

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ  
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

# Bakalářská práce

---

Přístroj pro verifikaci základních signálů

Vedoucí práce

Ing. Žahour Jiří

Autor

Vondráček Patrik

Plzeň 2015

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2014/2015

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Patrik VONDRÁČEK**  
Osobní číslo: **E12B0208P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Technická ekologie**  
Název tématu: **Přístroj pro verifikaci základních signálů**  
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

**Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :**

Vytvořte zařízení schopné monitorovat základní parametry elektrických periodických signálů (frekvence, amplituda, efektivní hodnota).

1. Popište základní typy A/D převodníků, popište princip vzorkování
2. Navrhněte obvodové zapojení zařízení
3. Zapojení zrealizujte
4. Naprogramujte firmware schopný měřit základní vlastnosti signálu

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**

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

Seznam odborné literatury:

**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí bakalářské práce:

**Jiří Žahour**


Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2015**

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá návrhem a následnou realizací přístroje, který umožňuje měření základních parametrů elektrického signálu. Výstupem jsou informace o frekvenci, amplitudě, střední a efektivní hodnotě. Práce rovněž shrnuje základní metody pro digitalizaci analogových signálů.

## **Abstract**

This thesis processes the design and realization of a device, which allows the measurement of basic electric signal parameters. The output amounts the information of frequency, amplitude, medium and effective value. The thesis also compiles basic methods of analog signal digitization.

## **Klíčová slova**

Vlastnosti signálu, A/D převodník, digitalizace, mikropočítač, LCD.

## **Key words**

Signal characteristics, A/D converter, digitization, microcontroller, LCD.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....  
podpis

## Obsah

---

Abstrakt.....	4
Seznam obrázků .....	9
Seznam zkratek.....	10
Úvod .....	11
1 A/D převodníky, principy fungování, základní typy .....	12
1.1 Princip funkce.....	12
1.2 Aliasing.....	12
1.3 Vzorkování.....	13
1.4 Kvantování.....	13
1.5 Chyby A/D převodníků .....	14
1.6 Základní typy A/D převodníků .....	15
2 Základní vlastnosti signálu.....	19
2.1 Amplituda.....	19
2.2 Rozkmit .....	19
2.3 Frekvence .....	19
2.4 Efektivní hodnota .....	19
2.5 Střední hodnota .....	20
3 Obvodové zapojení přístroje .....	21
3.1 Vstupní obvod.....	21
4 Obsluhující software mikrokontroléru.....	23
4.1 Digitalizace vstupního signálu .....	23
4.2 Integrace signálu .....	23
4.3 Určení frekvence a periody .....	23

4.4	Časování.....	24
4.5	Textový výstup.....	24
4.6	Princip funkce.....	25
5	Závěr.....	27
6	Použitá literatura.....	28
7	Přílohy.....	29
7.1	Příloha 2 – schéma zapojení.....	29
7.2	Příloha 3 – návrh DPS.....	30
7.3	Příloha 4 – hotové zařízení.....	31



**Seznam obrázků**

Obr. 1 Průběh vzorkování (Zdroj: [4]).....	13
Obr. 2 Průběh kvantování (Zdroj: [4]).....	13
Obr. 3 Paralelní A/D převodník (Zdroj: [6]).....	15
Obr. 4 Kompenzační čítací A/D převodník (Zdroj: [6]) .....	16
Obr. 5 Převodník s postupnou aproximací (Zdroj: [6]) .....	17
Obr. 6 Převodník s dvojitou integrací .....	18
Obr. 7 Zapojení vstupního obvodu (zdroj: [2]) .....	21
Obr. 8 Referenční napětí (zdroj: [2]).....	22
Obr. 9 Integrace signálu (zdroj: [2]).....	23
Obr. 10 Vývojový diagram .....	25

### **Seznam zkratk**

<b>A/D</b>	Analog to digital converter
<b>DPS</b>	Deska plošných spojů
<b>LCD</b>	Liquid-crystal display
<b>LSB</b>	Least Significant Bit
<b>MSB</b>	Most Significant Bit

## Úvod

Cílem této práce je realizace zařízení, které umožňuje měření základních vlastností elektrického signálu. Měřené veličiny jsou: frekvence, amplituda, střední a efektivní hodnota.

Pro realizaci jsem se rozhodl použít jednočipový počítač značky Freescale, typ MCF51QE32LH. Důvodem je dostatečná výpočetní kapacita, vhodné periferie a příznivá cena.

Pro digitalizaci signálu je použit 12 bitový A/D převodník. Měření probíhá ve dvou fázích, v první je odebráno ze signálu 1000 vzorků s intervalem podle nastaveného rozsahu. Ve druhé fázi jsou všechny vzorky analyzovány a vyhodnoceny.

Naměřené údaje jsou uživateli předány pomocí dvouřádkového LCD displeje značky Winstar, typ WH1602A. Důvodem pro zvolení je snadná dostupnost a příznivá cena.

Návrh schématu, desky plošných spojů je realizovaný v návrhářském software Eagle, samotná výroba DPS byla provedena na frézce katedry aplikované elektroniky a telekomunikací.

## 1 A/D převodníky, principy fungování, základní typy

Základní činností analogově – digitálního převodníku je transformace analogového (spojitého) signálu na signál digitální. Digitální forma signálu je vhodná pro další číslicové zpracování (například v mikropočítači) a pro ukládání. Je důležité uvážit, že digitalizace analogového signálu je v reálných případech ztrátová a dochází ke zkreslení původního signálu. Je třeba vhodně zvolit A/D převodník s ohledem na parametry původního signálu. A/D převodníky jsou v dnešní době velmi rozšířené. Využívají se víceméně v každém elektronickém zařízení, které obsahuje analogové vstupy.

### 1.1 Princip funkce

Spojité signály je třeba převést na takovou digitální formu, aby bylo možné průběh signálu vyjádřit pomocí čísel. Základní princip spočívá v přiřazení hodnoty průběhu v každém časovém úseku signálu. To by však vyžadovalo nekonečnou výpočetní kapacitu, proto se reálně využívají konečné vzorkovací frekvence a omezený počet kvantizačních úrovní. Získaná data poté udávají přibližnou hodnotu signálu (přesnost je závislá na počtu kvantizačních úrovní) ve stejně dlouhých intervalech, dle vzorkovací frekvence.

### 1.2 Aliasing

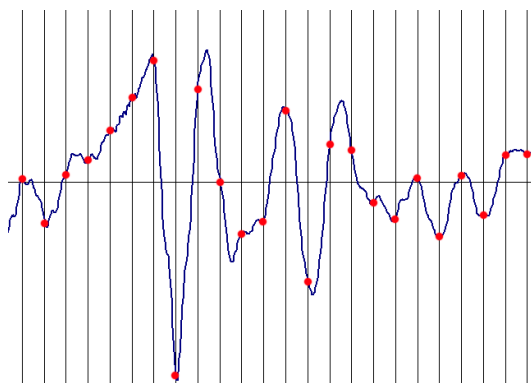
Je jev, který vzniká, pokud je vzorkovací frekvence nižší, než je dvounásobek největší frekvence obsažené v analyzovaném signálu. V takovém případě dochází k úplnému a nenávratnému zkreslení signálu.

#### 1.2.1 Anti-aliasing filtr

Prevenčí vzniku aliasingu je omezení frekvencí, které vstupují do A/D převodníku. Jedná se tedy o filtr typu dolní propust, který má za úkol odfiltrovat frekvence větší, než je tzv. Nyquistova frekvence, tedy polovina vzorkovací frekvence.

### 1.3 Vzorkování

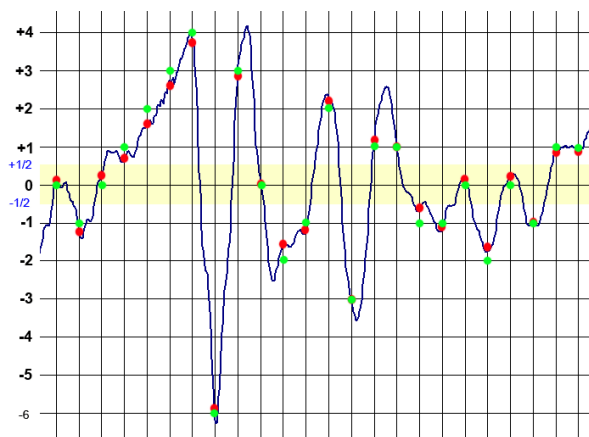
Vzorkování je odečtení hodnoty signálu v daných časových intervalech. Jejich četnost za jednotku času se nazývá vzorkovací frekvence a je jedním ze základních parametrů digitalizace analogových signálů.



Obr. 1 Průběh vzorkování (Zdroj: [4])

### 1.4 Kvantování

Časová osa byla při vzorkování rozdělena do intervalů dle vzorkovací frekvence. V těchto intervalech odečítáme úroveň signálu, kterou je však dále třeba upravit, jelikož nemáme prostředky pro číslcové vyjádření nekonečně mnoha hodnot. Z toho důvodu zařazujeme údaje do kvant. Ta lze vyjádřit jako definované hodnoty na vertikální ose, kolem kterých je toleranční oblast (polovina vzdálenosti dvou kvant,



Obr. 2 Průběh kvantování (Zdroj: [4])

v obou směrech). Ke každému vzorku je přiřazen údaj o tom, ve které kvantizační úrovni se nachází. To má za následek zkreslení, které odpovídá vzdálenosti na vertikální ose mezi skutečným signálem a kvantizační úrovní.

Základní kvantizační úroveň je dána vztahem  $Q = \frac{U_r}{2^n}$ , kde „ $U_r$ “ je referenční napětí převodníku a „ $n$ “ počet bitů převodníku. [1]

## 1.5 Chyby A/D převodníků

Oproti ideálnímu převodníku vykazují reálné převodníky chyby, které ovlivňují přesnost naměřených dat.

### 1.5.1 Kvantizační šum

Jedná se o projev zaokrouhlování při kvantování. Jeho hodnota je úměrná rozdílu hodnoty kvantizační hladiny a skutečného signálu.

### 1.5.2 Chyba nuly (offsetu)

Jedná se o posunutí reálné charakteristiky A/D převodníku po napěťové ose vzhledem k nule. U ideálního převodníku dochází ke změně, když je vstupní signál v polovině kvantizační úrovně (za předpokladu offsetu  $\frac{1}{2}$  LSB). [1]

### 1.5.3 Chyba zisku

Je vyjádřena jako rozdíl skutečného rozsahu A/D převodníku a rozsahu ideálního převodníku. Je způsobena odchylkou mezi sklony převodních charakteristik ideálního a skutečného převodníku. [1]

### 1.5.4 Integrální nelinearita

Vyjadřuje největší odchylku skutečné charakteristiky (resp. spojnicí středů kvantizačních hladin) od charakteristiky ideální. [1]

### 1.5.5 Diferenciální nelinearita

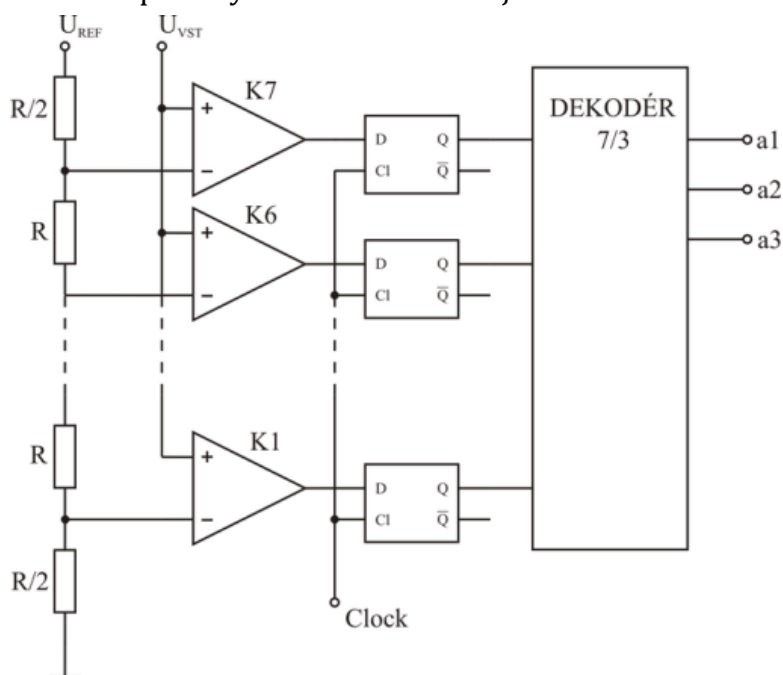
Je způsobena různou šířkou kvantizačních hladin. To má za následek špatné vyhodnocení vstupního napětí. [1]

## 1.6 Základní typy A/D převodníků

Existuje více způsobů jak převádět analogové signály na digitální. V základu je lze rozdělit na přímé a nepřímé, přičemž přímé převodníky převádějí danou napěťovou úroveň přímo na digitální kód, např. paralelní A/D převodník. Oproti tomu nepřímé vycházejí z převodu napětí na kmitočet a následné čítání pulzů za jednotku času.

### 1.6.1 Paralelní A/D převodník

Referenční napětí je rozděleno pomocí odporové sítě na několik intervalů, které tvoří kvantizační hladiny. Každá hladina je připojena na jeden komparátor, tedy počet hladin určuje počet komparátorů. Druhý vstup komparátoru je připojen na vstupní napětí. Rychlost vzorkování je dána frekvencí hodinového signálu, který řídí klopné

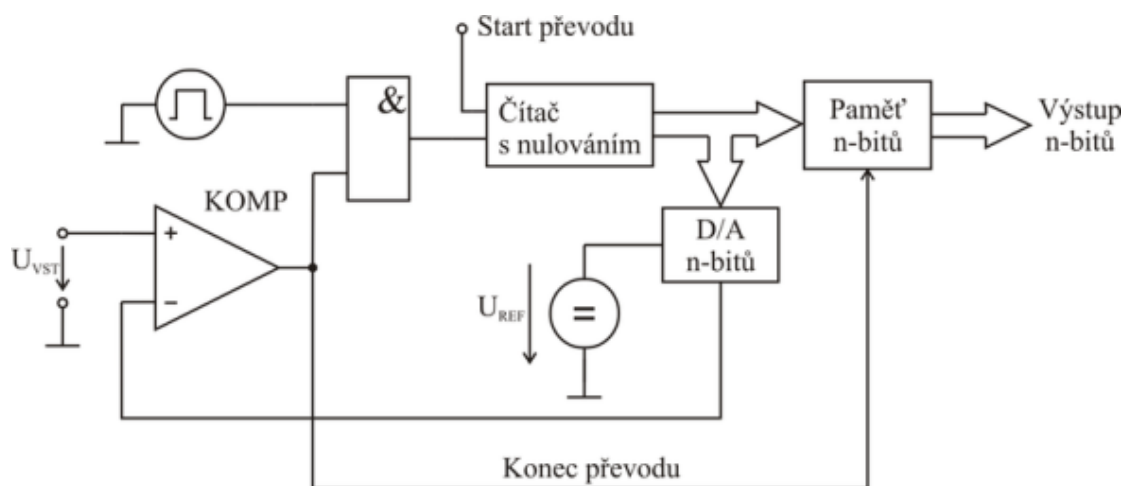


obvody připojené na výstup komparátorů. Stav jednotlivých klopných obvodů na výstupu odpovídá napětí přivedenému na vstupu. Tento stav je poté možné převést do binárního kódu.

Obr. 3 Paralelní A/D převodník (Zdroj: [6])

### 1.6.2 Kompenzační čítací A/D převodník

Vstup je připojen do komparátoru, jehož druhý vstup je připojen na výstup D/A převodníku. Pomocí hradla AND a hodinového signálu se inkrementuje hodnota v čítači (čítá od nuly, pouze pokud je na výstupu hradla AND logická „1“). Výstup čítače je připojen na D/A převodník, který dle hodnoty v čítači zvyšuje své napětí. Jeho výstup je připojen na druhý vstup komparátoru. V okamžiku, kdy bude na výstupu D/A převodníku napětí větší než je na vstupu, objeví se na výstupu komparátoru záporné saturační napětí a na vstup hradla AND bude přivedena logická „0“. Toto má za následek zastavení čítání. Hodnota v čítači poté odpovídá napětí na vstupu.

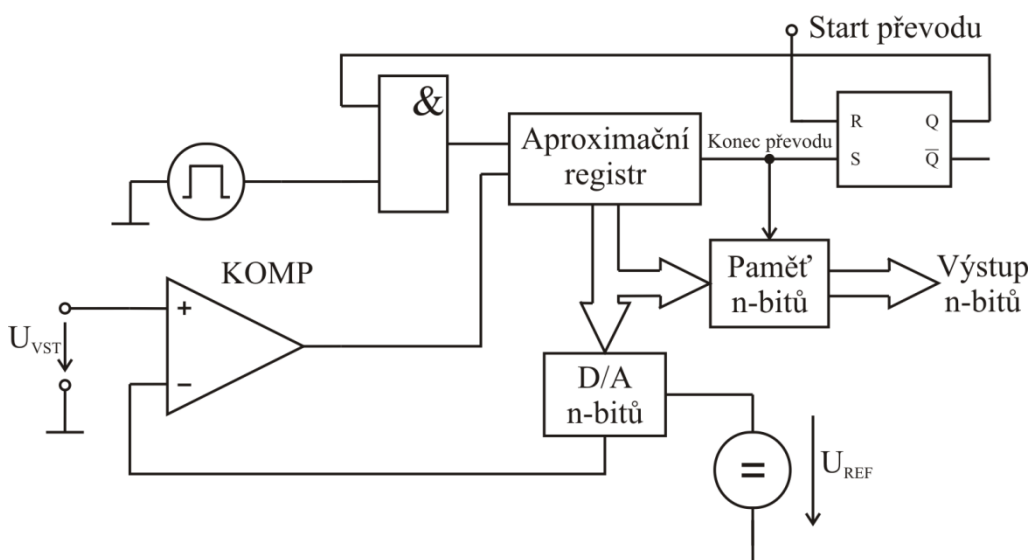


Obr. 4 Kompenzační čítací A/D převodník (Zdroj: [6])



### 1.6.3 A/D převodník s postupnou aproximací

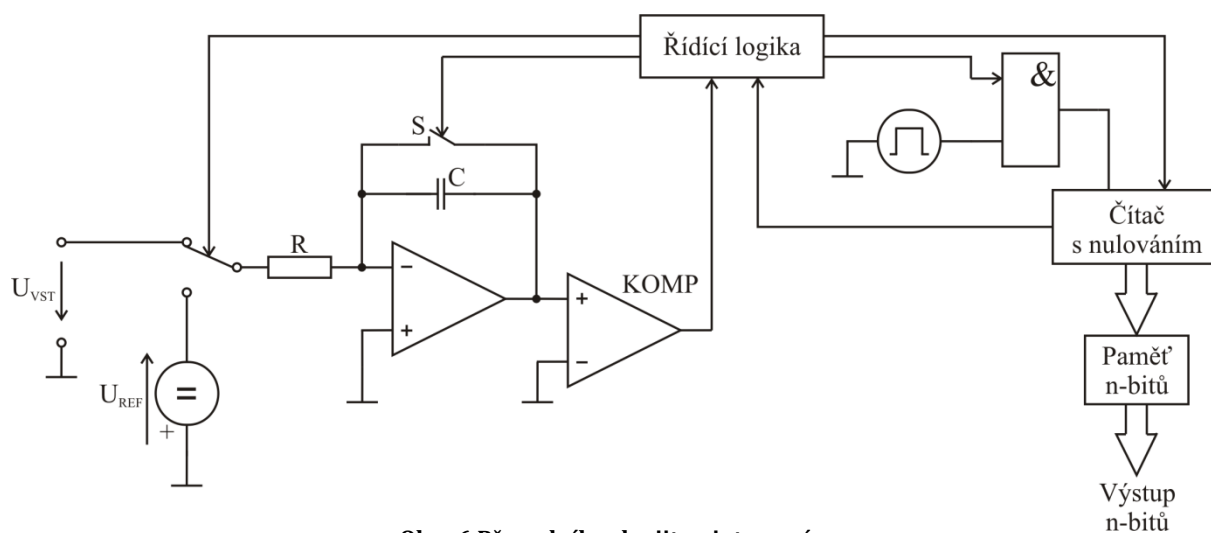
Převodník obsahuje vstupní komparátor, rychlý převodník D/A, aproximační registr, případně generátor taktu. Při zahájení převodu se přivede impulz na vstup aproximačního registru. Ten nastaví při první hraně hodinového signálu po startovacím pulzu na svých výstupech kombinaci, která odpovídá polovině rozsahu převodníku. Pomocí D/A převodníku je tato hodnota transformována na napětí, které odpovídá polovině referenčního napětí. Pomocí komparátoru je porovnána hodnota vstupního napětí s hodnotou napětí na výstupu D/A převodníku. Je-li vstupní napětí větší, změní se v pořadí další váhový bit po MSB na „1“ a proces se opakuje, dokud není hodnota na výstupu převodníku rovna vstupu  $\pm \frac{1}{2}$  kvantizačního pásu. [1]



Obr. 5 Převodník s postupnou aproximací (Zdroj: [6])

### 1.6.4 A/D převodník s dvojitou integrací

Převod probíhá ve dvou fázích. V první fázi je vstupní napětí připojeno na vstup integrátoru, který je na začátku vynulován. Výstupní napětí integrátoru tedy klesá se strmostí dle hodnoty vstupního napětí. Od okamžiku zahájení integrace začíná čítat čítač, který čítá až do svého přetečení. V okamžiku přetečení je na vstup přivedeno záporné referenční napětí, čítač vynulován a výstupní napětí integrátoru se začíná zvětšovat (rychlost závisí na velikosti referenčního napětí). V okamžiku, kdy výstupní napětí integrátoru dosáhne nuly, dojde k zastavení čítání – a hodnota v čítači odpovídá hodnotě vstupního napětí.



Obr. 6 Převodník s dvojitou integrací

## 2 Základní vlastnosti signálu

Signály jsou nejčastěji uvažovány jako napěťová funkce času. Lze je v základu rozdělit na analogové a diskrétní. Analogovými se rozumí takové signály, které jsou spojité v čase. Nejčastěji se setkáváme s harmonickými signály - sinusoidami. Diskrétní signály mají ve svém průběhu skoky, využívají se při digitálním zpracování. Pro měření analogových signálů pomocí mikrokontroléru nebo jinými výpočetními nástroji je třeba provést digitalizaci (viz. A/D převodníky).

### 2.1 Amplituda

Jedná se o maximální hodnotu průběhu vzhledem k nulovému napětí. U harmonických signálů je třeba brát v potaz rozdíl mezi kladnou a zápornou amplitudou, tedy maximální úrovně kladné a záporné půlvlny.

### 2.2 Rozkmit

Také označována jako hodnota „špička – špička“ je rozdíl mezi hodnotou kladné a záporné amplitudy.

### 2.3 Frekvence

Charakterizuje rychlost průběhu. Označuje počet opakování (period) za jednotku času. Převrácenou hodnotou je doba průběhu jedné periody.

### 2.4 Efektivní hodnota

Vychází z výkonových účinků (resp. tepelných účinků) stejnosměrného a střídavého napětí. Při znázornění střídavého průběhu do grafu je efektivní hodnota rovna ploše, kterou průběh obsahuje. U stejnosměrného signálu je rovna maximální hodnotě (za předpokladu konstantní funkce). Střídavý průběh o určité efektivní hodnotě bude mít stejné výkonové tepelné účinky jako stejnosměrný konstantní průběh o stejné hodnotě.

$$U_{ef} = \frac{1}{T} \sqrt{\int_0^T u^2(t) dt}$$

Rovnice (1)

V případě výpočtu efektivní hodnoty z digitálního signálu se postupuje tak, že se sčítají plochy obdélníků, jejichž jedna strana je reprezentována úrovní napětí a druhá strana časem.

$$U_{ef} = \frac{1}{n} \cdot \sum_0^n |u| \cdot \Delta t$$

Rovnice (2)

Kde  $n$  představuje počet úseků signálu,  $\Delta t$  časový rozestup mezi úseky. V tomto případě je  $n$  reprezentováno počtem vzorků naměřených po dobu jedné periody,  $\Delta t$  časovou prodlevou mezi jednotlivými vzorky.

## 2.5 Střední hodnota

Za dobu  $T$  projde daným průřezem stejně velký náboj, jako kdyby jím procházel stejnosměrný proud o velikosti střední hodnoty.

$$U_{str} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt$$

Rovnice (3)

Pro diskrétní průběh:

$$U_{str} = \frac{1}{n} \cdot \sum_0^n u \cdot \Delta t$$

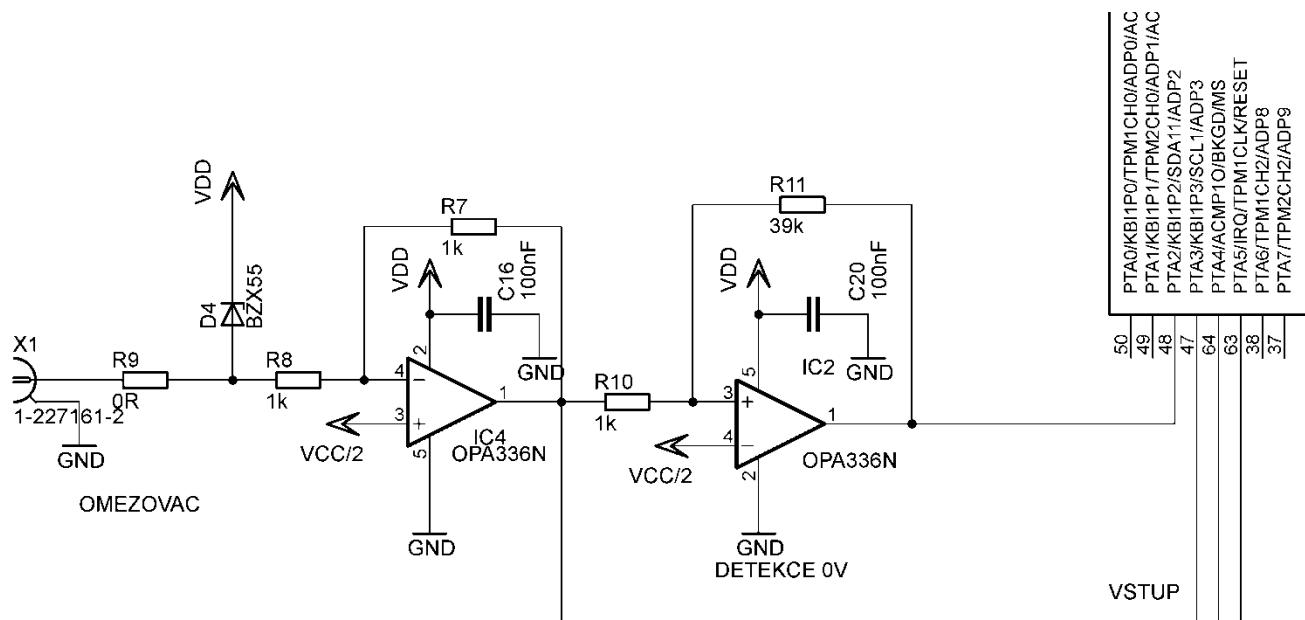
Rovnice (4)

### 3 Obvodové zapojení přístroje

Nejdůležitější částí zapojení je jednočipový počítač Freescale MCF51QE32LH, na kterém probíhají veškeré výpočetní operace. Napájení je řešeno externím napájecím zdrojem, přičemž přivedené napětí je stabilizováno na hodnotu 3,3 V. Taktování je zařízeno externím krystalem o frekvenci 16 MHz, dále násobenou v procesoru na 24 MHz.

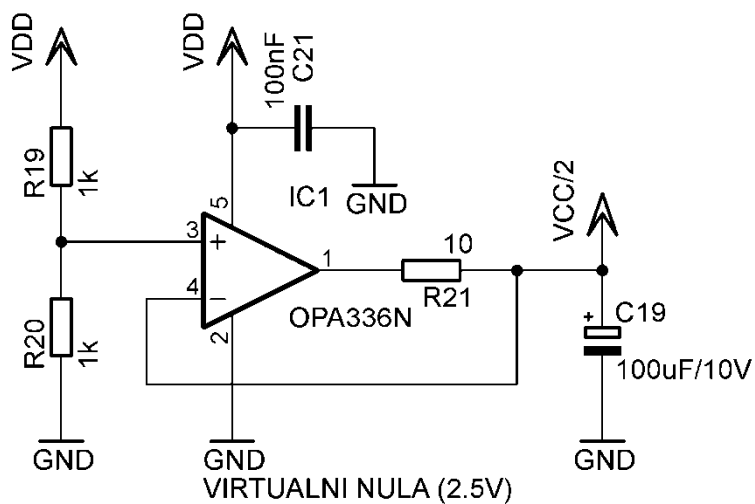
#### 3.1 Vstupní obvod

Samotný analyzovaný signál je přiváděn přes dvojici operačních zesilovačů, z nichž první je zapojen jako invertující zesilovač se zesílením -1. Zároveň tento operační zesilovač posunuje nulovou úroveň signálu na hodnotu poloviny napájecího napětí. Tím je umožněno snímat i zápornou půlvlnu sledovaného průběhu. Výstup z tohoto operačního zesilovače je přiváděn na vstup A/D převodníku mikropočítače a zároveň do dalšího operačního zesilovače zapojeného jako komparátor s hysterezí. Napětí je zde porovnáváno s polovinou napájecího napětí, tedy s hodnotou, která u původního signálu odpovídá nule. Účelem je hardwarová detekce průchodu nulovým napětím.



Obr. 7 Zapojení vstupního obvodu (zdroj: [2])

Napěťová úroveň  $VCC/2$ , tedy polovina napájecího napětí je dosažena pomocí napěťového děliče 1:1 a operačního zesilovače zapojeného jako sledovač napětí. Display a ovládací prvky jsou umístěny externě, připojení je možné pomocí konektorů umístěných na DPS



Obr. 8 Referenční napětí (zdroj: [2])

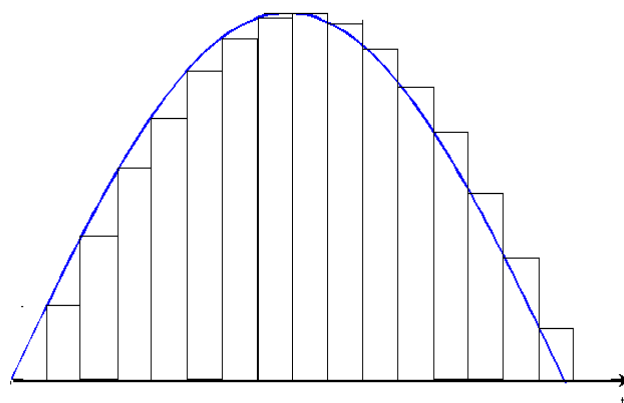
## 4 Obsluhující software mikrokontroléru

### 4.1 Digitalizace vstupního signálu

Vstupní signál, který je do mikrokontroléru přiváděn přes vstupní obvod, je invertovaný a posunutý o polovinu napájecího napětí. Pomocí integrovaného 12 bitového A/D převodníku je následně převeden do digitální podoby. Data z A/D převodníku jsou následně uloženy k pozdějšímu zpracování.

### 4.2 Integrace signálu

Určení plochy je nezbytné pro výpočet efektivní a střední hodnoty. Probíhá numericky (viz. Rovnice (2) a Rovnice (4)), v základu je každých  $5 \mu\text{s}$  je z A/D převodníku určena velikost vstupního napětí. Podle zvoleného rozsahu je volena frekvence vzorkování. Jelikož tento proces probíhá periodicky, lze plochu aproximovat pomocí součtu ploch obdélníků, jejichž jedna strana je reprezentována velikostí vstupního napětí a druhá strana dobou periody vzorkování.



Obr. 9 Integrace signálu (zdroj: [2])

### 4.3 Určení frekvence a periody

Hodnoty vstupního napětí jsou během vzorkování z časových důvodů jen ukládány. Po navzorkování 1000 hodnot (s periodou dle rozsahu) je vzorkování zastaveno a mikrokontrolér provede analýzu naměřených dat. Určení frekvence spočívá ve stanovení časové prodlevy mezi dvěma špičkami. To je softwarově realizováno určením maximální hodnoty a měřením počtu vzorků do další maximální hodnoty (počítá se s několikaprocentní tolerancí, z důvodu nepřesnosti A/D převodníku, či kolísání vstupního signálu).

#### 4.4 Časování

Aby měřené údaje byly přesné, je třeba vzorkování provádět v pevných časových intervalech. O celkový chod přístroje se starají dva časovače.

První má za úkol generovat přerušení o frekvenci dle nastaveného rozsahu. V momentě kdy k přerušení dojde, zapne se A/D převodník. Po dokončení převodu dojde k dalšímu přerušení, čímž je zajištěno bezodkladné uložení naměřené hodnoty do paměti. Díky tomu lze pracovat při frekvencích, které se blíží k hraničním možnostem s ohledem na dobu převodu a dobu zpracování.

S ohledem na přesnost je třeba mít za dobu jedné periody co nejvíce vzorků. Při nízkém počtu vzorků (pomalé vzorkovací frekvenci) dochází ke zkreslení. Ovlivněna je jak hodnota periody, tak hodnoty efektivní a střední hodnoty. S ohledem na to je nutné mít při měření na přístroji nastavený správný rozsah.

Druhý časovač zajišťuje aktualizování údajů na displeji, probíhá 1x za sekundu.

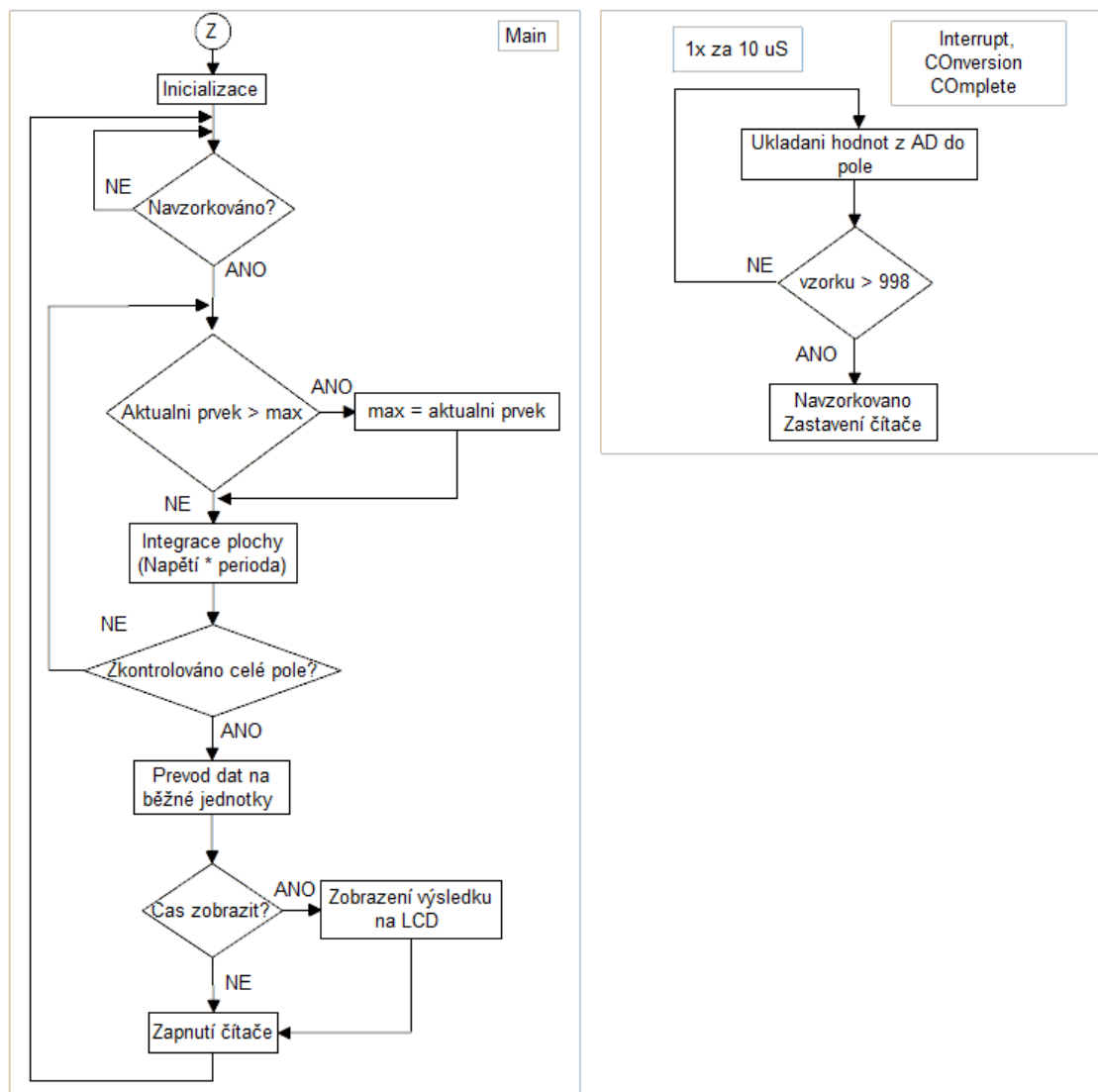
#### 4.5 Textový výstup

Výstup z přístroje je realizován pomocí LCD displeje s řadičem. Použit byl dvouřádkový displej značky Winstar typu WH1602A.

Na displeji jsou zobrazeny vždy jen dva údaje. Pro zobrazení dalších údajů je třeba stisknutí tlačítka na externí klávesnici přístroje.



## 4.6 Princip funkce



Obr. 10 Vývojový diagram

Na vývojovém diagramu je stručně popsána činnost softwaru mikrokontroléru. Celý zdrojový kód je k dispozici na příloženém CD.

Při zapnutí proběhne inicializace mikrokontroléru, nastaví se potřebné registry na požadované hodnoty a odstartuje se činnost časovačů. Podle rozsahu jsou poté odebrány vzorky (časování zajišťuje čítač s přerušením). Po navzorkování následuje analýza pole (uložené vzorky), resp. hledání maximálních hodnot. Souběžně s tím probíhá integrace signálu. Jakmile je analyzováno celé pole (resp. našli jsme alespoň dvě maximální hodnoty), následuje výpočet sledovaných hodnot. Perioda je určena jako rozestup mezi dvěma špičkami (resp. počet vzorků mezi nimi) násoben dobou, která byla vyhrazena na jeden vzorek.

Frekvenci lze vypočítat jako převrácenou hodnotu periody. Střední a efektivní hodnotu dle rovnic Rovnice (2) a Rovnice (4). Naměřené hodnoty jsou poté uloženy do pole, jehož obsah se jedenkrát za sekundu vypíše na displej. V případě, že uživatel rozhodne o změně rozsahu během vzorkování, je celý proces zastaven a všechny důležité registry vynulovány. Poté je vzorkování znovu zahájeno.

Podle volby uživatele jsou do pole pro displej uloženy jen ty hodnoty, které chce uživatel zobrazit (jeden údaj na jeden řádek).

Následuje vynulování všech důležitých registrů a proces se cyklicky opakuje. Během výpočtů je pozastaven čítač pro vzorkování, přerušení by zbytečně brzdilo výpočet.

## 5 Závěr

V první části práce jsou popsány základní druhy A/D převodníků a principy jejich činnosti. Druhá část se zaměřuje na popis činnosti přístroje. Popsány jsou nejdůležitější části hardwaru a princip firmwaru.

Zařízení je funkční, pracuje v rozsahu řádově jednotek Hz až desítek KHz. Sledované parametry přístrojem jsou frekvence, perioda, amplituda, střední a efektivní hodnota.

Uživatel pomocí externí klávesnice může měnit rozsah a zobrazované veličiny na displeji. V případě, že je frekvence nižší, než je frekvence vstupního signálu, objeví se hláška „mimo rozsah“. Zobrazované veličiny jsou vždy dvě, v následujícím uskupení: frekvence + perioda, efektivní + střední hodnota. Vzhledem k tomu, že měřit lze jen střídavé signály, je střední hodnota při souměrném signálu rovna nule.

### Návrhy na zlepšení:

Vzhledem k posunutí vstupního signálu o hodnotu poloviny napájecího napětí dochází ke zkreslení v případě, že je vstupní signál stejnosměrný. To lze vyřešit např. dvojicí měřících sond, jedna pro střídavé, druhá pro stejnosměrné signály. V případě sondy pro signály pro stejnosměrné průběhy by nebyl v činnosti operační zesilovač realizující posunutí signálu o polovinu napájecího napětí.

## 6 Použitá literatura

[1]. **J. Pinker, V. Koucký.** *Analogové elektronické systémy.* Plzeň : Vydavatelství Západočeské univerzity, 1999.

[2]. **Vlastní.**

[3]. **Horčík, Zdeněk.** Snímání biologických signálů. [Online]  
[https://cw.fel.cvut.cz/wiki/\\_media/courses/a6m31let/04\\_digitalizace.pdf](https://cw.fel.cvut.cz/wiki/_media/courses/a6m31let/04_digitalizace.pdf).

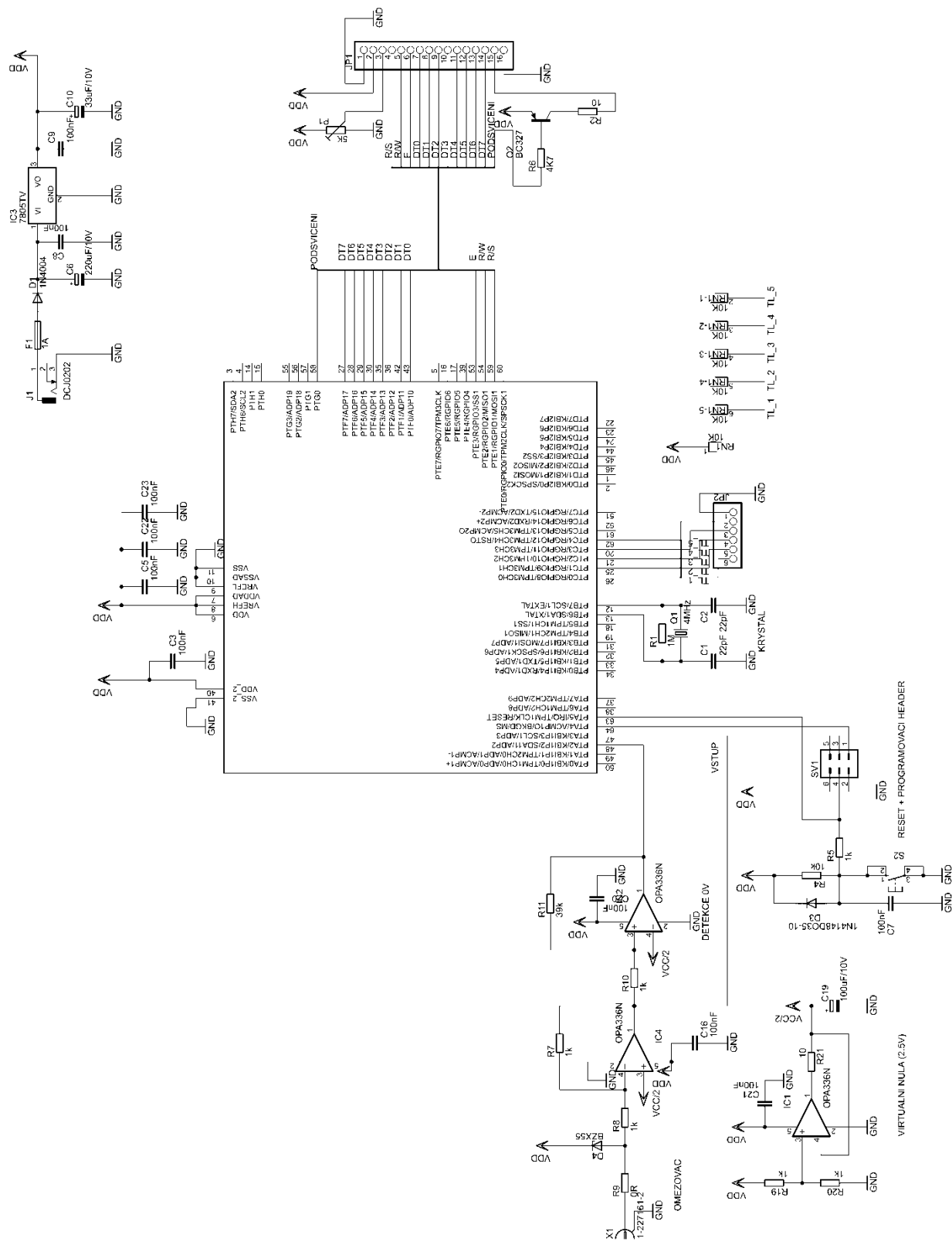
[4]. **Serych.** Wikimedia. [Online] [Citace: 28. 5 2015.]  
<http://commons.wikimedia.org/>.

[5]. **kiwiki.** kiwiki. [Online] [Citace: 2. 6 2015.] <http://www.kiwiki.info/>.

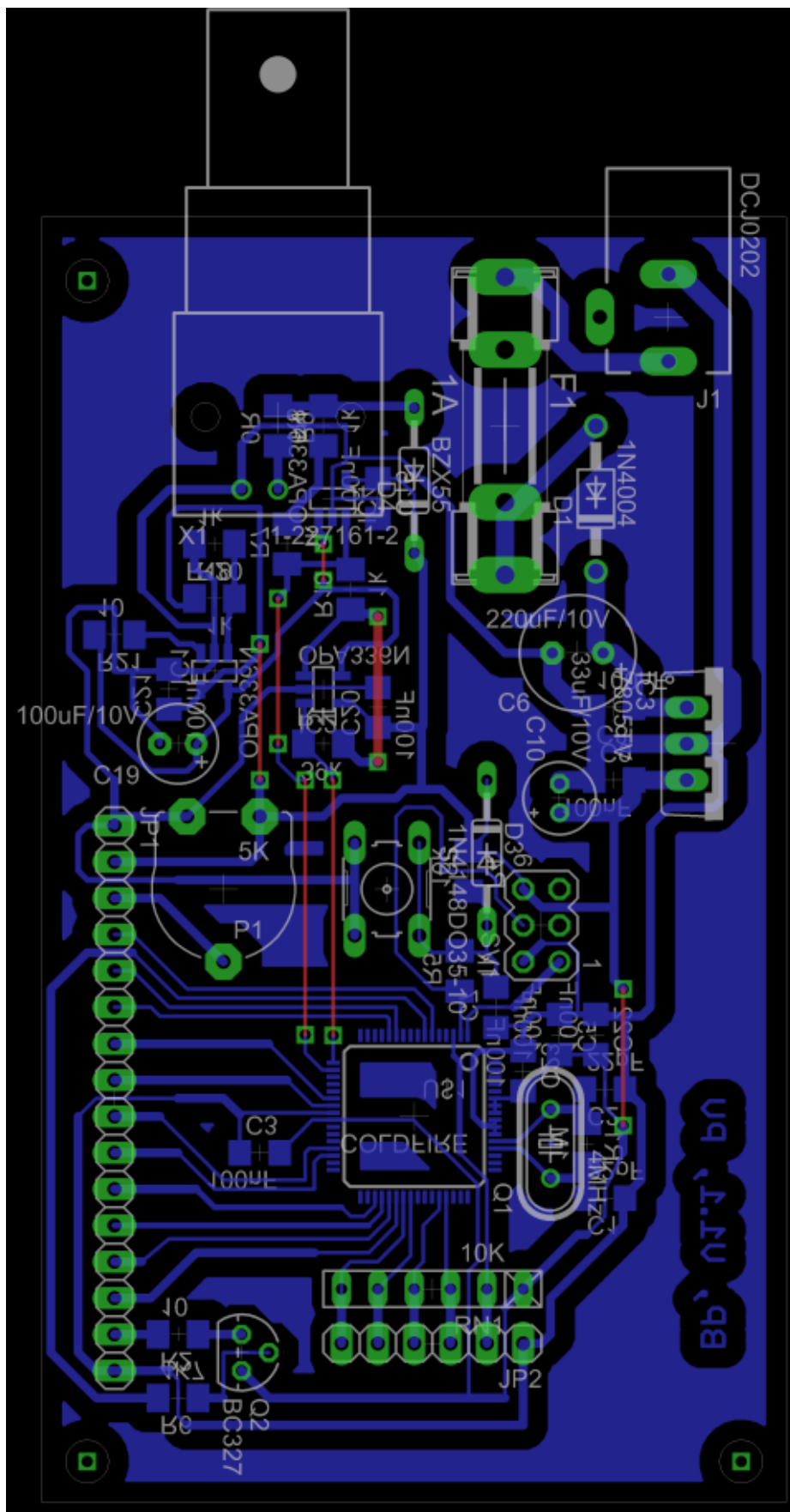
[6]. **Albert, Filip.** Wikimedia. [Online] [Citace: 2. 6 2015.]  
<http://commons.wikimedia.org/>.

## 7 Přílohy

### 7.1 Příloha 2 – schéma zapojení



### 7.2 Příloha 3 - návrh DPS



### 7.3 Příloha 4 – hotové zařízení

