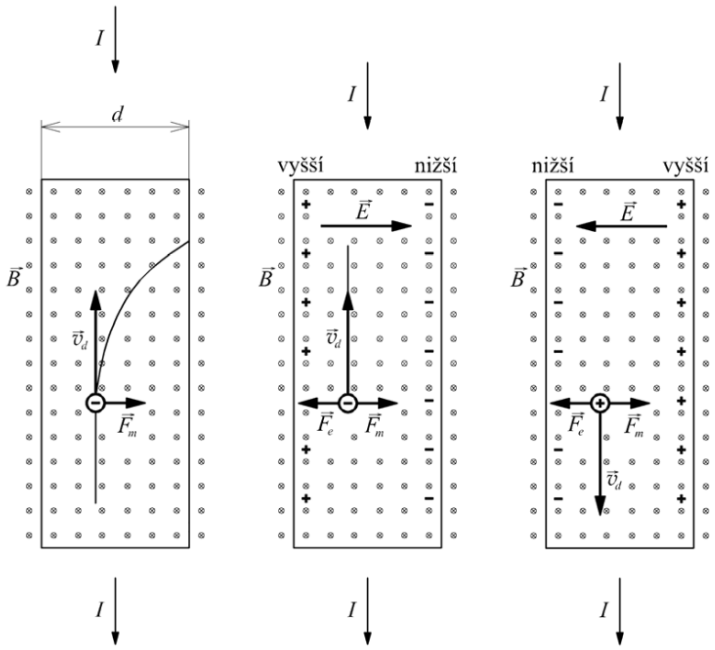


Obrázek 1. Fototranzistor[4]

2.2 Hallův jev

2.2.1 Hallův senzor

Hallův senzor využívá Hallova jevu popsaného níže.



Obrázek 2. Vodič nebo polovodič ve tvaru proužku [5]

Na Obrázku 2. je vodič nebo polovodič ve tvaru proužku o šířce *d* a tloušťce *t*, kterým protéká elektrický proud *I* od horní části proužku směrem dolů. Nosiče náboje jsou elektrony nebo díry, které se pohybují driftovou rychlostí $\vec{v}_d$ ve směru nebo proti směru elektrického pole. V určitém okamžiku (Obr. 2.) je přiloženo vnější magnetické pole o magnetické indukci $\vec{B}$, které je kolmé k rovině obrázku. Uvažujme pro zjednodušení, že náboj přenášejí pouze elektrony. Síla magnetického pole $\vec{F}_m$ bude působit například na každý elektron pohybující se driftovou rychlostí $\vec{v}_d$ tak, že ho bude vychylovat k pravé straně proužku. [5]

Během jisté doby se pak elektrony pohybující se doprava nakupí na pravé straně proužku,

takže zanechají na levé straně proužku nevykompenzované kladné náboje. Tím vzniká elektrické pole o intenzitě $\vec{E}$ uvnitř proužku. Toto pole má směr zleva doprava, takže síla elektrického pole $\vec{F}_e$ vychyluje každý elektron doleva. [5]

Během velmi krátké doby se ustaví rovnováha: elektrická síla působící na každý elektron poroste tak dlouho, až se vyrovná opačně působící síle magnetického pole. Tím se obě síly navzájem vyruší $\vec{F}_e + \vec{F}_m = 0$. Po ustavení stavu rovnováhy se elektrony budou pohybovat driftovou rychlostí $\vec{v}_d$ v podélném směru proužku k jeho hornímu okraji a náboj nahromaděný na pravé straně proužku, a tedy i elektrické pole o intenzitě $\vec{E}$, který náboj vytvořil napříč proužku už neporostou. Vzniklý rozdíl potenciálů U_H se nazývá Hallovo napětí. [5]

$$U_H = Ed\ .$$

Hallovo napětí klesá se vzrůstající teplotou. Provádíme-li měření při konstantním proudu I, s rostoucí teplotou se zvětšuje počet nosičů náboje, a zmenšuje se driftová rychlost. Při měření závislosti na teplotě pro polovodič typu p existuje teplota, při které se převrací znaménko Hallova napětí, tj. začíná převládat vlastní vodivost, kde pohyblivost elektronů je větší než děr. [5]

3 TEKUTINOVÉ SENZORY

Senzory tekutinové jsou určeny pro zpracování podnětů z mechanických posuvů, malých změn polohy, síly apod. Výstupem senzoru je změna tlaku tekutiny. Tekutinou je především stlačený vzduch, ale lze použít i jiné plyny či kapaliny.

3.1 Senzory rychlosti proudění tekutin

Rychlostní mechanické senzory proudění jsou používány při různých měření rychlosti pohybu tekutin a nepřímo při měření průtoku. Senzory podle principů činnosti lze rozdělit na: rotační, objemové, průřezové, plováčkové, vírové a senzory s principem Coriolisovy síly. [1]

3.1.1 Senzor rotační objemový

Senzor používá lopatkové nebo turbinkové kolo nebo oválná resp. ozubená kola nuceně rotující vlivem toku tekutiny. Rychlost otáčení rotačního elementu je úměrná rychlosti proudění. [1]

Lopatkový senzor má v těle lopatkové kolo orientované kolmo na proud kapaliny, kapalina při nuceném průtoku otáčí lopatkovým kolem. V prostorách mezi lopatkami kola je proudící kapalina a přesunuje se na výstup. Je vhodný pouze pro čisté a neviskózní kapaliny o teplotě do 130°C. Přesnost měření ovlivňují netěsnosti na obvodu i bocích lopatek, tření v ložiscích a tření kapaliny na lopatkách případně mechanický odpor počítacího mechanismu. Rychlost otáčení lopatkového kola je úměrná rychlosti proudění a průtoku kapaliny. V praxi se uvádí jako konstanta měření objem mezi dvěma sousedními lopatkami. Počet těchto objemů protečených za jednotku času lze vyhodnotit na hodnotu okamžitého průtoku. [1]

Platí:

$$F = K_l.i/\tau$$

Kde je F hodnota průtoku kapaliny (m^3/s), K_l je konstanta průtokoměru (objem mezi dvěma sousedními lopatkami (m^3), i počet otočení lopatek za čas τ.

Celková hodnota množství protečeného F_Q za delší období se vyhodnotí jako součet objemů lopatek, tj.

$$F_Q = K_l.i$$

Realizace tohoto vztahu je provedení mechanickým počítadlem nebo snímačem indukčnostním, optickým nebo magnetickým s možností vyhodnocení výstupních impulsů jako objemů mezi lopatkami ve vyhodnocovací jednotce nebo průmyslové výpočetní jednotce. [1]

3.1.2 Plováčkové průtokoměry

Plováčkový průtokoměr (nazývaný také rotametr) je tvořen kuželovou svislou trubicí rozšiřující se směrem nahoru a kuželovým tělískem. Proud měřené látky ve směru zdola nahoru zvedá kuželové tělísko, které se udržuje ve výšce úměrné rychlosti průtoku. Poloha plováku je dána rovnováhou působících sil: gravitační, vztlakovou a třecí. Snímání polohy plováku se provádí induktivním, kapacitním, fotoelektrickým nebo odporovým senzorem, zpravidla bezdotykově. Následuje převodník, který převádí signál senzoru na unifikovaný signál pro dálkové zpracování. Základní použití plováčkových průtokoměrů je pro místní měření, např. v laboratořích. V průmyslové praxi jsou také používány jako limitní snímače průtoku. Po dosažení určitého průtoku, tj. určité polohy, se sejme poloha, sepne se kontakt a provádí se signalizace nebo dvoupolohové řízení. [1]

3.1.3 Další způsoby měření průtoku

- Ultrazvukové průtokoměry
- Indukční průtokoměry
- Termoelektrické průtokoměry
- Vírové průtokoměry
- Coriolisovy průtokoměry
- Průtokoměry v otevřených kanálech

3.2 Měření výšky hladiny

Pro měření výšky hladiny v zásobnících používáme různé fyzikální metody. Cílem je zajistit splnění požadavků kladených na měření kapalných, sypkých ale i kašovitých a velmi viskózních látek. Senzory aplikované ve snímačích výšky hladiny používají měření s principem: mechanickým, pneumatickým, elektrickým, optickým, ultrazvukovým, radioaktivním. [6]

Snímače měří výšku hladiny spojitě v celém rozsahu výšky zásobníku nebo jen v daném bodě, tj. měří limitně. Výstup u spojitého měření je analogový nebo číslicový, nejčastěji elektrický případně pneumatický. U limitního měření (nazývané mezní) je výstup dvouhodnotový, elektrický nebo bezpotenciálový kontaktní. [6]

Pro spolehlivou funkci obvodů měření výšky hladiny mají zásadní význam vlastnosti měřené látky. U kapalných látek hrají roli nejvíc viskozita, vzlínavost, tvorba par, kondenzace, tvorba pěny. Konstrukce snímačů ovlivňuje také aplikace podle tvaru zásobníku, jeho rozměrů a materiálů stěn zásobníků. [6]

3.2.1 Měření výšky hladiny mechanickým způsobem

Vedle jednoduchých mechanických zařízení používaných v praxi jako jsou tyčová měřidla nebo stavoznaky používají se plováky a vztlaková tělesa. Používají se pro kapaliny. Plovák je těleso s velmi malou hustotou a vznáší se částečně ponořený na hladině. Používají se tvary kulových plováků pro malé změny výšky nebo válcové pro výšky až 40 m. Plovák kulový je umístěn na pákové tyči a často ovládá přímo uzavírací zařízení. Válcové plováky jsou vedeny po tyči a jsou spojeny jankem s vnějším prostředím. Často jsou doplněny spínacím kontaktem nebo snímačem polohy. Válcový plovák je použit i u vztlakového snímače. V měřícím zařízení se vztlakovým tělesem působí na toto těleso vztlaková síla popsaná Archimédovým zákonem. Uplatňuje se zde vliv hustoty materiálu plováku, hustota měřené kapaliny, plošný obsah a délka vztlakového tělesa, hloubka ponoru a gravitační zrychlení. [6]

3.2.2 Měření výšky hladiny pneumatickým způsobem

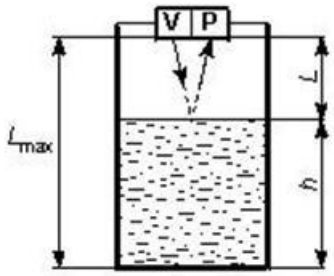
Z mnoha metod měření používaných u pneumatických snímačů hladiny uvádíme měření probubláváním. Je vhodné pro viskózní a agresivní kapaliny, pro suspenze a kaly. Proud tlakového vzduchu o daném průtoku vystupuje pod hladinou do kapaliny. Protitlak p_c v potrubí se rovná hydrostatickému tlaku sloupce měřené kapaliny p_h poníženému o vztlakovou ztrátu p_z. Výhodou pneumatických snímačů hladiny je, že neobsahují pohyblivé části. Lze je použít i pro měření výšky hladiny v otevřených kanálech a v místech, kdy se tvoří na povrchu hladiny pěny. S výhodou se dá k pneumatickému snímači hladiny zapojit elektrický snímač tlaku. [6]

3.2.3 Měření výšky hladiny kapacitním způsobem

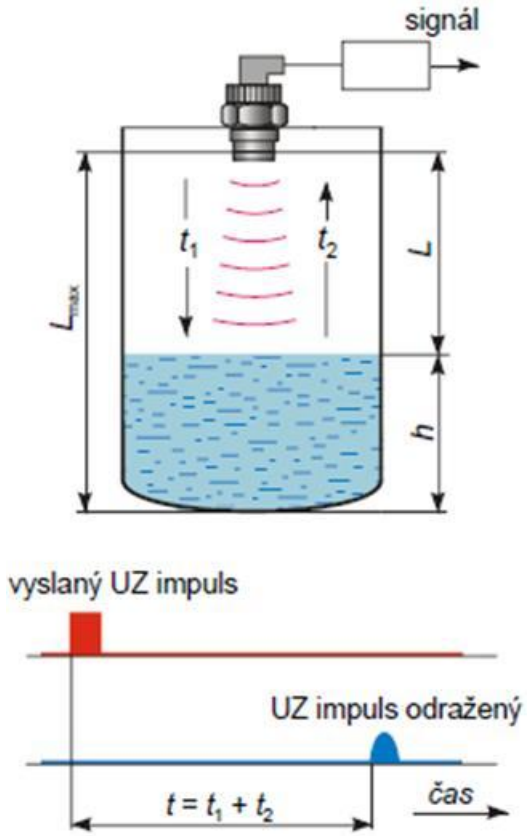
Kapacitní metoda měření výšky hladiny v zásobnících je velmi často používaný způsob jak pro kapaliny, tak pro sypké látky. Používá se pro spojité i limitní vyhodnocení. Snímací část pro spojité měření má tvar válcovité nebo ploché elektrody. Materiál je nerezová ocel nebo hliník často s povrchovou úpravou z izolačního materiálu. Elektroda je umístěná přímo do zásobníku. Druhou elektrodu tvoří nejčastěji kovový nebo elektricky vodivý materiál stěny zásobníku. V závislosti od změny výšky hladiny se mění poměr ponořené části elektrody a mění se kapacita snímače. Celková kapacita systému je dána součtem dílčích kapacit systému. Elektrické parametry obvodu také ovlivňuje svodový odpor v kapalině. Pro měření vodivé kapaliny jsou používány elektrody izolované od kapaliny materiálem s vysokým elektrickým odporem. Nejistoty v měření výšky hladiny kapacitním způsobem způsobuje vliv teploty prostředí, vlhkost, zrnitost, obsah nečistot, homogenita chemického složení měřené látky v zásobníku. [6]

3.2.4 Měření výšky hladiny pomocí ultrazvuku

Měření výšky hladiny pomocí ultrazvuku využívá odrazu zvukových vln od měřené hladiny nebo změny rychlosti při průchodu různým prostředím. Uvedené principy ilustruje obrázek:



Obrázek 3. Ultrazvukový hladinoměr [7]



Obrázek 4. Ultrazvukový hladinoměr[7]

Přístroj pro měření výšky hladiny odrazem obsahuje vysílač a snímač ultrazvuku v jednom tělese umístěném na horním víku nádrže. Vysílač periodicky vysílá ultrazvukové impulzy, které prochází prostředím nad hladinou, odráží se na hladině a vrací se do snímače. Měří se doba, za kterou se paprsek vrátí do snímače. [6]

V případě průchozího způsobu měření je vysílač ultrazvuku umístěn na dně zásobníku, snímač na jeho horním víku. Vysílač opět vysílá periodicky impulzy přes kapalinu a prostředí nad hladinou do snímače. Doba průchodu impulzu je dána rychlostí šíření a prostředí nad hladinou. Pro rychlost šíření ultrazvuku platí závislosti parametrů: frekvence ultrazvuku, adiabatickém koeficientu plynu, jeho plynové konstantě, molekulové hmotnosti plynu a absolutní teplotě. [6]

Vysílač generuje ultrazvuk o frekvenci od 16 kHz do 100 kHz. Šíření impulzu v prostředí je ovlivněno především změnami teploty okolí, vlhkostí prostředí, hustotou látky v zásobníku, tvarem zásobníku. Vyhodnocování používá digitální metody měření doby průchodu impulzu nebo změny rychlosti. Proto lze dosáhnout třídy přesnosti až 0,1. Převodník je tvořen mikroprocesorem a zajišťuje kompenzaci parazitních vlivů i řízení

impulzů vysílání. Měření výšky hladiny pomocí ultrazvuku se používá pro agresivní kapaliny, ale i pro sypké látky. Hlavní předností ultrazvukového principu je bezkontaktní měření bez pohyblivých částí, jednoduché nastavení a údržba. Nejistoty v měření vytváří především změny rychlosti šíření ultrazvuku na teplotě. [6]

3.2.5 Další způsoby měření výšky hladiny

- **Měření výšky hladiny pomocí změn vodivosti prostředí**
  Výhodou je jednoduchý a levný snímač avšak při změně měřené kapaliny se musí hladinoměr opětovně nastavit. Další nevýhodou je nepřesnost měření vlivem zpěnění nebo zvíření měřené hladiny, pro vysoce vodivé materiály obsahující vodu.
- **Měření výšky hladiny pomocí hydrostatického tlaku**
  Snímače neobsahují pohyblivé součásti, využitelné pro měření hladiny kapalin značně viskózních, znečištěných nebo agresívních ale závisí na hustotě a teplotě média.
- **Měření výšky hladiny vibračním způsobem**
  Měření není ovlivněno změnami hustoty, vodivosti, relativní permitivity a viskozity kapaliny. Nevýhodou je poměrně vysoká cena.
- **Měření výšky hladiny pomocí radioizotopů**
  Výhodou je bezkontaktní měření, nezávislost na teplotě, nezávislost na tlaku a jeho změnách, nezávislost na změnách chemického složení média, minimální poruchovost i ve ztížených podmínkách. Je však nutná ochrana před radioaktivním zářením a povinnost zajištění kontrol ve smyslu zákona 18/97 Sb.
- **Měření výšky hladiny pomocí mikrovlnného záření**
  Spolu s příslušným programovým vybavením umožňuje odlišit parazitní odrazy od stěn, vykazují vysokou přesnost a spolehlivost i ve velmi náročných provozních podmínkách, vhodné i pro měření vysoce viskózních a lepivých médií, pro pasty a kaly, pro zkapalněné plyny i těkavé a agresivní kapaliny. Nevýhodou je poměrně vysoká cena zařízení a nevhodnost aplikace pro kapaliny s nízkou permitivitou.

- **Měření výšky hladiny pomocí vážení**

  Zásobník může být libovolného tvaru, obsahem může být látka kapalná i pevná, hladina v zásobníku nemusí být absolutně vodorovná. Ale zásobník musí být pro vážení uzpůsoben, aby se s odpovídající přesností, rozsahem a citlivostí povedlo vyhodnocení obsahu. [2;8]

4 ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLŮ ZE SNÍMAČŮ

Snímače technologických veličin, pasivní i aktivní, zpravidla potřebují převodník, který transformuje jejich výstupní signál na vhodnější formu pro další zpracování. Tak například odporové snímače bývají spojeny s můstkovým obvodem, kterým se měří změna jejich odporu vyvolaná změnou měřené veličiny. Výstupní signály aktivních snímačů o vysoké impedanci jsou pomocí převodníků upravovány na signály s nízkou výstupní impedancí. Převodníky jsou zpravidla elektrické nebo pneumatické, zřídka hydraulické, a jsou vytvořeny z prvků pasivních, což jsou např. odpory a kapacity, a aktivních, což jsou zesilovače elektrické, pneumatické případně hydraulické nebo jejich kombinace. Podrobněji budou uvedeny elektrické převodníky, které se používají nejčastěji. Všechny technologické veličiny jsou v čase spojité. Ve snímačích jsou převáděny na spojitou nebo nespojitou měronosnou veličinu obvykle elektrickou. Spojitou, měronosnou veličinu nazýváme veličinou analogovou. Převodníky a obvody, které ji zpracovávají a udávají v této formě, nazýváme analogové. Obvody, které ji převádějí na veličinu nespojitou, a v této formě ji zpracovávají, nazýváme číslicové. V tomto případě hodnotu měřené veličiny obvykle charakterizuje číslo, vyjádřené v určité číselné soustavě. Zpracovávané veličině tedy říkáme číslicová (digitální). [9]

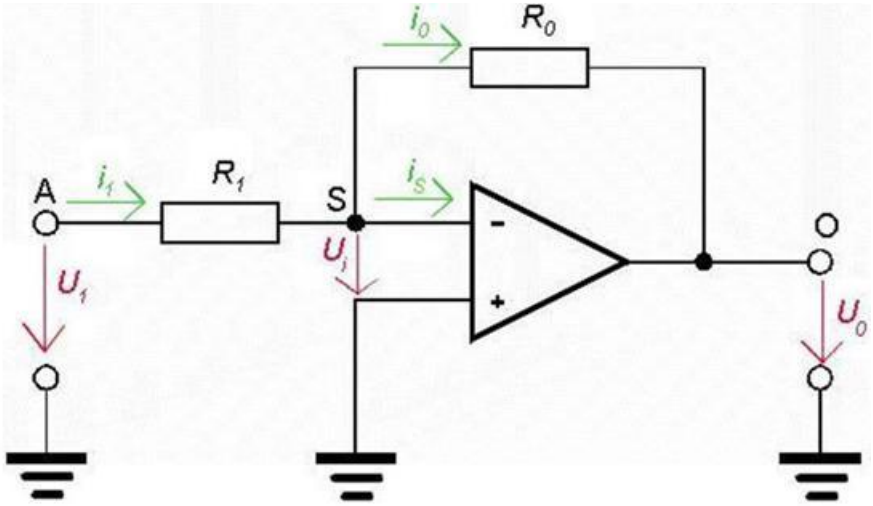
4.1 Analogové převodníky

4.1.1 Operační zesilovače

Základním prvkem analogových obvodů je operační zesilovač, symbolické zapojení je na obr. 5. Ideální OZ je tranzistorový diferenční zesilovač s velkým zesílením a velkou vstupní a malou výstupní impedancí a stabilitou zesílení v čase. OZ má obvykle dva symetrické vstupy. Jeden ze vstupů je invertující, druhý vstup je neinvertující. Základní součástí OZ jsou stejnosměrné tranzistorové zesilovače. Většina vyráběných OZ má stejnosměrnou vazbu mezi vnitřními zesilovacími stupni, a proto slouží k zesi1ování stejnosměrných signálů. [9]

Operační zesilovače se používají praktiky výlučně v obvodech s uzavřenou zpětnovazební smyčkou. Pro odvození parametru zesílení obvodu s uzavřenou zpětnou vazbou se operační zesilovač považuje za ideální (nekonečné zesílení, nekonečný vstupní odpor, nulový výstupní odpor). Vlastnosti obvodu jsou pak určeny výlučně zpětnovazebním

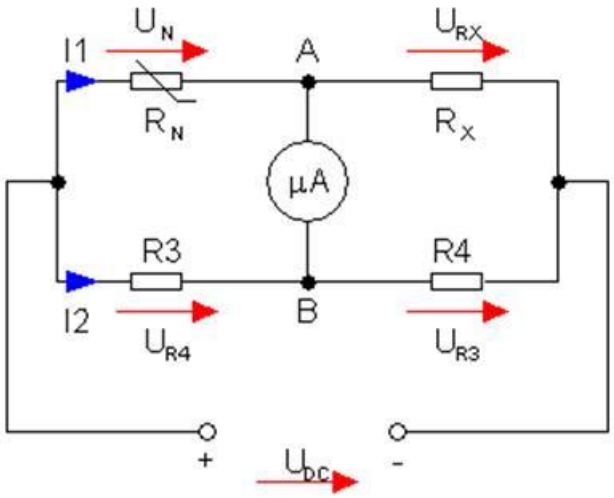
obvodem. Ve skutečnosti je chování obvodu mírně ovlivněno parametry reálného zesilovače. [9]



Obrázek 5. Invertující OZ se zpětnou vazbou [10]

4.1.2 Převodníky odporových snímačů

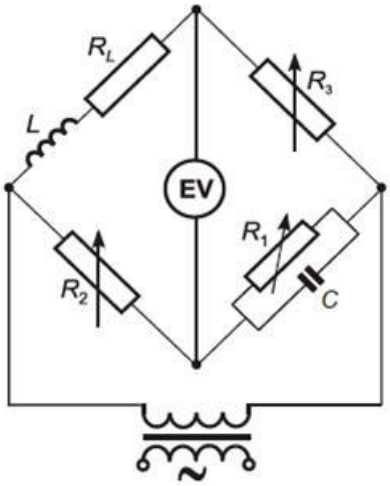
K vyhodnocení změn odporu odporových snímačů se často používá analogového převodníku - Wheatstoneova můstku (Obr. 6.). Tento obvod se používá nejčastěji pro odporové snímače polohy, odporové snímače teploty a tenzometrické snímače.



Obrázek 6 . Wheatstoneův můstek [11]

4.1.3 Převodníky indukčnostních a kapacitních snímačů

V těchto případech se převážně používají střídavé Wheatstonovy můstky, kdy se proměnná indukčnost nebo kapacita zapojují do jedné větve můstku a do druhé větve normálová indukčnost nebo kapacita. Používá se např. Maxwellova můstku, jehož schéma je na Obr. 7, dále transformátorových můstků a rezonančních obvodů. [9]



Obrázek 7 . Maxwellův můstek [12]

4.2 Číslicové převodníky

Číslicová, čili digitální měřicí technika má oproti analogové řadu výhod. Jsou to především:

- **Vyšší přesnost a linearita měření**. Zatímco klasické měřici přístroje mají běžně přesnost kolem 1 %, číslicové přístroje měří s přesností lepší než 0,1 %. Totéž platí o linearitě. Je to způsobeno tím, že přesnost měření můžeme u číslicového přístroje volit.
- **Vyšší rychlost měření.** U indikačních měřicích přístrojů je reakční doba signálu snímače dána především dobou ustálení ukazovatele, což mohou být řádově sekundy, zatímco u číslicových závisí reakční doba na době převodu analogové veličiny na digitální, což trvá zlomky sekundy.

- **Možnost přenosu výsledků měřeni na velké vzdá1enosti bez podstatného zkreslení poruchami.** Přenos analogových signálů je možný jen do určité vzdálenosti, která závisí přímo na velikosti přenášeného signálu a nepřímo na velikosti poruchových veličin a útlumu vedení. Tyto vlivy se projevují u digitálního signálu podstatně méně. [9]

4.2.1 Analogově číslicové převodníky

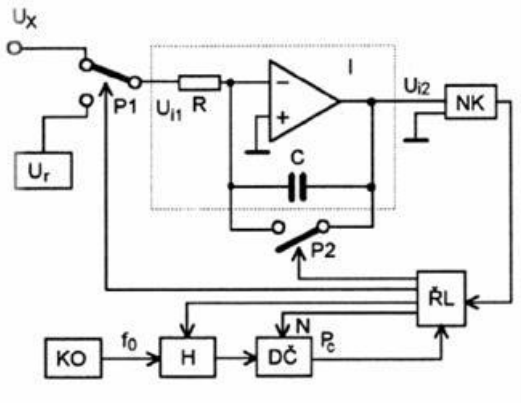
Analogově číslicový převodník (A/D převodník) je zařízení, které převádějí diskrétní hodnotu signálu získanou vzorkováním na číslicovou hodnotu.

Existují následující typy A/D převodníků:

- A/D převodník kompenzační
- A/D převodník integrační
- A/D převodník komparační

Dále bude popsán princip převodu u integračního převodníku s dvojí integrací, který je používán především u číslicových vo1tmetrů (Obr. 8.). Doba převodu je 100 – 200ms, rozsah až 18 bitů.

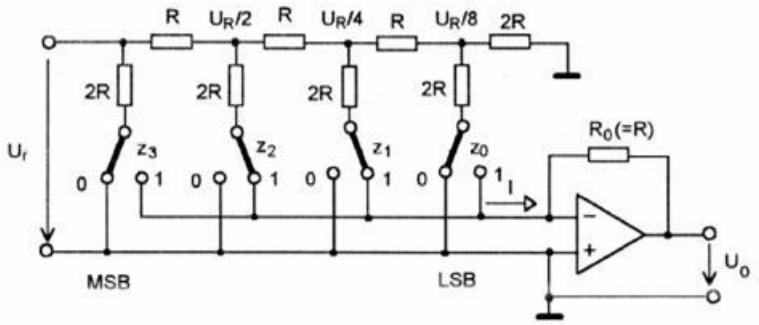
Celý převod analogové veličiny je možno rozdělit do dvou časových intervalů T1 a T2. Během nich se jako u dříve uvedeného převodníku načítají do čítače impulsy z generátoru impulsů. [9]



Obrázek 6. Integrační převodník s dvojí integrací [9]

4.2.2 Číslicově analogové převodníky

D/A převodníky převádějí číslo D ve dvojkové nebo BCD soustavě na odpovídající hodnotu analogového napětí. D/A převodník se skládá ze zdroje referenčního napětí, sady přesných odporů a sady spínačů ovládaných digitálními vstupy převodníku pomocí kombinační logiky. Existuje několik typů převodu, dále je popsán D/A převodník s odporovou žebříčkovou sítí R-2R. Pomocí stejných odporů připojených na tzv. binárně váhovaná referenční napětí mohou být získány binárně váhované proudy sčítané D/A převodníku. Tohoto principu využívá číslicově - analogový převodník s odporovou žebříčkovou sítí R-2R (Obr. 9). Referenční napětí je vyděleno na váhované hodnoty uvedené v uzlech sítě, protože obvod se jeví jako dělič R-R napravo od každého horního uzlu sítě (s vyznačenými hodnotami napětí). [9]



Obrázek 7. Čtyřbitový D/A převodník [9]

5 MIKROPROCESORY A MIKROPOČÍTAČE

V posledních třech desetiletích prošla výpočetní a především mikroprocesorová technika značným pokrokem. Někdy je velmi těžké správně se orientovat v takto široké nabídce různorodých obvodů a vybrat ten, který je pro použití v naší aplikaci nejvhodnější. [13]

Pro výběr správného mikroprocesoru existuje celá řada hledisek. Mezi hlavní patří tzv. poměr výkon/cena. Další hledisko pro výběr procesoru je samozřejmě i podpora daného výrobce, co se týče vývojových prostředků. Těmito vývojovými prostředky máme na mysli prostředí, ve kterém píšeme vlastní program, překladač, kterým tento program překládáme do strojového kódu a v neposlední řadě prostředek na testování správné funkce napsaného programu. Pro testování těchto programů výrobci nabízejí programové simulátory, popř. hardwarové emulátory. Dalším důležitým hlediskem je tzv. perspektiva procesoru (jak dlouho bude zvolený výrobce daný procesor podporovat a vyrábět). [14]

Budeme-li se zabývat kritériem cena/výkon, je potřeba si uvědomit, jak velkou investici jsme ochotni vložit do vývojových prostředků pro daný typ mikroprocesoru, jejichž cena bývá pro většinu z nich často nemalá. Máme-li požadavek na náročnější aplikace, ve kterých chceme počítat v reálném čase, logaritmus nebo druhou odmocninu, zvolíme si výkonnější procesor. [13]

Nespornou předností mikroprocesoru ATMEL je realizace paměti kódu programu na čipu typu FLASH EPROM. Tento typ paměti je možné elektricky přeprogramovat, a to až tisíckrát. Toto je pro ladění programů nebo upgrade vyšších verzí nesporná výhoda. Další velkou předností mikroprocesorů ATMEL je jejich cena. Ta se pohybuje v desítkách popřípadě ve stovkách korun. [13]

5.1 Návrh programu

- Analýza zadání a návrh řešení
- Vývojový diagram
- Instalace a příprava vývojového prostředí
- Vytvoření zdrojového textu
- Překlad zdrojového textu
- Ladění programu

- Vyzkoušení programu v aplikaci [15]

5.2 Použití mikrokontrolerů

Mnoho speciálních úloh lze snáze vyřešit s použitím mikrokontrolérů (mikrořadičů) než pomocí logických obvodů a diskrétních součástek. I když je zapracování do programování spojeno s vynaložením určitého úsilí, jeho výhody nelze přehlédnout. Především provádění změn existujících systémů je s mikrokontroléry mnohem jednodušší, protože často spočívá jen v přizpůsobení softwaru. [16]

Při použití mikrokontrolérů máme možnost volby mezi kompletními systémy, nebo vlastním vývojem s využitím jednočipových kontrolérů. Vývojový systém slouží zároveň jako vývojová základna i jako programovací zařízení. Tak je možno poměrně snadno vyvíjet speciální rozhraní. [16]

Mnohdy jsou pro vývoj aplikací s mikrokontroléry zapotřebí speciální programovací zařízení nebo vypalovačky EPROM. Vývoj programu je nákladný, protože kontrolér nebo EPROM se musí pro každý nový test vyjmout ze systému, vymazat a znovu naprogramovat. Jednodušší je práce se systémy, které je možno programovat přímo na desce. [16]

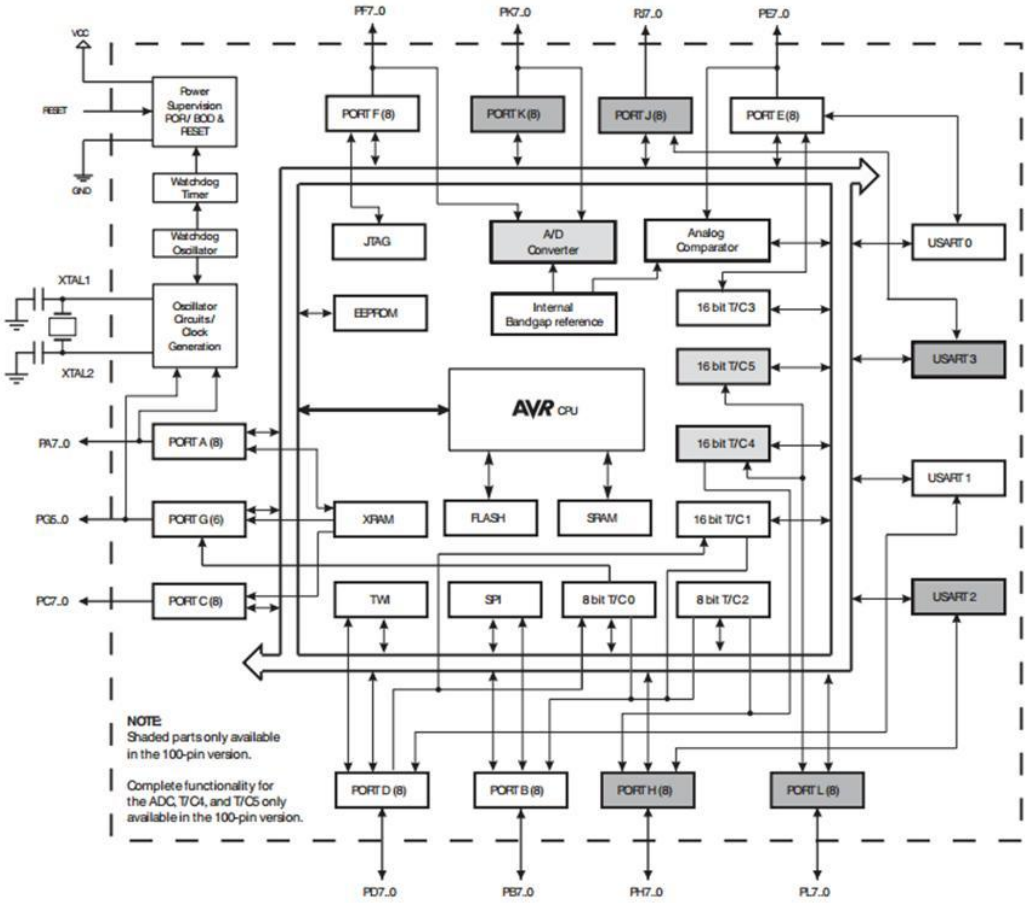
II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 VÝVOJOVÝ KIT ARDUINO MEGA 2560

Obvod představuje nízko příkonový 8bitový CMOS mikrokontrolér založený na AVR obohacené RISC architektuře, který je schopen vykonávat náročné instrukce v rámci jednoho hodinového cyklu. Výpočetní výkon dosahuje téměř 1MIPS za MHz, což umožňuje optimalizaci spotřeby energie vůči pracovní frekvenci. [17]

Jádro AVR kombinuje bohatý set instrukcí s 32 registry pro obecné použití, které jsou připojeny k aritmetickologické jednotce (ALU), což dovoluje jedné instrukci během jednoho hodinového cyklu přístup do dvou registrů najednou. Výsledná architektura je výrazně efektivnější a poskytuje až desetkrát vyšší výkon než konvenční CISC mikrokontroléry.[17]

Obvod je vyrobený s použitím Atmelem vyvinuté technologie stálých pamětí s vysokou hustotou. ISP Flash paměť integrovaná v čipu umožňuje přeprogramování paměti přes SPI interface pomocí konvenčního programátoru, či boot programem běžícím v AVR jádře. Software uložený v boot sekci bude dále běžet, zatímco se mění paměťová sekce pro aplikaci, jde tedy o skutečnou Read - While - Write operaci. [18]



Obrázek 8. Blokové schéma ATMEL 2560 [17]

6.1 Úsporné režimy

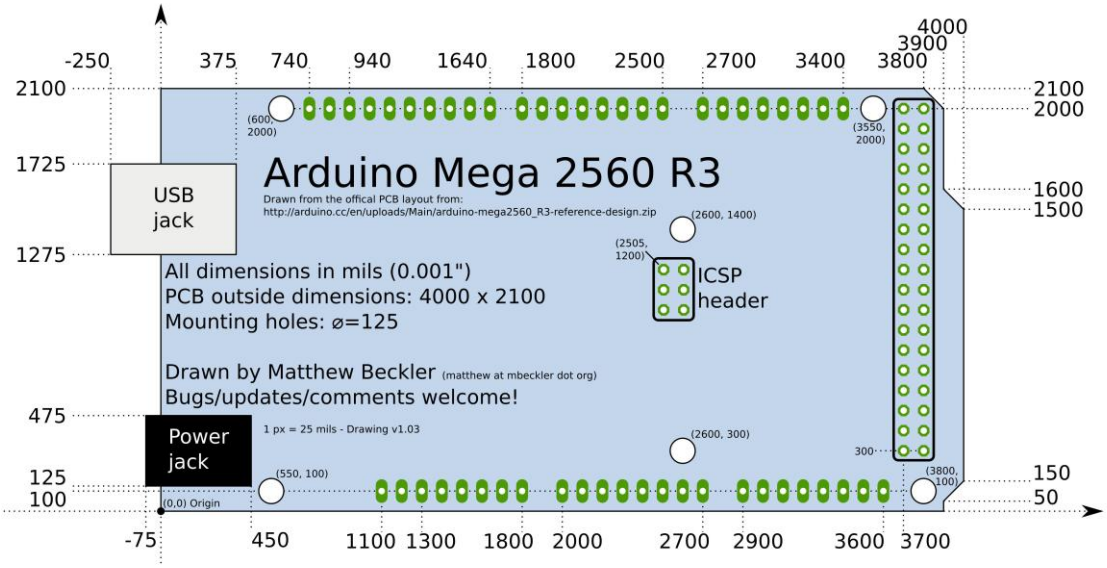
Obvod je také velmi efektivní, co se týče úspory energie. K dispozici je šest módů pro šetření energií - "Idle" mód zastaví CPU, ale SRAM, časovače/čítače, SPI port, a přerušení dále fungují. "Power-down" zachová obsah registrů, ale zastaví oscilátor, čímž vypne všechny další funkce čipu až do následujícího přerušení, nebo resetu. V "Power-save" módu je uspána většina čipu kromě asynchronního čítače, což uživateli dovoluje hlídat časovou základnu. Mód "ADC Noise Reduction" zastaví CPU a všechny I/O moduly kromě asynchronního čítače a AD převodníku, což velmi snižuje šum během A/D konverze. Ve "Standby" módu běží jen krystalový oscilátor, zbytek zařízení je uspán - to dovoluje velmi rychlý start, ale zároveň šetří energii. V "Extended Standby" módu běží hlavní oscilátor i asynchronní čítač.

6.2 Arduino mega 2560, srovnání s dalšími typy

Tabulka 1. Porovnání různých typů mikrokontrolérů [18]

Zařízení	Frekvence	Velikost flash paměti	Velikost RAM	Velikost EEPROM	Architektura	I/O	Napájení
ATMega 2560	16MHz	256kB	8kB	4kb	Atmel AVR	54 digitálních vstupů nebo výstupů 16 analogových vstupů	5V USB 7-12V adaptér
ATMega 1280	16MHz	128kB	8kB	4kb	Atmel AVR	54 digitálních vstupů nebo výstupů 16 analogových vstupů	5V USB 7-12V adaptér
ATMega 328	16MHz	32kB	2kB	1kb	Atmel AVR	14 digitálních vstupů nebo výstupů 16 analogových vstupů	5V USB 7-12V adaptér
AT91SAM3X8E	84MHz	512kB	96kB	---	Atmel AVR	54 digitálních vstupů nebo výstupů 12 analogových vstupů 2 analogové výstupy	7-12V adaptér

Obrázek 9. Arduino Mega 2560 [19]



Obrázek 10. Arduino Mega 2560 [20]

6.3 LCD shield

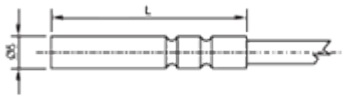
Zeleně podsvícený textový displej s šestnácti znaky ve dvou řádcích. Rozšiřuje významně komunikační možnosti Arduina. Bez jakýchkoliv úprav funguje s knihovnou LiquidCrystal, která je kompatibilní se všemi displeji s ovládacím čipem Hitachi HD44780. U displeje lze nastavovat kontrast pomocí otočného trimru a ovládat podsvit LCD pomocí přepínače ve dvou stavech (zap/vyp). [21]

Pro potřeby nastavení mezních hodnot slouží ovládací tlačítka, jimiž lze libovolně tyto hodnoty upravovat dle aktuální potřeby. [21]

Obrázek 11. LCD klávesnice s tlačítky [22]

6.4 Snímač TR 125

Tyto odporové snímače jsou konstruovány pro měření teploty plynných a kapalných látek. Maximální teplotní rozsah použití snímačů je -50 °C až 200 °C. Jako přívodní kabel je používán typ se silikonovou izolací a stíněním. Snímače jsou určeny pro univerzální použití, způsob použití musí být volen s ohledem na teplotní a chemickou odolnost pouzdra a přívodního kabelu.



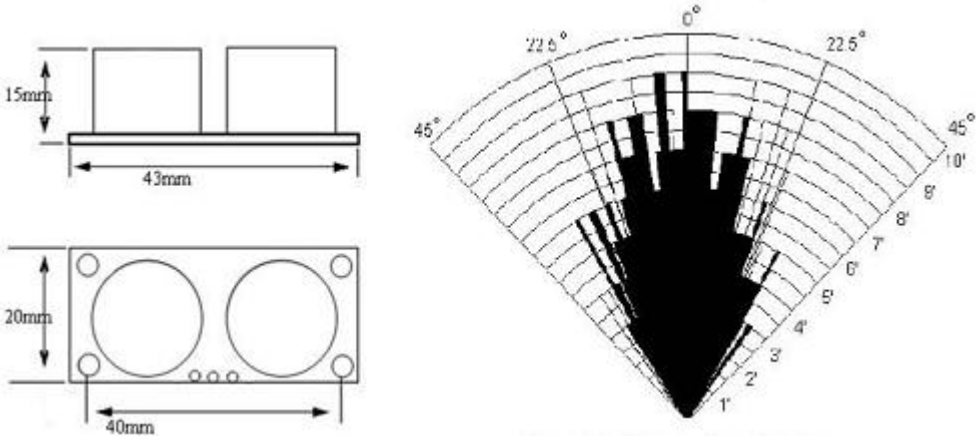
Obrázek 12. Snímač TR 125 [23]

6.5 Ultrazvukový modul měření vzdálenosti

Modul se snímačem je použit pro ultrazvukové snímání výšky hladiny chladícího média pro případ prasknutí nádoby. V tomto případě je zaručena včasná reakce k řízenému odstavení celé laboratorní soustavy, ještě dříve než je zaznamenán problém v chladícím okruhu od snímače průtoku.

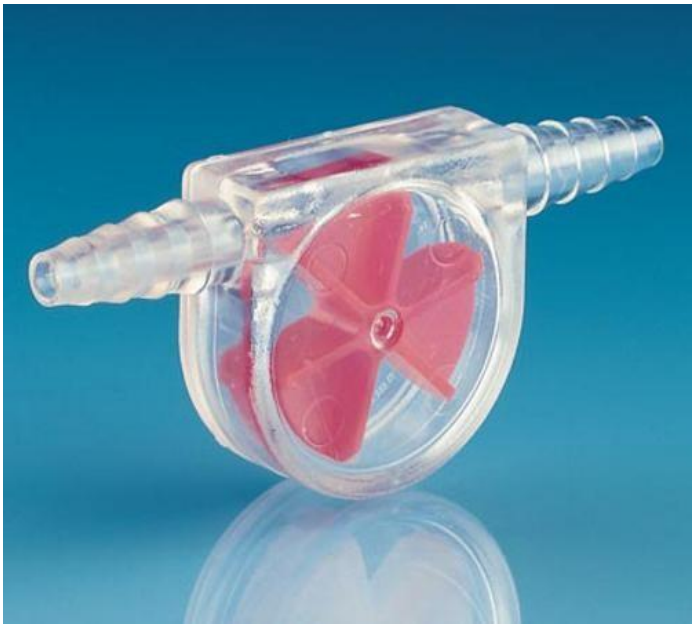
- Pracovní napětí: DC 5V
- Statický proud: méně než 2 mA.
- Výstupní signál: Elektrické frekvence signálu, vysoká úroveň 5V, nízká úroveň 0V.
- Detekční vzdálenost: 2 cm-450 cm.
- Vysoká přesnost: cca 0,3 cm
- Rozměry desky: 43mm x 20mm

Obrázek 13. Ultrazvukový snímač vzdálenosti [24]



Obrázek 14. Rozměry a charakteristika snímače [24]

6.6 Indikátor průtoku



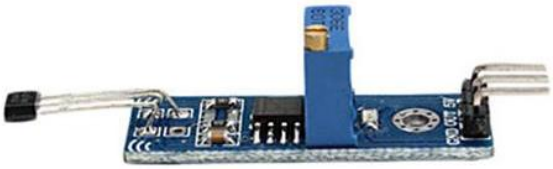
Obrázek 15. Indikátor průtoku [25]

Lopatkový indikátor průtoku pro vizuální kontrolu průtoku kapalin a plynů, do teploty 50°C, SAN, pro hadice o průměru 6 - 11 mm. Je upravený pro potřeby snímání průtoku chladícího média pomocí Hallova senzoru otáček. V případě zastavení lopatek je toto vyhodnoceno a celá laboratorní soustava je řízeně vypnuta. [25]

6.7 Hallův senzor otáčky rychlost

Pro snímání otáček míchadla je opět využit Hallův senzor. V našem případě je zajištěno hlídání dvou stavů, a to zda je míchadlo v provozu (hřídel se otáčí/hřídel se neotáčí). Pokud je vyhodnoceno zastavení hřídele, laboratorní soustava je odstavena.

- Na desce také LM393 čip
- Podpora 5 V / 3,3 V
- Citlivost detekce lze nastavit
- Rozměry desky: 30 mm x 15 mm

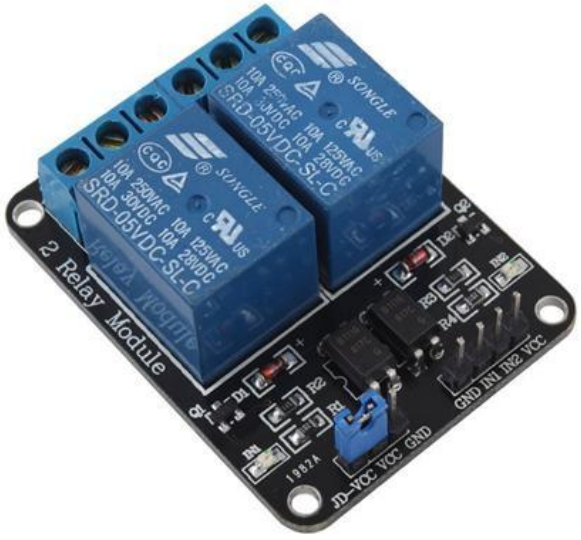


Obrázek 16. Hallův snímač otáček [26]

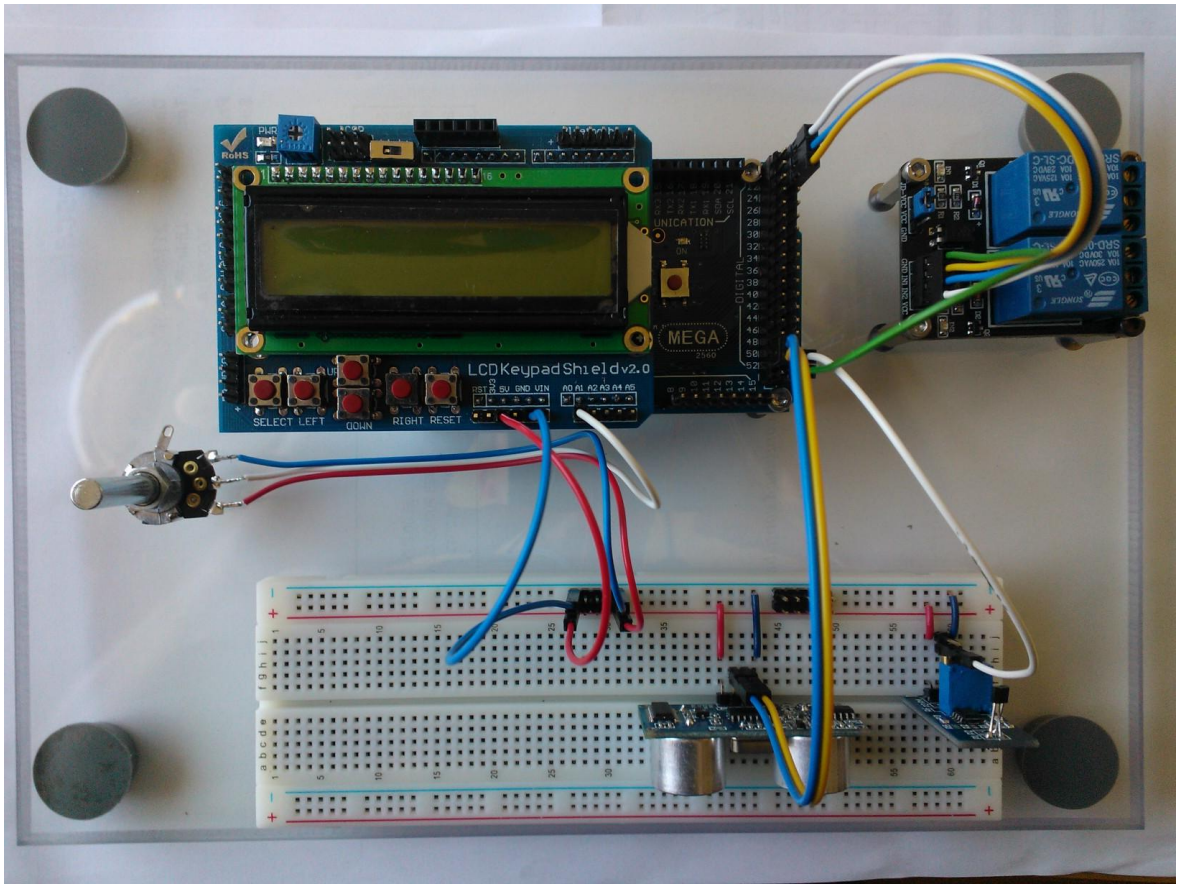
6.8 Dvou kanálové relé

Toto relé je použito jako koncový prvek na výstupu mikrokontroléru pro ovládání (vypínání/odstavení) zařízení pro ohřev v laboratorní soustavě

- Napájení: 5V
- 2-kanálové relé, může být řízeno širokou škálou mikroprocesorů jako Arduino AVR, PIC, DSP, ARM, ARM, MSP430 atd.
- LED indikace pro každé relé.
- AC250V 10A, AC150V 10A; DC30V 10A , DC28V 10A.
- Rozměry desky: 39 x 51 mm



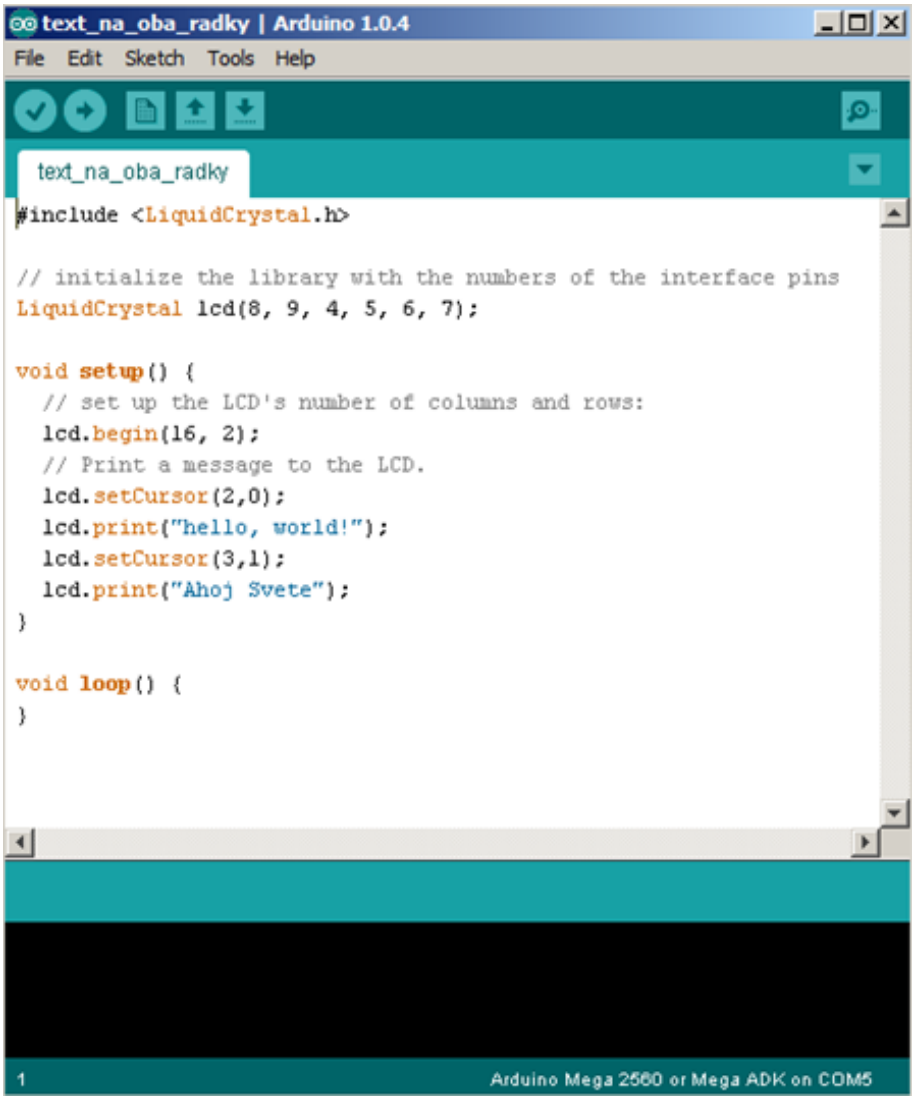
Obrázek 17. Modul dvou relé [27]



Obrázek 18. Sestavený prototyp

6.9 Vývojové prostředí

Programovací jazyk, v němž je program pro Arduino napsán, se jmenuje Wiring (lépe řečeno „vychází z jazyka Wiring“, ale rozdíly jsou minimální). Jde o „jazyk podobný C++“ – ve skutečnosti je to jakýsi metajazyk či „*vylepšená sada maker*“ nad C++. Wiring původně vznikl pro vývojový kit podobný Arduinu a vychází z dalšího open source projektu, který se jmenuje Processing.



Obrázek 19. Vývojové prostředí

ZÁVĚR

V této práci bylo využito veškerých předchozích teoretických znalostí funkcí jednotlivých snímačů a komponent, ze kterých se bezpečnostní obvod laboratorní soustavy skládá. Úkolem bylo sestavit takový obvod, který zajistí v případě havárie řízené zastavení laboratorní soustavy, aniž by došlo ke škodám na soustavě samotné a taktéž na majetku. Tento obvod je jištěn několika způsoby a překročení nastavených hodnot teploty, změna výšky hladiny chladicí kapaliny, zastavení lopatkového signalizátoru průtoku nebo zastavení míchadla, jsou okamžitě vyhodnocena jako alarmová událost. Na základě této události je nejprve odstaveno topné hnízdo, míchání je zachováno po dalších třicet minut z toho důvodu, že může dojít ke skrytému varu, který je naprosto nežádoucí. Nastavení teplot, při kterých se má laboratorní soustava vypnout lze uživatelsky nastavit na ovládacím panelu LCD, pomocí šestice tlačítek. Toto nastavení lze provádět s krokem 1°C. Uvnitř skleněné baňky se budou měnit různě chemicky agresivní kapaliny a z tohoto důvodu bylo nutno použít měřidlo teploty s nerezovým ocelovým stonkem. Třída odolnosti vůči chemicky agresivnímu prostředí byla u nerezové oceli stanovena na A4, jež je určena především do chemických laboratoří. Pro připojení jednotlivých periferií jsou využity na mikrokontroléru Arduino jeho analogové nebo digitální vstupy a výstupy. Pro ovládání zařízení při havarijním stavu je použito dvou kanálové bezpotenciálové relé.

Tato práce zvýší bezpečnost pracoviště laboratorních soustav za nepřítomnosti, ale i přítomnosti osob a v tomto případě lze předejít vážným úrazům způsobených agresivními roztoky.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

Bachelor´s thesis is based on previous theoretical knowledge of sensors functions and other laboratory safety system parts. The purpose was to design particular system which provides to stop the procedure in case of emergency. This break down will avoid possible damage on laboratory equipment or operator´s health.

Laboratory system is controlled by several ways. As emergency is mark: temperature exceeding, changing of water surface level, paddle circling or mixers stop. In case of those system will turn off immediately. Due to alarm event is turn off heating nest at first. Mixing is kept for next 30 minutes because hidden boiling could appear.

To set up the temperature for system is possible by operator. On LCD display just simply choose exact temperature by using 6 arrows. Temperature setting could be set up on 1°C in each step.

Inside the glass bulb will be used different chemically liquids. Due to this fact it is necessary to use stainless steel stem. Class resistance for steel stem was classified A4. A4 is recommended for chemical laboratories.

To connect each device is used analogue or digital Arduino microcontroller inputs and outputs.

To operate in emergency situation is used two channel potential free relay.

This system will provide workplace safety and prevent serious accidents.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] HRUŠKA, František. *Senzory v systémech informatiky a automatizace*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007, 177 s. ISBN 978-80-7318-630-2.

[2] CHUDÝ, Vladimír. *Meranie technických veličín*. 1. vyd. Bratislava: STU, 1999, 689 s. ISBN 80-227-1275-2.

[3] STRNAD, Radek. Měření teploty: porozumění vlastnostem měřicího přístroje. *AUTOMA: Časopis pro automatizační techniku* [online]. 2009, č. 6, 5 s. [cit. 2013-06-13]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39158.pdf

[4] ADÁMEK, Milan. *Optoelektronika: Přednáška č. 8*. [on-line]. Zlín: Ústav elektrotechniky a měření, 2012, 23 s. [cit. 2013-06-01]. Dostupné z: http://www.mikroelektro.utb.cz/e107_files/downloads/pr8.pdf

[5] ÚSTAV APLIKOVANÉ MATEMATIKY. *Laboratorní cvičení: Hallův jev v germaniu* [on-line]. Praha: ČVUT, 2012, 4 s. [cit. 2013-06-05]. Dostupné z: euler.fd.cvut.cz/new/ctrl.php?act=show,file,867

[6] HRUŠKA, František. *Technické prostředky informatiky a automatizace: (úvod, popis funkce, konstrukce a aplikace)*. Vyd. 1. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2007, 193 s. ISBN 978-80-7318-535-0.

[7] KADLEC, Karel. VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ. *Měřící a řídící technika: Měření hladiny* [on-line]. Praha, 2013, 14 s. [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: http://moodle.vscht.cz/mod/resource/view.php?id=3962

[8] KADLEC, Karel. Snímače polohy hladiny – principy, vlastnosti a použití. *AUTOMA: Časopis pro automatizační techniku* [online]. 2005, č. 5, 18 s. [cit. 2013-06-10]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/vyhledavani-vysledek/snimace-polohy-hladiny-%E2%80%93-principy-vlastnosti-a-pouziti-cast-1-30469.html

[9] KARAS, Ondřej. *Zpracování signálu ze snímačů*. Pardubice: Ústav elektrotechniky a informatiky, 2012, 3 s. [cit. 2013-04-02]. Dostupné z: http://www.kvetakov.net/down.php?file=./UEIKMT/2/ls/ISAME/MTVKap4.pdf

[10] MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ FAKULTA. *Integrované obvody: Operační zesilovač - zapojení s invertujícím vstupem* [on-line]. Praha: Univerzita Karlova, 2012, 2 s.

[cit. 2013-04-22]. Dostupné z: http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/elektross/int_obv/oz_inv.html

[11] STŘEDNÍ ODBORNÉ UČILIŠTĚ ELEKTROTECHNICKÉ PLZEŇ. *Praktické moderní výukové moduly v elektrotechnice, elektronice a automatizaci: Modul 1: Praktické úlohy měření v elektronice a automatizaci* [on-line]. Plzeň, 2012, 6 s. [cit. 2013-05-24]. Dostupné z: http://www.edunet.souepl.cz/~kulhanek/OPVK%202012/metody%20mereni/zpusoby%20elektrickeho%20mereni.html

[12] UHROVÁ, Helena. Měření indukčnosti a kapacity: Maxwellův můstek a sériová rezonance. In: *Ústav fyziky a měřící techniky* [online]. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2012, 7 s. [cit. 2013-06-03]. Dostupné z: http://tresen.vscht.cz/ufmt/cs/component/joomdoc/doc_details/673-uloha-10bd.html

[13] VACEK, Václav. *Učebnice programování Atmel s jádrem 8051*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2001, 141 s. ISBN 8073000431.

[14] CADY, Fredrick M. Microcontrollers and microcomputers: principles of software and hardware engineering. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 2010, xii, 477 p. ISBN 01-953-7161-5.

[15] BUMBA, Jiří. *Programování mikroprocesorů: praktický návod nejen pro mikroprocesory PIC*. Vyd.1.Brno: Computer Press, 2011, 135 s. ISBN 978-80-251-2838-1.

[16] KAINKA, Burkhard. *Měření, řízení a regulace pomocí PC: [vývoj hw a sw pro praxi]*. 1. české vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2003, 271 s. ISBN 80-7300-089-x.

[17] ATMEL. *Atmel Mega 640: Blokové schéma* [on-line]. USA: Microsoft Corporation, 2012, 40 s. [cit. 2013-04-02]. Dostupné z: http://www.atmel.com/Images/2549S.pdf

[18] Arduino. ARDUINO. [online]. [cit. 2013-06-14]. Dostupné z: http://arduino.cc/

[19] UNMANNED TECH. *Arduino Mega 2560* [on-line]. 2013 [cit. 2013-03-24]. Dostupné z: http://www.unmannedtechshop.co.uk/arduino-mega-2560.html

[20] WAYNE AND LAYNE. *Arduino Mega 2560 SVG Drawing* [on-line]. 2013 [cit. 2013-04-13]. Dostupné z: http://www.wayneandlayne.com/blog/2010/12/19/nice-drawings-of-the-arduino-uno-and-mega-2560/

[21] KOLAŘÍK, Martin. Ostrovní fotovoltaické elektrárny. *Ostrovní elektrárny: Cesta k nezávislosti* [online]. [cit. 2013-06-14]. Dostupné z: http://www.ostrovni-elektrarny.cz/index.php?category=monitoring-a-testy&detail=OTAwNDM=&detail_name=arduino-1602-lcd-keypad-shield

[22] GETECH CO. *LCD 1602 Keypad Shield* [on-line]. 2013 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: http://i01.i.aliimg.com/wsphoto/v0/558323945_1/UNO-Mega-LCD-1602-Keypad-Shield-for-your-Arduino-project.jpg

[23] SENSIT. *Snímače teploty s kabelem a kovovým pouzdrem* [on-line]. Rožnov pod Radhoštěm, 2013, 79 s. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: http://www.sensit.cz/ke-stazeni/soubory/06_14.pdf

[24] JAKTEK. *HC-SR04 Ultrasonic Sensor* [on-line]. Let´s make robots, 2011 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: http://letsmakerobots.com/node/30209

[25] VERKON. Verkon: Společnost pro vaši laboratoř [online]. 2013 [cit. 2013-06-14]. Dostupné z: http://www.verkon.cz/indikator-prutoku/?detail=indikator-prutoku-san&keyword=san

[26] China electronics: Hall sensor module for intelligent trolley. CHINA ELECTRONICS. [online]. [cit. 2013-06-14]. Dostupné z: http://www.china-electronics-gadgets.com/hall-sensor-module-for-intelligent-trolley-p-73.html

[27] BEŠTOVÁ, TEREZA. *Relé modul pro Arduino 5V / 10A pro Arduino* [on-line]. Easyduino, 2013 [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: http://www.easyduino.cz/easyduino/eshop/3-1-Arduino-elektronika/2-2-Moduly-pro-Arduino/5/31-2x-rele-modul-pro-Arduino-5V-10A-pro-Arduino

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Fototranzistor 16
Obrázek 2. Vodič nebo polovodič ve tvaru proužku 17
Obrázek 3. Ultrazvukový hladinoměr 22
Obrázek 4. Ultrazvukový hladinoměr 23
Obrázek 5. Invertující OZ se zpětnou vazbou 27
Obrázek 6. Integrační převodník s dvojí integrací 29
Obrázek 7. Čtyřbitový D/A převodník 30
Obrázek 8. Blokové schéma ATMEL 2560 34
Obrázek 9. Arduino Mega 2560 36
Obrázek 10. Arduino Mega 2560 36
Obrázek 11. LCD klávesnice s tlačítky 37
Obrázek 12. Snímač TR 125 38
Obrázek 13. Ultrazvukový snímač vzdálenosti 39
Obrázek 14. Rozměry a charakteristika snímače 39
Obrázek 15. Indikátor průtoku 40
Obrázek 16. Hallův snímač otáček 41
Obrázek 17. Modul dvou relé 41
Obrázek 18. Sestavený prototyp 42
Obrázek 19. Vývojové prostředí 43

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Porovnání různých typů mikrokontrolérů..... 35

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha I.: Zdrojový kód

PŘÍLOHA P I: ZDROJOVÝ KÓD

```
/* include the library code */
#include <stdio.h>
#include <EEPROM.h>
#include <LiquidCrystal.h>

/**
 * Nastaveni HC-SR04 sensoru mereni vzdalenosti:
 * VCC  => Arduino 5V
 * GND  => Arduino GND
 * Trig => Arduino pin 50
 * Echo => Arduino pin 52
*/
#define SONAR_TRIG_PIN       50
#define SONAR_ECHO_PIN       52
/* Vzdalenost hladiny kapaliny od cidla
 *  - minimalni = 10cm
 *  - maximalni = 80cm
 */
#define SONAR_MIN_DIST       10
#define SONAR_MAX_DIST       80

/**
 * Nastaveni Relay Modulu
 * IN1 - K1 (ovladani motoru) => Arduino pin 24
 * IN2 - K2 (ovladani topeni) => Arduino pin 22
 */
#define HEAT_OFF              1
#define HEAT_ON               0
#define HEAT_PIN             22

#define MOTOR_STOP            1
#define MOTOR_RUN             0
#define MOTOR_PIN            24

/**
 * Nastaveni Relay Modulu
 * A0 - rezervovane pro klavesnici => Arduino pin A0
 * A1 - aktualni teplota lazne     => Arduino pin A1
 */
#define KANAL_MERENI_TEPLOTY  1
/* Parametry cidla mereni teploty */
#define TEPLOTA_SCALE         0.125

int teplota_zadana          = 80;
int teplota_hystereze       = 2;

long cas_ohrivani     = 30;  //s
long cas_dochlazovani = 15;  //s

/* Initialize the library with the numbers of the interface pins */
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);

// the current address in the EEPROM (i.e. which byte
// we're going to write to next)
int address = 0;
byte value;

/* Definice stavu stavoveho automatu */
```

```
#define NO_STATE              0
#define START_STATE           1
#define RAMP_STATE            2
#define HEAT_STATE            3
#define COOL_STATE            4
#define STOP_STATE            5
#define ERROR_STATE           6

#define START                 1

int state   = START_STATE;
int command = START;

void setup()
{
 /*
  * Inicializace seriove linky
  */
  Serial.begin(9600);


 /*
  * Nastaveni releovych vystupu
  */
  motorInit(MOTOR_PIN);
  heatInit(HEAT_PIN);

 /*
  * Inicializace sonaru
  */
  sonarInit(SONAR_TRIG_PIN, SONAR_ECHO_PIN);

 /*
  * Nastaveni LCD displaye (2 radky, 16 sloupcu)
  */
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.clear();
  lcd.print("Tepl:");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Cas :");
}


void loop()
{
  int  key;
  long distance;

  key      = getKey();

  distance = sonarGetDistance();
  Serial.println(distance);
  if ((distance < SONAR_MIN_DIST) || (distance > SONAR_MAX_DIST))  {
    state = ERROR_STATE;
  }

  state    = stateMachine(state, &command);
}


unsigned int stateMachine(unsigned int state, int * command)
```

```
{

  char  output_char[5];
  long  cas_aktualni, cas_stavu;
  int   teplota_raw;
  int   teplota_aktualni;
  unsigned int  next_state = state;

  /* milisekundy -> sekundy */
  cas_aktualni = millis()/1000;

  lcd.setCursor(5, 1);
  sprintf(output_char, "%4d", cas_aktualni);
  lcd.print (output_char);

  teplota_raw  = analogRead (KANAL_MERENI_TEPLOTY);
  /* Prepocitej teplotu na stupne celsia */
  teplota_aktualni = teplota_raw * TEPLOTA_SCALE;

  lcd.setCursor(5, 0);
  sprintf(output_char, "%4d", teplota_aktualni);
  lcd.print (output_char);


  switch(state)
  {
    case START_STATE:

      /* Cekej na povel spusteni */
      lcd.setCursor(11, 1);
      lcd.print("START");

      if (*command == START) {

        /* Zapni michani */
        motorControl(MOTOR_RUN);
        /* Pockej 250 ms  */
        delay(250);
        /* Zapni topeni */
        heatControl(HEAT_ON);
        /* uloz cas prepnuti do nasledujiciho stavu */
        cas_stavu = millis()/1000;
        /* Prepni do stavu postupneho ohrivani na zadanou teplotu */
        next_state = RAMP_STATE;
      }
      break;

    case RAMP_STATE:
       lcd.setCursor(11, 1);
       lcd.print("RAMP ");

      /* Ohrivej lazen dokud nedosahne zadovane teploty */
      if (teplota_aktualni > teplota_zadana) {
        /* Vypni topeni */
        heatControl(HEAT_OFF);
        /* uloz cas prepnuti do nasledujiciho stavu */
        cas_stavu = millis()/1000;
        /* Prepni do stavu udrzovani konstantni teploty */
        next_state = HEAT_STATE;
      }
      break;
```

```
    case HEAT_STATE:
       lcd.setCursor(11, 1);
       lcd.print("HEAT ");

      /* Udrzuj konstantni teplotu lazne hystereznim regulatorem po
definovanou dobu */
      if (teplota_aktualni < teplota_zadana - teplota_hystereze) {
        heatControl(HEAT_ON);
      }
      else if (teplota_aktualni > teplota_zadana) {
        heatControl(HEAT_OFF);
      }

      if (millis()/1000 - cas_stavu > cas_ohrivani) {
        /* Vypni topeni */
        heatControl(HEAT_OFF);
        /* uloz cas prepnuti do nasledujiciho stavu */
        cas_stavu = millis()/1000;;
        /* Prepni do stavu postupneho ochlazovani */
        next_state = COOL_STATE;
      }
      break;

    case COOL_STATE:
      lcd.setCursor(11, 1);
      lcd.print("COOL ");

      /* Pokracuj v michani lazne po definovanou dobu */
      if (millis()/1000 - cas_stavu > cas_dochlazovani) {
        /* Vypni michani */
        motorControl(MOTOR_STOP);
        /* Uloz cas prepnuti do nasledujiciho stavu */
        cas_stavu = cas_aktualni;
        /* Prepni do stavu postupneho ochlazovani */
        next_state = STOP_STATE;
      }
      break;

    case STOP_STATE:
       lcd.setCursor(11, 1);
       lcd.print("STOP ");

      /* Konec pracovniho cyklu */
      while(1);
      break;

    case ERROR_STATE:
      lcd.setCursor(11, 1);
      lcd.print("ERROR");

      /* Chybovy stav uved zarizeni do bezpecneho stavu */
      /* Vypni topeni */
      heatControl(HEAT_OFF);
      /* Vypni motor */
      motorControl(MOTOR_STOP);

      /* Cekej na reset zarizeni */
      while(1);
      break;
  }
```

```
  return next_state;
}


/*****************************************************************
 * Promenne a rutiny ultrasonickeho sensoru vzdalenosti HC-SR04
 *****************************************************************/

int sonarTrigPin;
int sonarEchoPin;

void sonarInit(int trigPin, int echoPin)
{
   sonarTrigPin = trigPin;
   sonarEchoPin = echoPin;

   pinMode(sonarTrigPin, OUTPUT);
   pinMode(sonarEchoPin, INPUT);
}

long sonarGetDistance(void)
{
 /*
  * The following sonarTrigPin/sonarEchoPin cycle is used to determine
the
  * distance of the nearest object by bouncing soundwaves off of it.
  */
  digitalWrite(sonarTrigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);

  digitalWrite(sonarTrigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);

  digitalWrite(sonarTrigPin, LOW);

  /* Return the distance (in cm) based on the speed of sound. */
  return (pulseIn(sonarEchoPin, HIGH)/58.2);
}


int motorPin;

void motorInit(int pin)
{
  motorPin = pin;
  /* set the digital pin as output */
  pinMode(motorPin, OUTPUT);

  motorControl(MOTOR_STOP);
}

void motorControl(int state)
{
  digitalWrite(motorPin, state);
}


int heatPin;

void heatInit(int pin)
```

```
{
  heatPin = pin;
  /* set the digital pin as output */
  pinMode(heatPin, OUTPUT);

  heatControl(HEAT_OFF);
}

void heatControl(int state)
{
  digitalWrite(heatPin, state);
}


/*****************************************************************
 * Promenne a rutiny ovladani klavesnice na LCDKeypadShieldu v2.0
 *****************************************************************/

#define NO_KEY          0
#define RIGHT_KEY       1
#define UP_KEY          2
#define DOWN_KEY        4
#define LEFT_KEY        8
#define SELECT_KEY     16


int getKey(void)
{
    int x;
    int key = NO_KEY;

    x = analogRead (0);

    /* Decode pressed key */
    if (x < 100) {
        key = RIGHT_KEY;
    }
    else if (x < 200) {
        key = UP_KEY;
    }
    else if (x < 400){
        key = DOWN_KEY;
    }
    else if (x < 600)  {
        key = LEFT_KEY;
    }
    else if (x < 800){
        key = SELECT_KEY;
    }

    /* Return pressed key */
    return key;
}
```