

Střední škola spojů a informatiky Tábor, Bydlinkého 2474

Přípravek pro AD převod v reálném čase

Ondřej Let, DME4

Vedoucí práce: Ing. Vladimír Čebiš

Práce byla odevzdána k datu: 6.4.2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou práci vypracoval/a sám/sama za použití zdrojů a literatury v ní uvedených. Souhlasím s tím, aby moje maturitní práce byla využívána pro potřeby Střední školy spojů a informatiky Tábor, Bydlinkého 2474 nebo jiných subjektů, které se podílely na zadání práce.

Prohlašuji, že tištěná a elektronická verze maturitní práce jsou shodné.

Podpis (pouze v tištěné verzi):

ÚVOD

Zpracovávání akustického signálu je úsce spojené s oborem elektrotechniky, jde o získávání informací, se kterými se dá lépe pracovat. Konkrétně převádíme analogový signál do digitálního signálu. Digitální signál je vyjadřován pomocí binární soustavy, tedy číslicově a je tak, narozdíl od analogového, který je zobrazován jako graf spojitý v čase s nekonečným množstvím hodnot, jednodušší pro další matematické zpracování. U převádění analogového signálu na digitální se využívá tzn. AD převodníků. V procesu převodu se signál vzorkuje a pak kvantuje. Pro zpětný převod se používají DA převodníky.

V této práci jde o praktické zpracovávání akustického signálu pomocí výrobku, který má sloužit jako učební pomůcka. Přípravek umožňuje převod akustického signálu na digitální a současně zpětný převod digitálního signálu na analogový v reálném čase. Úprava frekvence vzorkování je možné v rozsahu od 1 Hz do 50 kHz a množství použitých bitů při kvantování v rozsahu od 1 do 8.

Pro AD převod je použit vestavěný 10b AD převodník mikropočítače PIC16F887, který je programově provozován na maximálně osmibitové šířce. Pro DA převod je použita síť R-2R s osmi LED, které indikují stavy všech bitů na výstupu. Při použití velmi nízkých vzorkovacích frekvencí (1 Hz) lze změny stavu pozorovat pouhým okem.

Na vstupu se předpokládá úprava signálu pomocí signálového generátoru, vstupní napětí musí být v rozsahu 0 až +5V. Na výstupu jsou dále tři RC propusti se zlomovým kmitočtem 50 Hz, 500 Hz a 5 kHz. Všechny propusti jsou 1. řádu (20 dB/dekádů). Předpokládá se použití digitálního osciloskopu s minimálně dvěma (čtyřmi) kanály. Na výstupu je k dispozici synchronizační signál (vzorkovací frekvence).

Prostřednictvím upravování těchto parametrů v reálném čase, by měla být výuka a pochopení jednotlivých kroků při digitálním zpracovávání signálu názornější.

ZVUK

Zvuk je mechanické vlnění v látkovém prostředí, které je schopno vyvolat sluchový vjem. Určitý rozsah frekvence se projevuje jako slyšitelný zvuk. Rozsah, který je člověk schopen vnímat, je značně individuální a leží v intervalu přibližně 16 Hz - 20 kHz. Zvuky mimo toto pásmo neslyšíme, přesto jsme je schopni vnímat a mohou mít i nepříznivý vliv na zdraví či psychiku. Zvuky pod slyšitelnou hranicí (0,7 - 16 Hz) označujeme jako infrazvuk (je schopen rozvibrovat celý povrch těla či bránici), zvuky nad slyšitelnou hranicí (do 50 kHz) jako ultrazvuk.

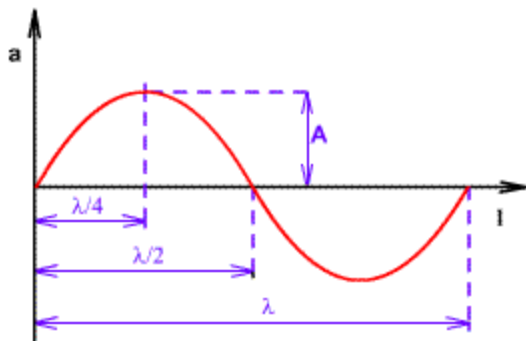
Zdrojem zvuku jsou vibrace, tedy každé chvějící se (vibrující) těleso. Vodič zvuku, jakákoliv částice, zprostředkuje spojení mezi zdrojem zvuku a jeho přijímačem. Při takovém procesu platí zákon, že každá částice přijímající akustické vlnění chová jako by byla sama zdrojem vlnění. Vzduchoprázdno, vakuum, neobsahuje žádné částice, je dokonalou zvukovou izolací.

U zvuku rozlišujeme dva základní druhy: tón, což sinusové periodické kmitání a hluk, neperiodické kmitání.

Rychlost šíření zvuku je ovlivňována vlastnostmi prostředí. V suchém vzduchu o teplotě 20°C je jeho rychlost 343 m/s. Na rychlost má největší vliv teplota, s jejím stoupaním klesá rychlost zvuku.[1]

Kmitočet

Kmitočet, jinak též frekvence, vyjadřuje množství kmitů za sekundu. Vůči periodě pro něj platí vztah $f = \frac{1}{T}$. Na obrázku je namísto periody použita vlnová délka λ . Vlnová délka a perioda mají podobné vlastnosti. Podle vztahu $\lambda = vT$, kde v je úhlová rychlost, jde vidět, že vlnová délka oproti periodě počítá navíc s pohybem vlnění.



Obr.1

Velikost amplitudy A označuje maximální hodnotu, v našem případě by šlo o hodnotu napětí U . Malé a (označili bychom jako u) značí okamžitou hodnotu v daném bodě. Platí mezi nimi vztah $a = A \sin(2\pi ft)$.

INTENZITA ZVUKU – DECIBEL

Mírou účinku mechanického vlnění vzduchu a jím přenášeného zvuku je plošná hustota akustického výkonu nazvaná akustická intenzita I [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]. Citlivost lidského sluchu při vnímání akustické intenzity není vždy stejná, ale s rostoucí intenzitou se snižuje. Při zvyšování akustické intenzity jakoby sluchový orgán stále více ztrácel schopnost vnímat v plné hodnotě její další přírůstek. Výsledkem je logaritmická závislost mezi velikostí zvukového podnětu a velikostí sluchového vjemu, kterou objevil německý fyziolog Ernst Heinrich Weber (1795–1878) a kterou později zdůvodnil jiný německý badatel, zakladatel psychofyziky Gustav Theodor Fechner (1801–1887). Weber–Fechnerův psychofyzický zákon zní: Intenzita počitku je úměrná logaritmu podnětu.

Uvedená vlastnost sluchu není samoúčelná. Umožňuje totiž člověku vnímat i velmi slabé zvukové signály s vysokou citlivostí a zároveň ho chrání před zvukem vysoké intenzity. Tato vlastnost sluchu byla důvodem k zavedení logaritmické míry (decibelové stupnice) při kvantifikaci akustických veličin. Akustická intenzita I [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] vyjádřená v decibelech se nazývá hladina akustické intenzity L [dB].

$$L = 10 \log \frac{I}{I_{\text{ref}}} = 10 \log \frac{p^2}{p_{\text{ref}}^2} = 20 \log \frac{p}{p_{\text{ref}}}$$

kde $I_{\text{ref}} = 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ je již zmíněná prahová hodnota akustické intenzity. Intenzita je přímo úměrná druhé mocnině akustického tlaku.

$$I = \frac{P}{S} = p \cdot v = \frac{p^2}{Z}$$

Proto je ve vztahu poměr intenzit nahrazen poměrem druhých mocnin akustického tlaku. Takto definovaná veličina se nazývá hladina akustického tlaku L [dB], kde $p_{\text{ref}} = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa je prahová hodnota akustického tlaku. Obě veličiny – hladina akustické intenzity sledovaná ve směru šíření zvuku a hladina akustického tlaku – mají vždy stejnou hodnotu, protože jsou tak záměrně definovány. Rozdíl mezi nimi spočívá ve směrovém působení. Jako vektor je intenzita úzce spojena i se směrem šíření zvuku, zatímco

akustický tlak jen popisuje stav prostředí v daném místě bez ohledu na směr šíření zvuku. Proto hladina akustického tlaku má s hladinou akustické intenzity stejnou hodnotu jen tehdy, jestliže plocha, na které zjišťujeme intenzitu, je kolmá na směr šíření zvuku. Sluchový orgán člověka je schopen přijímat zvuk z jakéhokoli směru. Vnímání zvuku tak více souvisí s tlakem než s intenzitou. To je hlavní důvod, proč se v praxi při popisu „síly“ zvuku používá veličina: hladina akustického tlaku. Spíše pro teoretické úvahy je pak vhodná představa hladiny akustické intenzity.

Příklady hladin akustického tlaku

akustický tlak p [Pa]	akustická intenzita I [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]	hladina akus. tlaku L [dB]	příklad prostředí, kde se vyskytuje
cca 60	cca 10	cca 130	práh bolesti
2	10^{-2}	100	diskotéka
0,2	10^{-4}	80	rušná ulice
0,02	10^{-6}	60	kancelář
0,002	10^{-8}	40	obývací pokoj
0,0002	10^{-10}	20	ložnice v noci
0,00002	10^{-12}	0	práh slyšení

Je dobré si povšimnout, že v definičním vztahu se logaritmuje bezrozměrné číslo (podíl akustických intenzit resp. podíl druhých mocnin akustických tlaků). V decibelech by tak mohla být vyjádřena jakákoliv jiná fyzikální veličina (stačilo by jen stanovit její prahovou hodnotu) a v tomto smyslu má decibel obdobný charakter jako například procento.

Protože se při hladinovém vyjádření velikosti akustických veličin pracuje s logaritmy jejich hodnot, dochází při počítání s hladinami k některým skutečnostem, které se vymykají běžnému chápání kvantity. Projevuje se to například při sčítání hladin.

Poměr decibelů, výkonu a napětí

dB	Výkon	Napětí
40	10 000	100
30	1 000	31,62
20	100	10
10	10	3,162
6	3,981	1,995 (~2)
3	1,995 (~2)	1,413
1	1,259	1,122
0	1	1
-1	0,794	0,891
-3	0,501 (~1/2)	0,708
-6	0,251	0,501 (~1/2)
-10	0,1	0,316 2
-20	0,01	0,1
-30	0,001	0,031 62
-40	0,000 1	0,01

PROPUSTI

Dolní propust a horní propust patří mezi poločlásky. Propouští buď nižší (dolní), nebo vyšší kmitočty než je mezní kmitočet.

$$f_M = \frac{1}{2\pi RC}$$

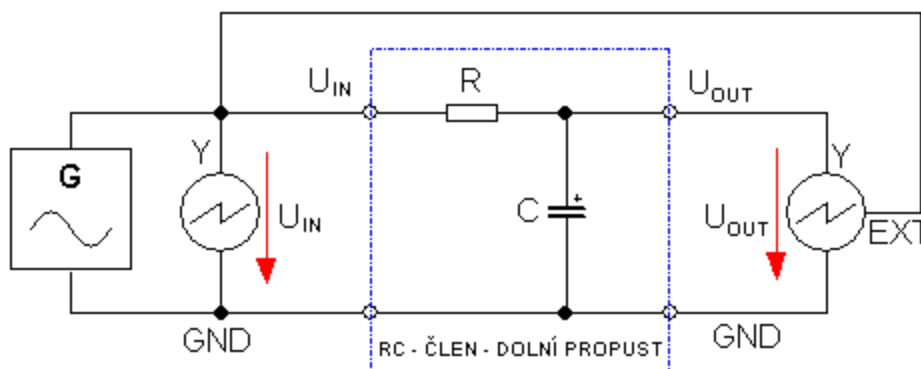
Při mezním kmitočtu dochází ke zmenšení zisku o -3 dB. To znamená, že v tomto okamžiku na výstupu propusti je napětí $(1/\sqrt{2})$ krát menší, než vstupní. Nebo jinak, klesne na 0,707 napětí vstupního.

Od hodnoty f_M (-3dB) se přenos mění se strmostí -20 dB/dekádu.

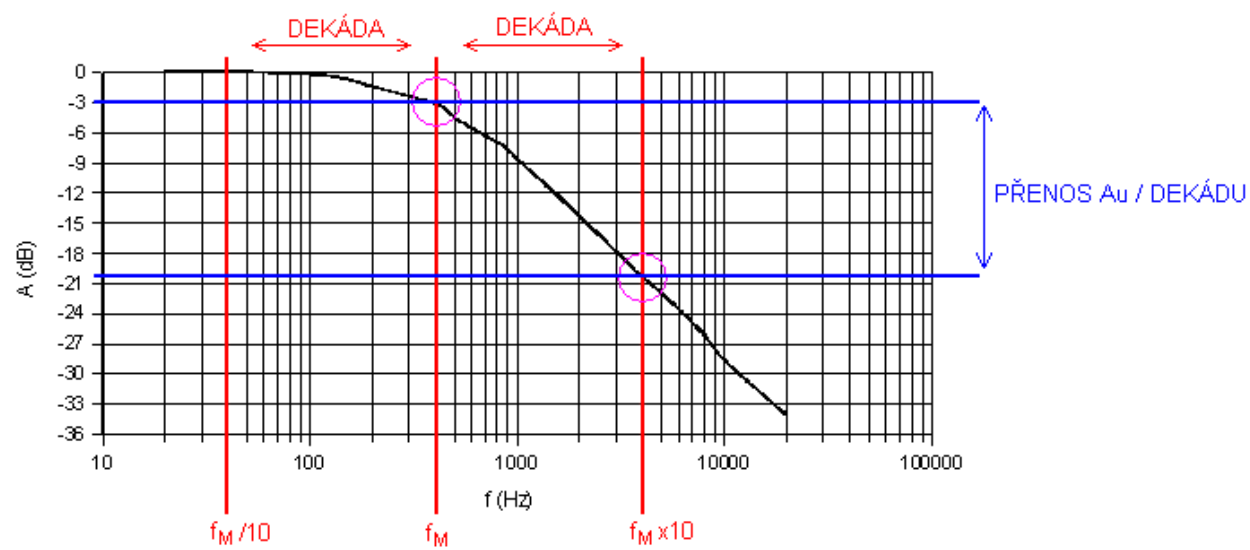
Dolní propust

Tento článek propouští stejnosměrné napětí a nízké kmitočty s minimální ztrátou.

Rezistor je zapojen v cestě signálu. Kondenzátor paralelně k výstupu propusti. Při stoupajícím kmitočtu, nad úroveň mezního, se projevuje klesající reaktance kondenzátoru a čím dál tím vyšší část výstupního signálu je uzemňována. V praxi by generátor signálu měl mít výstupní odpor do 1 kΩ. Rezistor dosazujeme minimálně $10^3 \Omega$. Pro praktické využití pozor na velký úbytek napětí. Kondenzátor se dopočítává podle požadovaného kmitočtu.



Obr. 2



Obr. 3

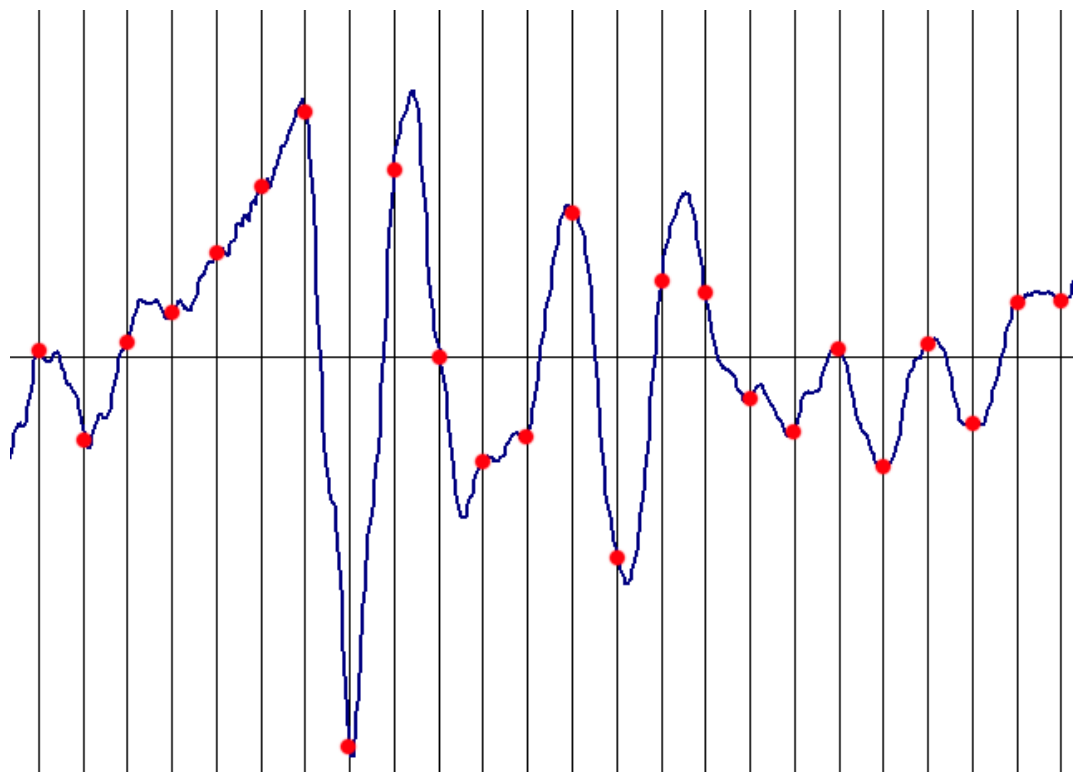
AD PŘEVODNÍK

Jak už bylo řečeno v úvodu, analogově digitální převodník, nebo též analogově číslicový, se používá pro převedení analogového signálu na digitální. Při výběru konkrétního AD převodníku nás zajímá vzorkovací frekvence, což znamená, jak často se zaznamenává hodnota signálu, šířka, to je množství bitů do kterých se ukládají hodnoty tedy, čím víc bitů, tím větší přesnost, a nakonec rozsah vstupního napětí, maximální hodnotu napětí, kterou dokáže zpracovat.

Vzorkování

Při vzorkování jde o zaznamenávání dat v určitých intervalech. Nepracujeme již pak se spojitým signálem, ale s menším množstvím bodů. Pro spolehlivý přenos dat je potřeba dodržet tzn. Shannonův teorém, který říká, že vzorkovací frekvence musí být minimálně dvojnásobek nejvyšší frekvence obsažené v signálu.

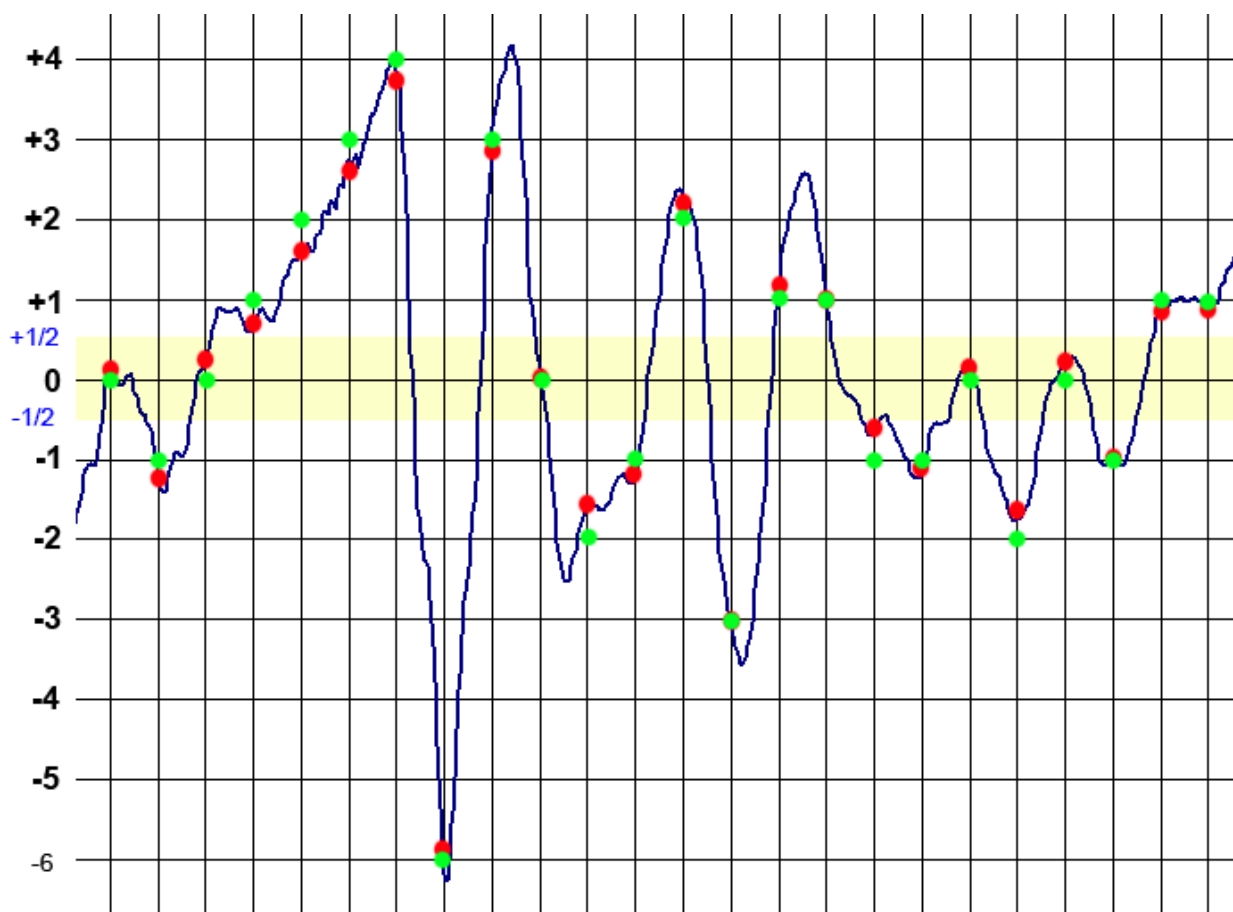
$$f_{VZ} \geq 2f_{MAX}$$



Obr. 4

Kvantování

Signál kvantujeme, protože počítače a jiné přístroje mají omezené množství paměti a přesnost. Podle šířky (počtu bitů) se dá poznat s jakou přesností dokáže převodník zaznamenávat hodnoty. Na obrázku je příklad, kdy největší možná chyba je $\frac{1}{2}$.

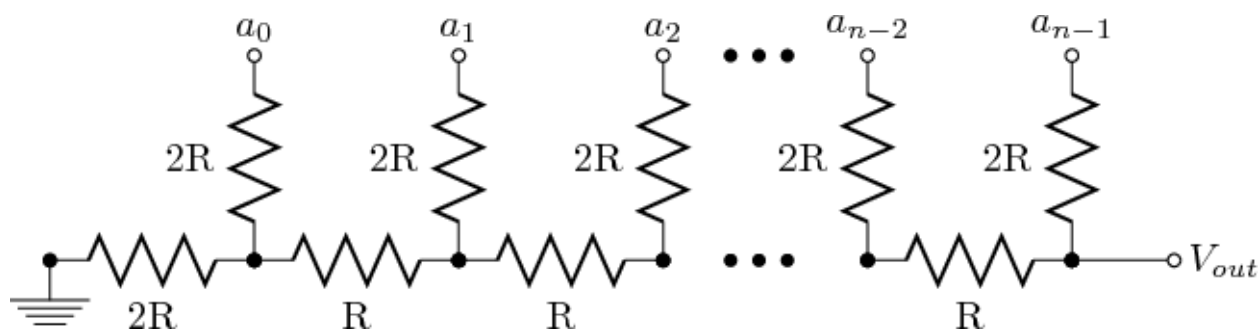


Obr. 5

DA PŘEVODNÍK R-2R

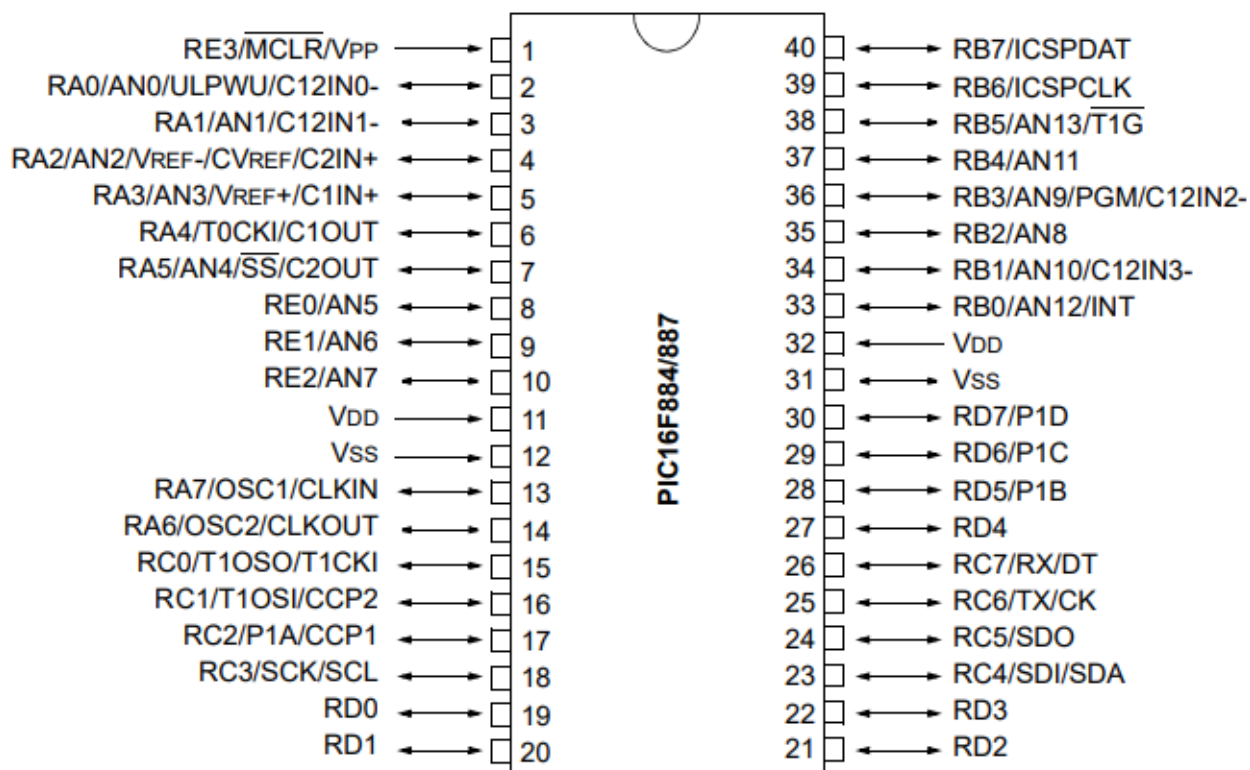
Digitálně analogový převodník bude použit při převádění signálu zpátky na analogový. Tento konkrétní převodník je pojmenován podle používaných součástek pro jeho sestavení, odporů o hodnotách R a dvojnásobek R . V našem případě použijeme $100\ \Omega$ rezistory, pro dvojnásobný odpor zapojí seriově dva rezistory o $100\ \Omega$. Na obrázku jsou označené jednotlivé bity a_0 až a_{n-1} , kde n je počet bitů. Bit a_{n-1} má nejvyšší hodnotu, což je polovina vstupního napětí. Vstupní napětí je takto rozdělen mezi bity, každý další bit má poloviční hodnotu než ten předchozí.

Tento typ převodníku je poměrně nenáročný, jak na výrobu, tak i na pochopení. Jeho sestavení je zároveň dost levné. Nejde však o nejpřesnější převodník a v případě nutnosti přenášet signál velmi přesně, by nebyl R-2R nejlepší volbou.[7]



Obr. 6

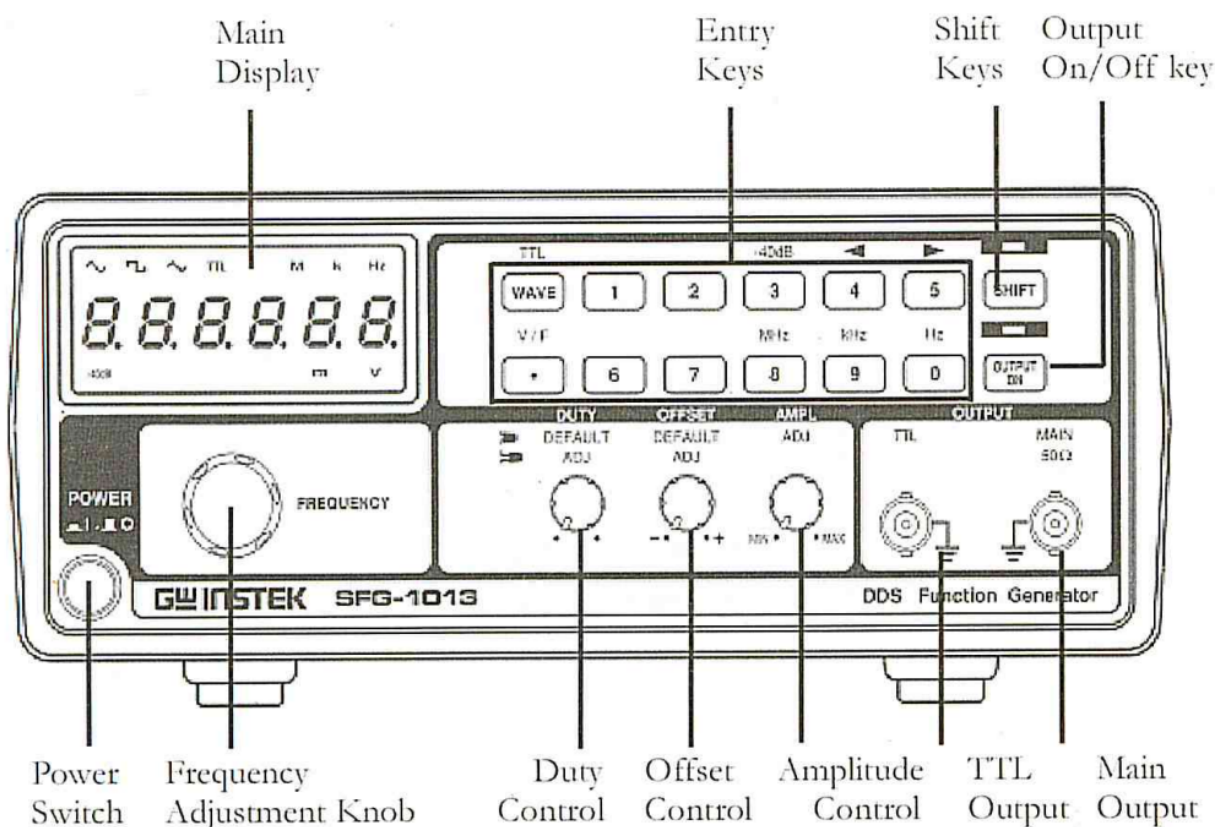
ŘÍDÍCÍ JEDNOČIPOVÝ POČÍTAČ PIC16F887



Obr. 7

Jednočipový počítač je vyrobený firmou Microchip a má 40 pinů. Z výroby má danou přesnost $\pm 1\%$. Dokáže pracovat ve frekvenci 31 kHz až 8 MHz a s provozním napětím 2,0V - 5,5V. Má 35 Input/Output pinů, které mohou být nezávisle řízené. Při AD převodu je možné využít až 10 bitů.

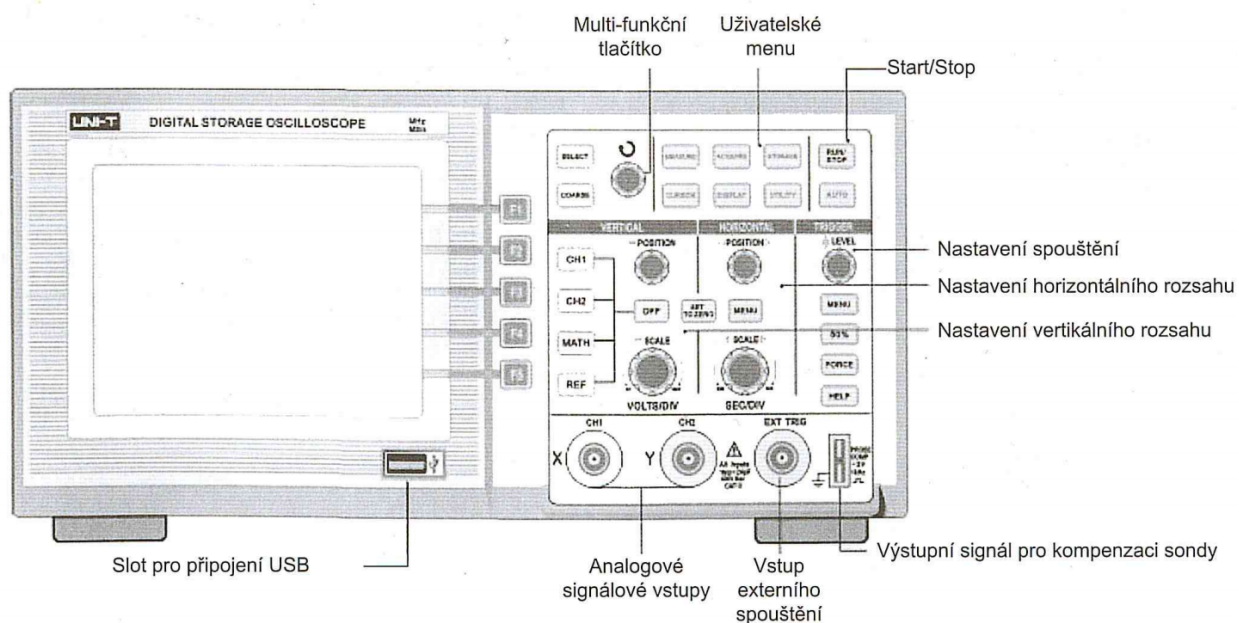
NÍZKOFREKVENČNÍ GENERÁTOR



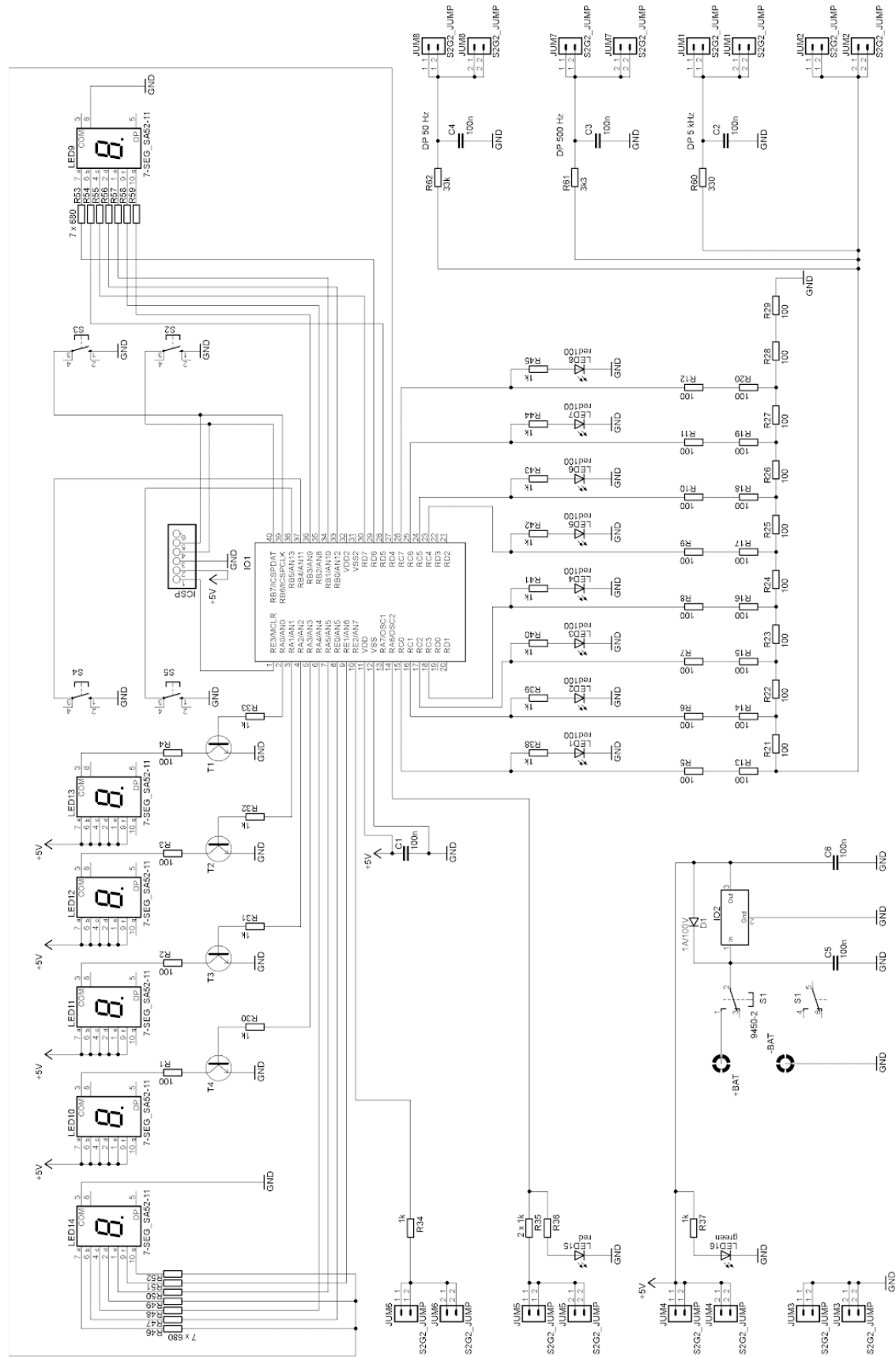
Obr. 8

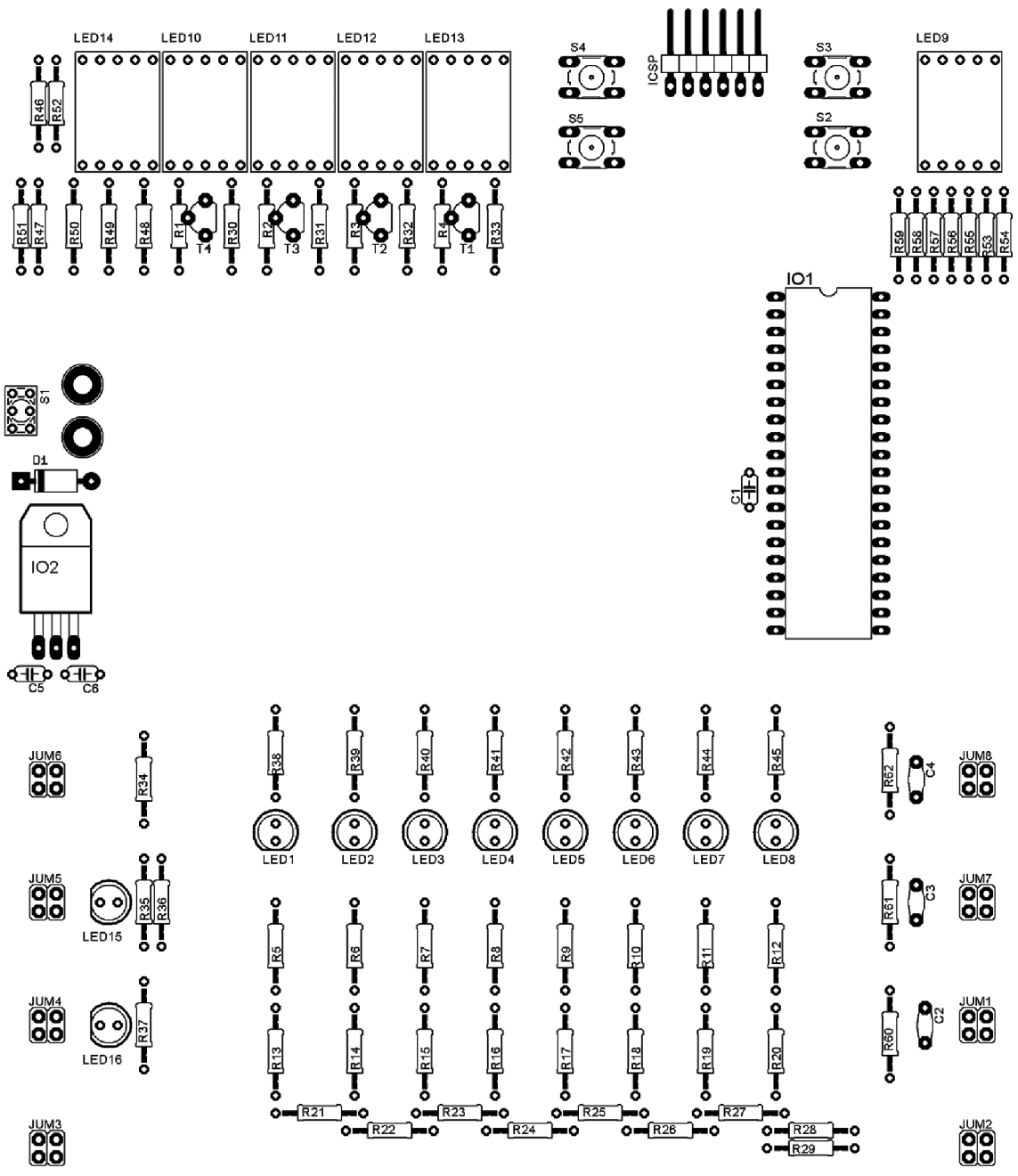
Frekvenční rozsah generátoru je od 0,1 Hz do 3 MHz (1 MHz v případě trianglového signálu). Napěťový rozsah je 2 mVpp (peak to peak) až 10 Vpp na 50 Ω pro výstupní impedanci. Pro naše účely je potřeba napěťový rozsah 0 až +5 V. U generátoru je posuvná stejnosměrná složka, která je také potřeba.

DVOUKANÁLOVÝ DIGITÁLNÍ OSCILOSKOP



Osciloskop je dvoukanálový digitální paměťový. Musí umět zobrazit až 1 MHz.





SEZNAM SOUČÁSTEK

Rezistory 0,25W

100	29 ks	R1-29
330	1 ks	R60
680	14 ks	R46-59
1k	16 ks	R30-45
3k3	1 ks	R61
33k	1 ks	R62

Kondenzátory keramické

100n/40V	6 ks	C1-C6
----------	------	-------

LED

5 mm, červená, 100 stupňů	8 ks	LED1-8
5 mm, zelená, 35 stupňů	1 ks	LED16
5 mm, červená, 35 stupňů	1 ks	LED15
14mm, červený displej, SC	6 ks	LED9-14

Polovodičové součástky:

Tranzistor NPN, 40V, 1A, SS8050	4 ks	T1-4
Usměrňovací dioda 1A/400V	1 ks	D1

Integrované obvody:

LDO stabilizátor 5V, 0,4 A, D220,	1 ks	IO2
PIC16F887, DIL40 + patice DIP40	1 ks	IO1

Přepínače:

Dvojitý posuvný přepínač, 2,54 mm	1 ks	S1
Tlačítko TACT	4 ks	S2-5

Konektory:

Hřebínková lišta 2,54 mm, 1x6	1 ks	ICSP
Hřebínková lišta 2,54 mm, 2x2	8 ks	JUM1-8

ZÁVĚR

Výsledkem mé práce je názorná učební pomůcka vhodná na odborný elektrotechnických školách pro demonstraci a měření jevů spojených s digitálním zpracováním signálu.

Přípravek obsahuje jeden analogový vstup s parametry 0 Hz až 20 kHz (akustické pásmo) v rozsahu 0 V až +5 V DC. Dále obsahuje AD převodník s volitelnou šířkou 1 až 8 bitů a vzorkovací frekvencí 1 Hz až 50 kHz. Signál z AD převodníku je zpětně převáděn na analogový signál pomocí 8 bitového DA převodníku typu R-2R. DA převodník je realizován názorně rezistory 100 Ω . Všechny 8 bitů DA převodníku je indikováno pomocí 8 LED.

Výstup je k dispozici přímý s rozsahem 0 V až +5 V DC, nebo pomocí dolních propustí 1. řádu typu RC. Propusti jsou laděny na zlomové kmitočty 50 Hz, 500 Hz a 5 kHz s poklesem 20 dB/dek. K dispozici je synchronizační vzorkovací signál indikovaný červenou LED.

Přípravek je možné použít zejména v předmětech Elektronika, Měření a Telekomunikace pro studium zpracovávání signálu. Hlavní výhodou přípravku je jeho názornost a práce v reálném čase v širokém rozsahu vzorkovacích frekvencí, kdy lze činnost sledovat pouhým okem.

ZDROJE

- [1] https://www.vedanasbavi.cz/orisek-14-zs-vnb-i-13-zvuk?ID_mesta=3&IDp=1
(upraveno)
- [2] Zpracování akustických signálů v bezpečnostních technologiích, Bc. Martin Mlčoch, Diplomová práce
- [3] <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/216-intenzita-zvuku-decibel> (upraveno)
- [4] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Decibel>
- [5]
<https://www.souepl.cz/wp-content/ucitele/kulhanek/OPVK%202009/RC/RC%20cleny.htm>
- [6] https://cs.wikipedia.org/wiki/A/D_p%C5%99evodn%C3%ADk
- [7] https://en.wikipedia.org/wiki/Resistor_ladder
- [8] Microchip, PIC16F882/883/884/886/887, Data Sheet
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/41291d.pdf>
- [9] TIPA, <https://www.tipa.eu/>

Seznam obrázků

- Obr. 1 Harmonické vlna [2]
- Obr. 2 RC člen, dolní propust [5]
- Obr. 3 Graf mezního kmitočtu [5]
- Obr. 4 Vzorkování signálu [6]
- Obr. 5 Kvantování signálu [6]
- Obr. 6 DA převodník R-2R [7]
- Obr. 7 Řídící jednočipový počítač PIC16F887
- Obr. 8 Synthesized Function Generator SFG-1000 Series
- Obr. 9 Dvoukanálový osciloskop UTD2000/3000 [9]