

**VYŠŠÍ ODBORNÁ ŠKOLA, STŘEDNÍ ŠKOLA**

**CENTRUM ODBORNÉ PŘÍPRAVY**

**SEZIMOVO ÚSTÍ**



**Absolventská práce**  
Výroba interface pro měření  
mozkové aktivity

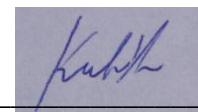
Sezimovo Ústí, 2012

Autor : Martin Kubát

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou absolventskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady ( literaturu, projekty, SW atd. ) uvedené v příloženém seznamu.

V Sezimově Ústí dne : 15.3.2012



Podpis

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu absolventské práce Bc. Milanu Košovi za vedení a cenné rady při zpracování této absolventské práce. Dále pak děkuji Ing. Janu Fukovi za odbornou konzultaci při vytvoření práce. Děkuji též Josefu Muzikářovi za podporu.

## **Anotace**

Práce pojednává o způsobech měření mozkové aktivity a o přístrojích na měření této aktivity. Obsahem je navrhnout modul na toto měření a zároveň porovnat parametry, softwarového vybavení. Snahou je vytvořit základní prototyp měřícího interface, který bude testován jak laboratorně, tak i klinicky.

## **Annotation**

Die Arbeit beschreibt die Messung der Hirnaktivität und Geräte zur Messung dieser Aktivität. Inhalt es, ein Modul für diese Maßnahme entwerfen und zu vergleichen, die Parameter zur gleichen Zeit, Software. Das Ziel ist, ein grundlegendes Prototyp der Grenzfläche mit Sensorfunktion, die sowohl im Labor als auch klinisch getestet werden erstellen.



## ZADÁNÍ ABSOLVENTSKÉ PRÁCE

Student: **Martin Kubát**  
Obor studia: 26-41-N/01 Elektrotechnika – mechatronické systémy  
Název práce: **Výroba interface pro měření mozkové aktivity**

### Zásady pro vypracování:

Navrhněte, realizujte a oživte desku elektroniky pro měření mozkové aktivity (biofeedback).

1. Nastudujte princip měření EEG (elektroencefalogram), porovnejte s měřením ECG (elektrokardiogram) a navrhněte blokové schéma měřicího přístroje EEG.
2. Navrhněte schéma elektroniky pro měření „alfa“ a „theta“ vln, která bude naměřená data zasílat pomocí USB do počítače.
3. Vytvořte program, který bude sbírat data z elektroniky a dále je pak filtrovat za pomoci číslicového filtru.
4. Porovnejte vyrobené zařízení s profesionálními zařízeními Mindflex a NeXus.
5. Absolventskou práci vypracujte problémově ve struktuře odpovídající vědecké práci.

### Doporučená literatura:

- [1] PUNČOCHÁŘ, Josef. *Operační zesilovače v elektronice*. 5. vyd. [s.l.] : [s.n.], 14-03-2002. 495 s. ISBN 80-7300-059-8.
- [2] DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice elektroniky - 6. díl -- Kmitočtové filtry, generátory signálů a převodníky dat*. 1. vyd. [s.l.] : [s.n.], 05-08-2009. 271 s. ISBN 978-80-7300-2.
- [3] ŠANDERA, Josef. *Návrh plošných spojů pro povrchovou montáž - SMT a SMD*. 1. vyd. [s.l.] : [s.n.], 14-12-2006. 270 s. ISBN 80-7300-181-0.

Vedoucí práce: Bc. Milan Koša, ECLIPSERA s.r.o., Havlíčkův Brod  
Odborný konzultant práce: Ing. Jan Fuka, VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí  
Oponent práce: Ing. Šedivý Václav, VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí

Datum zadání absolventské práce: **1.9.2011**

Datum odevzdání absolventské práce: **30.4.2012**

**ECLIPSERA**

ECLIPSERA s.r.o.

Jihlavská 945, 580 01 Havlíčkův Brod

IČ: 28812662, DIČ: CZ28812662

www.eclipsera.cz

.....  
Bc. Milan Koša

(vedoucí práce)



.....  
Ing. František Kamlach

(ředitel školy)

V Sezimově Ústí dne 3.10.2011

# Obsah

<b>1. Úvod</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Biofeedback</b> .....	<b>6</b>
2.1. Diagnostika mozku.....	6
2.2. Elektroencefalografie.....	6
2.3. Mozkové hladiny.....	8
2.4 Měření EEG.....	10
2.5 Měření EKG.....	11
<b>3. Návrh zařízení</b> .....	<b>13</b>
3.1. Blokové schéma.....	13
3.2. Popis bloků.....	16
3.2.1 Senzory.....	16
3.2.2. Blokovací obvod.....	17
3.2.3. Diferenční zesilovač se zpětnou vazbou.....	19
3.2.4. Pasivní filtr – Horní propust.....	23
3.2.5. Zesilovač s proměnným zesílením.....	24
3.2.6. A/D převodník.....	26
3.2.7. Mikrokontrolér.....	28
3.2.8. Převodník UART – USB.....	30
3.3. Eagle.....	31
3.4. Celkové zhodnocení výdajů.....	38
<b>4. Software</b> .....	<b>39</b>
4.1. Firmware mikrokontroleru.....	39
4.1.1. Bootloader mikrokontroleru.....	39
4.1.2. Arduino.....	40
4.1.3. Algoritmus.....	45
4.2. Windows aplikace.....	46
4.2.1. Číslicové filtry.....	46
4.2.2. Algoritmus.....	47
4.2.3. Builder C++.....	49

<b>5. Profesionální zařízení.....</b>	<b>50</b>
5.1. Mindflex a Mindball.....	50
5.2. Nexus.....	52
5.3. Pohled odborníků.....	54
<b>6. Závěr.....</b>	<b>56</b>
6.1. Nejčastější chyby v návrhu.....	56
6.2. Splnění cílů práce.....	56
6.3. Možnosti dalšího rozšíření.....	57
6.4. Testování.....	57
<b>7. Literatura.....</b>	<b>59</b>
<b>8. Seznam obrázků.....</b>	<b>60</b>

# 1 Úvod

Lidé mají odlišné názory na danou věc nebo problém – např. politické, náboženské nebo názory na život. Jedním z nejdůležitějších faktorů je také schopnost soustředění. To je v odlišných pracovních odvětvích různé a na každého



zaměstnanec jsou kladeny jiné nároky na soustředění a pracovní nasazení. Na každého zaměstnance působí pracovní prostředí jinak intenzivně. Velkou úlohu hraje stres, nervozita, tréma i časová deprese. Činnost pod těmito, na lidský organismus, nežádoucími faktory se nedokáže vykonávat dlouhou dobu. Proto za určitý čas, který je u každého jedince individuální, se musí daný proces ukončit a popřípadě změnit činnost. V dnešní uspěchané době se ne každý dokáže správně rozhodnout mezi zdravím a kariérou. Pro kontrolu si můžeme vypracovat dotazník, nebo udělat průzkum veřejného mínění.

Sociologické průzkumy ve skautských oddílech zjistily skutečnost, že se mladí lidé kolem dvanácti let zajímají výlučně o hry na PC, komunikují po internetu, téměř nesportují a nevěnují se jakémukoliv sportu nebo mimoškolní aktivitě.

Problémem dnešní doby je uspěchanost, shon a stálý stres. Ve vztazích na pracovištích i v rodinách se objevuje nedostatek komunikace a porozumění. Tato situace se odráží v častých rozvodech, nadměrné kriminalitě, nemocech a nadměrném stresu. Málo lidí se dokáže odklonit od práce a chvíli relaxovat. Dnešní člověk se nedokáže soustředit na zadaný problém, resp. není schopen dlouhodobého soustředění. Přibývá agresivních řidičů a na silnicích je více dopravních nehod.

Nad tímto problémem je potřeba se více zamyslet a udělat něco pro zlepšení tohoto stavu. V myšlenkových pochodech dětí se dá změnit hodně a i u dospělých se o to můžeme pokusit. Chceme navrhnout a realizovat zařízení, které by bylo pro širokou věkovou skupinu. Mohla by jej používat policie, hasiči, profesionální řidiči, školství i zdravotnictví. Jeho využití by bylo možné všude tam, kde záleží na povaze zaměstnanců.



Přístroj by mohl ovlivnit i výsledky výběrových řízení na pozice, ve kterých velmi záleží na schopnostech soustředit se, zvládat stres a zátěžové situace. Dále by toto zařízení mohlo pomoci zábavnou formou i vážně nemocným lidem např. po mozkové obrně a po různých úrazech.

Pro úplnost znovu uvádím, že představuji zařízení, které bude vyhodnocovat EEG vlny a současně vykreslovat okamžité výsledky a tak bude ihned zřetelné, zda je osoba soustředěná nebo ne. Pro lepší a hravější vizualizaci může být navržena střelba na terč. Provedení tohoto projektu je široké a může si toto zařízení vyzkoušet každý.

Cílem této práce je návrh, realizace a oživení desky elektroniky pro měření mozkové aktivity (biofeedback) bioorganismu. Obdobné, již prodávané zdravotnické přístroje jsou pro nezaškolenou obsluhu složité a hlavně i finančně nedostupné. Cílem je vyrobit prototyp levné a dostupné varianty. Návrh našeho zařízení se porovná s profesionálními zařízeními Mindflex a Nexus. Následným měřením zjistíme, zda je navržené zařízení srovnatelné a konkurence schopné s porovnávaným zařízením.

V dnešní moderní době je samozřejmostí, že biofeedback bude komunikovat s počítačem prostřednictvím USB.

Zařízení může sloužit pro snížení dopadu nežádoucích vlivů na lidský organizmus. Nepůjde o vyloučení faktorů, ale pouze o snížení dopadu.

Na různých pracovních pozicích může být velkým přínosem pro:

- policii
- hasiče
- sportovce
- pedagogy
- řidiče
- piloty
- vojáky
- studenty
- vedoucí pracovníky

Ke studiu, při práci, ale i v osobním životě je důležitá paměť a schopnost se soustředit se. Ten, kdo umí pracovat se svojí koncentrací, si výrazně ulehčuje práci a plní zadané úkoly rychleji. Pracuje tudíž efektivně, s větší přesností a po práci umí i efektivně odpočívat.

Měl jsem možnost osobně navštívit královéhradeckou firmu Commservis. Tato firma se zabývá výzkumem mozku a neuromarketingem. Nejnovější poznatky o lidském mozku z oblasti neurologie přenáší do použití v manažerské praxi. Zaměstnanec firmy pan Mgr. Tomáš Zdechovský mi vysvětlil jak firma funguje a měl jsem možnost vyzkoušet některé profesionální zařízení, které jsou na českém trhu.

## 2 Biofeedback

Biofeedback (v zahraničí je častý pojem Neurofeedback) není nic neznámého - každý člověk se již několikrát během svého života setkal s využitím biologické zpětné vazby – pokaždé, když jste si měřili teploměrem, zda máte horečku, když vám lékař sdělil hodnotu naměřeného tlaku, když jste si během cvičení kontrolovali počet tepů nebo když jste se dozvěděli údaj, kolik vážíte. Získané informace ovlivní naše další chování – při horečce si člověk lehne do postele a začne se léčit, při vysokém krevním tlaku omezí slaná jídla, při cvičení upraví svoji tepovou hladinu a při nadváze se rozhodne, že pár kilo zhubne.

### 2.1. Diagnostika mozku

Mezi prvotní metody vyšetření mozku patří elektroencefalografie. Elektrická aktivita byla poprvé naměřena na konci 19. století, zrození skutečné elektroencefalografie se odehrálo až v polovině dvacátých let. V třicátých letech se obor značně rozrostl a byly záznamy základní patologie. V padesátých letech se přidala spánková polygrafie. Sedmdesátá léta jsou charakterizována hledáním dalších matematických postupů. Okolo roku 1980 se vyvíjí topografické mapování mozkové aktivity. Přes mnoho objevů v této oblasti zobrazování zůstává princip ve stejné podobě, v jaké bylo stanoveno na svém počátku. Mění se pouze názory na normu a abnormalitu grafu, počet snímaných bodů, přidává se prudký rozvoj evokovaných potenciálů.[1]

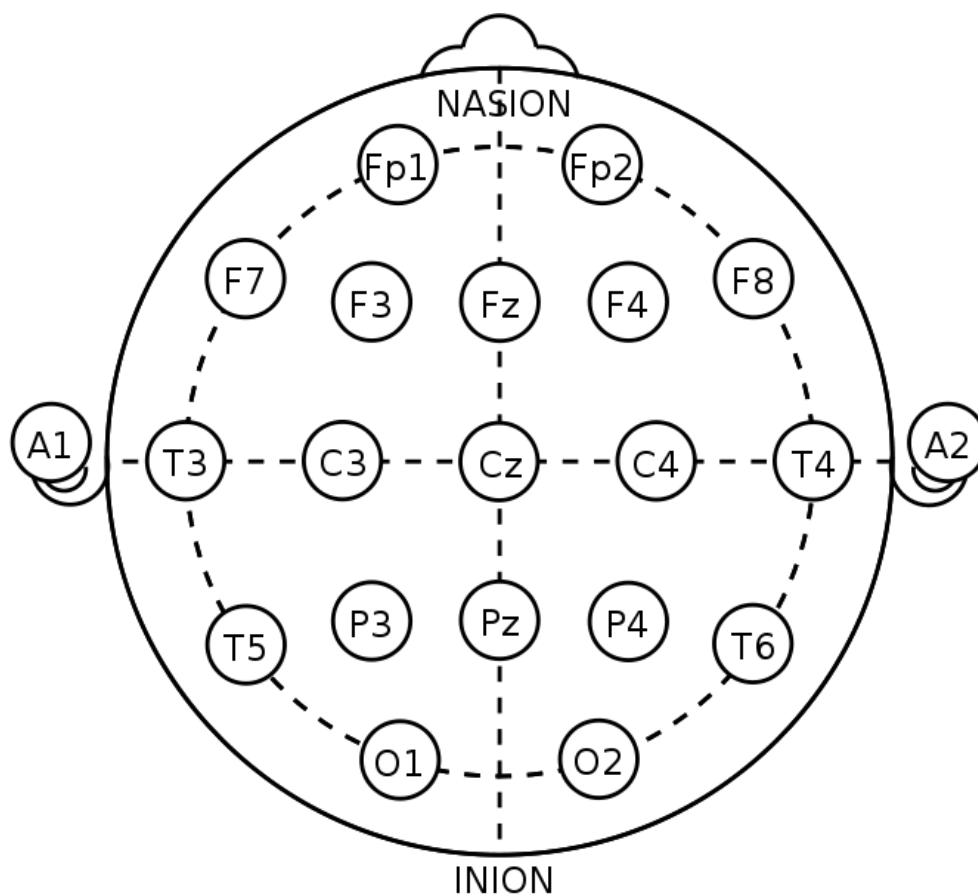
### 2.2. Elektroencefalografie (EEG)

Elektroencefalogram (EEG) je jedním z významných nástrojů na diagnostiky a výzkum činnosti mozku. Je to elektrický biosignál odrážející mozkovou aktivitu – různé fáze spánku a stavy vědomí.

Na tomto přístroji je možno zjistit projevy metabolických poruch, vliv drog či toxických látek. Elektroencefalografická vyšetření se provádějí u všech poruch funkce mozku jako například v neurologii a v převážné většině případů i v psychiatrii. Signál EEG je součtem všech elektrických dějů a naměřených veličin snímaných elektrodou.

Pro umístění elektrod používáme mezinárodní 10-20 EEG systém. - viz obr. 1. Zvláštní elektrody se používají ke snímání polygrafických záznamů, ve kterém se stejným zařízením zaznamenávají také křivky průběhů očních pohybů elektrookulogram (EOG), svalové aktivity elektromyogram (EMG), činnost srdce elektrokardiogram (EKG). Jednotlivé záznamy mají jiná nastavená zesílení a filtry, než je nutné pro EEG. Pro délku záznamu vyšší než 8 hodin a více se používá nižší vzorkovací frekvence – 64Hz.

Obr. 1 - Celosvětové rozmístění elektrod pro EEG [1]



Vlny zastupující signál EEG jsou sinusoidního tvaru a jsou rozděleny podle frekvence měřené mezi maximem nebo minimem do pásem označeny řeckými písmeny:  $\alpha$  (8-13 Hz),  $\beta$  (13 Hz a větší),  $\eta$  (4-8 Hz),  $\delta$  (do 4 Hz) - viz tabulka č. 1.

## Frekvenční hladiny mozku

Tab. 1 - Tabulka mozkových hladin [1]

Frekvence ( Hz )	Název	Stav organismu
0,5 - 3	Delta	Spánek, útlum, otupělost
4 - 7	Théta	přechodová hladina, hluboké uvolnění
8 - 12	Alfa	vysoká koncentrace, vnitřní bdělost, silné uvolnění
13 - 30	Beta	neklid, zlost, strach
18 - 35	Vysoká beta	vzrušení, podráždění, tréma, napětí, stres, úzkost
nad 35	Gama	extrémní zážitky

### 2.3. Mozkové hladiny

Činnost mozku probíhá na principu výměny elektřiny. Všechny mozkové buňky spolu komunikují pomocí elektrických výbojů, které neustále mozkiem proudí - viz obr. 2. Součet všech těchto signálů vytváří celkovou elektrickou aktivitu. Ta se dá zaznamenat pomocí elektroencefalografu. Rychlost elektrické aktivity mozku, která se nazývá frekvence (udává se v Hz) se dělí pro zjednodušení do čtyř skupin, tzv. hladin vědomí. Jednotlivé hladiny vědomí mají tedy různou frekvenci a každá odpovídá jinému duševnímu i tělesnému stavu.

Čím nižší hladina, tím je to pro nás prospěšnější – ideální je alfa I. Pokud se naučíme vstupovat vědomě do této hladiny, znamená to pak, že si v ní můžeme dělat co chceme. Všeobecně platí, že „pobyt“ v alfa hladině je lepší než spánek. Jsme-li v alfa hladině více než 15 – 20 minut, začíná náš organismus reagovat tak, že automaticky začne posilovat imunitu a začne „hojit“ náš organismus. Je to přirozená reakce. Začne se nám automaticky doplňovat energie.

Kromě základního rozdělení mozkových hladin, rozlišujeme ještě hladinu SUPERALFA (stav meditace). Hladina superalfa tvoří rozhraní mezi hladinou alfa a theta,

Kromě základního rozdělení mozkových hladin, rozlišujeme ještě hladinu SUPERALFA (stav meditace). Hladina superalfa tvoří rozhraní mezi hladinou alfa a theta, jehož středem je frekvence 7,83 Hz nazývaná také jako Schaumanová rezonance a má to pro nás zvláštní přitažlivost, protože na této frekvenci pulsuje i geomagnetické jádro Země. Bylo zjištěno, že setrvání v blízkosti frekvence 7,83 Hz například při relaxaci, je ideální pro rozvíjení duševních schopností.

Obr. 2 - Komunikace mozkových buněk [2]



## 2.4. Měření EEG

Elektroencefalograf je přístroj skládající se z procesoru a snímajících elektrod. Pracuje na principu snímání elektrického potenciálu pomocí elektrod připevněných na povrchu hlavy. Elektroencefalograf tento potenciál zesílí a pak je vypíše na papír nebo zobrazí na obrazovce. Vzniklé EEG-křivky mají charakteristický vzhled a typickou frekvenci vln. Jinou křivku zobrazí přístroj ve spánku, odlišnou při denní aktivitě. Snímání EEG signálu se provádí pomocí povrchových (skalpových) elektrod. Jde vlastně o snímání bioelektrické aktivity mozku. Elektrody jsou umístěny rovnoměrně na povrchu lebky. Získaný záznam je označován jako elektroencefalogram (EEG). Při bipolárním uspořádání se provádí diferenciální měření mezi dvěma aktivními elektrodami umístěnými longitudinálně nebo transverzálně. Podle referenčního schématu jsou měřené potenciály vztažené k hodnotám z elektrod umístěných na povrchu ušního lalůčku. Standardní EEG vyšetření se snímá 20 - 30 minut v klidové poloze při zavřených očích.

- delta pásmo – od narození do jednoho roku dítěte je v EEG patrná málo pravidelná delta aktivita o frekvenci 1-3 Hz obvykle vysoké amplitudy. V tomto věku je to fyziologická základní aktivita, která se netlumí otevřením očí. U dospělého člověka se to pásmo objevuje při bezesném spánku, případně během bezvědomí způsobeného nemocí či úrazem. Ve spánku mají vlny delta amplitudu i 100  $\mu$ V.
- théta pásmo – asi od jednoho roku věku do tří let je dominantní théta rytmus o frekvenci 4-7 Hz. U zdravých osob se théta vlny vyskytují v centrální, temporální (spánkové) a parietální (temenní) oblastí. Jestliže je amplituda théta vlny dvakrát vyšší než je vlna alfa, tak tento stav považujeme za patologický. Théta pásmo se vyskytuje i při spánku. Mysl ani tělo nereagují samy o sobě na žádné smyslové podněty. Často dochází k samovolnému uvolnění obrazových informací z podvědomé paměti a jejich selektivní prezentaci v mysli - snů. Přítomnost snu je vždy provázena slabým vyzářováním vln alfa a beta.
- alfa pásmo – je charakterizováno frekvencí v rozmezí 8-13 Hz a střední amplitudou, která je 30-60  $\mu$ V. V bdělém stavu je maximum nad zadními oblastmi mozkových hemisfér. Reaktivita této aktivity je velmi dobrá, tlumí se především otevřením očí, ale i spontánně zvýšenou pozorností.

Alfa aktivita je také charakteristická pro stádium těsně před usnutím. Alfa aktivita se začíná objevovat v období pátého až sedmého roku života dítěte.

- beta pásmo – se objevuje současně s alfa aktivitou, ale má převahu frontálně. Její frekvence je 14-30 Hz. A její amplituda je nízká 20-30  $\mu$ V. Pásmo beta charakterizuje vědomé smyslové soustředění na naše okolí, připravenost reagovat - akceschopnost. Pásmo vyšší (kolem 30 Hz) se pak objevují při podráždění, trémě, úzkosti nebo vysoce náročných životních situacích.

Metoda měření je:

- nebolestivá, nepoužíváme žádné zásahy zvenčí
- vedlejší účinky nejsou známy
- nevyvolává závislost
- nemůže ublížit a nemá zkřížené reakce s jinými formami léčby
- výsledky terapie jsou trvalé
- dosahované úspěchy jsou měřitelné – pacient se můžeme během měření s nimi průběžně seznamovat
- provádí se na lékařském přístroji elektroencefalografu (EEG), který je užíván k záznamu práce mozku v lékařské diagnostice. Má oproti klasickému elektroencefalografu ještě přidané zařízení pro zpětnou vazbu (feedback) [3]

## 2.5. Měření EKG

Výstupem z měření na elektrokardiografu jsou EKG křivky, zobrazované na stínítku obrazovky nebo zaznamenávané na vhodné médium (teplotlivý nebo normální papír). Křivky průběhu signálu na jednotlivých svodech jsou sice samy o sobě zajímavé, pro stanovení diagnózy však má rozhodující význam spolu s anamnézou a klinickým obrazem správný popis těchto křivek, resp. jejich interpretace. Moderní EKG přístroje jsou schopny se chovat jako expertní systém, tj. podle charakteru nasnímaných hodnot identifikovat určitá onemocnění.



Samotný elektrokardiograf je zařízení, které obsahuje citlivé zesilovače vstupních signálů a elektroniku pro zajištění výstupu dat na záznamové médium.

Nejrozšířenějším způsobem záznamu elektrokardiogramu je zápis na teplocitlivý papír s milimetrovým rastrem, skládaný nebo v rolích.

Snímací elektrody jsou klešťové (svody I, II, III) na hrudníku. Ty mohou být přísavné nebo v poslední době stále častější – jednorázové samolepící. Charakteristickým je pro ten který přístroj počet výstupních signálů, které je schopen současně zobrazovat, nebo vypisovat na papír. Moderní typy přístrojů jsou vybaveny LCD monitorem, klávesnicí pro zadávání dat a ovládání přístroje a elektronikou pro vyhodnocení záznamu. Výrobci dodávají často EKG s programovým vybavením, dovolujícím orientační interpretaci výsledku a měření hodnot v tabulkové formě, oboje v tištěné i elektronické podobě. Součástí záznamu se stává datum a čas měření a základní informace o pacientovi. Většina přístrojů je vybavena automatickou detekcí nežádoucích šumů.

Podle [4] stupně vybavenosti a provedení lze sice rozeznávat skupiny elektrokardiografu se společnými charakteristikami, jednoznačnou hranici však mezi nimi stejně nelze dělat. Podle použití lze rozdělit EKG do dvou základních skupin na klinické elektrokardiografy a ambulantní elektrokardiografy.

EEG má celkové zesílení v řádu  $10^6$  na rozdíl od EKG, které vzhledem k charakteru vstupního signálu musí činit  $10^3$ . Rozdíl je i v umístění měřících elektrod u pacienta - viz kapitola 2.2. a 2.5.

# 3 Návrh zařízení

## 3.1. Blokové schéma

Na obrázku č. 3 je stručně znázorněno blokové zapojení konstruovaného zařízení. Vlevo v bloku č. 1 se nachází měřící čelenka, která se nasazuje pacientovi na hlavu. Bloky 2 až 8 představují bezpečnostní a zesilovací elektroniku. Bloky 9 - 11 provádí převod a vlastní přepočítání signálu. Podrobný popis jednotlivých bloků se nachází v dalších kapitolách.

blok 1. – měřící čelenka

blok 2. – ochranný obvod zajišťující bezpečnost zařízení před statickou elektřinou

blok 3. – integrovaný obvod INA114P (zesiluje vstupní signál 20 x, ovlivněno odpory)

blok 4. – zpětná vazba

blok 5. – pasivní frekvenční filtr (HP – horní propust)

blok 6. – aktivní frekvenční filtr s proměnným zesílením ( min. 11,94 x, max. 2201 x )

blok 7. – pasivní frekvenční filtr (HP – horní propust)

blok 8. – aktivní frekvenční filtr (DP - dolní propust)

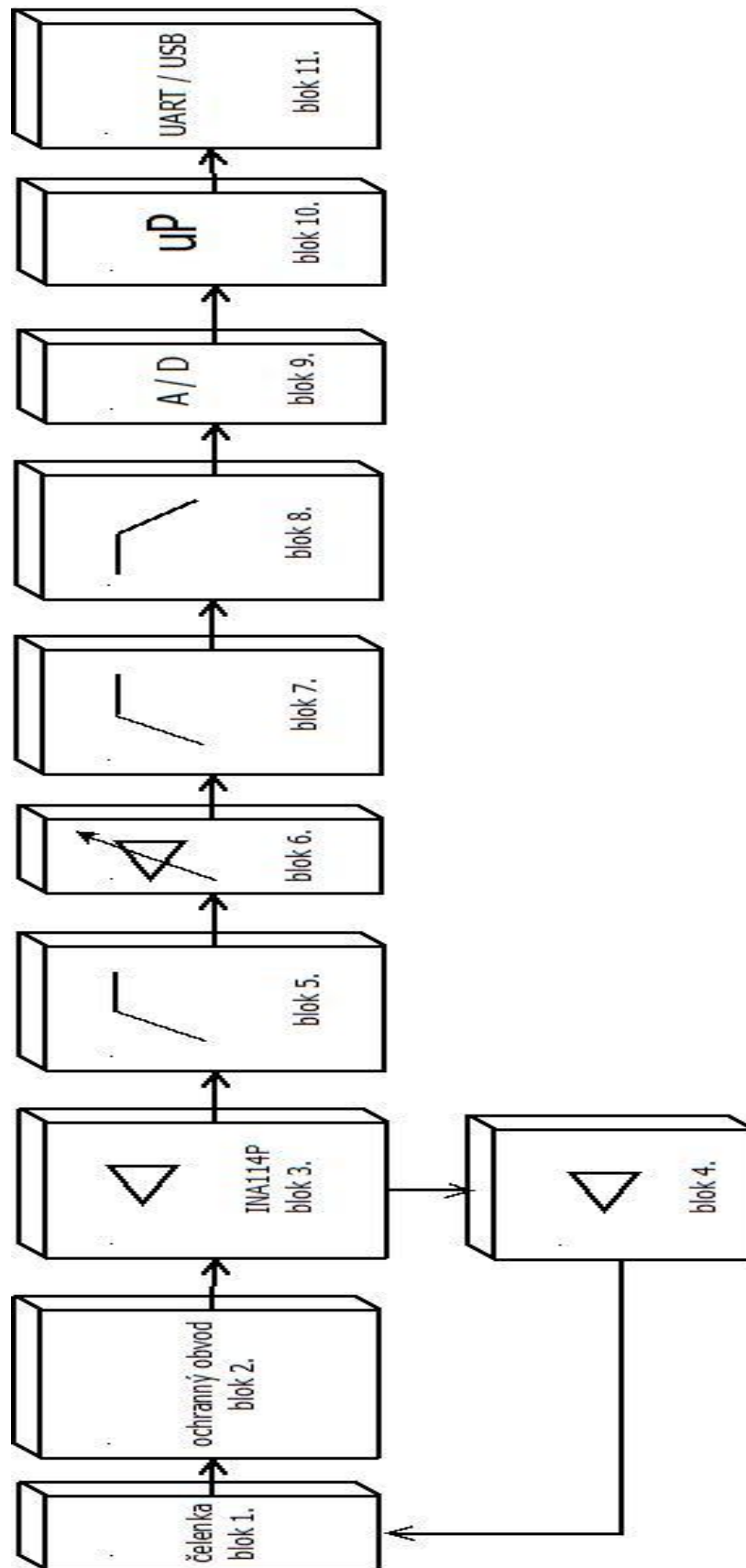
blok 9. – digitální A / D převodník

blok 10. – 24 bitový mikrokontrolér v SMD provedení

blok 11. – převodník z UART na USB

Celkové zesílení zařízení: max. 44 020 x / min. 238,8 x

Obr. 3 - Blokové schéma zařízení



Při pohledu na blokové schéma je třeba si uvědomit schopnost zařízení zesilovat velice malé napětí snímané na pokožce čela měřené osoby a to v řádu jednotek až desítek  $\mu\text{V}$ . Pokud vynásobíme zesílení všech aktivních bloků, dostáváme celkovou hodnotu zesílení ( $A_u$ ) podle následujícího výpočtu, kde uvažujeme minimální a maximální zesílení obvodu podle uživatelského nastavení trimru - min. 11,94 x, max. 2201 x .

$$A_{u_{\min}} = \text{blok3} \cdot \text{blok6}_{\min}$$

$$A_{u_{\max}} = \text{blok3} \cdot \text{blok6}_{\max}$$

Podle výše uvedených vzorců je možné interface nastavit na zesílení od 238,8 do 44 020 .

Díky všude přítomné frekvenci 50 Hz, která je v rozvodné síti České republiky, se na elektrody dostává tato nežádoucí frekvence z měřeného subjektu. Pro tuto eliminaci je v obvodu použito diferenční měření a zpětná vazba. Přes tyto opatření je třeba počítat s výskytem tohoto parazitního vlivu.

Maximální vstupní napětí do A/D převodníku je 5 V. Pro příklad volíme měřené napětí 50  $\mu\text{V}$ , při kterém bude na vstupu A/D převodníku 2,2 V podle následujícího vzorce.

$$U_{\text{ad}} = U_{\text{vst}} * A_u$$

$$2,201 = 0,00005 * 44020$$

Pokud musí být na vstupu A/D převodníku 5 V (z důvodu ořezávání signálu), pak vychází cca 50 % rezerva pro parazitní frekvenci.

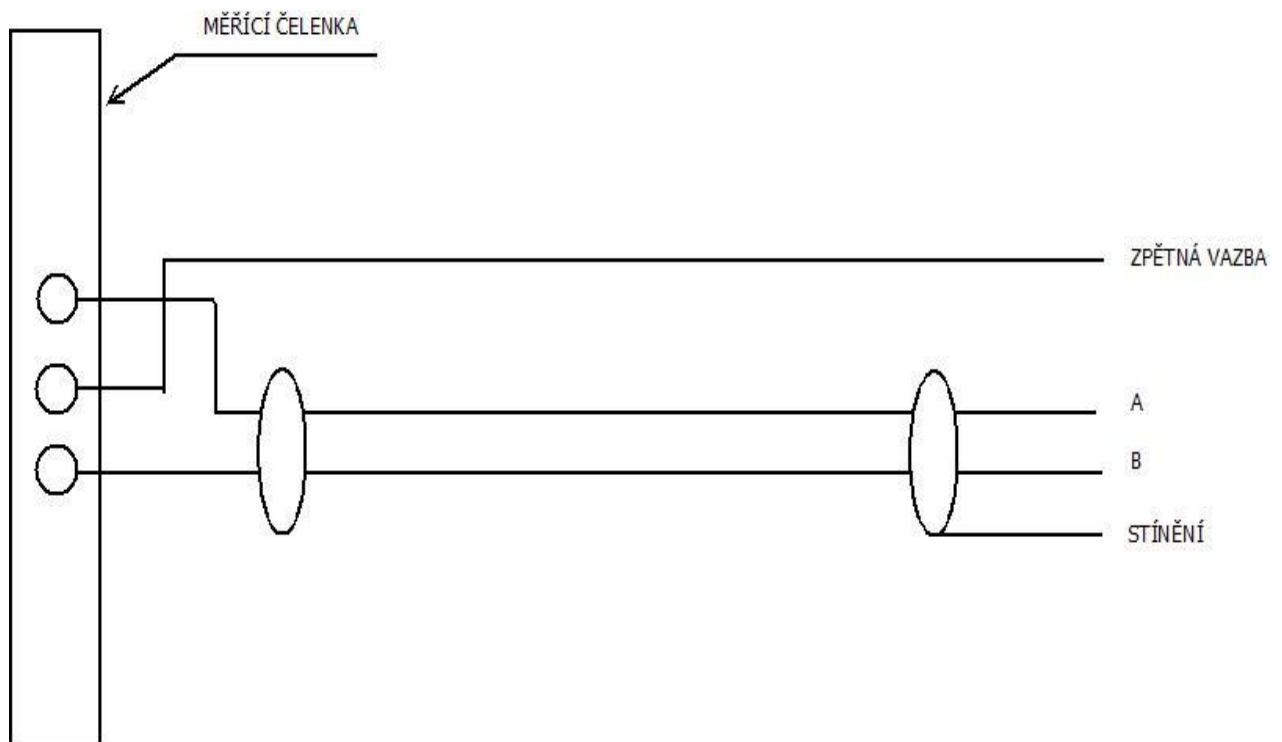
## 3.2. Popis bloků

Dále v kapitolách budou popsány jednotlivé bloky a jejich smysl. Popis bloků je v odstavci 3.1. pod obrázkem 3.

### 3.2.1. Senzory

V profesionálním zařízení pro medicínu je elektrod mnohem více, které měří další parametry. Jako například tlak, činnost srdce, tělesnou teplotu atd. Náš senzor je pouze jeden, který se skládá ze tří elektrod. Jedna elektroda je zavedena jako zpětná vazba. Tyto elektrody jsou zakomponovány v našem případě v čelence - viz obr. 4.

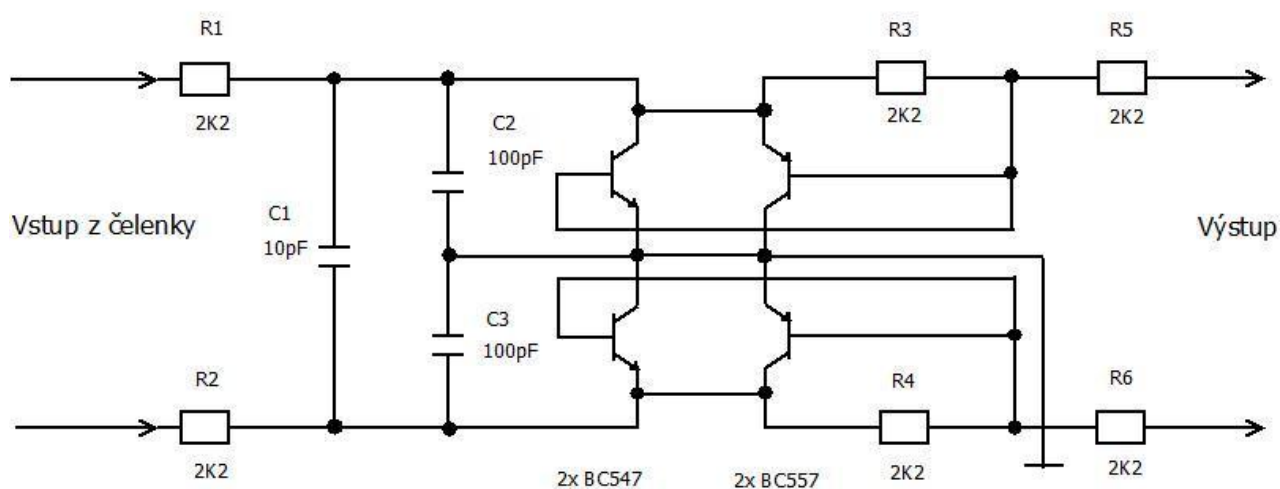
Obr. 4 - Měřicí čelenka se zapojeným stíněním



### 3.2.2. Blokovací obvod

Jedná se o bezpečnostní blok. Slouží k ochraně uživatele. Jde o zapojení složené z NPN a PNP tranzistoru BC857 a BC847.

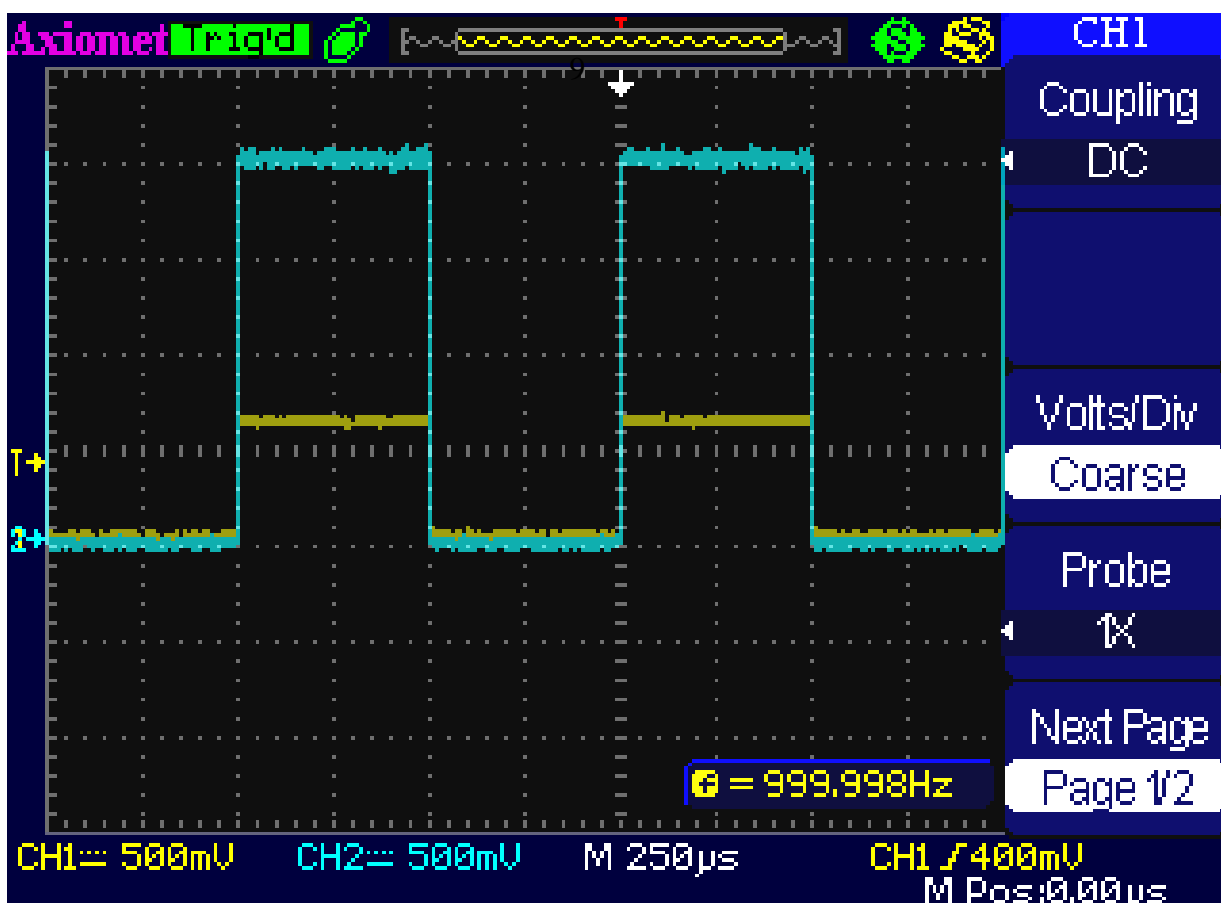
Obr. 5 - Blokovací obvod



Ochranný obvod je složen z odporů, které nemají na procházející signál vliv. Jsou k užítku jen tehdy, kdy se obvod dostane do „chybového stavu“, to je když se na elektrodu dostane statická elektřina, což je pro zařízení nežádoucí vliv. Na odporu se změní úbytek napětí, což bude větší než 0,7 V a toto napětí otevře tranzistory a celý obvod je zkratovaný na zem. Obvod je stavěn na malé napětí v řádu mV.

Na osciloskopu byl použit na otestování tohoto obvodu zakomponovaný generátor signálu. Při měření byl zjištěn velký útlum mezi vstupem a výstupem - viz obr. 6. Modrý signál je reprezentovaný vstup a žlutý je reprezentovaný výstup.

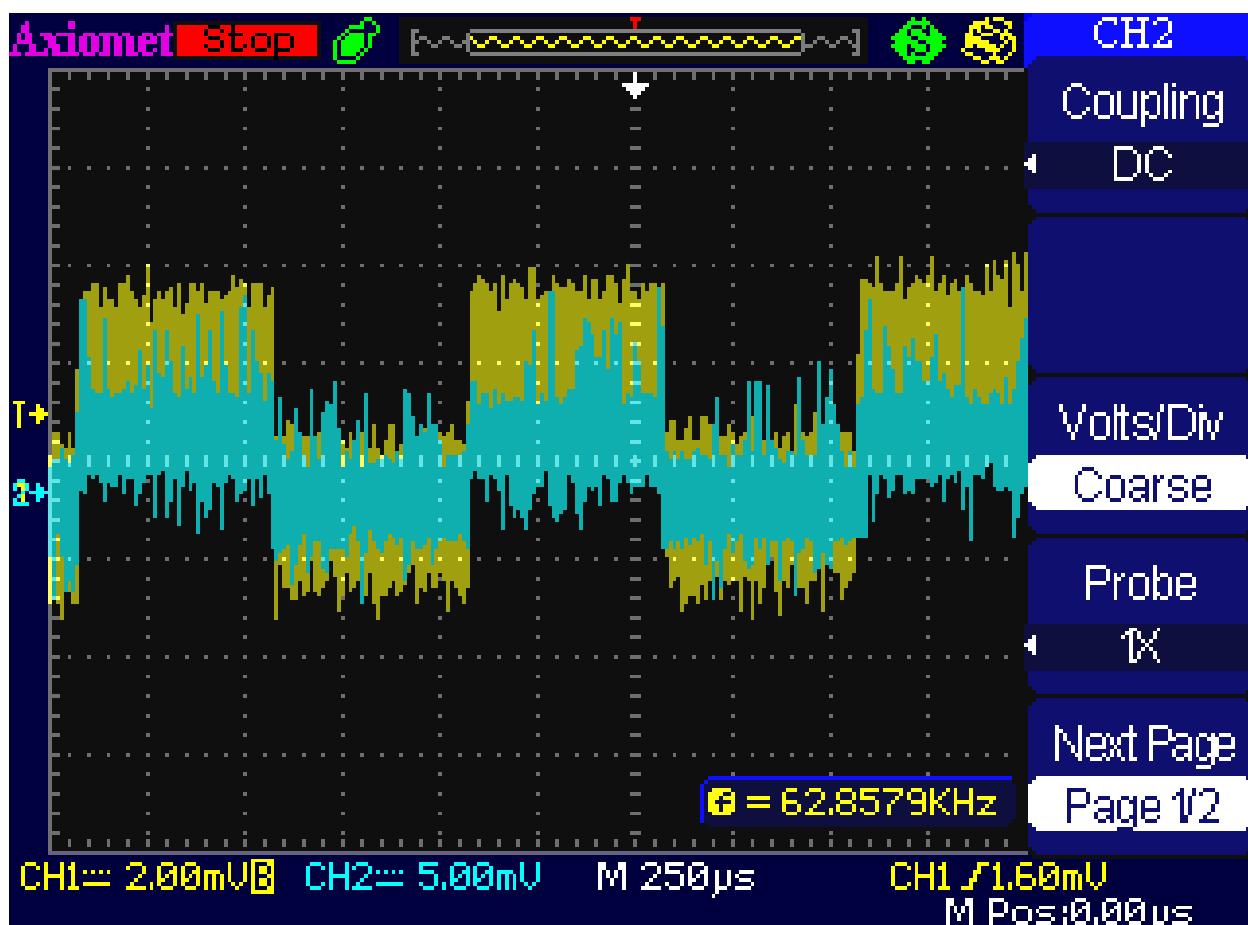
Obr. 6 - Útlum mezi vstupem a výstupem



Po zapojení do obvodu klasického děliče napětí byl snížen výstup z generátoru na nižší hodnotu. Tím jsme docílili, že sestavený obvod v nepájivém poli je konstrukčně zapojen pro malé signály. Děličem jsme snížili vstupní signál, abychom mohli osciloskopem signál měřit. Použitím generátoru byl simulován vstup do čelenky. Výsledek je přesně podle našich požadavků. Abychom mohli porovnat vstup mezi výstupem, byly signály vloženy na sebe. Protože se signál překrývá, byl jeden kanál zmenšen, aby bylo na obrázku zřetelné, že se jedná o dva signály. Jinak se dá měření porovnat posunutím kanálů nahoru a dolů. V našem případě jsme je vložili na sebe.

Signál je sice trochu zašuměn, ale je to dáno digitálním osciloskopem. Jedná se tedy i o chybu měření, způsobenou měřicím přístrojem - viz obr. 7.

Obr. 7 - Zašuměný signál vlivem měřidla



### 3.2.3. Diferenční zesilovač se zpětnou vazbou

Základním funkčním blokem každého elektronického přístroje zpracovávajícího biosignály, ať v diagnostickém nebo terapeutickém systému je zesilovač. Na zesilovače biosignálů je kladena řada požadavků spojených s jejich funkcí jako:

- zvýšení úrovně snímaného signálu
- impedance přizpůsobení zdroje signálu vstupním obvodům přístroje
- potlačení rušivých signálů



V dnešní době se pro zesílení úrovně biosignálů používají převážně operační zesilovače ve speciálních zapojeních se všeobecným označením jako biologické nebo lékařské izolační zesilovače.

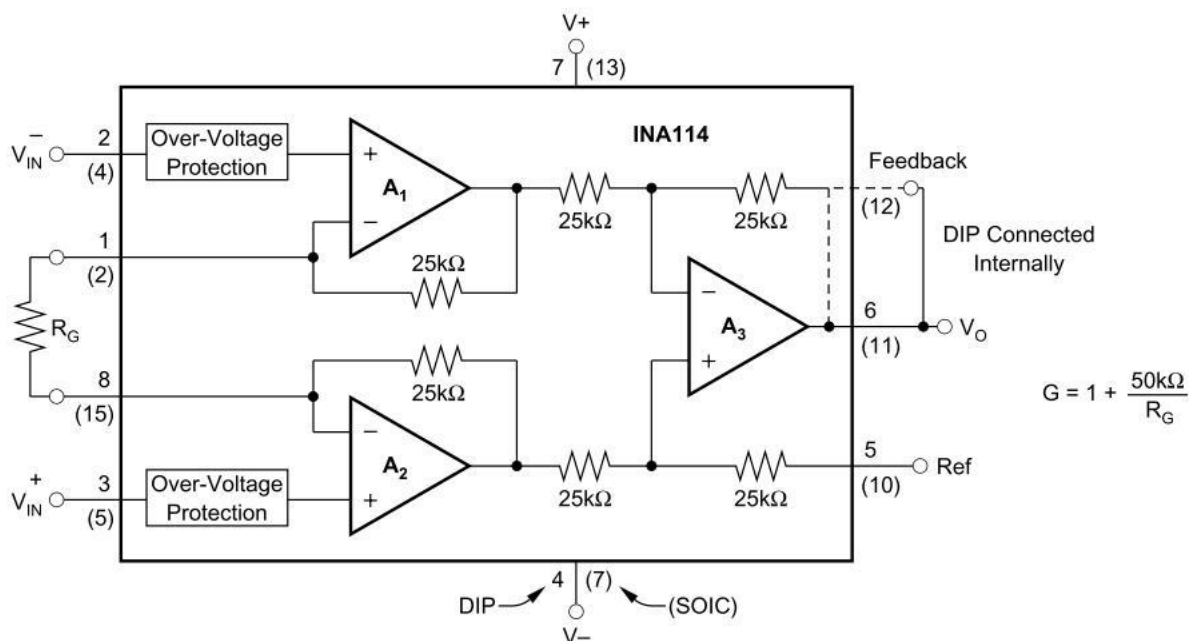
Potlačení rušivých – součtových signálů na vstupu zesilovače nebo kaskády zesilovačů se dosáhne užitím rozdílového či diferenčního stupně. Hodnotícím parametrem těchto zesilovačů je diskriminační činitel definovaný jako poměr zesílení pro rozdílová a součtová vstupní napětí. U kvalitních biologických zesilovačů je diskriminační činitel až 120 dB. Zisk takových zesilovačů bývá až 110 dB.

Jedná se o integrovaný obvod s označením INA114P. Je to přesný přístrojový zesilovač používaný jako :

- můstkový zesilovač
- termočlánek
- RTD senzor
- medicínské zařízení
- pro sběr dat

Tento integrovaný obvod je vyráběn v pouzdře DIL a nebo SMD. V našem případě pro minimalizaci zařízení byl zvolen s pouzdrém SMD. Místo  $R_G$  zapojujeme zpětnou vazbu, která je přivedena přímo na měřící středovou elektrodu. Integrovaný obvod je složen ze tří operačních zesilovačů - viz obr. 8.

Obr. 8 - Integrovaný obvod INA114P

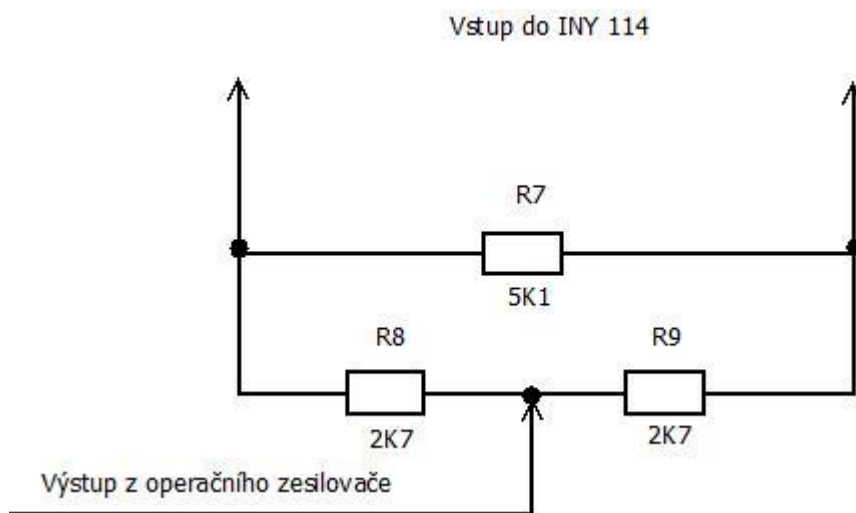


Zesílení operačního zesilovače INA114P je dán vztahem:

$$G = 1 + \frac{50 \text{ K}\Omega}{R_g}$$

Kde  $R_g$  jsou odpory závislé na zesílení našeho operačního zesilovače INA 114P - viz obr. 9

Obr. 9 - Odpory nastavující zesílení



Z výpočtu celkového odporu vyjde  $R_g$  které dosadíme do vzorce předtím. Což je dáno vztahem a poté dosadíme.

$$R_{89} = R_8 + R_9 \qquad R_g = \frac{R_{89} * R_7}{R_{89} + R_7}$$

$$G = 1 + \frac{50\,000}{2622,85}$$

U integrovaného obvodu INA114P bylo nastaveno zesílení na hodnotu 20 ( $G = 20$ ).

Diferenční (rozdílový) zesilovač se nejčastěji používá pro sledování dvou napět'ových signálů s velmi málo odlišnými hodnotami napětí, výstupní napětí je pak úměrné rozdílu napětí na vstupech (OZ zesiluje rozdíl obou vstupních napětí).

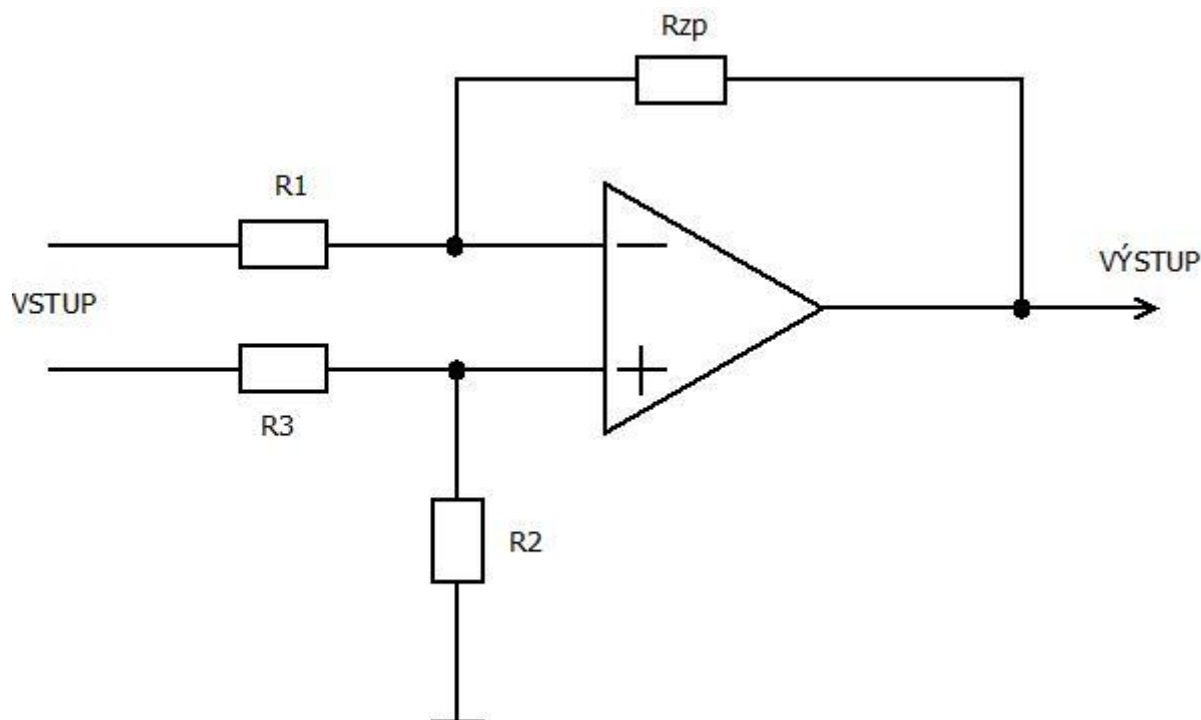
Invertující zesilovač zesiluje napětí  $U_1$  a neinvertující zesiluje  $U_2$ .

Vstupní odpory podle obr. 10 musí být na obou vstupech stejné, aby byly vytvořeny stejné vstupní podmínky pro obě napětí, a tím se dosáhlo co nejvyššího činitele potlačení součtového signálu. Zesílení je tedy dáno poměrem zpětnovazebního a vstupního odporu a rozdílem obou napětí.

Má-li diferenční zesilovač skutečně zesilovat jen rozdílové napětí, musí se dodržet následující vzorec :

$$\frac{R_{zp}}{R_1} = \frac{R_2}{R_3}$$

Obr. 10 - Diferenční zapojení operačního zesilovače [5]

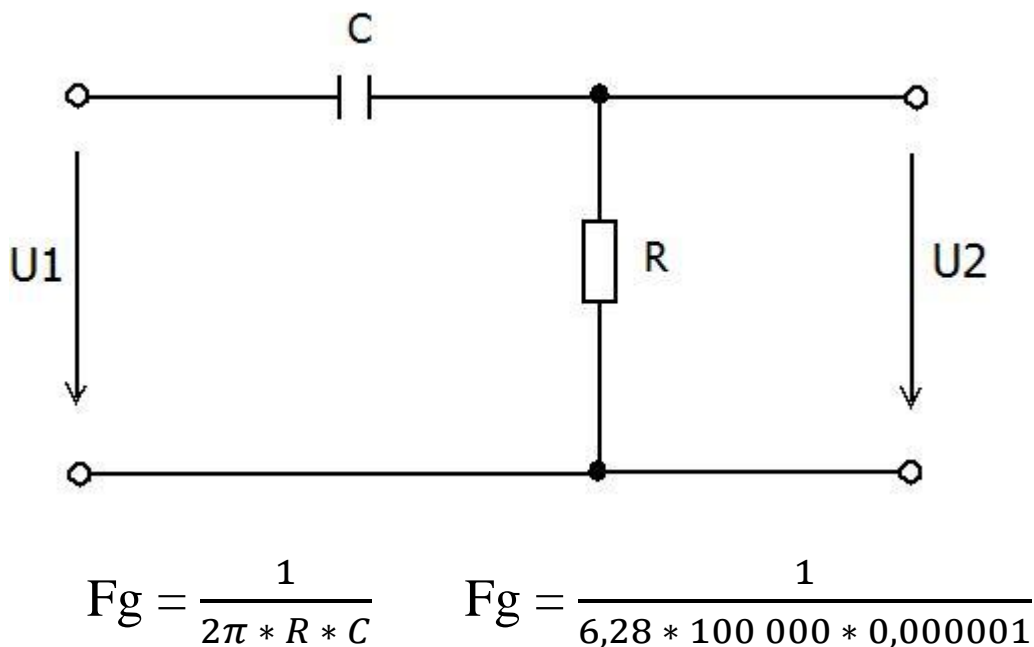


### 3.2.4. Pasivní filtr – Horní propust

Jedná se tedy o kmitočtový filtr pro lineární elektrické obvody používané v mnoha oblastech elektroniky a elektrotechniky. Jejím hlavním úkolem je výběr kmitočtových složek procházejícího signálu podle jejich kmitočtu. Filtr obvykle některé kmitočtové složky zpracovávaného signálu propouští bez nebo jen s malým útlumem (v případě aktivních filtrů je dokonce zesílí) v určitém pásmu kmitočtů, které nazýváme propustné pásmo. Mimo propustné pásmo jsou harmonické složky naopak silně utlumovány – tzv. nepropustné pásmo (pásmo potlačení, pásmo útlumu). Průchod signálu filtrem vede také obvykle k časovému zpoždění signálu, což je důsledek fázových posuvů (zpoždění) procházejících harmonických kmitočtových složek signálu. Tyto vlivy můžeme znázornit fázovou kmitočtovou charakteristikou. Jejich vliv je také patrný při znázornění v časové oblasti.[5]

Tento filtr je složen z RC obvodu obr. 11, který je dán vztahem, kde  $F_g$  je mezní kmitočet v [Hz].

Obr. 11 - Horní propust



$$F_g = 1,59 \text{ Hz}$$

### 3.2.5. Zesilovač s proměnným zesílením

Operační zesilovače (dále jen OZ) dnes patří k nejpoužívanějším elektronickým součástkám. Jejich využívání v jednotlivých aplikacích se rok od roku zvyšuje, neboť se neustále objevují nové zajímavé aplikační možnosti.

Pod operačním zesilovačem se rozumí stejnosměrný širokopásmový zesilovač s velkým zesílením, který pomocí vhodné zpětné vazby a různých korekcí umožňuje realizovat různé přenosové funkce (lineární, nelineární), potlačit rušivé vlivy vyskytující se u ss zesilovačů.

Podle [7] své struktury je OZ několika stupňový stejnosměrný zesilovač diferenčního typu. Veškeré rušivé vlivy, vyskytující se u stejnosměrných zesilovačů, jsou pomocí různých korekcí a zpětných vazeb potlačeny na minimum, ale ne zcela odstraněny. V aplikačních zapojeních se k OZ přidávají další pasivní i aktivní součástky – to celé pak nazýváme operační sítě. Operační zesilovače umožňují konstruovat obvody nejen pro matematické operace, pro které byly určeny, ale umožňují vyrábět i kvalitní zesilovače různého použití, oscilátory, regulátory, klopné obvody apod.

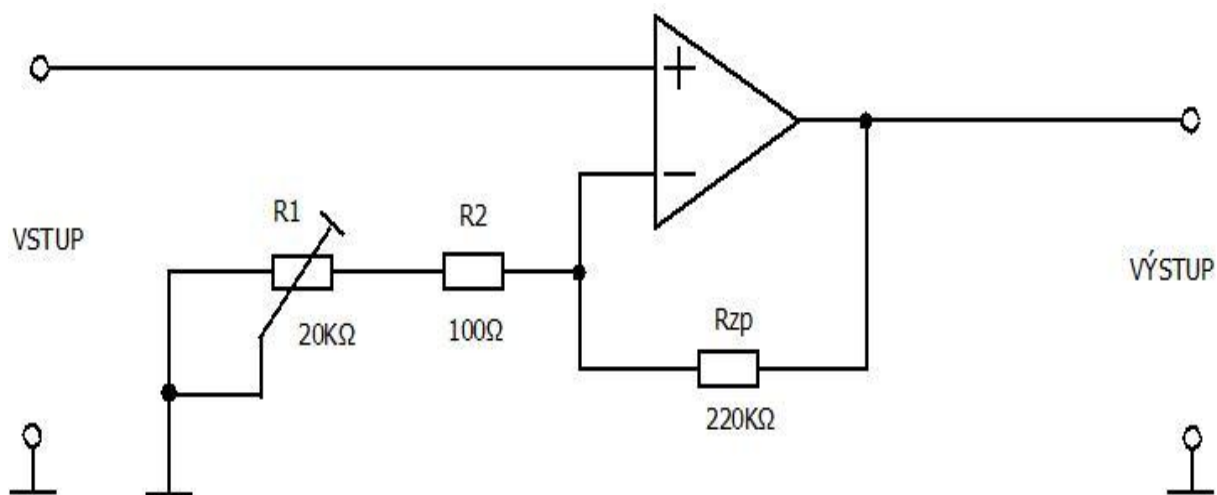
Ideální operační zesilovač by měl mít tyto vlastnosti :

- nekonečně velké napěťové a proudové zesílení
- nekonečně velký vstupní odpor
- nulový výstupní odpor
- frekvenční nezávislost
- nekonečně velké potlačení součtového signálu (jedná se o signál společný oběma vstupům)

Skutečné OZ však těchto ideálních parametrů nikdy nedosáhnou, ale jen se jim přibližují. OZ mají velmi velké zesílení až 100 000 x. V případě, že nemají zavedenou zpětnou vazbu, pak mají vysoké zesílení a jejich výstup je ve stavu saturace. Na úkor tohoto vysokého zesílení se však zužuje šířka pásma. Jejich zesílení pak klesá především u vysokých frekvencí.

Jedná se o operační zesilovač, který je zapojen jako neinvertující. Jeho minimální a maximální zesílení je dáno podle následujícího vzorce a z obr. 12 je zřetelné proměnné zesílení, které se dá měnit přidáním trimrem.

Obr. 12 - Zesilovač s proměnným zesílením



$$A_{u_{\min}} = \left( 1 + \frac{R_{zp}}{R1_{\min} + R2} \right) \quad A_{u_{\max}} = \left( 1 + \frac{R_{zp}}{R1_{\max} + R2} \right)$$

Vstup a výstup těchto zesilovačů je ve stejné fázi a už ze vzorce vyplývá, že u nich nelze dosáhnout zesílení menší než 1.

Zesílení tohoto podrobně rozebraného bloku 6 může být:

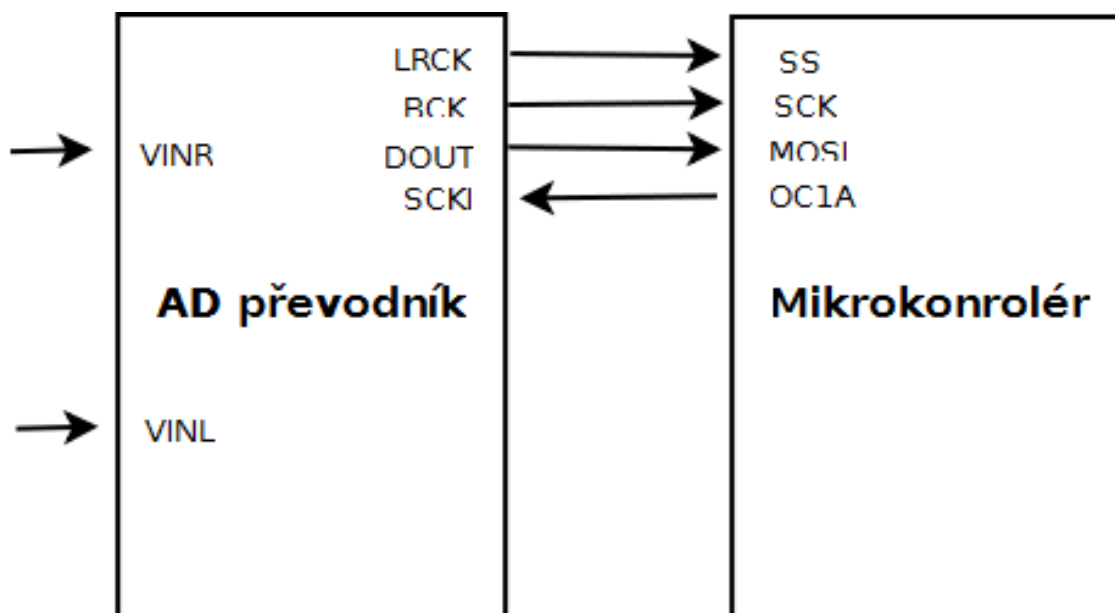
$$A_{u_{\min}} = 11,94 \quad A_{u_{\max}} = 44\,020$$

### 3.2.6. A/D převodník

Převodníky umožňující transformaci číslíkově vyjádřené informace na analogové napětí a naopak zaujímají v řídicím systému klíčové postavení. Značná část měřených veličin bývá obvykle zaznamenána ve formě časově spojitého průběhu analogového napětí a do číslíkové formy se musí převést pomocí převodníku. Převodníky tedy umožňují propojení mezi analogovou a číslíkovou částí řídicího systému. Přesnost a rychlost převodu použitých převodníků je jedním z hlavních faktorů určujících použitelnost a kvalitu celého řídicího systému. [10]

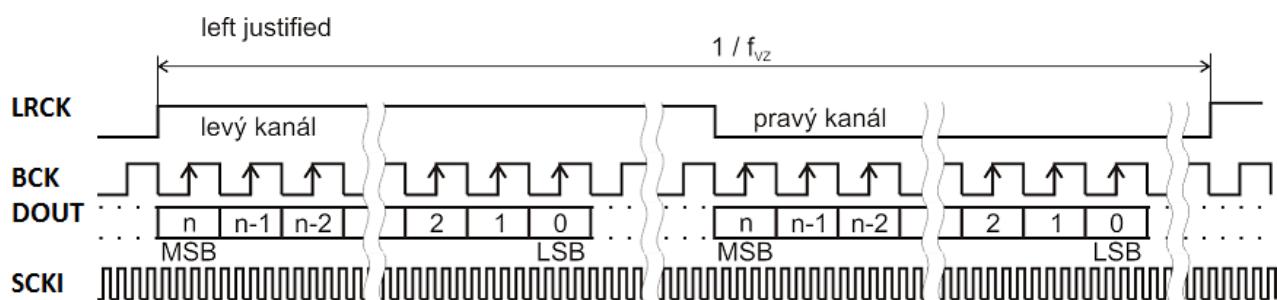
Při amplitudové modulaci (PAM – pulzně amplitudová modulace) dochází vlastně pouze k procesu odebrání vzorků z původního analogového signálu. Vzorek potom představuje průběh signálu během této doby.

Obr. 13 - Propojení A/D převodníku s mikrokontrolérem



Komunikace mezi AD převodníkem a mikrokontrolérem se odvíjí od taktu procesorem generovaného PWM signálu, který je na výstupu OC1A a je přiveden na vstup SCKI viz obr. 13.

Obr. 14 - Datová komunikace A/D – mikrokontroléru



Převodník je díky svému zapojení nastaven do režimu „master“. To znamená, že sám generuje signály LRCK, BCK a DOUT, které jsou odvozeny od frekvence SCKI. Proces čtení je následující. Čeká se na sestupnou hranu LRCK (připojeno na SS), kdy sběrnice SPI začne přijímat data. S každým hodinovým signálem BCK dojde k načtení jednoho bitu. Po přečtení 24 bitů se čeká na náběžnou hranu LRCK. Poté se stane SPI sběrnice neaktivní (SS = 1) a v této době může mikrokontroléru odeslat data po sériové lince – viz obr. 14. Levý kanál je ignorován z důvodu využití pouze jednoho vstupu AD převodníku ze dvou možných (stereo).

Převodník A/D převádí analogovou hodnotu na svém vstupu na její digitální reprezentaci. Digitální reprezentace je vždy úměrná referenčnímu napětí, tedy výstupní digitální hodnota 5 nemusí znamenat 5V (a obvykle také neznámá).

Při digitalizaci zvuku vzniká šum, který je vcelku rovnoměrně rozprostřen v celém frekvenčním rozsahu. Poměr signálu a šumu (SNR) je jedním z klíčových hodnotících kritérií kvality A/D převodníků. Obvykle se vyjadřuje v decibelech (dB) podle vztahu:

$$\text{SNR} = 20 \log_{10} ( \text{signál} / \text{šum} ) \quad [8]$$

Signálem se míní střední hodnota užitečného signálu a šumem střední hodnota šumu. Pro n bitový A/D převodník, na jehož vstupu je harmonický signál, platí vztah:

$$\text{SNR} = 20 \log_{10} \left( \frac{q 2^N / 2\sqrt{2}}{q / \sqrt{12}} \right) = 6,02N + 1,76 \text{ dB} \quad [8]$$

Kde q představuje váhu nejnižšího bitu [8]



Po úpravě vzorečku dostáváme:

$$\text{použitelné bity} = \frac{100 - 1,76 \text{ dB}}{6,02 \text{ dB}}$$

V našem případě je hodnota SNR použitého 24bitového AD převodníku 100dB. Po dosazení do vzorečku dostáváme 16,3 efektivních bitů převodníku. Znamená to tedy, že šum tvoří necelých 8 bitů.

Vzorkovací frekvence převodníku byla nastavena na 250 vzorků za sekundu. Minimální vzorkovací frekvence by měla být alespoň dvojnásobná oproti měřenému signálu. Z důvodu měření frekvencí řádově v desítkách Hz je tato frekvence dostatečná.

### 3.2.7. Mikrokontrolér

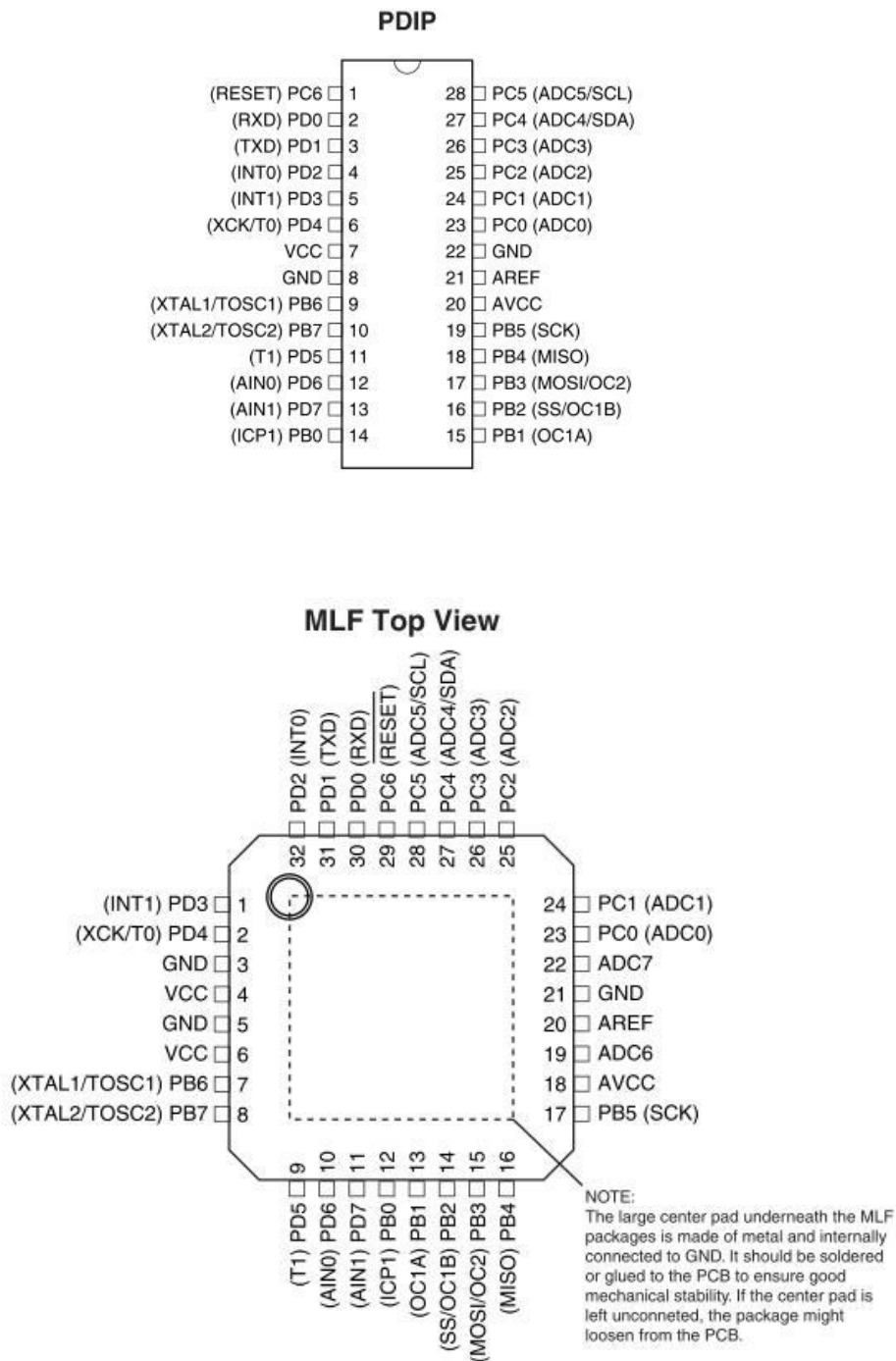
Bit je nejmenší informační jednotka, která je schopna rozlišit dva stavy. Tyto stavy jsou logická 1 nebo logická 0. V mikroprocesorové technice log. jedničky odpovídá +5V a log. nule odpovídá 0V. Pod tímto si můžeme představit třeba vypínač na světlo. Ten také uchovává informaci buď zapnuto nebo vypnuto. V mikrokontroléru toto může prezentovat paměťová buňka v bitové oblasti operační paměti.

Je třeba si uvědomit, že mikrokontrolér je součástka, ve které je obsažen jak vlastní procesor neboli jádro CPU, který vykonává vámi napsaný program, tak paměť, ve které je ten program uložen - programová paměť FLASH.

Dále obsahuje operační paměť RAM, do které si procesor ukládá potřebná data, jedině s tou může vývojář programu pracovat, protože do paměti programu nemůže program sám ukládat žádná data. Nakonec jsou tu vstupně výstupní porty, kterými mikrokontrolér komunikuje s okolím.

V našem případě byl mikrokontrolér v pouzdře DIL nahrazen menším, za to složitějším principem pájení SMD. Dále bylo důležité si uvědomit správné vyvedení vývodů, jelikož vývody na každém pouzdře jsou rozdílné - viz obr. 15. Vše bylo ověřeno a zapojeno podle datasheetu součástek. Pro základní funkci (pro spuštění) mikrokontroléru stačí u něj zapojit krystal, kondenzátory a odpor na reset.

Obr. 15 - Mikrokontroléry DIL a SMD provedení [8]



### 3.2.8. Převodník UART – USB

USB je dnes nejčastěji používaným rozhraním na počítači. Díky svým malým rozměrům a vysoké přenosové rychlosti jsou USB vybaveny téměř všechny digitální fotoaparáty, přenosné paměti, externí harddisky, nabíječky, tiskárny a dokonce i ohřívače čaje. Některé notebooky pak dokonce zcela postrádají klasické sériové rozhraní a jsou vybaveny pouze portem USB.

Tento pokrok určitě přidělal vrásky na čele konstruktérům malých zařízení komunikujícím s počítačem právě přes rozhraní RS232. Většina mikroprocesorů je totiž vybavena pouze sériovým portem UART, který lze propojit s RS232 COM portem v počítači. USB rozhraní ale pracuje na zcela jiném principu. Na trhu se objevily mikrokontroléry s integrovaným modulem USB, který je možno nakonfigurovat podle přání uživatele. Zatím to jsou spíše složitější typy, které nejsou moc rozšířeny.

Další možností, jak připojit své mikrokontrolérové zařízení k USB, je napsat si komunikační protokol sám. Je to velice efektní řešení a samozřejmě i nejlevnější, ale je ovšem velmi náročné. Třetí možností, jak své zařízení připojit k USB, jsou speciální integrované obvody, které slouží jako převodníky UART rozhraní na USB. Tuto možnost jsem zvolil i já pro svou aplikaci.

Proč se snažit přejít na USB? Jedna z nejkrásnějších vlastností (mimo vyšších přenosových rychlostí) je přítomnost napájecího napětí 5V na tomto portu. Aplikace tak může být napájena přímo z počítače. Dalším příjemným zpestřením je fakt, že se zařízení ozve volně definovaným jménem po jeho připojení k počítači.

Dnešní trh nabízí dva hlavní integrované obvody na převod UART/USB. První je z produkce firmy FTDI Chip a jmenuje se FT232 a druhý nabízí firma Silicon Laboratories a jmenuje se CP2102. Při jejich srovnání jsem vycházel z jednoduchého požadavku mé aplikace – obousměrná komunikace rychlostí 256000 Bd přes piny TXD a RXD a možnost volby jména zařízení. Proto jsem nesledoval parametry, týkající se vyšších přenosových rychlostí či různých funkčních módů.

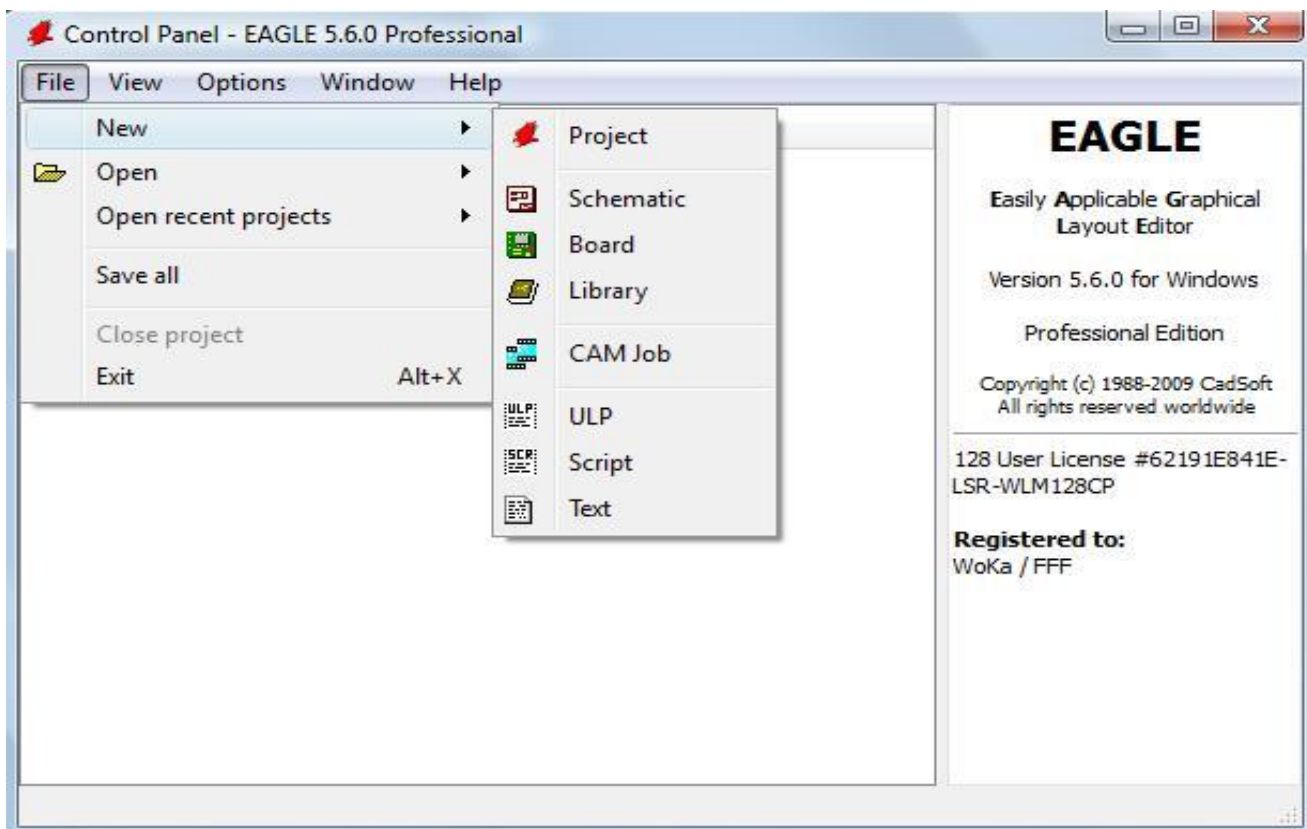
### 3.3. Eagle

Jedná se o program pro návrh plošných spojů. Skládá se ze dvou částí a to: schematická část a tvorba plošných spojů. Ve schematickém editoru si nakreslíme schéma a v editoru pro návrh navrheme desku se spoji.

V knihovnách si najdeme požadované součástky a propojíme je. Ve schématu pracujeme pouze se schematickými značkami a po převodu do plošného spoje program vygeneruje pouzdra součástek. Pouzdra vybíráme na začátku v návrhu již v knihovnách. Z tohoto programu se může vygenerovat spousta dalších materiálů pro tvorbu plošného spoje.

Budeme uvažovat, že uživatel a čtenář tohoto materiálu chce pomocí tohoto programu vytvořit DPS (**D**esku **P**lošných **S**pojů). Nejprve zvolíme nový projekt a zvolíme schematický editor - viz obr. 16.

Obr. 16 - Hlavní panel programu

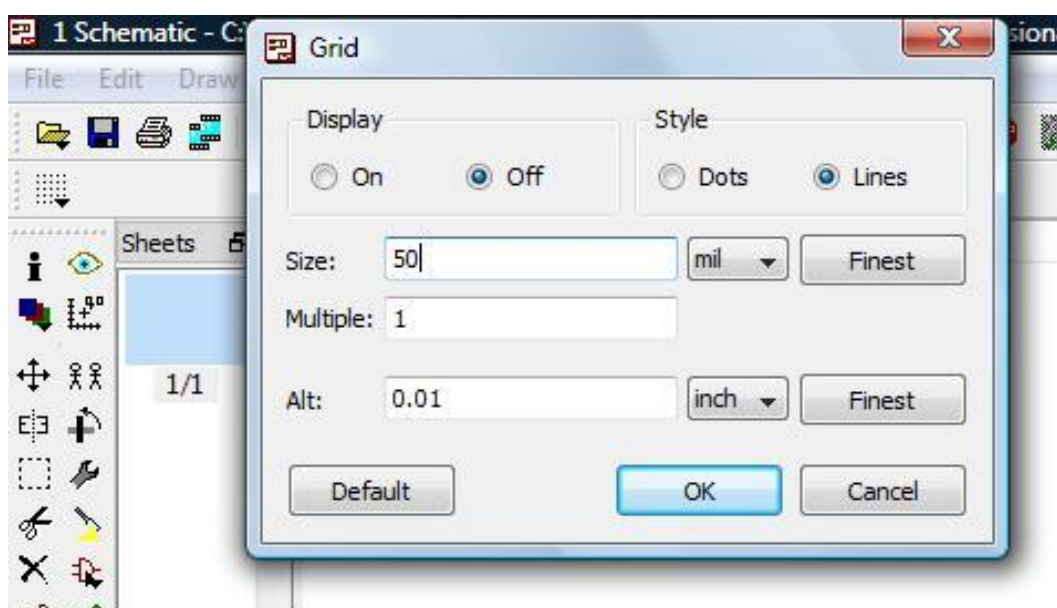


Než začneme s návrhem, nastavíme odměřovací rastr. Většinou se nastavuje na 50 milů. Měřítka v tomto navrhovacím prostředí se neměří v mm ale v milech - viz obr. 17.

**TIP:** Dolní políčko lze použít jako kalkulačku na převod jednotek.

V průběhu návrhu nedoporučuji měnit rastr, vnesla by se do návrhu chyba.

Obr. 17 - Nastavování rastru návrhu

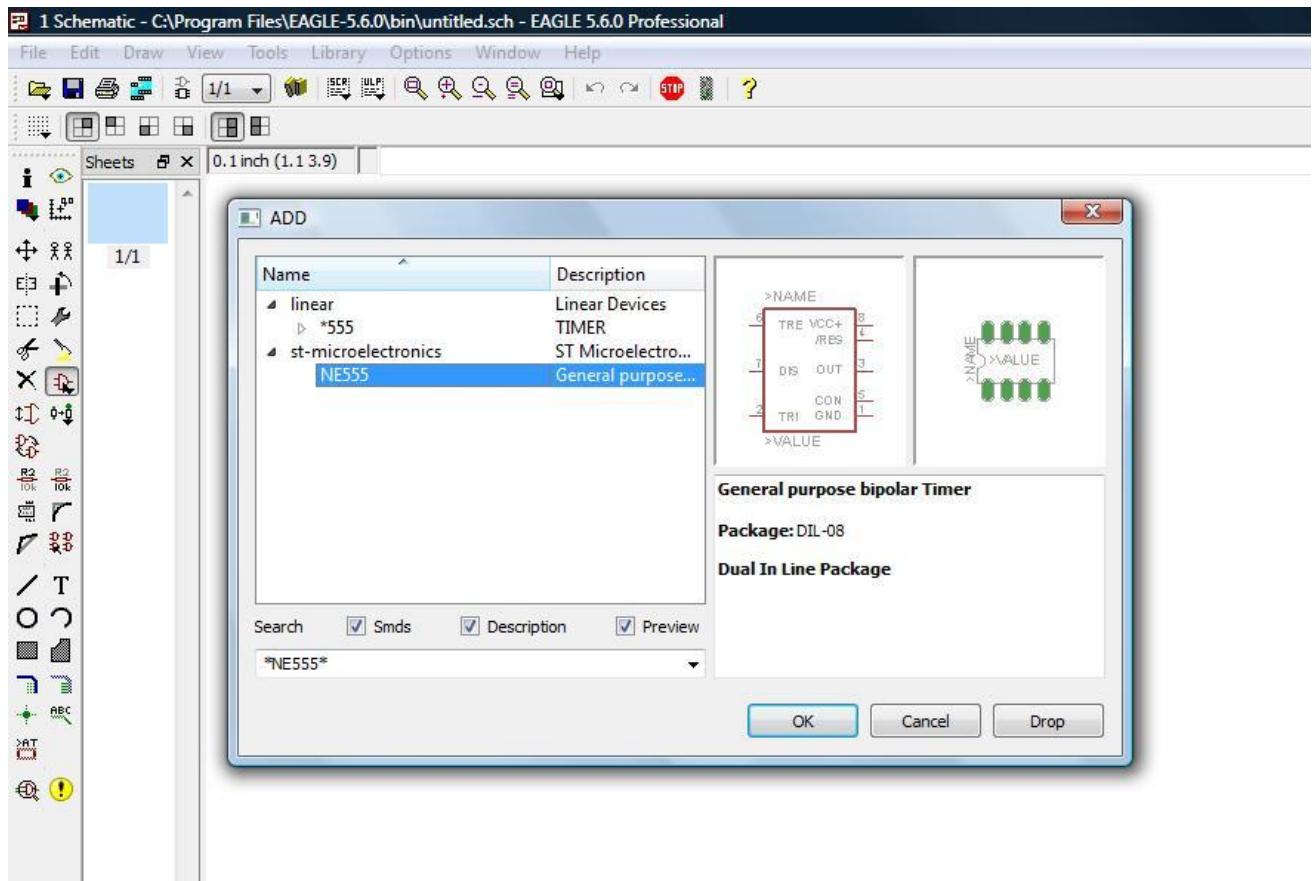


První krok bude zvolení schematického prostředí a nakreslení požadovaného schématu. Hlavním stavebním kamenem tohoto programu jsou knihovny, kde jsou uloženy součástky. Pokud nejsou všechny součástky v knihovnách, je možnost si zvolit nějakou podobnou součástku se stejnými vývody. Pokud se ale požadovaná součástka již nenalézá v knihovně návrhového systému, tak se již naskýtá novinka některých firem, které nabízejí součástky společně s knihovnou pro daný program.

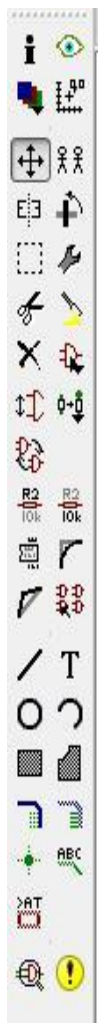
## Návrh schématu


Po otevření knihovny si vybereme požadovanou součástku a vložíme na schematickou plochu, kde ji propojíme s ostatními součástkami podle originálního nebo navrhovaného schématu. Pokud nevíme, v jaké knihovně se součástka nalézá, můžeme použít dolní lištu jako vyhledávač. Hledanou součástku můžeme napsat mezi dvě hvězdičky, viz obrázek, kde hvězdička reprezentuje libovolný počet symbolů (klasická hvězdičková konvence) – viz obr. 18.


Obr. 18 - Hledání v knihovnách




## Návrh schématu a popis tlačítek




 = kliknutím zjistíme informace o součástce (v jaké knihovně ji najdeme, tip pouzdra, atd.)


 = vrstvy (součástky, propojky, hodnoty, název součástky aj.)

 = posun součástek

 = ohraničení (výběr více součástek najednou)

 = mazání


 = název součástky

 = rozdělení přesouvacích bodů (u každé součástky je název a hodnota. U každé této ikony se objeví křížek, kliknutím na něj můžeme přesouvat.)


 = kontrola propojení


 = kopírování

 = otočení o 90°


 = knihovny

 = změna pouzdra

 = hodnota součástky

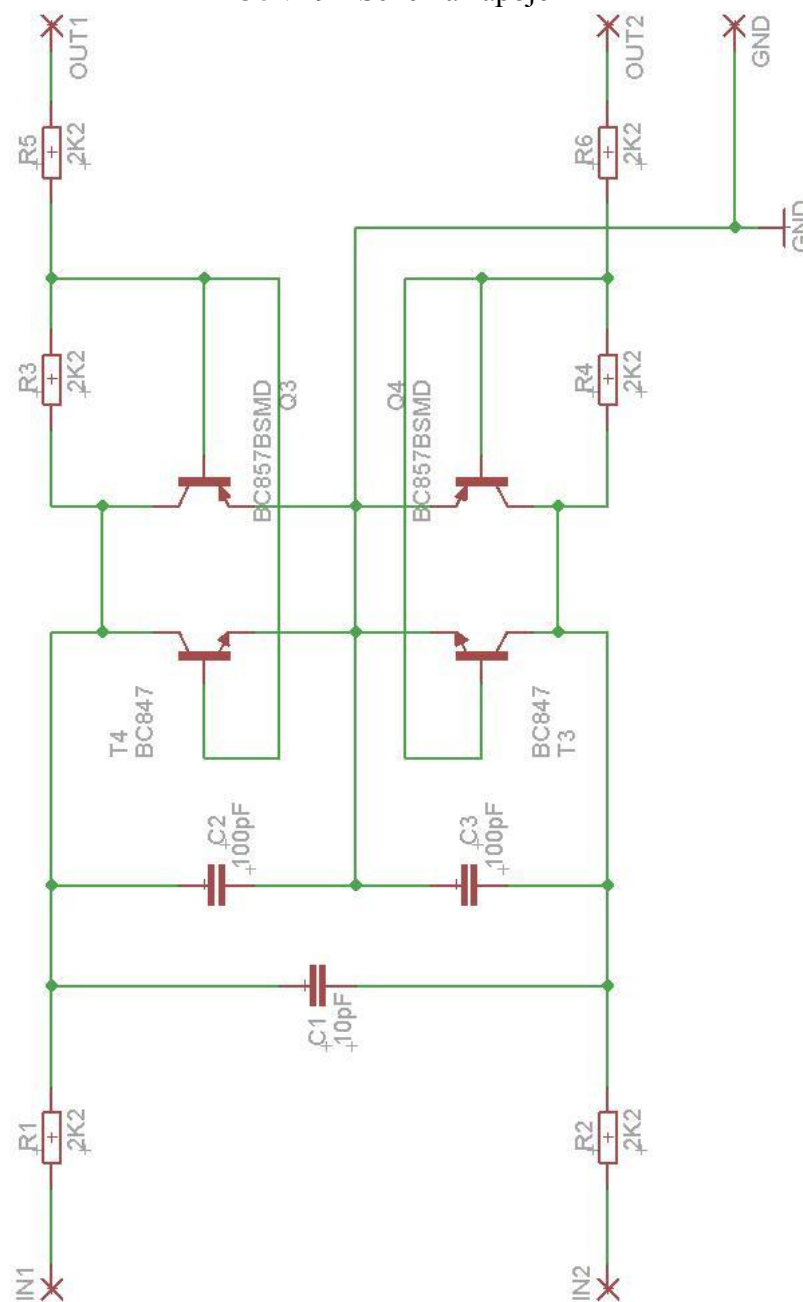
 = kompletace IO (integrovaných obvodů) – zjistíme, jestli IO nemá v sobě např. dva operační zesilovače a napájení.

T = text

 = propojovací ikona, kterou vše propojíme k sobě


Pozn.: Při použití integrovaných obvodů by se nemělo zapomínat na jejich napájení..

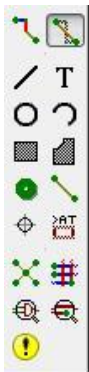
Obr. 19 - Schéma zapojení






Jako příklad bylo použito schéma blokovacího obvodu. U každé součástky je vidět její název a hodnota. U každého tohoto textu je křížek, který slouží na přesun nápisu. Program si v editoru podle schématu plošného spoje sám kontroluje jejich propojení.

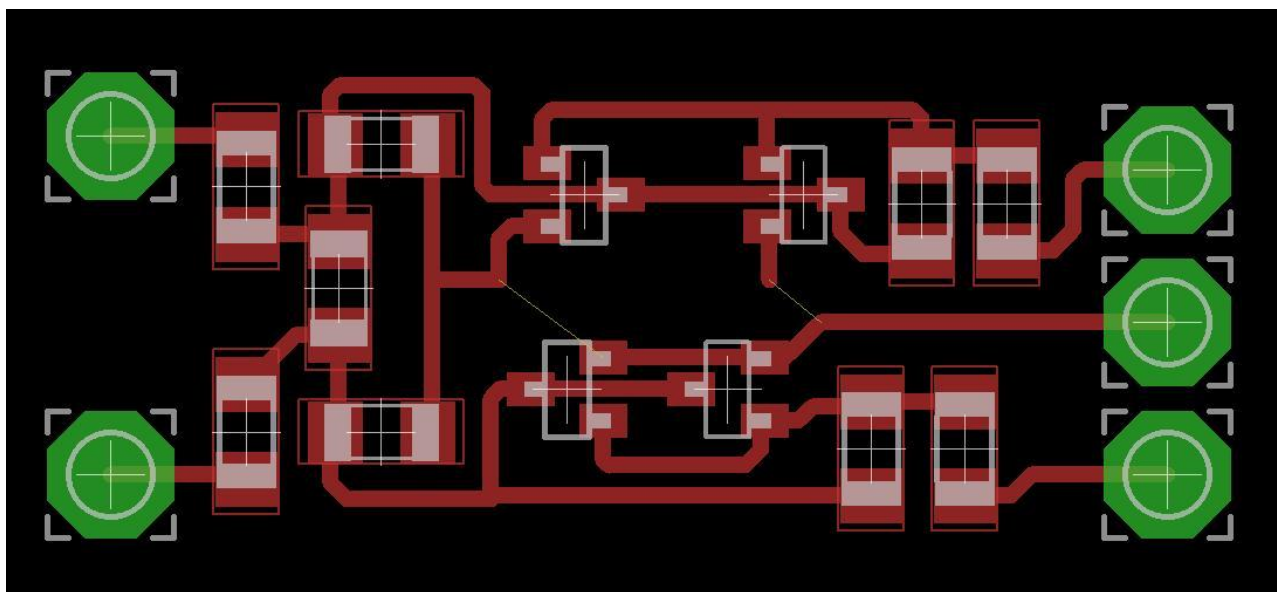
 = přepnutí do návrhu plošného spoje



V návrhu DPS je boční lišta rozšířena o tyto tlačítka. Na kreslení spojů, pájecích bodů, mazání spojů, kreslení děr pro vyvrtání otvorů.

 = Součástky jsou virtuálně propojeny žlutou čarou. To značí budoucí propojení. Po přesunutí součástky na jiné místo a kliknutí na tuto ikonu se propojení může zmenšit na kratší vzdálenost k jiné součástce.

Obr. 20 - Plošný spoj





Horní lišta se změní například po kliknutí na tvorbu propojů. Na liště je možnost měnit pravým tlačítkem myši tvar ohybu propojení. Je možné i změnit tloušťku čáry nebo pájecího bodu.

Toto schéma pro DPS je složeno z několika vrstev:

- součástky
- propojení z jedné strany (červeně)
- propojení z druhé strany (modře)
- hodnoty
- název
- pájecí plochy
- otvory pro vrtání
- atd.

Kompletní dokumentace se skládá z:

- vygenerovaného schématu zapojení pro pozdější opravy
- DPS pro výrobu desky
- osazení součástek a drátových propojek na osazení
- seznam součástek pro nákup

### 3.4. Celkové zhodnocení výdajů

Tab. 2 - Celková kalkulace

#### Celková kalkulace zařízení

druh	počet	cena [Kč]
krabička	1	260
konektory	4	58
kuprexitové fotocitlivé desky	2	60
INA114P	1	255
mikrokontrolér	1	122
USB	1	12
TLC272	3	90
A/D převodník	1	127
FT232	1	117
TLE2426	1	21
drobné součástky	-----	300
počet hodin práce	120	

Cena celkem :

1422

Součástky byly zakoupeny u společnosti Farnell a ceny jsou aktuální k lednu 2012.

# 4 Software

V této kapitole práce pojednává o vytvoření programů do mikrokontroléru a pro Windows. Sekce jsou doplněny o vývojové diagramy a jejich následné popisy.

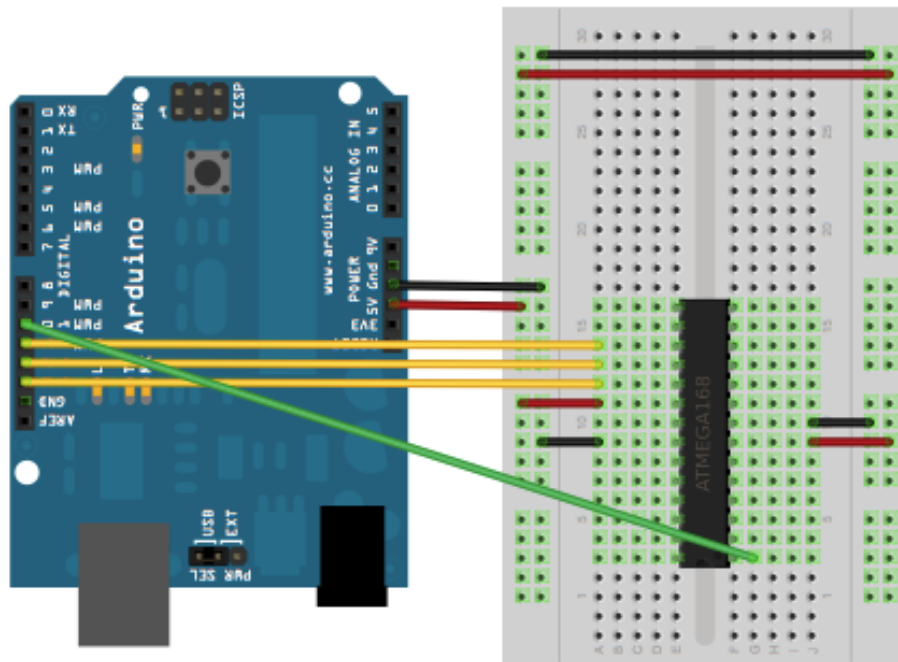
## 4.1. Firmware mikrokontroléru

Pod pojmem firmware mikrokontroléru se rozumí program, který je do něj nahraný prostřednictvím USB rozhraní. Abychom mohli do mikrokontroléru nahrát program přes USB, je nejprve nutno do mikrokontroléru nahrát Bootloader.

### 4.1.1. Bootloader mikrokontroléru

Česky nazvaný zavaděč. Jedná se o zaváděcí program, který umožní po zavedení do mikrokontroléru programovat přes rozhraní USB. Nyní můžeme programovat bez desky Arduino přes USB. Pro správné nahrání bootloADERu a pro komunikaci mikrokontroléru je potřeba připojit krystal a jeho kondenzátory (pokud nepoužíváme interní krystal), které jednoduše nalezneme v datasheetu procesoru. Odpor zapojíme podle obr. 21 na reset a můžeme programovat. Protože máme mikrokontrolér v provedení SMD, musíme toto propojení realizovat místo nepájivého pole přímo na desce. Musíme si nalézt v datasheetu mikrokontroléru v provedení (pouzdrě) DIL a podle tohoto obrázku si najdeme správnost zapojení. Zapojíme je na SMD mikrokontrolér zapájený v desce. Tuto úlohu musíme mít na paměti už při návrhu desky, abychom vyvedli příslušné piny na nějaký konektor nebo hroty, kde to propojíme s Arduinem. Poté dojde k nahrání bootloADERu přes sběrnici SPI a dále je již možno mikrokontrolér programovat přes sběrnici UART (USB).

Obr. 21 - Propojení Arduina na nahrání bootloaderu



## 4.1.2. Arduino

Dnes už programování mikroprocesorů není nic nenormálního. Mnoho kutilů a modelářů by ocenilo naprogramovat svého robota jednoduchým způsobem. Nastává otázka, jak jednoduše naprogramovat procesor bez sebevětších znalostí programování.

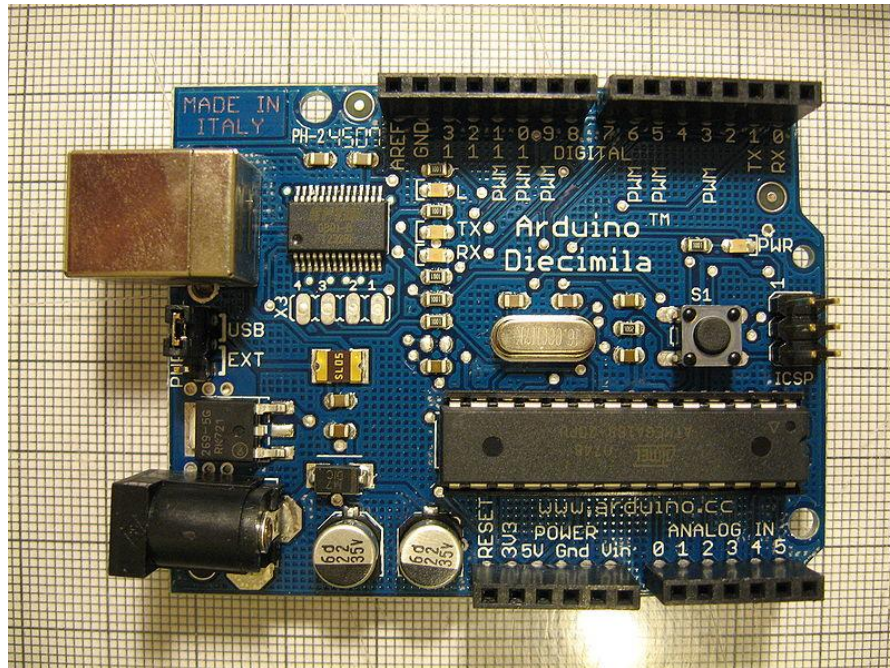
Arduino na obr. 22 je jeden z mnoha typů prototypovací platformy, fungující na mikroprocesoru Atmel ATmega168 a podobných, která může poskytnout začátečníkovi všestranný komfort, který si jen může přát.

Programovací deska se připojí k počítači pomocí USB rozhraní díky čipu FTDI FT323RL a je možno začít programovat ve speciálním jazyce Wiring/Processing, který vychází z jazyka C. Díky tomuto programátoru se není nutno učit Assembler, aby bylo možno naprogramovat svoji aplikaci.

Mnoho elektronických obchodů už nabízí tuto platformu za přijatelnou cenu. Toto Arduino je vybaveno řadou vstupů a výstupů. Mezi důvěrně známý patří USB konektor typu B, slouží pro komunikaci s Arduinem a jeho programování. Dalším konektorem je napájení pro 9 – 12 V.

Napájení nemusí být nutně tímto konektorem, většinou je postačující napájení z USB portu počítače. Patice najdeme na dvou okrajích desky. Jedny slouží jako digitální vstupy a výstupy a některé s možností pulzně šířkové modulace – PWM. Jsou vhodné pro rozběh a řízení rychlosti motorků atp. Na spodním okraji se nachází patice na analogové vstupy, které lze použít pro senzory.

Obr. 22 - Platforma Arduino



### Technické parametry

- Mikrokontrolér: ATmega168 / ATmega328
- Takt procesoru: 16 MHz
- Pracovní napětí: 5V (Doporučení vstupní napětí je 7 až 12 V)
- 14 digitálních vstupně-výstupních pinů (z toho 6 s podporou PWM)
- 6 analogových vstupů
- Proudové zatížení I/O pinu: 40mA

- Flash paměť: 16 kB (ATmega168) nebo 32 kB (ATmega328), z toho 2 kB zabírá bootloader
- SRAM: 1 kB (ATmega168) nebo 2 kB (ATmega328)
- EEPROM: 512 bytů (ATmega168) nebo 1 kB (ATmega328)

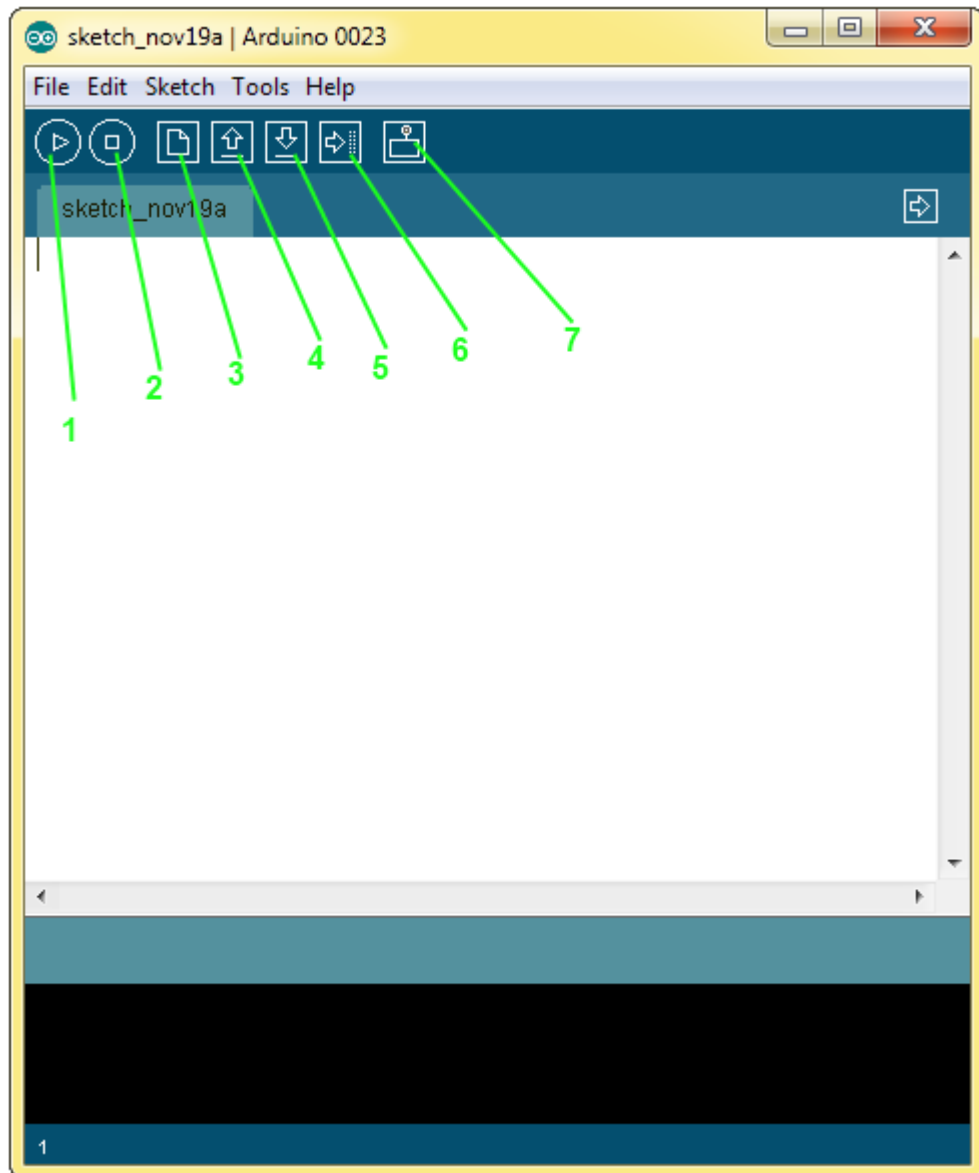
Projekt Arduino je od svého začátku volně dostupný všem uživatelům, kteří chtějí vylepšovat své projekty a zařízení. Původní záměr autorů bylo vytvořit jednoduchý hardwarový prvek, vhodný i pro začátečníky, což se jim povedlo. I přes to si Arduino získalo oblibu i u pokročilejších programátorů. Vlastní programování je daleko lehčí než třeba v assembleru. Manuál a referenční příručka jazyka a externí knihovny jsou pak většinou vydávány pod licencí. Italští výrobci se snaží být dostupný i cenově, toho dosahuje použitím levné pracovní síly v Itálii. Díky svému univerzálnímu uplatnění je Arduino především vyhledáváno domácími kutily. Už existují i několik elektronických obchodů, které dováží již hotovou desku a začíná se tato programovací platforma postupně rozšiřovat i v České republice.

Desky obsahují 8-bitové mikrokontroléry, několik signalizačních diod, resetovací tlačítko, konektor pro ICSP programování, napájecí konektor, oscilátor a obvod zprostředkovávající komunikaci po USB.

Vývojové prostředí (IDE – Integrated Development Environment) lze zdarma získat z internetu. Pomocí něj je možné vytvářet programy, ukládat si je a nahrávat do Arduina. Spuštěné okno se skládá z několika částí - viz obr. 23, nabídka, textového editoru pro psaní programu a úplně dole je umístěn pruh pro zprávy. Ten slouží například pro oznámení syntaktických chyb a podobně.

Prostředí zároveň obsahuje i seriál monitor, což je velmi užitečná pomůcka, která slouží k oboustranné sériové komunikaci mezi Arduinem a počítačem. Pomocí něj lze odesílat a přijímat číselné hodnoty nebo znaky.

Obr. 23 - Vývojové prostředí Arduino



1. Toto tlačítko zkompiluje ("přeloží") kód do Arduinem čitelné podoby. Pokud je v kódu nějaká chyba, program na ní upozorní jejím zvýrazněním.
2. Zastaví běh kompilace nebo upload (nahrávání) do Arduinoa.
3. Vytvoří nový soubor



4. Po kliknutí se objeví nabídka s projekty a příklady, které jsou součástí IDE.
5. Uloží soubor
6. Zkompiluje a nahraje program do Arduina
7. Spustí sériovou komunikaci

V první řadě je třeba nastavit typ Arduina. To se nachází v horní nabídce menu *Tools* v podseznamu *Boards*. Dále se nastaví požadovaný komunikační port, který je hned pod nastavením typu Arduina. Porty mají označení COM. Při pohledu na zadní desku staršího počítače lze zde nalézt sériové porty. Tyto porty mají označení COM. Používaly se k připojování zařízení, jako pokladní terminály, tiskárny etiket, nebo jednoduché zobrazovací jednotky.

Ještě předtím je však důležité seznámit se základní syntaxí (strukturou) programu. Pro komentáře v jazyce wiring se používá značka `//`. Vše co je za touto značkou překladač ignoruje. Je to však pouze v oblasti jednoho řádku. Pokud chceme komentář na více řádků, použijeme `/*text komentáře*/`. Vše mezi `/*` a `*/` je bráno jako komentář bez ohledu na to, kolik řádků je mezi nimi.

```
void setup() {  
    // zde je kód, který proběhne pouze jednou  
}  
void loop() {  
    /* tento kód bude probíhat stále dokola, až do odpojení napájení nebo  
    nahrání jiného programu */  
}
```

Pro představu zde uvádím jednoduchý příklad programu na blikající led diodu, která znázorňuje svůj stav jak svítem diody tak posíláním stavů výstupního pinu po sériové lince.

```
void setup() {  
    // tento kód proběhne jen jednou  
  
    pinMode(13, OUTPUT); // nastaví zdiřku(pin) 13 jako výstup(=output)  
    Serial.begin(9600); // inicializace sériové linky  
}  
void loop() {  
    //tento kód se bude neustále opakovat  
  
    digitalWrite(13, HIGH); // na pinu 13 nastavit logickou 1(=proud  
                            // prochází, LED svítí)
```

```

Serial.print("led zapnuto");

    delay(1000);                // počká 1000 milisekund = 1 sekuda

    digitalWrite(13, LOW);      // nastaví logickou 0

Serial.print("led vypnuto");

    delay(1000);                // počká sekundu
}

```

Na výše uvedeném zdrojovém kódu je názorná jednoduchost použití vývojového prostředí, např. pro inicializaci sériové linky na rychlosti 9600 baudů postačí příkaz `Serial.begin(9600);` nemusí se řešit nastavování časovačů, přerušení a dalších nezbytných věcí při této operaci, jako je například v Asembleru. Knihovny a funkce prostředí jsou velice obsáhlé a díky tomu lze aplikace naprogramovat ve velice krátkém čase.

### 4.1.3. Algoritmus

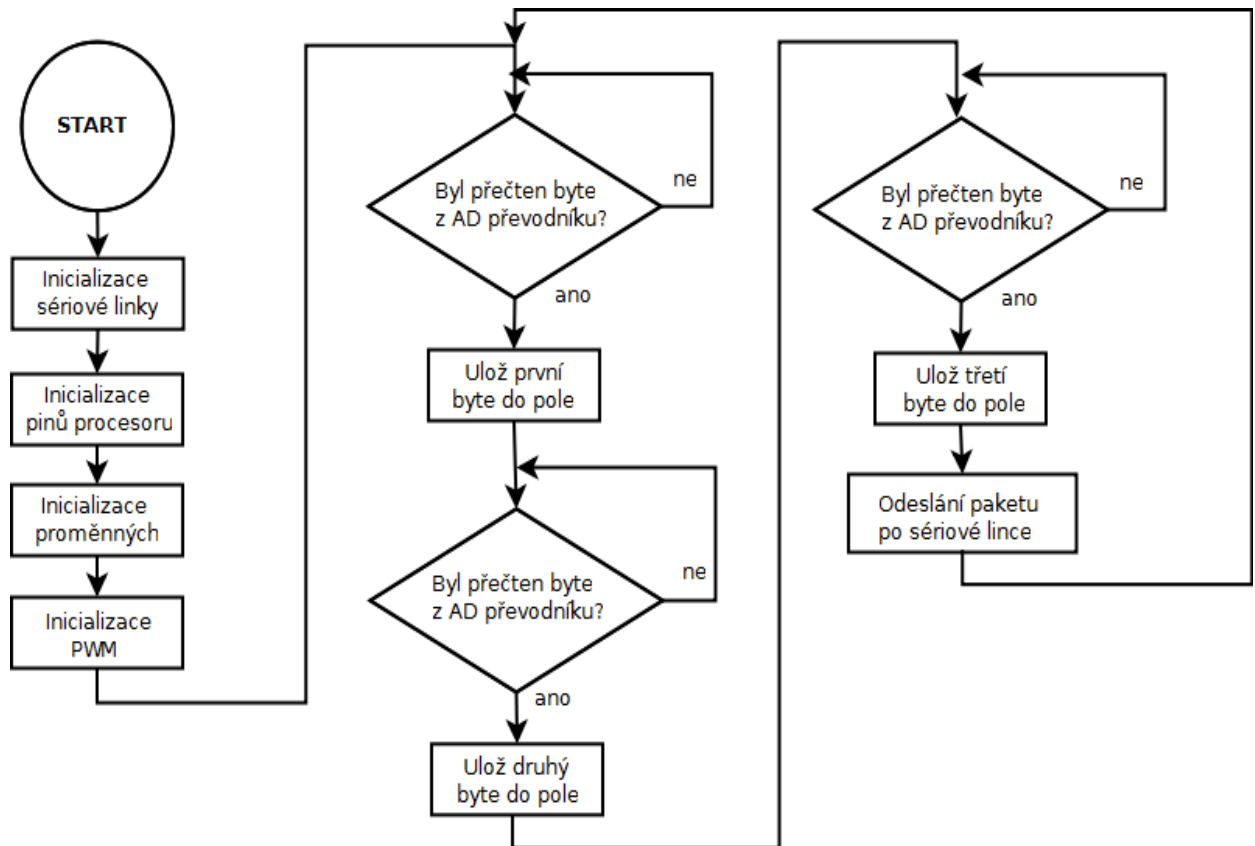
Zdrojový soubor, který je nahraný do mikrokontroléru je umístěn na CD příloze této práce - viz obr. 24. Pro jednoduchost je uveden algoritmus, na kterém bude funkce programu vysvětlena.

Po zapnutí napájení mikrokontroléru a tedy po spuštění programu dojde nejprve k inicializaci sériové linky. Zde byla zvolena poměrně vysoká přenosová rychlost 25000 bd/s (boodů za sekundu) z důvodu velkého množství dat, určených na přenos v závislosti na čase.

Dále proběhne inicializace pinů mikrokontroléru, kde definujeme jejich účel - vstupní nebo o výstupní pin. Inicializace proměnných nastavuje jejich počáteční hodnoty. Z důvodu použití externího AD převodníku je třeba vytvořit taktovací frekvenci, kterou převodník používá pro svou činnost a odvíjí se od ní hodinový přenos dat.

Dále se testuje, zdali byl přečten byte z AD převodníku a v případě že ano, uloží se hodnota do pole (datového paketu). Tato operace proběhne celkově třikrát z důvodu použití 24bitového AD převodníku. Po skončení je v datovém paketu uloženo 3 krát 8, tedy 24 datových bitů. Paket se dále skládá ze startovacího a ukončovacího bajtu, které slouží pro synchronizaci při následném přenosu do počítače.

Obr. 24 - Blokové schéma Algoritmu



## 4.2. Windows aplikace

Pro vytvoření uživatelské aplikace byl použit program Builder C++. Celá tato kapitola pojednává o zmíněném vývojovém prostředí, algoritmu samotného programu a o číslicových filtrech, které jsou také použity v aplikaci pro Windows.

### 4.2.1. Číslicové filtry

Číslicovou filtrací se rozumí úprava hodnot jednotlivých vzorků pomocí určitého algoritmu tak, aby došlo buď k zvýraznění žádoucích složek nebo potlačení nežádoucích složek. Číslicové filtry vynikají oproti klasickým filtrům (pasivní, aktivní) především svou strmostí útlumu, velikostí útlumu a stabilitou v čase, kde např. nepůsobí změna teploty na pasivní součástky, která mění jejich hodnoty.

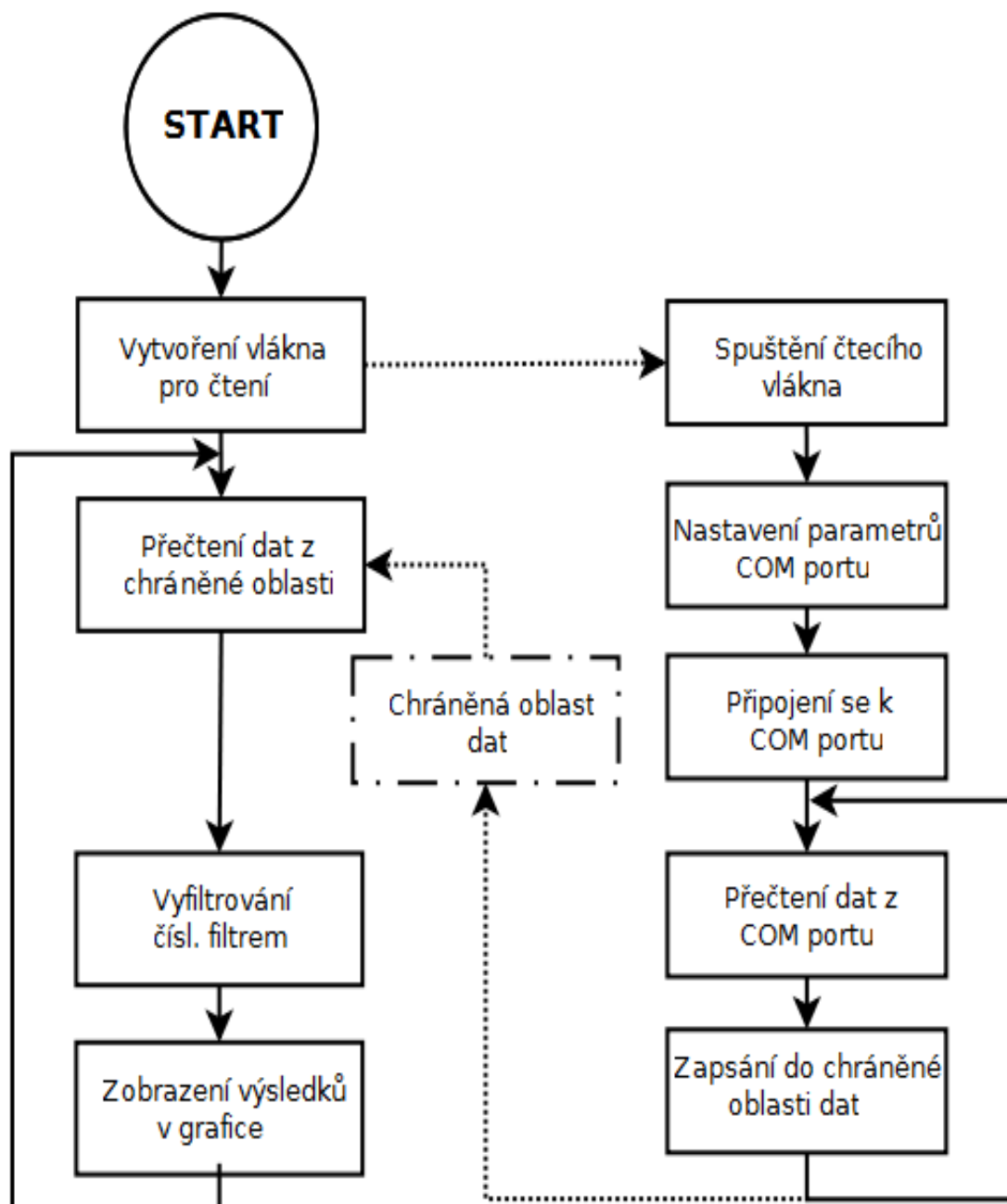
Číslicové filtry jsou teoreticky poměrně složitá disciplína, která je nad rámec této práce, proto bude problematika vysvětlena na praktické implementaci tohoto druhu filtru [7].

Číslicový filtr je zdrojový kód, který dostaneme jako výstup z použitého programu WinFilter od Adriana Kunderta [11]. Po spuštění programu si zvolíme, zdali chceme dolní, horní, nebo pásmovou propust (zádrž). Dále se vyplní dělicí frekvence, případně dvě frekvence, při použití pásmové propusti (zádrže) a vzorkovací rychlost. Dále se spustí „Generate C code“, který vytvoří zdrojový soubor v jazyce C. Tento zdrojový filtr obsahuje funkci, která má jeden vstupní a jeden výstupní parametr. V praxi pak filtrace probíhá následovně. Naměřený vzorek je předán funkci jako vstupní parametr a obdržíme výsledek. Filtr není účinný ihned po jeho spuštění, dokud nedojde k naplnění vnitřního pole filtru. V dnešní době někteří výrobci preferují použití těchto číslicových filtrů z důvodu jejich velice rychlé implementace a dalších výhod.

#### **4.2.2. Algoritmus**

Program vytvořený podle firemních šablon pro Windows pracuje jako více vláknová aplikace. Hlavní vlákno aplikace se stará o filtrování vzorků, grafickou prezentaci výsledků a vedlejší čtecí vlákno se stará o příjem dat z COM portu. Jelikož je v principu čtení dat z COM portu asynchronní se zobrazením těchto dat, je zapotřebí chráněné oblasti dat, aby nedošlo k nekonzistentnímu čtení. Bylo vytvoření grafické rozhraní (GUI) pro zobrazování výsledků

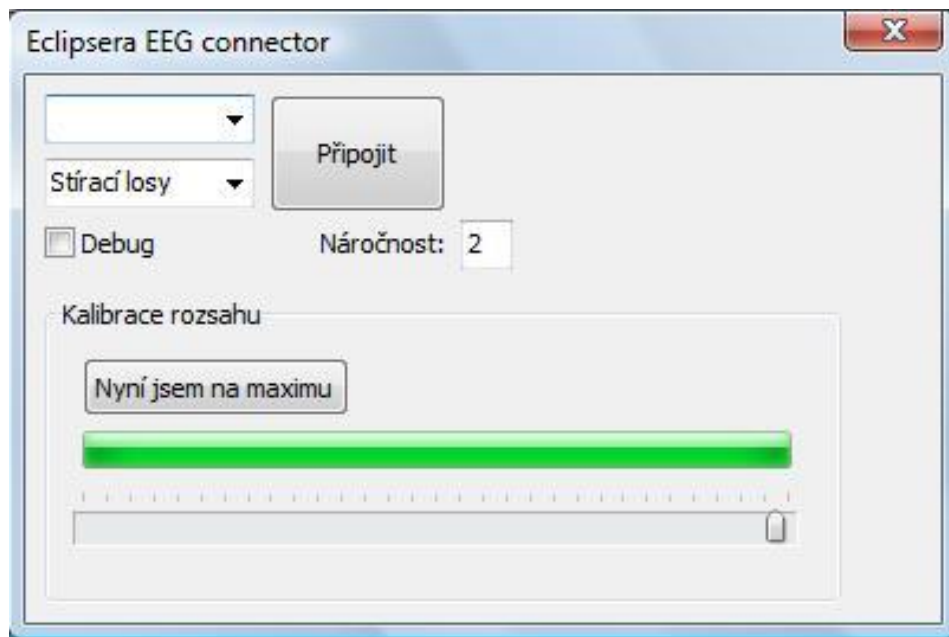
Obr. 25 - Algoritmus čtení dat, jejich následná filtrace a zobrazení



### 4.2.3. Builder C++

Vložené okno - viz obr. 26 je měřicí program, který zobrazuje vyhodnocené výsledky měření mozkových vln.

Obr. 26 - Zobrazovací program



V prvním prázdném okénku se nastavuje připojení zařízení, které je reprezentováno pod názvem COM. Je potřeba ve správci zařízení dohledat, jak se zařízení identifikovalo – jaké dostalo COM číslo portu. V druhém okénku si uživatel zvolí budoucí hru k tomuto zařízení. Tyto hry jsou nad rámec této práce, proto o nich nebude dále nic zmíněno. V okénku náročnost se nastavuje náročnost měřeného signálu, což znamená citlivost měření, které se dá změnit. Zelená lišta znázorňuje sílu soustředění. V poslední řadě se tu nachází manuální kalibrace, kde se jezdcem nastaví maximální hodnota měření a stiskne se tlačítko. To posouvá měřicí hranici na nižší hodnoty a tím můžeme sledovat větší nebo menší pokles signálu.

Tento design měřicího programu byl vytvořen v programu Builder 6 C++. Jedná se sice o placený program, ale je snadnější na vytvoření, než samotné visual C++ nebo assembler.

# 5 Profesionální zařízení

## 5.1. Mindflex a Mindball

Jedná se o hru, která je ovládaná myšlenkovými pochody EEG a je především určena pro ty, kteří nemají rádi tlak soutěží. Princip je podobný jako např. u hry Mindball jen s tím rozdílem, že nabízí hru s úpravou pro jednotlivce.

- Hráč sedí nad přístrojem, na hlavě má senzor
- Cílem jeho koncentrace je provést míček všemi překážkami, které mohou být přemísťovány a lze nastavit postupné zvyšování úrovně náročnosti
- Dráhu pro míček nastaví buď lektor, nebo to může být nemilosrdné publikum, které vybere tu nejnáročnější cestu

Ovládání předmětů silou myšlenky. Zní to jako sci-fi nebo hra budoucnosti pro paraplegiky. Žijeme v 21. století a vědci studující lidský mozek jsou zase o kus dál. Hry pro trénink mozku Mindflex a Mindball vyvinuté ve švédské neurolaboratoři jsou toho důkazem. Neotřelá aktivita, kterou lze uplatnit nejen na firemní party nebo zábavné akci. Soutěžící nemusí vynikat zvláštními mentálními schopnosti. Hry Mindball a Mindflex byly vyvinuty lékaři, vědci a IT odborníky, aby bystřily smysly, sloužily k procvičování mozku a zpomalovaly procesy stárnutí.

Trénink mozkových závitů je činnost, na kterou v posilovně nenajdeme žádný stroj. Naštěstí i pro tento sval byl vyvinut unikátní švédský hrací stůl Mindball - viz obr. 27, jež trénuje sílu naší myšlenky. Představte si hru, kde budete míček ovládat pouze svojí koncentrací a mozkovou aktivitou. Jak to vypadá?

- Dva hráči sedí proti sobě u speciálního stolu, na hlavě mají biosenzory (vypadá to jako sluchátka), které monitorují a vyhodnocují činnost mozku

- Každý z hráčů se silně soustředí a koncentrací se snaží přesouvat míček do branky na druhou stranu hřiště, v čemž mu soupeř brání
- Hráči a diváci mohou sledovat duševní procesy obou soupeřů na monitoru, kde je vizualizovaná mozková aktivita do grafické podoby
- Délka hry je díky námaze při soustředění obvykle krátká, jen několik minut, takže se během několika hodinové akce mohou pohodlně vystřídat všichni účastníci
- Hru sleduje lékař, který kontroluje průběh a radí, jak získat tu pravou koncentraci a vyhodnocuje závěry a zároveň učí práci s mozkovou kapacitou.

Obr. 27 - Soutěžící a publikum





## 5.2. Nexus

U tohoto profesionálního zařízení je záznam EEG u trénované osoby přepisován do grafické, lépe srozumitelné formy videohry, oproti našemu způsobu zobrazení dat, kterou hraje hráč bez pomoci joysticku, bez klávesnice a myši. Vše je ovládané jen myšlenkami. Činnost mozku je představena jako pohyb autíčka, řeky, koule nebo robota. Přímý pohyb je správný a znamená pro klienta, že jeho činnost mozku je odpovídající pro současné dobré soustředění a relaxaci svalů. Správná činnost mozku je odměňována úspěchem ve hře, vzrůstajícím počtem bodů a zvukovými signály - viz obr. 28. Jestliže autíčko sjíždí vlevo nebo vpravo z vyznačené trasy, úspěch se nedostaví.

Nežádoucí frekvence jsou spojeny s oslabením funkcí – například s horším soustředěním, horší pamětí, horší kvalitou spánku nebo kvalitou tvořivosti a jinými příznaky neregulované práce mozku.

EEG biofeedback a hlavně toto zařízení se používá v některých psychických, zdravotních, nervových a hlavně psychosomatických poruchách. Je součástí komplexního léčení dětí s dyslexií, dysgrafií, dyskalkulií a dyspraxií.

Dále se používá u problémů se soustředěním a pamětí, u spánkových problémů, u školních neúspěchů, bolesti hlavy a migrény.

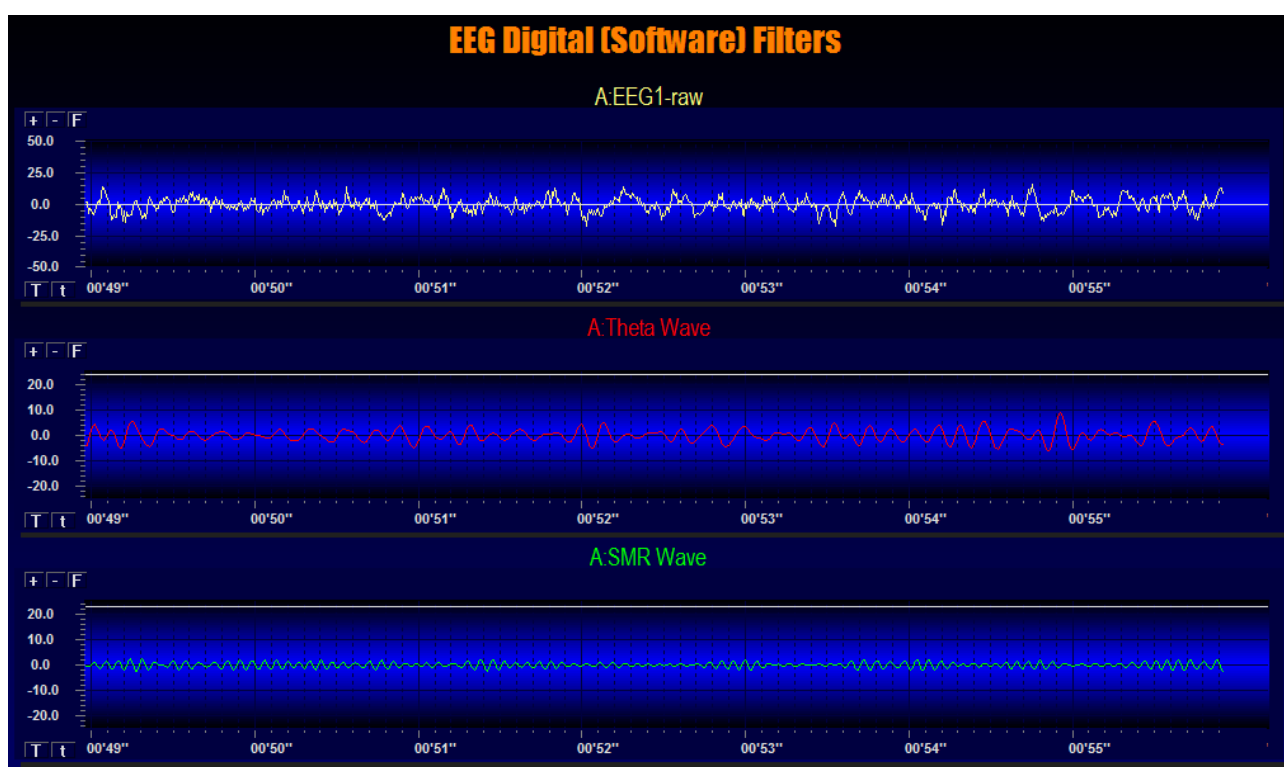
Mozek je řídicí orgán nervové soustavy. Lidský mozek má cca 100 miliard nervových buněk (neuronů), které vzájemně propojují tzv. synapse. Každá buňka tvoří až 20 000 spojení. Tato hustá síť spojení není stálá a s vývojem života se neustále mění, některá spojení se zesilují (např. učení) a jiná zanikají. Odborníci to nazývají "mozkovou plasticitou". Nervová vlákna dospělého člověka měří celkem 150 000 km. Mozek řídí a kontroluje tělesné funkce, jako je činnost srdce, trávení, pohyb, řeč, ale i samotné myšlení, paměť či vnímání emocí. Lidský mozek je uložen v lebeční dutině, ohraničen a chráněn kostmi neurokrania (mozkovny). Společně s míchou tvoří centrální nervovou soustavu, je nadřazeným nervovým centrem. Mozek je chráněn soustavou plen, v lebeční dutině „plave“ v mozkomíšním moku, který je rozváděn soustavou mozkových komor. Centrální nervová soustava CNS se skládá z mozku ( přední, střední a zadní) a míchy.

Laicky se dá mozek připodobnit k nasáklé školní houbě, která však řídí vše, co děláme.

Tajemnou mozkovou hmotu totiž tvoří 78 % vody. Zbytek představují tuky (10–12 %), bílkoviny (8 %), sacharidy (1 %) a anorganické soli (1 %). Biochemici i jiní experti se diví, jak takováto prapodivná směs může fungovat.

Mozek pracuje asi na 5–10 % své kapacity. V tomto nejsložitějším orgánu sídlí naše vědomí, myšlení, paměť i emoce. Sem se z celého těla sbíhají veškeré informace. Mozek je jako počítač, který informace vyhodnotí a vhodně na ně reaguje.

Obr. 28 - Grafické zpracování signálů



Nexus-10 má čtyři vestavěné širokopásmové zesilovače DC s rozsahem od 0 Hz (DC) do 800 Hz. Nexus používá oxidem potažené kabely s aktivním stíněním, které přenáší velmi čisté signály.

### 5.3. Pohled odborníků

Pro objektivní názor jsem konzultoval práci v havlíčkobrodské psychiatrické léčebně s primářem MUDr. Jiřím Konrádem, který pomůže objasnit celou situaci v oboru Biofeedback a celý postup léčby pacientů. Následně bude navržena jedna mladá pacientka, která by měla chodit na toto léčení. Tato terapie by mohla být provedena v rámci absolventské práce. Léčba by byla podle plánu rozdělena do jednotlivých sezení s pacientkou.

Profesionální zařízení Biofeedback slouží na zjištění nebo vyloučení mozkového postižení. Hlavně toto vyšetření nezatěžuje tělo pacienta, jako např. CT nebo magnetická rezonance. Zjišťují se tím nádory, výrony a jiné povrchové nemoci mozku, které nejsou uloženy hluboko v mozkové kůře.

Existují EEG atlasy, kde je zobrazeno, jak má EEG vypadat u zdravého člověka, a jak se mohou v EEG projevit různá onemocnění. Lékaři se učí, co je ještě normální EEG aktivita a co již signalizuje nějakou nemoc.

Epileptik se na EEG dobře pozná. Na křivkách se zobrazí ostré vlny, které se normálně neobjevují. Po úrazu hlavy nebo při nádorovém onemocnění hlavy se to projeví sníženou pozměněnou EEG aktivitou. Pokud se bude měřit EEG člověku, který trpí schizofrenií, zase bude signál vypadat trochu jinak. Důležité je, že z EEG nejde jednoznačně určit, o jakou nemoc se jedná. Lékař vidí, že to "nevypadá" tak, jak by mělo a provede další vyšetření.

Musíme si uvědomit, že máme v hlavě několik miliard neuronů. Každý z nich generuje nějaké malé napětí. Pod každou výslednou elektrodou se tedy může objevit zhruba jedna miliarda neuronů. Pokud jich spousta z nich souhlasně vyše signál, projeví se to jako napětí na EEG elektrodě. Takto můžou vznikat vlny různých frekvencí. V EEG je to zpravidla od 0.1 do 40 Hz.

V EEG záznamu je dobře vidět spánek. Pokud se bude zdravému člověku měřit EEG během noci, uvidíme, kdy usnul.

U zdravého člověka je možno pomocí terapií na EEG Biofeedbacku zlepšit paměť, či schopnost soustředění, což je vhodné zejména pro manažery, sportovce či studenty, kteří se připravují na důležité zkoušky.

Čím více si člověk uvědomuje vážnost situace a čím více se snaží na okolnosti zapomenout, tím více se nechává pohlcovat nervozitou. Mnohdy se stává, že člověk všechno nechává na poslední chvíli, a za tak krátkou dobu veškeré vědomosti nedokáže vstřebat.

# 6 Závěr

## 6.1. Nejčastější chyby v návrhu

Při všeobecném návrhu zařízení je dobré si uvědomit, jaké požadavky jsou na zařízení kladeny. Například cena, použití, velikost zařízení. Po uvědomění si těchto důležitých věcí se můžeme pustit do návrhu. Vše bylo navrhováno v programu Eagle-5.6.0 a během práce několikrát doplněno o různé knihovny a hlavně rozšíření celé verze.

V našem případě jsme chtěli, aby zařízení bylo malé a lehce přenosné, proto jsme zvolili pouzdra součástek v provedení SMD, což je povrchová montáž, která šetří čas, prostor i peníze.

Pokud se použijí nějaké součástky v pouzdře DIL, musí se v programu pro návrh přepnout na MIRROR, aby bylo splněno konečné osazení součástkami.

Zařízení může být nefunkční, i když je dobře navrženo a propojeno. Často se v návrhu zapomíná na napájení součástek ( například u integrovaných obvodů ) a hlavně na orientaci součástek. Na konec musí být provedeno kvalitní a přesné pájení součástek.

Nejdůležitější chyba, na kterou je třeba dávat pozor je, když je v návrhu několik uzemnění. Stále se musí kontrolovat, zda se uzemnění připojuje nebo propojuje se správnými piny, jako například AGND a DGND (analogová a virtuální zem).

Na velikost požadované součástky a její rozmístění pinů se při doplňování knihovny do programu Eagle také zapomíná.

V neposlední řadě je důležité i zapojení stínění – může v závěru hodně narušit a zkreslit měřený signál.

## 6.2. Splnění cílů práce

Podařilo se mi splnit všechny body zadání, avšak s mírnými změnami, které odsouhlasil vedoucí mé absolventské práce

Změna byla provedena u mikrokontroléru - pro menší rozměry zařízení byl navržen v provedení SMD. A zároveň byla možnost navrhnout celé zařízení menší, než bylo v původním plánu. Pro vytvoření Windows programu byly použity firemní šablony.

### **6.3. Možnosti dalšího rozšíření**

Další rozšíření by bylo možné v oblasti bezdrátového přenosu mezi řídicí elektronikou a měřicí členkou. Důležité v dnešní době je komunikace různých zařízení prostřednictvím bluetooth nebo wifi. Ukládání dat může být online do počítače nebo na SD kartu.

### **6.4. Testování**

Předešlá verze byla nákladnější na výrobu než verze stávající a i rozměrově se nemohla rovnat se současnou verzí. Verze byla doplněna o moderní konektory s kvalitními pájecími ploškami a to i pro stínění, které v měření hraje jednu z důležitých rolí při testování mozkové aktivity. Celé zařízení bylo podrobno zátěžovému testu ve skautském oddíle vodních skautů v Havlíčkově Brodě. Projekt byl testován i na větší skupině dětí různých věkových kategorií na skautské akci na táboře Ředkovák v okrese Havlíčkův Brod. Byl projeven zájem o zapůjčení na další společné akce.

Díky zimnímu období bylo zjištěno, kdy lidé nosí více vrstev oblečení, že se dostává na vstup měřeného signálu statická elektřina. To zapříčinilo, že celé zařízení se odpojilo od počítače v době měření. Proto zapojení bylo rozšířeno o blokovací obvod, který tomuto jevu zabraňuje.

Materiál měřicí členky s elektrodami byl několikrát obměňován, aby i při delším měření byl pohodlný. Nahrazuje je nový pružný a příjemný materiál neopren. Na počátku se zdálo, že materiál je ideální.

Bylo ho však třeba ještě vyztužit, aby nedocházelo k ulamování drátků od měřících kontaktů. Díky vyztužení členky byl problém s měřením vyřešen. V budoucnu se objevil další problém s měřením signálu na vstupu, ale už se nejednalo o ulomené měřicí elektrody.

Chyba byla na vstupu do zařízení, konkrétně v propojovacím konektoru mezi čelenkou a zařízením. Byl zde použit levný konektor s třemi piny a se stíněním, které bylo zapojeno na pouzdrě konektoru. To bylo velmi špatné nejen při pájení, ale také zde docházelo k častému ulamování stínění při delším používání. Konektor byl nahrazen za konektor se čtyřmi piny, kde i stínění zaujímal svůj vlastní pin. Zde nebyla tak velká pravděpodobnost ulomení.

U profesionálního zdravotnického zařízení se používá vodivý gel. Ten by však nebyl vhodný při vypůjčení zařízení na různá firemní školení nebo jednání. Proto stačí jen navlhčit měřicí elektrody a materiálově je na to čelenka připravena. Díky dalšímu testování bylo zjištěno, že pokud elektrody mají nedostatečný vodivý kontakt s pokožkou, postačí si čelenku ponechat na hlavě řádově desítky vteřin, kdy dojde k opocení pokožky čela a vodivý kontakt se stane dostatečný.

Po mnoha testováních je zařízení stabilní.

Obr.29 - Testované zařízení v praxi



# 7 Literatura

- [1] JIŘÍ ROZMAN A KOLEKTIV. *Elektronické přístroje v lékařství*. Praha: Academia, 2006. 10173. ISBN 80-200-1308-3.
- [2] VRECKOVÁ, Helena VĚDA  
[http://vtm.zive.cz/cinnost-mozku-mapovana-specialnim-implantatem?utm\\_source=finexpert&utm\\_medium=selfpromo&utm\\_campaign=rsshubonline2012-04-27](http://vtm.zive.cz/cinnost-mozku-mapovana-specialnim-implantatem?utm_source=finexpert&utm_medium=selfpromo&utm_campaign=rsshubonline2012-04-27)
- [3] PLEVKOVÁ, Lenka. Eeg signály: Úvod do biomedicínské informatiky. In: [online]. [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: [gerstner.felk.cvut.cz/biolab...Plevkova\\_EEG.ppt](http://gerstner.felk.cvut.cz/biolab...Plevkova_EEG.ppt)
- [4] [gerstner.felk.cvut.cz/biolab/X33BMI/slides/cviceni\\_3\\_EKG\\_pozn.pdf](http://gerstner.felk.cvut.cz/biolab/X33BMI/slides/cviceni_3_EKG_pozn.pdf)
- [5] BEZDĚK, Miroslav. *Elektronika I.: učebnice*. České Budějovice: kopp, 2005. ISBN 80-7232-171-4.
- [6] HÁJEK, Karel; SEDLÁČEK, Jiří. Kmitočtové filtry. 1. vyd. v BEN – technická literatura, Praha 2002.535 s. ISBN 80-7300-023-7.
- [7] SOVKA, Pavel, Roman ČMEJLA a Ladislav ŠMEJKAL. Když se řekne ..: Číslíkové filtry. s. 3. Dostupné z: <http://www.automatizace.cz/article.php?a=792>
- [8] `<?xml version="1.0"?>`<http://cz.farnell.com/atmel/atmega328p-au/mcu-8bit-avr-32k-flash-32tqfp/dp/1715486online2012-04-26>
- [9] Vzorce: pro elektroniku.  
7.dotisk 1.českého vydání. Praha: Ben, 2007. ISBN 80-86056-53-8.
- [10] KESTER, W. *Analog-Digital Conversion* [online]. ADI Central Applications Department, March 2004 [cit. 10. 11. 2011]. ISBN 0-916550-27-3. Dostupné z URL: `<http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/39-06/data_conversion_handbook.html>`.
- [11] ADRIAN KUNDERT. *WinFilter: FREeware*. Ver 0.8. 2004. Dostupné z: [www.winfilter.20m.com](http://www.winfilter.20m.com)



# 8 Seznam obrázků

1. obr. Celosvětové rozmístění elektrod pro EEG
2. obr. Komunikace mozkových buněk
3. obr. Blokové schéma
4. obr. Měřicí čelenka se zapojeným stíněním
5. obr. Blokovací obvod
6. obr. Útlum mezi vstupem a výstupem
7. obr. Zašuměný signál vlivem měřidla
8. obr. Integrovaný obvod INA114P
9. obr. Odpory nastavující zesílení
10. obr. Diferenční zapojení operačního zesilovače
11. obr. Horní propust
12. obr. Zesilovač s proměnným zesílením
13. obr. Propojení A/D převodníku s Mikrokontrolérem
14. obr. Datová komunikace A/D mikrokontroléru
15. obr. Mikrokontroléry DIL a SMD provedení
16. obr. Hlavní panel programu
17. obr. Nastavení rastru návrhu
18. obr. Hledání v knihovnách
19. obr. Schéma zapojení
20. obr. Plošný spoj
21. obr. Propojení Arduina na nahrání bootloaderu
22. obr. Platforma Arduina
23. obr. Vývojové prostředí Arduina
24. obr. Blokové schéma Algoritmu
25. obr. Algoritmus čtení dat, jejich následná filtrace a zobrazení
26. obr. Zobrazovací program
27. obr. Soutěžící a publikum
28. obr. Grafické zpracování signálu
29. obr. Testované zařízení v praxi