

Jednozvodový elektrokardiograf

Praktická časť odbornej zložky maturitnej skúšky

Praktická časť odbornej zložky maturitnej skúšky

a Zadanie úlohy pre komplexnú maturitnú skúšku:

Meno a priezvisko:	András Zemes
Trieda:	4. IT
Konzultant:	Mgr. Peter Hudec
Školský rok:	2018/2019
Odbor:	Informačné a sieťové technológie
Názov témy:	Jednozvodový elektrokardiograf
Úloha:	Zhotoviť prístroj, <i>elektrokardiograf</i> , na snímanie a zachytenie elektrických potenciálov srdca.

Špecifikácia úlohy:

1. Naštudovanie a spracovanie potrebnej teórie
 - Elektrický potenciál srdca
 - Prehľad prístrojov EKG
 - Signál a jeho spracovanie
2. Vytvorenie a konštrukcia prístroja na meranie EKG
3. Vytvorenie elektronickej časti, práca s mikrokontrolérom
4. Vytvorenie PC aplikácie na grafické zobrazenie spracovaných údajov
5. Webové rozhranie ku spracovaným dátam

Praktický charakter úlohy: Návrh plošného spoja, programovanie mikrokontroléra, vytvorenie grafickej aplikácie.

András Zemes, riešiteľ

Mgr. Peter Hudec, interný konzultant

Zástupkyňa riaditeľa školy

V Nových Zámkoch dňa 21.01.2019

Čestné vyhlásenie

Ja, dolupodpísaný András Zemes, študent 4. IT triedy Strednej priemyselnej školy S. A. Jedlika v Nových Zámkoch, týmto vyhlasujem, že som túto prácu vyhotovil sám, s použitím uvedenej literatúry a podľa rád môjho konzultanta.

András Zemes

Poďakovanie

Touto cestou by som sa chcel poďakovať všetkým, ktorí mi akýmkoľvek spôsobom pomohli a povzbudzovali ma pri vypracovaní mojej komplexnej maturitnej práce. Predovšetkým však patrí moja vďaka konzultantovi, Mgr. Petrovi Hudecovi, za jeho všestrannú pomoc, za vedenie a cenné pripomienky pri záverečnom spracovaní práce.

Obsah

1	Ciele	5
2	Teória elektrokardiografie	6
2.1	Elektrofyziológia srdca	6
2.2	Akčný potenciál	7
2.3	Prehľad prístrojov EKG	8
2.3.1	Druhy funkčných vyšetrení	8
2.3.2	Časti klasického prístroja EKG	9
2.3.3	Výdobytky modernej elektrokardiografie	9
2.4	Umiestnenie elektród	10
2.5	Signál a jeho spracovanie	11
2.5.1	Sieťový brum	11
2.5.2	Potlačenie driftu	11
2.5.3	Myopotenciály	11
2.5.4	Voľba filtrov	12
3	Metodika práce	13
3.1	Zosilňovací obvod na vývojovej doske	13
3.2	Spájkovaný obvod	14
3.3	Finálny obvod a rozširovacie moduly	15
3.3.1	Mikroprocesor	15
3.3.2	FT232RL programátor s Mini USB	15

1 Ciele

Kľúč úspešného elektrotechnického projektu spočíva v dokonalnej spolupráci jeho elektronických a informačných zložiek. Zámerom tejto práce je poukázať na to, že aj pomerne jednoduchými komponentmi sa dajú vyriešiť komplexné problémy.

Dôležité aspekty výslednej práce sú univerzálnosť, portabilita a intuitívny dizajn. Prístroj by mal dokázať použiť každý bez špeciálneho vybavenia a bez podrobnej znalosti jeho fungovania. Riešenie má byť taktiež prenosné, aby bolo neobmedzene využiteľné.

Pri návrhu plošného spoja sa muselo prihliadať i na bezpečnosť pri použití prístroja. Elektrokardiograf sleduje pulz snímaním elektrických potenciálov srdca z povrchu tela elektródami. Napájaním obvodu z AA článkov a ochranou malým napätím sa zabránilo výskytu nečakaných a potenciálne rizikových situácií.

Pomocou jednovodového EKG vieme určiť pulz, srdcový rytmus, ba aj odhaliť prítomnosť srdcových arytmii a fibrilácie predsiení. Projekt môže taktiež slúžiť ako pomôcka pri výučbe elektroniky, programovania či informatiky. Znázorňuje fungovanie signálových filtrov, operačných zosilňovačov, mikrokontrolérov a grafických počítačových aplikácií.

2 Teória elektrokardiografie

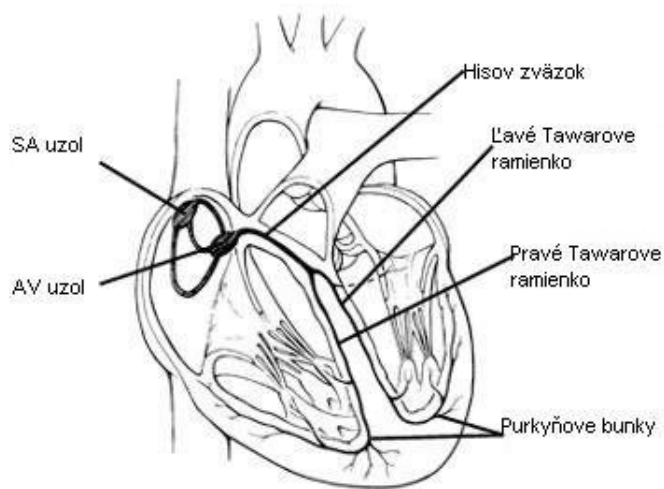
2.1 Elektrofyziológia srdca

Základom vnútorného fungovania srdca je jeho elektrická aktivita. Srdce je jedinečný orgán z hľadiska, že jeho elektrická činnosť nie je nervovo založená. Je riadená špecializovanými vodivými svalovými bunkami. Zväzky takýchto buniek podmieňujú čerpaciu schopnosť srdca.

Zdrojom elektrických impulzov je sinoatriálny (SA) uzol, ktorý sa nachádza v stene hornej časti pravej predsene. Udáva frekvenciu kontrakcií myokardu (srdcového svalstva), ktorá je nominálne 70 tepov za minútu.

Signály sa ďalej šíria vodivými dráhami predsiení a stimulujú svalové kontrakcie. Pokračujú po srdcovej priehradke, septe, ktorá oddeľuje dve polovice srdca. Blízko bodu spojenia štyroch dutín srdca sa nachádza zhluk špeciálnych buniek - atrioventrikulárny (AV) uzol. Uzol AV postup vzruchov mierne inhibuje a následne ich vysiela do Hisovho zväzku.

Hisov zväzok sa delí na dve vetvy, tzv. Tawarove ramienka. Obidve vetvy vedú do siete Purkyňových vlákien, ktoré aktivujú pracovný myokard.



Obr. 1: Prevodový systém srdca

2.2 Akčný potenciál

Ako vyrába a prenáša srdcové tkanivo elektrické impulzy? Aby sme si priebeh tohto deja mohli vysvetliť, musíme sa preniesť až na úroveň atómov.

Atóm je neutrálny, ak má rovnaký počet protónov (kladne nabitých častíc) a elektrónov (záporne nabitých častíc).

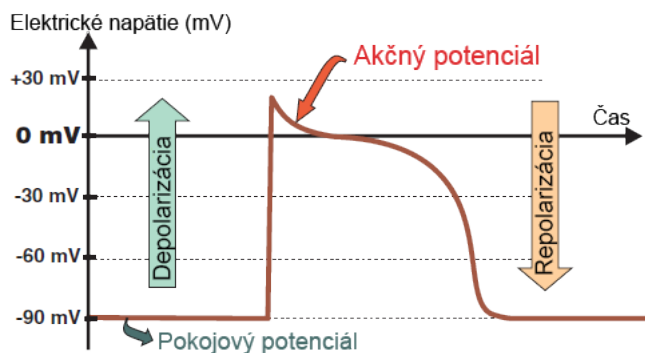
Ióny vznikajú z elektricky neutrálnych atómov pridaním resp. ubráním elektrónov.

V pokoji je srdcová bunka v *polarizovanom stave*:

- mimobunkový priestor je elektricky pozitívny pre vysokú koncentráciu kladných iónov sodíka a vápnika
- vnútro bunkový priestor je oproti vonkajšej strane negatívny
- rozdiel potenciálov je -90mV

Keď pokojový membránový potenciál dosiahne určitú prahovú hodnotu (cca. 15 mV), tzv. *akčný potenciál*, tento pokojový stav sa náhle zmení. V membráne bunky sa otvoria prieduchy a kladne nabité ióny prúdia späť do bunky. Táto náhla strata polarizácie sa volá depolarizácia a vzniká pri nej elektrický prúd.

Po depolarizácii nastáva protikladný dej, repolarizácia, keď sa ióny znovu prečerpávajú von mimo membránu. Depolarizačná vlna vyvolávaná uzlom SA sa šíri po prevodovom systéme srdca a uvádza svaly do pohybu. Proces, ktorý začal pumpovaním iónov takto končí pumpovaním krvi.



Obr. 2: Akčný potenciál v grafickom vyobrazení

2.3 Prehľad prístrojov EKG

2.3.1 Druhy funkčných vyšetrení

Elektrokardiografia je jedným zo základných lekárskeho vyšetrení. Najčastejšie sa využíva v núdzových situáciách pri podozrení na srdcový infarkt, na zistenie poruchy súvisiacej s kardiovaskulárnym systémom alebo ako preventívne vyšetrenie so zámerom odhaliť možný srdcový defekt.

Vyšetrenie EKG je neinvazívne a nevyžaduje žiadnu špeciálnu prípravu. Pri klasickom EKG sa elektródy pripevnia na hrudník, zápästia a členky pacienta. Elektrické signály zachytené z povrchu tela, ktoré sú spravidla veľmi slabé, v rádoch milivoltov, prístroj zosilní a zaznamená. Následne ich lekár vyhodnotí.

Existuje niekoľko rôznych druhov vyšetrení:

Štandardné 12-zvodové EKG

Je najčastejšie používaný zo všetkých typov EKG. Pozostáva zo 6 končatinových zvodov a 6 hrudných zvodov. Každý zvod je samostatne zapisovaný na priebežne sa posunujúci špeciálny záznamový papier, prípadne zobrazuje hodnoty na monitore.

Záťažové EKG (ergometria)

Ukáže správanie srdca a obehového systému pri námahovej aktivite. Na simuláciu sa väčšinou používa stacionárny bicykel alebo bežecký pás. Monitoruje sa záznam EKG v súvislosti s krvným tlakom. Na zázname sa pátra po zmenách, ktoré na EKG urobenom v pokoji nie sú viditeľné.

Dynamické EKG

Umožňuje sledovať srdcovú činnosť pri bežných aktivitách počas 12-48 hodín. Zvýšením doby monitorovania sa zvyšuje pravdepodobnosť nálezu nepravidelností rytmu alebo námahových ischemií myokardu v zázname.

Tlakový Holter

Ambulantné 24-hodinové sledovanie krvného tlaku je jednoduché vyšetrenie často indikované pri diagnostikovaní hypertenzie. Sníma sa tlak krvi v domácom prostredí pri každodenných činnostiach pomocou nafukovacej manžety.

EKG určuje základné fyziologické hodnoty ako sú frekvencia srdcovej činnosti, rytmus, elektrická os srdca, prevodové časy a morfológia segmentov EKG krivky. Na základe týchto parametrov môže byť stanovená diagnóza a rozpoznaná porucha srdcového rytmu (arytmia), porucha prevodu elektrických vzruchov, ischemická choroba srdca a iné patologické zmeny v myokarde.

2.3.2 Časti klasického prístroja EKG

Tepelná tlačová hlava

Kreslí EKG krivku generovaním tepla.

Termopapier

Prichádza do kontaktu s tlačovou hlavou. Na mieste dotyku sa farba papiera mení na čiernu, takto vzniká krivka EKG. Papier je tiež citlivý na tlak.

Elektródy

Elektródy sú vyrobené z vodivého materiálu, ktorý dokáže zachytiť elektrické impulzy zo srdca. Signály odosielaajú na spracovanie do meracieho prístroja cez pripojené káble.

Zosilňovač

Zosilňovač je zariadenie, ktoré sa nachádza v elektrokardiografe a zvyšuje amplitúdu elektrického signálu. Signály prichádzajúce zo srdca sú relatívne slabé (0,0001V až 0,003V) a je potrebné ich zosilniť.

Galvanometer

Premieňa prúd na mechanický pohyb.

Sada EKG káblov

Slúžia na spojenie zvyčajne desiatich elektród s hlavnou jednotkou prístroja EKG. Takáto konfigurácia umožňuje monitorovať srdce z 12 „pohľadov”.

2.3.3 Výdobytky modernej elektrokardiografie

Moderné prístroje EKG disponujú zabudovanými mikroprocesormi, ktoré ich riadia a rozširujú ich diagnostické schopnosti. Vďaka sofistikovaným matematickým algoritmom a modelom sú schopné previesť zložitú analýzu signálu a automaticky ho vyhodnotiť. Sú kompaktné, prenosné a vhodné i na monitorovanie mimo zdravotníckeho zariadenia.

Prepojitelnosť s počítačom je v dnešnej dobe takmer samozrejmosťou, niektoré dokonca komunikujú bezdrôtovo a aj na diaľku. Digitalizácia údajov môže byť výhodná napríklad z hľadiska archivácie alebo v prípade potreby zdieľať záznam so špecialistom.

Kardiologický monitor je častým rozšírením zariadenia EKG a umožňuje dlhodobo sledovať srdcovú aktivitu pacienta. Údaje zobrazuje v reálnom čase a ponúka náhľad kriviek ešte pred ich zápisom na papier.

2.4 Umiestnenie elektród

Tri končatinové elektródy (pravá ruka, ľavá ruka, ľavá noha) vytvárajú Einthovenov trojuholník. Vzniknú 3 *bipolárne zvody* reprezentované stranami trojuholníka. Každý zvod pozostáva z dvoch elektród, z pozitívneho a z negatívneho. Pozitívny a negatívny pól spolu tvoria elektrický vektor, ktorý sa premieta na papier.

$$\text{Zvod I: } V_I = \phi_L - \phi_R$$

$$\text{Zvod II: } V_{II} = \phi_F - \phi_R$$

$$\text{Zvod III: } V_{III} = \phi_F - \phi_L$$

, kde:

V_I = napätie zvodu I

V_{II} = napätie zvodu II

V_{III} = napätie zvodu III

ϕ_L = potenciál na ľavej ruke

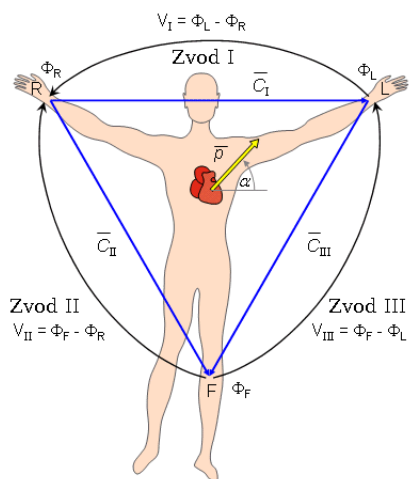
ϕ_R = potenciál na pravej ruke

ϕ_F = potenciál na ľavej nohe

Podľa Kirchhoffovho zákona platí, že veľkosť potenciálov (amplitúd na EKG zázname) v zvode V_{II} je sumou potenciálov v zvodoch V_I a V_{III} :

$V_I + V_{III} = V_{II}$, z čoho vyplýva, že iba dva z troch zvodov sú nezávislé.

Einthoven definoval rozdiely potenciálov medzi troma párami horeuvedených bodov ako základné končatinové zvody v elektrokardiografii.



Obr. 3: Einthovenove končatinové zvody a Einthovenov trojuholník

2.5 Signál a jeho spracovanie

Po úspešnom zmeraní a zosilnení signálu čelíme zložitej prekážke v snahe zachytiť srdcový rytmus. Signál je síce zosilnený, ale naďalej obsahuje mnoho nežiaducich elementov vplyvom rušivých faktorov z okolia. Výsledkom je skreslený biosignál, ktorý je v tejto fáze nepoužiteľný.

Nepresnosti v meraniach odborne nazývame *artefakty*. Artefakty sa môžu prejavovať v menšej či väčšej miere v závislosti od nedokonalostí v priebehu vedenia signálu z pacienta do aparatury (prístroja). V elektrokardiografii rozoznávame tri základné druhy artefaktov:

- sieťový brum
- kolísanie nulovej línie (drift)
- myopotenciály

V minimalizácii nežiaduceho šumu nám napomáha súbor špecializovaných hardvérových i digitálnych filtrov.

2.5.1 Sieťový brum

Prvým krokom spracovania signálu je základná hardvérová filtrácia. Elektromagnetická interferencia (EMI) vzniká pôsobením elektromagnetického poľa z elektrickej siete. Pri tomto jave dochádza k vzniku indukovaného napätia (U_i) a indukovaného prúdu na vodiči. Šum opísaného druhu môžeme charakterizovať pri frekvencii 50 Hz sínusového rušenia. Na potlačenie sieťového brumu je účinná kombinácia hardvérového RC článku s digitálnym filtrom.

2.5.2 Potlačenie driftu

Drift alebo kolísanie nulovej línie opisuje skupinu elektrochemických a mechanických javov. Príkladmi elektrochemických sú potenovanie pod elektródami, nedostatočné odmastenie pokožky, malé množstvo kontaktného gélu. Dýchanie (do 0,8 Hz) a pomalé pohyby klienta (do 2 Hz) sú mechanické javy. Na odstránenie nízkofrekvenčnej rušivej zložky použijeme hornopriepustný filter.

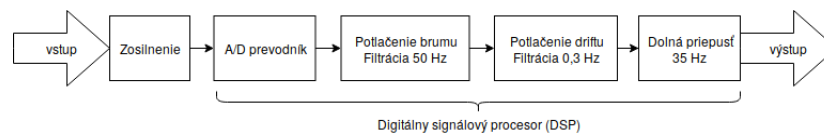
2.5.3 Myopotenciály

Ďalší rušivý faktor pri vyšetrení EKG predstavuje svalová aktivita, najmä pri záťažovom EKG. Svaly počas pohybu vytvárajú elektrické impulzy, ktoré sa potom prejavujú vo forme muskuloskeletálneho artefaktu. Najväčším problémom v zdaní účinku myopotenciálov je vzájomné prekrývanie frekvenčného pásma svalovej aktivity a užitočného pásma EKG. Na odstránenie tohto artefaktu nie je účinná pásmová priepusť. Vyžaduje sa pokročilejšie riešenie, napríklad pomocou adaptívnej filtrácie.

2.5.4 Voľba filtrov

Nekonečná impulzná odozva - **IIR**

Konečná impulzná odozva - **FIR**



Obr. 4: Bloková schéma spracovania EKG

3 Metodika práce

Návrh a konštrukcia hardvéru

Proces návrhu hardvérových komponentov som si rozdelil do niekoľkých fáz kvôli systematickosti. Takýto spôsob práce mi umožnil priebežné testovanie a odhaľovanie možných chýb počas vývoja. Od začiatku až po finálny dizajn som prešiel tromi iteráciami projektu.

Na návrh elektroniky a dizajn plošných spojov som používal grafický počítačový editor Eagle (verzia 9.1.3).

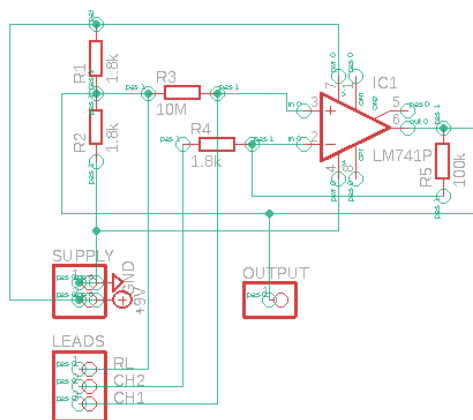
3.1 Zosilňovací obvod na vývojovej doske

Prvý prototyp obvodu bol vyrobený podľa jednoduchšej schémy. Pozostávala iba z jedného operačného zosilňovača a zopár rezistorov. Z bezpečnostných dôvodov bola namiesto laboratórneho zdroja použitá 9V batéria na napájanie obvodu.

Operačný zosilňovač LM741 slúži na zosilnenie nízkonapäťového vstupu z elektród priložených na povrch tela. Je zapojený v diferenčnej konfigurácii, jeho invertujúci a neinvertujúci vstup predstavujú rozdielne napätia. Výstup je teda funkciou napäťovej diferencie medzi dvoma hrudnými elektródami. Faktor zisku je približne 50 podľa pomeru $R5:R4$. Z dôvodu, že zosilňovač funguje optimálne pre stredové hodnoty (medzi maximom a minimom), je nutné jeho vstupy dostať do použiteľného pásma. Na tento účel slúži napäťový delič $R1-R2$.

Analógový výstup bol pripojený do 3,5 mm mikrofónového rozhrania zvukovej karty počítača. Signál prešiel základnou softvérovou filtráciou a bol graficky zobrazovaný pomocou počítačovej aplikácie.

Hlavnou problematikou tohto návrhu bola všeobecná nespoľahlivosť a výskyt elektromagnetickej interferencie a iných artefaktov v meraných hodnotách.



Obr. 5: Schéma zosilňovacieho obvodu

3.2 Spájkovaný obvod

Ďalším krokom bolo navrhnuť plošný spoj v Eagli podľa vyššej uvedenej schémy zosilňovacieho obvodu. Na základe počítačového návrhu bol zhotovený druhý prototyp na spájkovateľnej vývojovej doske. Elektrické súčiastky boli osadené a pospájané vodivými cestami z cínu. Doska mala celkovo 6 vývodov:

- VCC (+5V) napájanie
- GND - zem
- OUT - analógový výstup
- Hrudný zvod č. 1
- Hrudný zvod č. 2
- Pravá noha

Signál bol meraný a spracúvaný za pomoci Arduina UNO. Výstup zo zosilňovača bol spojený s analógovým pinom Arduina A0 (ADC). Vykresľovanie krivky EKG sa zrealizoval zabudovaným nástrojom programu Arduino IDE, ktorý sa nazýva Serial Plotter.

Zobrazovaný signál bol do veľkej miery znečistený, preto bolo nutné použiť softvérový filter. Najjednoduchší filter vhodný na úlohu bol súčasťou oficiálnej knižnice Filters.h.¹

Nasledovný kód je implementáciou dolnopripustného filtra RC, ktorý slúži na vyhladenie signálu. Filter je nastavený na frekvenciu 50 Hz. Obsahuje deklaráciu premenných a inicializáciu triedy FilterOnePole.

```
float filterFrequency = 5.0;

FilterOnePole lowpassFilter(LOWPASS, filterFrequency);

while(true) {
    lowpassFilter.input(analogRead(INPUT_PIN));
}
```

Filter funguje na báze nekonečnej impulznej odozvy (IIR). Hlavnou výhodou je, že riešenie kladie veľmi nízke nároky na pamäť a výpočtovú kapacitu. Veľké pozitívum znamená taktiež jednoduchosť implementácie do projektu. Onedlho sa však prejavili seriózne problémy spôsobené vlastnosťami spomínaného filtra. Po úvodnom zachytení impulzov amplitúda postupne klesala, až kým nedosiahla nulu. Takéto správanie je nepriaznivým vedľajším účinkom IIR filtrov.

¹Dokumentácia a zdrojové kódy k spomínanej knižnici sú dostupné na webovom sídle <https://playground.arduino.cc/Code/Filters>

3.3 Finálny obvod a rozširovacie moduly

Výsledný produkt zahŕňa niekoľko dôležitých komponentov. Ústrednú časť štruktúry zariadenia tvorí osobitne navrhnutý a na mieru vyrobený plošný spoj. Táto doska priamo spája analógovú časť aplikácie dovedna s digitálnym signálovým procesorom. Ďalej je doplnená o dva rozširovacie moduly a batérie.

3.3.1 Mikroprocesor

Mikroprocesor je centrálnym prvkom zariadenia. Zodpovedá za digitalizáciu a spracúvanie príchodzieho signálu, riadenie a koordináciu jednotlivých elektrických článkov v rámci aplikácie a odovzdávaie informácii počítaču.

Pri výbere mikroprocesora sa prihliadalo na výkon, úspornosť, počet vývodov a na veľkosť dostupnej programovej pamäte. Nakoniec sa uprednostnil 8-bitový mikroradič Atmega328P z rodiny megaAVR od firmy Atmel. Vyhovel všetkým požiadavkam projektu, je vhodný na úlohu DSP a disponuje kvalitnou dokumentáciou i komunitnou podporou zo strany vývojárov. Podrobnosti o mikroprocesore sú opísané v tabuľke nižšie.²

Parameter	Hodnota
Typ programovej pamäte	Flash
Veľkosť programovej pamäte (KB)	32
Max. rýchlosť CPU (MIPS)	20
Komunikačné periférie	1-UART, 2-SPI, 1-I2C
Tepelná tolerancia (C)	-40 do 85
Napájacie napätie (V)	1,8 do 5,5
Počet vývodov	32

3.3.2 FT232RL programátor s Mini USB

Adaptér USB–serial zabezpečuje programovanie čipov a komunikáciu s nimi. Komunikácia prebieha cez UART, tj. cez Rx a Tx piny. Úspešné nahratie programu má jednu podmienku: na čipe sa musí nachádzať zavádzáč. Modul je kompatibilný s napätiami 3.3V a taktiež 5V, ladenie sa umožňuje pomocou prepínača. Zapojenie musí byť doplnené o kondenzátor (0.1 μ F) a o pull up rezistor na vývode DTR, aby resetovanie mohlo správne prebehnúť.

FT232RL	Atmega328
DTR	RESET
TXD	RX
RXD	TX
5V	VCC
CTS (clear to send)	patrí do štandardu FT232, nie je nutné ho použiť
GND	GND

²Informácie boli čerpané zo stránky výrobcu www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega328p

3.3.3 Slot pre Micro SD kartu

Na minimalizáciu rušivých faktorov sa môže použiť pasívny RC dolnopriepustný filter.

Ďalším krokom je osamostatniť AD prevod signálu prostredníctvom mikrokontroléra. Aby sa to mohlo uskutočniť, zosilnený signál s negatívnou napäťovou zložkou sa musí premapovať na rozsah kompatibilný s prevádzkovým rozsahom napätia mikrokontroléra.

Srdcovú činnosť umožňujú malé elektrické impulzy, ktoré sa šíria po prevodovom systéme a pracovnom myokarde. Menia elektrické potenciály na rôznych bodoch pokožky približne o tisícinu voltu (1 mV). Táto elektrická aktivita v sebe skrýva neuveriteľné množstvo informácií, prostredníctvom ktorých môžeme získať náhľad do fungovania tohto zázračného orgánu.

K zachyteniu a odhaleniu signálu sa žiadne špeciálne vybavenie nevyžaduje. Odmerať ho dokážeme aj pomerne jednoduchým prístrojom.

Výzvou pokusu je spoľahlivo zosilniť a rozoznať pomerne slabý, milivoltový signál meniaci sa každú stotinu sekundy.

Zoznam použitej literatúry

- GEMINI, spol. s.r.o. 1991. Ľudské telo - Komplexný sprievodca po ľudskom tele a jeho funkciách. Bratislava. ISBN 80-85265-12-5.
- IAIZZO, Paul A. 2005. Handbook of Cardiac Anatomy, Physiology, and Devices. New Jersey. Human Press, Inc. ISBN 1-59259-835-8.
- HANÁČEK, Ján, PLEVKOVÁ, Jana. 2009. Elektrokardiografia - Základné mechanizmy porúch elektrickej funkcie srdca a ich manifestácia na Ekg krivke. Martin. Ústav patologickej fyziológie JLF UK.
- MALMIVUO, Jaakko, PLONSEY, Robert. 1995. Bioelectromagnetism - Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields. Oxford. Oxford University Press.
- BÓRIKOVÁ, Ivana. 2016. Funkčné vyšetrenie respiračného, kardiovaskulárneho a močového systému. Portál Jesseniovej lekárskej fakulty Univerzity Komenského. ISSN 1337-7396.
- MIŠČÍK, Peter. 2011. Zpracování elektrokardiogramu. Vysoké učení technické v Brně.
- www.kardiolog.sk/o-srdci/
- www.techmed.sk/akcny-potencial/
- www.wikiskripta.eu/w/Rušení_biosignálů_a_artefakty
- www.swharden.com/wp/2016-08-08-diy-ecg-with-1-op-amp/
- www.arduino.cc/en/Tutorial/ArduinoToBreadboard
- www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega328p
- techfun.sk/produkt/ft232rl-programator-s-mini-usb-5v-3-3v/
- images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/51jDS6PVO6L._SX355_.jpg
- cardiocenter.az/uploads/posts/2017-06/1498069942_4-holter.jpg
- github.com/tttapa/Filters