



Středoškolská technika 2011

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Připojení periferií k palubnímu počítači minisatelitu CANSAT s AT91SAM7S256

Milan Poláček

Střední průmyslová škola elektrotechnická
Ječná 30, Praha 2

ÚVOD

Před rokem jsem se přihlásil na soutěž ve stavbě CANSATu, kterou pořádala ESA Education Office (European Space Agency – Evropská Vesmírná Agentura). Pojmenování CanSat, je složeno ze slov **can** (plechovka) a **sat** (satelit) – jde o zařízení složené z palubního počítače, čidel teploty, tlaku, GPS přijímače apod. a z UKV vysílače. Po vystřelení do výše několika km padá k Zemi na padáčku a přitom vysílá údaje o naměřených hodnotách. Soutěžní tým pak pomocí pozemního přijímače přijímá a zpracovává signál z CANSATu. V propozicích soutěže jsou uvedeny veličiny, které musí zařízení měřit (Primary mission) a musí provádět ještě další měření, které si definuje soutěžní tým sám (Secondary Mission). Jako sekundární mise může být např. určování polohy CanSatu pomocí GPS. Proto, jsem se rozhodl využít své znalosti v problematice CanSatů v maturitní práci.

Pro vyhodnocování dat jsem se rozhodl použít vývojový kit Kramara, který jsem měl ve škole k dispozici.

Kramara KIT AT91SAM7S256

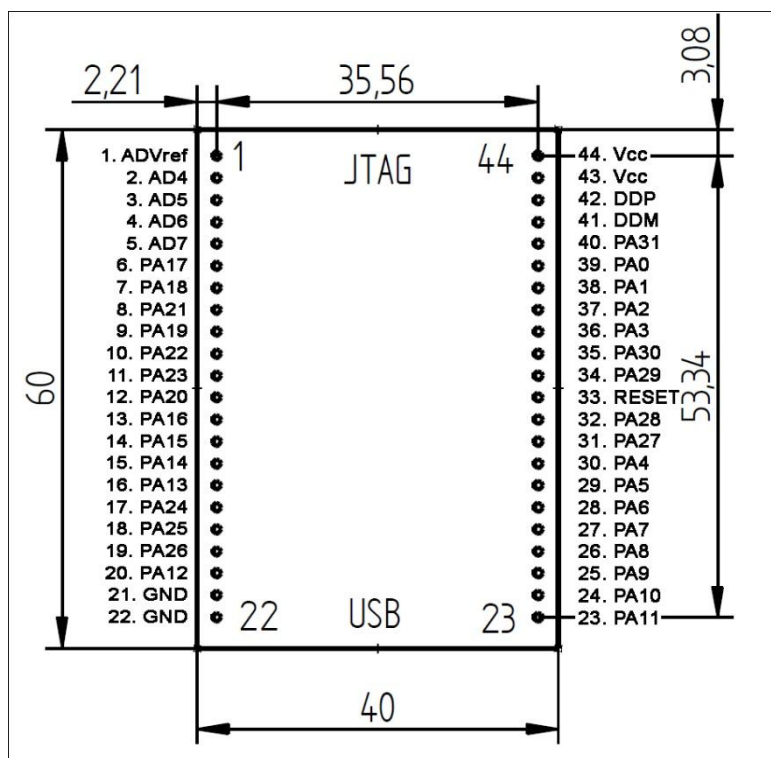
Tento vývojový kit je určený pro základní vývoj softwaru pro řadu mikrokontrolérů AT91SAM7S, jak uvádí firma Kramara. Tento kit obsahuje mikrokontrolér AT91SAM7S256, ke kterému firma ATMEL poskytuje knihovny pro jazyk C s manuálem. V manuálu, jsou srozumitelně popsány všechny potřebné informace k tomuto mikrokontroléru.

Mikrokontrolér je řízen hodinovým signálem o kmitočtu 18,432MHz z krystalu. Vývojový kit obsahuje zabudovaný konektor USB typu B, kterým se prostřednictvím programu SAM-BA nahrává. Dále tento vývojový kit obsahuje rozšířené rozhraní JTAG, které mimo standardního JTAG rozhraní obsahuje i RS-232 v TTL úrovních. KIT AT91SAM7S256 standardně používá napájecí napětí 3,0-3,6V.

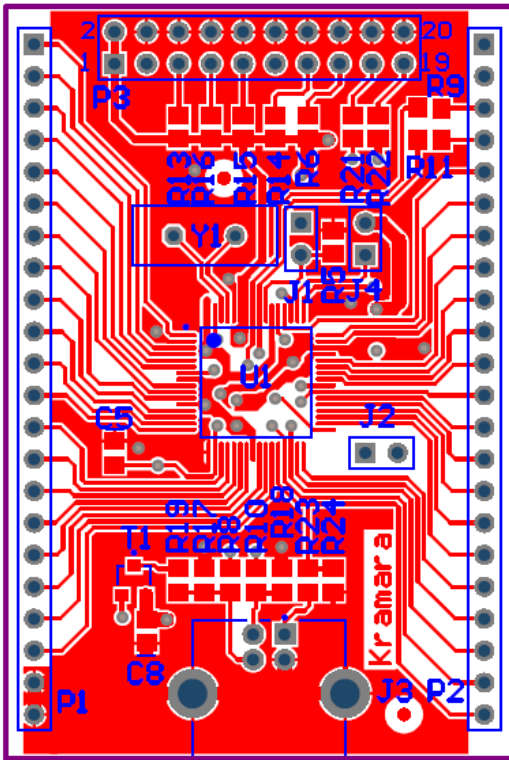
Výhodou tohoto kitu je, že je možné si jej nechat od firmy Kramara upravit podle své potřeby a následně si nechat vyrobit tištěný obvod s mikrokontrolérem z rodiny AT91SAM7S.

Jeho slabinou naopak jsou vstupně/výstupní piny, které jsou vyvedeny do dvou lišt,

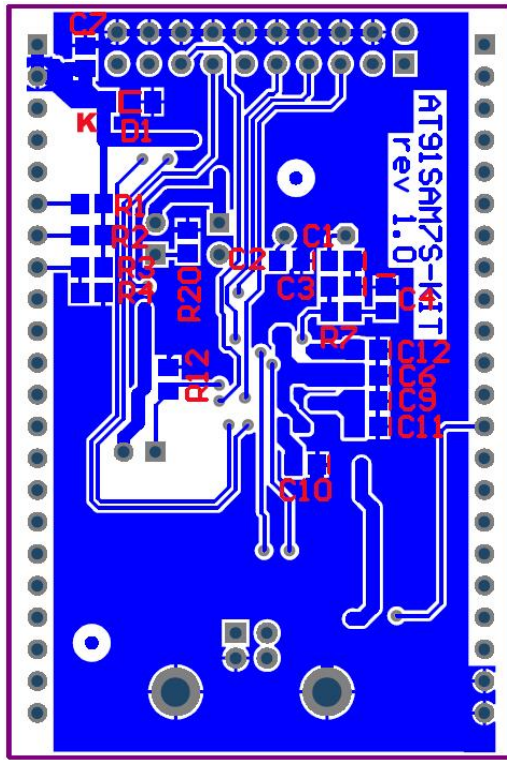
v rastru 2,54. Piny jsou přeházené kromě pinů AD převodníků, jak vidíme na obrázku 1.1.1 Je to pravděpodobně kvůli jednoduchosti, jak je vidět z tištěného obvodu (viz obrázek 1.1.2a). Tento problém se vyřešil přípravkem (viz obrázek 1.1.4), který tyto piny řadí podle svých indexů. Na webových stránkách firma Kramara uvádí, že přípravek vyrábí i ona, ale bohužel tento produkt byl na trh uveden nedávno a také jeho cena je poměrně vysoká.



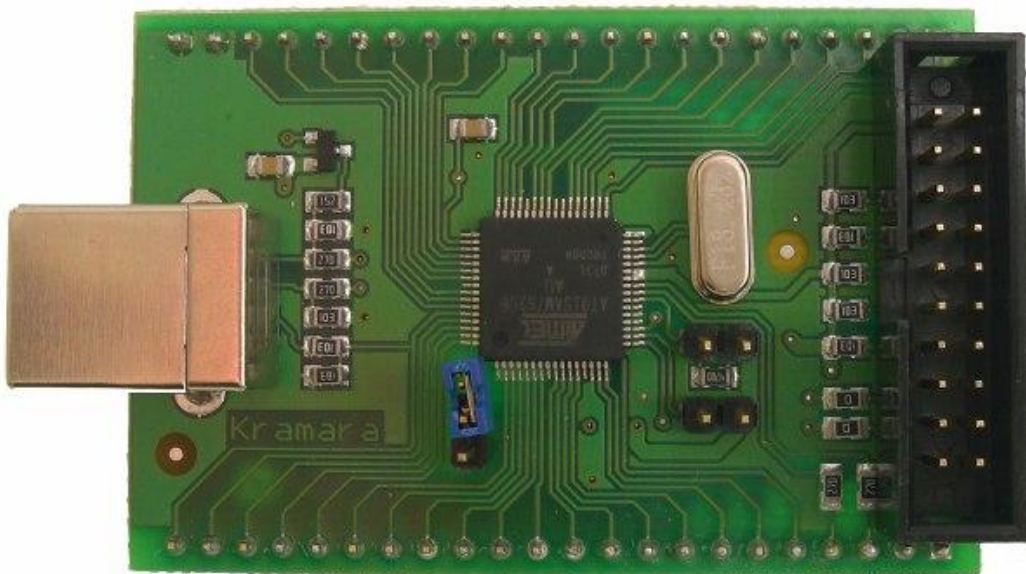
Obrázek rozdělení pinů na Kramara kitu



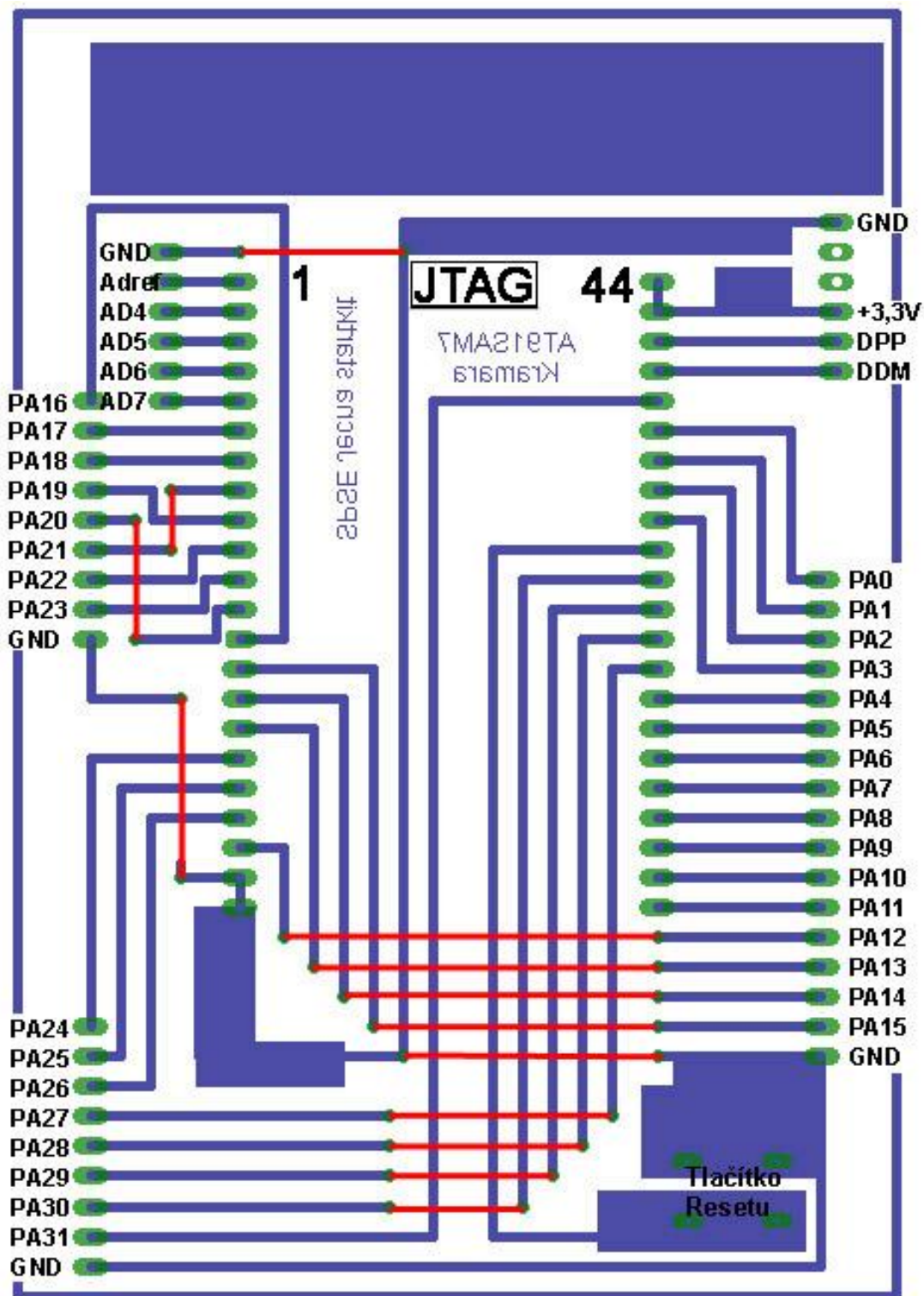
Osazovací plánek z vrchu



Osazovací plánek ze zdola



AT91SAM7S256-KIT Kramara

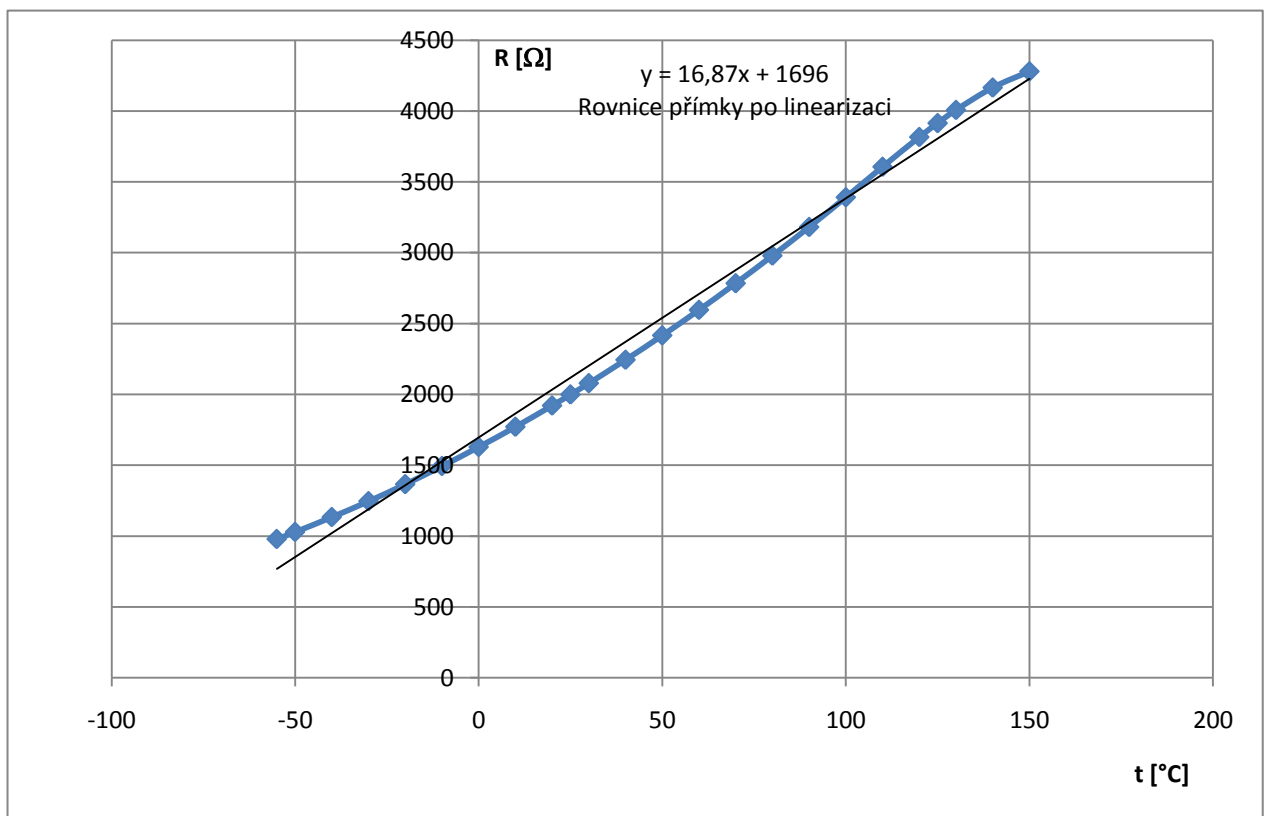


Návrh tištěného spoje přípravku pro Kramara kit s označením výstupů

Legenda: modře – cesty červeně- drátové propojky

Měření teploty KTY81-210

Kvůli dostupnosti a nízké ceně jsem použil pro svou práci křemíkový monokrystalický termistor. Pro výrobu křemíkových senzorů se používá nevlastního polovodiče typu N, což je jak víme z hodin Elektrotechnologie polovodič s dominantní elektronovou vodivostí. A proto s rostoucí teplotou klesá pohyblivost elektronů (snižuje se vodivost - G) a narůstá odpor termistoru ($R = \frac{1}{G}$). Tento termistor má teplotní rozsah od $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jeho nevýhodou je nelineárnost (viz obrázek 2.1.1). Proto se teplota nedá přesně určit z rovnice přímky. Jak je vidět z grafu použít jednotný koeficient by způsobilo nepřesnost v řádech stupňů, proto jsem si vytvořil tabulku koeficientů pro kratší rozsahy, se kterou dosahuji přesnosti v řádech desetin. Přesnost bychom mohli zvětšit snížením referenčního napětí, ale pro demonstraci maturitní práce stačí přesnost desetin stupně Celsia.

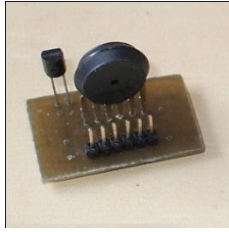


Závislost rezistence na teplotě a linerizační přímka

t [°C]	R [Ω]	koeficienty
-55	980	11,81818
-50	1030	12
-40	1135	12,375
-30	1247	12,76667
-20	1367	13,15
-10	1495	13,5
0	1630	13,5
10	1772	14,2
20	1922	14,6
25	2000	14,8
30	2080	15
40	2245	15,375
50	2417	15,74
60	2597	16,11667
70	2785	16,5
80	2980	16,875
90	3182	17,24444
100	3392	17,62
110	3607	17,97273
120	3817	18,225
125	3915	18,28
130	4008	18,29231
140	4166	18,11429
150	4280	17,66667

Tyto koeficienty dosadím do rovnice přímky, která má obecný tvar $y = k \cdot x + q$ a po aplikaci na přímku závislosti rezistence na teplotě $R_{AD} = k \cdot t + R_{t=0}$. V naší rovnici je R_{AD} naměřený odpor na termistoru, to je hledaná teplota a $R_{t=0}$ je odpor při teplotě 0 °C, tím zjistíme posun přímky po ypsilonové ose respektive po ose rezistivity. Proměnná k je přiřazovaný koeficient k danému rozsahu. Naše hledaná veličina není odpor, ale teplota. Proto upravíme rovnici do tohoto tvaru $t = \frac{R_{AD} - R_{t=0}}{k}$.

Termistor je zapojen do děliče napětí, protože ideální AD převodník má nekonečně velký odpor a proto bychom termistorem zapojeným do série nic neměřili. Dělicí poměr jsem zvolil tak, abych dodržel dané parametry z datasheetu a nepřekročil maximální hodnotu vstupního napětí AD převodníku, která je uvedena v datasheetu mikropočítače (3,3V). Napájecí napětí jsem použil 3,3V, protože toto napětí používám k napájení Kramara kitu .

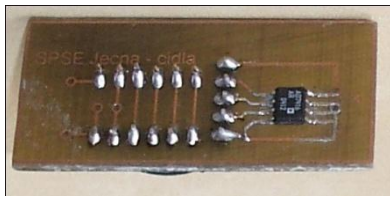


KTY81-210 (senzor vlevo)

Další senzory teploty

Integrovaný senzor teploty AD7416

Tento senzor teploty jsem měl také k dispozici. Senzor AD7416 (viz obrázek 2.1.1.1) má v sobě integrovaný velice rychlý 10-bitový AD převodník, který převádí naměřené hodnoty v 15 μ s až 30 μ s. Jeho teplotní rozsah je od -55 °C do 125 °C. Jeho výhodou je napájení v rozsahu od 2,7V do 5V. Převedená data jsou posílána protokolem I²C přes sériovou sběrnici. Ačkoliv používaný mikropočítač AT91SAM7S256 tuto sběrnici vlastní, jak jste si mohli všimnout v jeho blokovém schématu, a poměrně jednoduše můžeme tuto sběrnici aktivovat pomocí knihoven k mikropočítači, přišlo mi jednodušší vyřešit měření teploty pomocí vzorců z elektroniky a matematicky ekvivalentních úprav.



Senzor teploty AD7416

Termistory NTC a PTC (negastory a pozistory)

Podle názvu poznáme rozdíl mezi termistory NTC (Negative Temperature Coefficient) a PTC (Positive Temperature Coefficient) to je záporný a kladný teplotní součinitel odporu. Na internetových stránkách se o těchto termistorech uvádí, že s rostoucí teplotou se zvyšuje koncentrace nosičů náboje a elektrický odpor klesá nebo roste podle toho, který použijeme. Ale jelikož negastory mají horší linearitu než monokrystalické termistory. A pozistory jsem nepoužil, protože nemají lineární závislost odporu na teplotě.

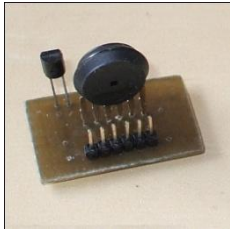
Měření tlaku

MPX4111A

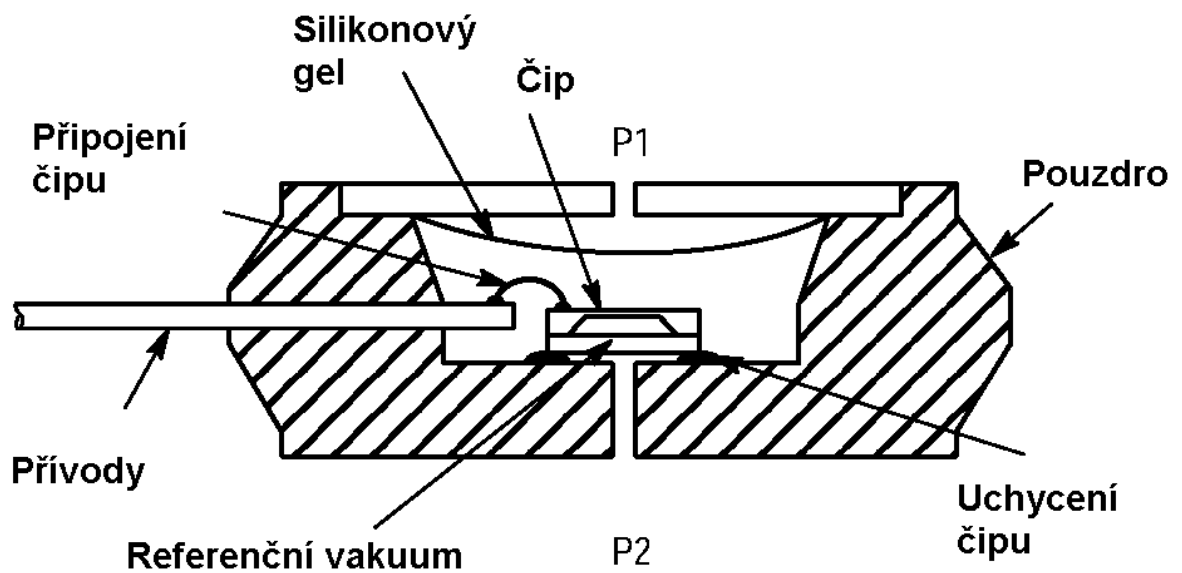
Atmosférický tlak je jednou ze základních meteorologických veličin. Pro jeho měření jsem zvolil senzor MPX4111A (viz obrázek 3.1.1a) od firmy Motorola respektive Freescale Semiconductors. Tento senzor má odporovou síť, která je vyrobená na polovodičovém čipu (viz obrázek 3.1.1b). A tato mřížka se rozvažuje dle prohnutí čipu. Rozsah tohoto senzoru je od 15 kPa do 115 kPa (orientačně normální tlak vzduchu je 1013,25 hPa = 101,325kPa). Jeho předností je teplotně kompenzovaný zesilovač, proto se může rovnou připojit na AD převodník našeho mikropočítače. Jeho napájecí napětí se pohybuje od 4,85V do 5,35V. Maximální výstupní napětí senzoru MPX4111A je 5V, ale jelikož máme referenční napětí 3,3V musíme ještě mezi senzor tlaku vložit dělič napětí. Pro vyhodnocení jsem použil opět rovnici přímky, kterou je možno vidět v tabulce od výrobce (viz obrázek 3.1.2). Upravil jsem

ji do tvaru
$$P = \frac{U_{AD} - U_{P=15}}{k} + 1,77$$
. Kde U_{AD} je napětí naměřené z AD převodníku, $U_{P=15}$ je

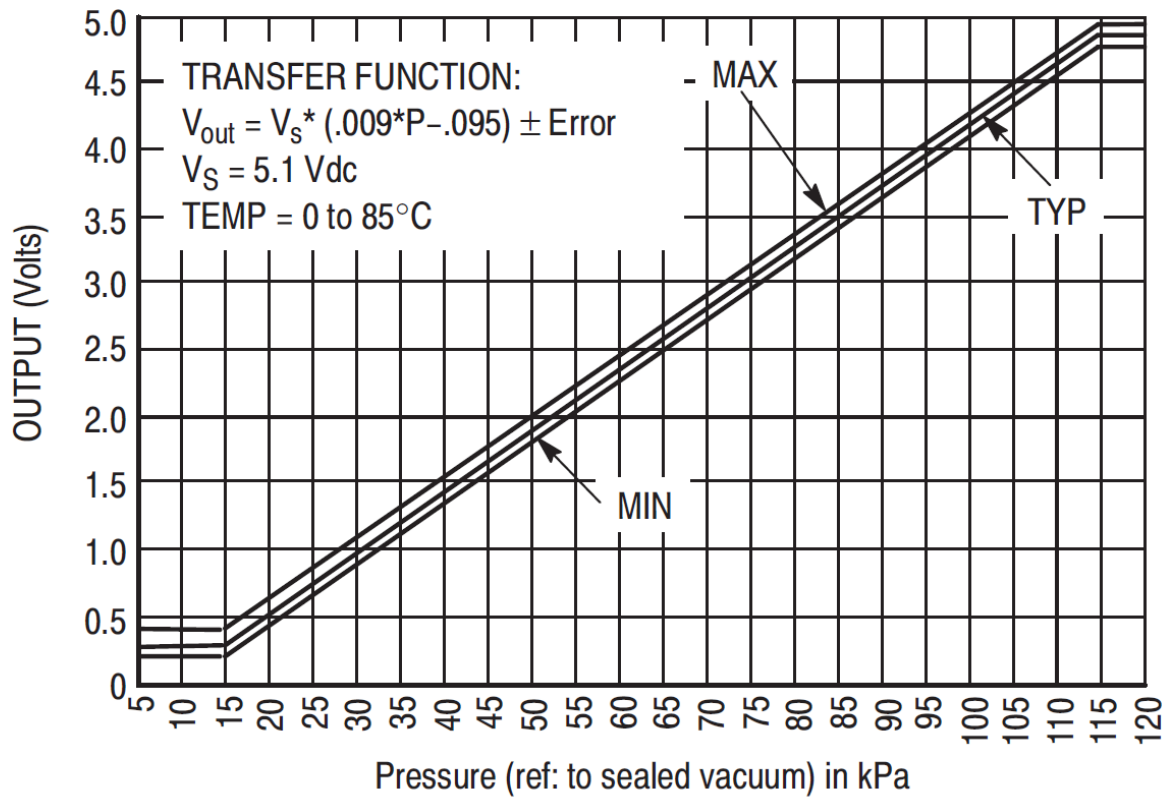
napětí při tlaku 15kPa, tím zjistíme posun přímky po ypsilonové ose respektive po ose výstupního napětí. Koeficient k je vypočtený a je jednotný pro celou charakteristiku. A hodnota 1,77 je hodnota, o kolik snižují napětí na děliči (viz obrázek 3.1.3).



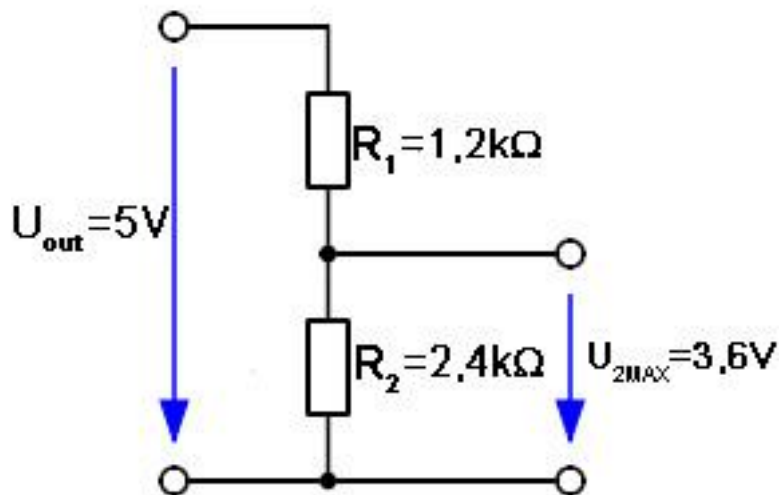
MPX4111A (senzor oválného tvaru)



Vnitřní uspořádání senzoru tlaku



Graf závislosti napětí na tlaku od výrobce



Dělič napětí k výstupnímu napětí z senzoru tlaku

GPS

Navilock NL-303P

Pro určování polohy a nadmořské výšky jsem se rozhodl používat GPS přijímač od Navilocku (viz obrázek 4.1.1). Vybral jsem tento typ proto, že má PS/2 konektor, z kterého snadno udělám sériový. Pak tento GPS přijímač velice snadně připojím ke Kramara kitu. Potom jen záleží na uživateli, jestli přijímaná data z modulu bude odesílat v upravené formě například tři čísel (zeměpisná šířka, délka a nadmořská výška) nebo bude odesílat přímo data z GPS přijímače nezměněná rovnou na zem.

Abychom mohli určit zeměpisnou šířku, délku a i nadmořskou výškou v trojrozměrném prostoru je potřeba, aby GPS stanice komunikovala minimálně se 4 družicemi a následně počítal z doby, za kterou vyslaný signál od družic dorazí k GPS přijímači. Naštěstí tento problém za nás vyřešil výrobce.

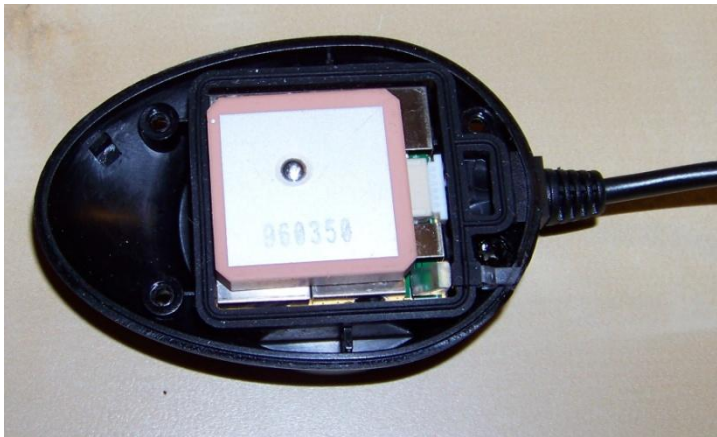
Protože by se nám do CanSatu celý GPS přijímač (viz obrázek 4.1.2) nevešel je potřeba přijímač rozšroubovat a odpojit GPS modul (obrázek 4.1.3b) a pro samotný návrh CanSatu použít jen samotný modul.



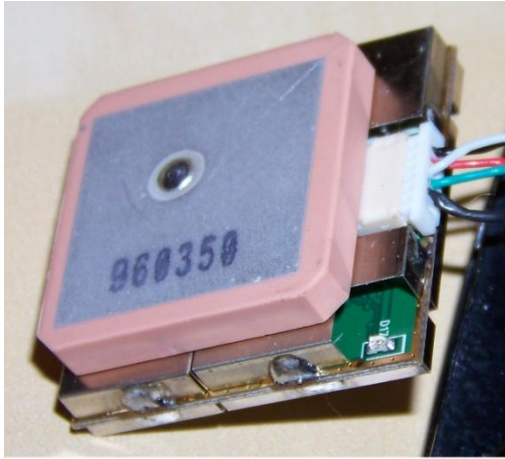
Navilock NL-303P



CanSat plechovka 330 ml a Navilock NL-303P



rozšroubovaný Navilock NL-303P a náhled na GPS modul



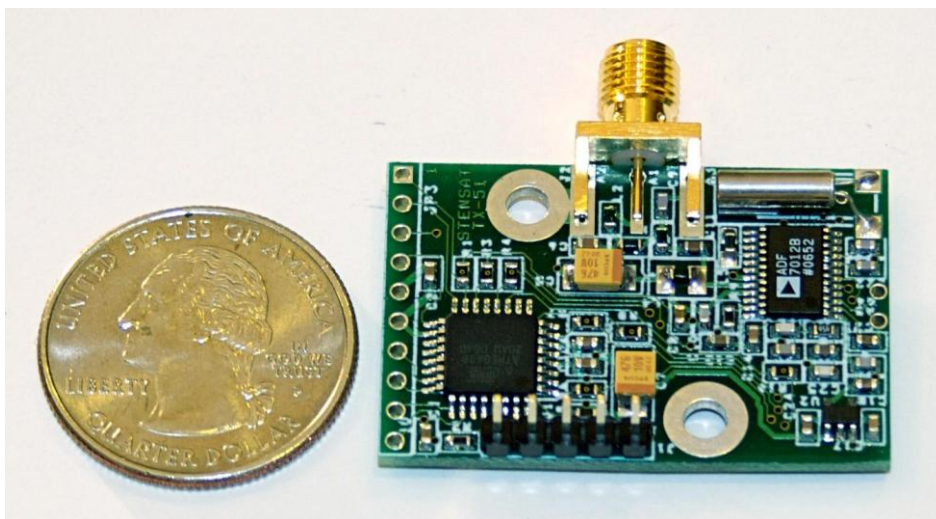
Modul z Navilock NL-303P

Komunikace

Vysílač

CanSat měl podle zadání soutěže odesílat data v ISP pásmu 70 cm (433,92 MHz) úzkopásmovou FM rychlostí 1200 baud a protokolem AX25. Použil jsem hotový modul vyráběný firmou Pratt Hobies (viz obrázek 5.1.1), který byl navržen pro organizaci **The Stensat Group**. V této organizaci byl rovněž vytvořen firmware.

Deska obsahuje dva integrované obvody. Jednak je to vlastní vysílač od firmy Analog Devices ADF7012. Jde o jednočipový UHF vysílač s možností SK/GFSK/OOK/GOOK/ASK modulace a pracující na kmitočtech od 75MHz až 1GHz. Jeho typické užití je pro vysílání v pásmech **ISM**. Jako příklad jsou uváděna pásma 315MHz, 433MHz (což je naše radioamatérské pásmo), 868 MHz a 915 MHz. Tento obvod je napájen 2,3V až 3,6V při odběru 10 až 21mA. Výstupní výkon je programově nastavitelný od -16 dBm až do +14dBm, v 0.4 dB krocích. Rychlost datového přenosu je max. 179,2 kb/s. Obvod ADF7012 stojí cca \$2, ale lze ho získat free samples.



Vysílač od Pratt Hobies

Programové řízení obvodu ADF7012 stejně jako vytváření paketů dle AX25 a jejich posílání do obvodu ADF7012 a komunikaci desky s okolím zajišťuje jednočipový 8 bitový počítač ATMEL Atmega88. Jednočipový počítač Atmega88 je naprogramován tak, že komunikuje s okolím sériovým signálem (na TTL úrovni) 38,4Kbaud. Výkon vysílače je naprogramován na 6 až 10dBm (4 až 10mW; poznámka 0dBm-1mW, 1dBm-1,2589mW, 10dBm-10mW).