

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Výškoměr pro raketové modely
Martin Andres

Bakalářská práce
2010

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin ANDRES**
Osobní číslo: **I07498**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Název tématu: **Výškoměr pro raketové modely**
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky**

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

Teoretická část bude obsahovat možnosti záznamu výšky letícího modelu rakety např. pomocí tlakoměru, akcelerometru, GPS a principy funkce těchto stanovení, možnosti zjištění dosažení maximálního bodu letu rakety. V praktické části bude realizován měřicí modul, který dokáže měřit výškový průběh letu rakety a data ukládat do paměti, dále by měl umět vyhodnotit dosažení vrcholu dráhy a vypustit padák.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

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

Seznam odborné literatury:

<http://www.freescale.com/webapp/sps/site/overview.jsp?nodeId=0112691118>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Accelerometer>

www.analog.com

www.atmel.com

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Pavel Rozsival
Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. ledna 2010**

Termín odevzdání bakalářské práce: **14. května 2010**



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 31. března 2010

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 14. 5. 2010

Martin Andres

Poděkování

Chtěl bych poděkovat všem, kteří pomohli k realizaci této práce, obzvláště pak vedoucímu bakalářské práce Ing. Pavlu Rozsivalovi, za poskytnutí odborných rad, připomínek a pomoci s výrobou desky plošného spoje.

Anotace

Teoretická část obsahuje možnosti záznamu výšky letícího modelu rakety např. pomocí tlakoměru, akcelerometru, GPS a principy na zjištění maximální výšky letu rakety. V praktické části je realizován měřicí obvod, který dokáže měřit výšku rakety a data ukládat do paměti.

Klíčová slova

Akcelerometr, tlakoměr, mikrokontroleru, A/D převodník, EEPROM paměť, raketa

Title

Altimeter for the rocket models

Annotation

The theoretical part includes the possibility of recording the height of a flying model rockets for example, using pressure gauge, accelerometer, GPS and principles to determine the maximum altitude rockets. The practical part is realized by measuring circuit that can measure the height of the rockets and store data in memory.

Keywords

Accelerometer, barometer, microcontroller, A / D converter, EEPROM memory, rocket

Obsah

Seznam zkratk	8
Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	9
1 Úvodní informace	10
2 Způsoby měření výšky letu a jejich průběhu	11
2.1 Pomocí úhloměru.....	11
2.2 Triangulace	13
2.3 Barometrické měření	13
2.3.1 Kapacitní manometr	13
2.3.2 Indukční manometr.....	14
2.3.3 Piezoelektrický manometr	14
2.3.4 Tenzometrické manometry	15
2.4 Inerciální způsob měření	15
2.4.1 Piezoelektrické akcelerometry.....	15
2.4.2 Piezorezistivní akcelerometry.....	16
2.4.3 Kapacitní akcelerometry.....	17
2.5 Měření pomocí GPS	18
3 Předpokládaný průběh letu, specifika a omezení plynoucí z toho	19
3.1 Popis raketového modelu	19
3.2 Stabilita modelu.....	20
3.3 Dráha letu	21
3.4 Teoretický výpočet výšky.....	22
4 Volba čidel	25
4.1 Akcelerometr MMA 2202D	25
4.1.1 Princip činnosti	25
4.1.2 Hlavní parametry	25
4.1.3 Možnosti použití akcelerometru MMA 2202	25
4.1.4 Směr snímání zrychlení	25
4.1.5 Základní zapojení	26
4.2 Manometr MPX 5100.....	26
4.2.1 Princip činnosti.....	26

4.2.2	Hlavní parametry	28
4.2.3	Základní zapojení	28
5	Návrh měřicího zařízení.....	29
5.1	Schéma zařízení.....	29
5.2	Stavba prototypu.....	32
5.3	A/D převodník	33
5.3.1	SPI port.....	34
5.4	Externí paměť	34
5.4.1	TWI port	35
5.5	Mikrokontroler	35
5.5.1	RISC architektura	35
5.6	Softwarové řešení	36
5.7	Kalibrace, ostrý let, vyhodnocení dat	37
6	Závěr.....	38
	Literatura	40

Seznam zkratek

ASIC	Application-Specific Integrated Circuit
AVR	Advanced Virtual RISC
CISC	Complex Instruction Set Computer
CMOS	Complementary Metal-Oxide Semiconductor
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
GPS	Global Positioning System
JTAG	Joint Test Action Group
LSB	Least Significant bit
MSB	Most Significant bit
RISC	Reduced Instruction Set Computer
SAR	Successive Approximation
SMD	Surface Mount Technology
SPI	Serial Peripheral Interface
TWI	Two-wire Serial Interface
USART	Addressable universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Úhломěr pro měření výšky	11
Obrázek 2 – Sestavení stanoviště	11
Obrázek 3 – Měření se dvěma stanovišti	13
Obrázek 4 – Kapacitní manometr fy Rosemount	14
Obrázek 5 – Indukční snímač fy Hartmann a Braun	14
Obrázek 6 – Piezoelektrický manometr	15
Obrázek 7 – Nejjednodušší blokové schéma principu piezoelektrických akcelerometrů	16
Obrázek 8 – Fyzikální princip piezoelektrického akcelerometru se základními výpočty	16
Obrázek 9 – Základní princip a struktura moderního piezorezistivního akcelerometru	17
Obrázek 10 – Princip senzoru akcelerometru	18
Obrázek 11 – Příjem GPS modulem v raketě	18
Obrázek 12 – Model rakety	19
Obrázek 13 – dráha letu rakety	22
Obrázek 14 – Fyzikální model a náhradní obvod kapacitního snímače	25
Obrázek 15 – Příklad snímání senzoru zrychlení	26
Obrázek 16 – Zapojení akcelerometru	26
Obrázek 17 – Blokové schéma vnitřního zapojení senzoru	27
Obrázek 18 – Závislost výstupního napětí senzoru na tlaku	27
Obrázek 19 – Průřez snímačem tlaku MPX 5100	27
Obrázek 20 – základní zapojení senzoru tlaku	28
Obrázek 21 – Schéma zařízení pro měření výšky modelářské rakety	31
Obrázek 22 – Deska plošného spoje	32
Obrázek 23 – rozmístění pinů A/D převodníku	33
Obrázek 24 – Komunikace A/D převodníku s mikrokontrolerem	33
Obrázek 25 – Rozmístění pinů externí paměti	34
Obrázek 26 – Kontrolní byte paměti	34
Obrázek 27 – Adresování paměti	35
Obrázek 28 – Pořadí bitů paměti	35
Obrázek 29 – Možný výsledek měření	37
Obrázek 30 – Průběh naměřený pomocí tlakoměru	38
Obrázek 31 – Průběh naměřený pomocí akcelerometru	38

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Konfigurace bitů A/D převodníku	33
---	----

1 Úvodní informace

Bakalářská práce se zabývá měřením výšky modelářské rakety. V druhé kapitole je popsáno měření výšky od nejzákladnějších metod, které využívají pro výpočet geometrického určování polohy, jako je metoda pomocí úhloměru nebo triangulace až po metody moderní, ve kterých se využívá různých čidel, např. akcelerometry, manometry nebo určování výšky pomocí GPS.

Třetí kapitola popisuje průběh letu, raketový model a vlivy, ke kterým je nutné přihlídnout pro zlepšení stability rakety. Je zde nastíněn teoretický výpočet maximální výšky rakety při ideálních okolních podmínkách.

Čtvrtá kapitola se zabývá typem použitých čidel. Pro měření bylo použito čidla akcelerometru a čidla pro měření tlaku. Je zde popsána jejich funkce a hlavní parametry. Také je zde znázorněno základního zapojení.

V poslední páté kapitole je zaznamenána stavba prototypu. Stavba prototypu obsahuje návrh desky plošných spojů a naprogramování mikrokontroleru pro správné zaznamenání naměřených dat, které jsou vyhodnocovány. Pro ukládání dat bylo použito externí paměťové medium. Z naměřených dat je sestaven graf s průběhem letu.

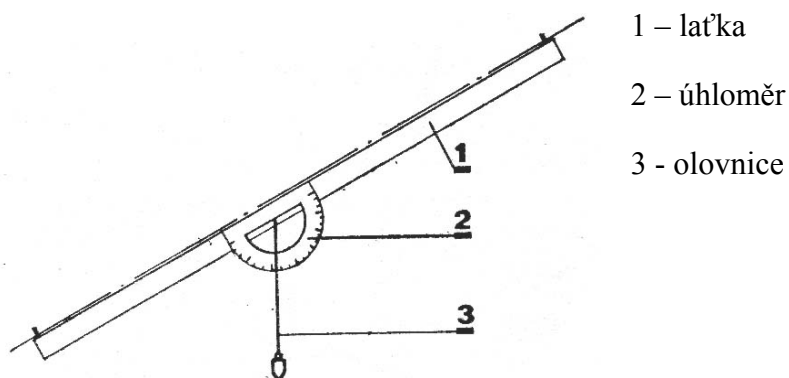
2 Způsoby měření výšky letu a jejich průběhu

2.1 Pomocí úhlooměru

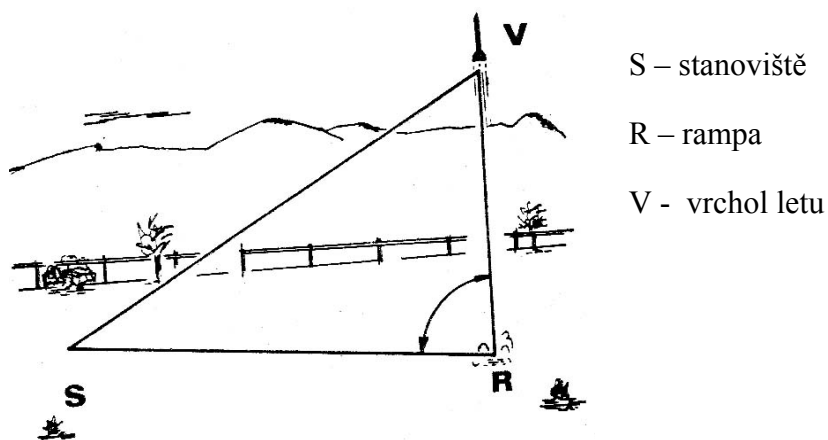
Jedná se o nejjednodušší systém pro měření výšky. Lze měřit z jednoho stanoviště, pokud je zapotřebí vyšší přesnosti je možno měřit ze dvou a více stanovišť. Jako měřicí přístroj lze použít obyčejný úhloměr, ke kterému je připevněna laťka a olovnice (Obrázek 1). Poté je třeba určit z jaké vzdálenosti od startovací rampy (R) budeme výšku měřit. Vzdálenost měřicího stanoviště (S) určíme dle možného vrcholu letu rakety. Předpokladem pro správné určení výšky je, aby úhle mezi přímkou vedoucí ze stanoviště k rampě a přímkou od rampy ve směru letu rakety byl 90° . Pokud by tento předpoklad nebyl splněn, dochází k chybě při výpočtu výšky. Pokud je vše připraveno správně můžeme raketu vystřelit a změřit její výšku dle následujícího vztahu:

$$VR = R \cdot S \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

Správné sestavení stanoviště je zobrazeno níže (Obrázek 2).



Obrázek 1 – Úhloměr pro měření výšky



Obrázek 2 – Sestavení stanoviště

Pro přesnější měření je možné použít dvou stanovišť. Na obrázku 3 je takovýto systém znázorněn. Vzdálenost mezi stanovišti S1 a S2 je známa. Rampa (X) může být umístěna mezi stanovišti libovolně. Její polohu lze určit za pomoci horizontálních a vertikálních úhlů, avšak k výslednému výpočtu není tento údaj potřeba. Údaje, které lze měřením zjistit je délka základny b , horizontální úhel A , vertikální úhel D , horizontální úhel C , vertikální úhel E . Bod rampy (R) leží v místě kolmého průmětu rakety V . Vzdálenost mezi rampou a vrcholem letu je hledaná výška doletu rakety. Pro výpočet se používá sinové věty

$$\frac{c}{\sin C} = \frac{b}{\sin B} = \frac{a}{\sin A}$$

kde

$$c = \sin C \frac{b}{\sin B} = \sin C \frac{b}{\sin[180^\circ - (A + C)]}$$

Úhel, svírající přímky mezi stanovištěm S1 až rampou a mezi rampou a vrcholem letu je 90° . Výška odečtená z tohoto stanoviště bude dána vztahem:

$$V = c \cdot \operatorname{tg} D$$

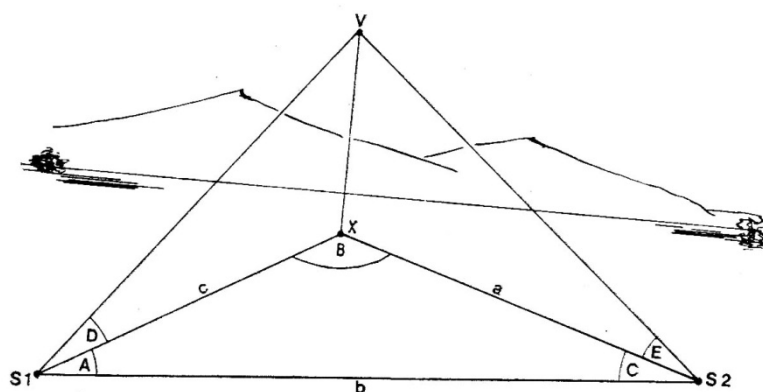
Po dosazení za c dostaneme vztah:

$$V = \sin A \cdot \operatorname{tg} E \frac{b}{\sin[180^\circ - (A + C)]}$$

Pro stanoviště S2 lze vypočítat výšku obdobně:

$$V = \sin A \cdot \operatorname{tg} E \frac{b}{\sin[180^\circ - (A + C)]}$$

Výpočtem, pro stanoviště S1 a S2, zjistíme výšku letu ze dvou různých míst. Zprůměrováním obou hodnot dostáváme průměrnou výšku letu. Přesnost měření lze zjistit velikostí rozdílu hodnot z obou stanovišť.



Obrázek 3 – Měření se dvěma stanovišti

2.2 Triangulace

Je způsob zjišťování souřadnic a vzdáleností pomocí trigonometrického výpočtu. Nejčastěji se pro měření přístroje používají teodolity nebo moderní přístroje založené na podobném principu, z nichž se vypočítává výsledná hodnota. Teodolit je přístroj na přesné měření vodorovných a výškových úhlů. Měření vychází z dvou nezávislých stanovišť, mezi nimiž je známá vzdálenost l . Přičemž pozorovatel v bodě A změří úhel α a pozorovatel v bodě B změří úhel β . Z těchto hodnot lze vypočítat souřadnice bodu C a výšku v . Podle pravidla součtu vnitřních úhlů vypočítáme úhel θ podle vztahu:

$$\theta = 180 - (\alpha + \beta)$$

Pro zjištění zbývajících délek stran trojúhelníku lze využít sinovou větu:

$$\frac{\sin \alpha}{a} = \frac{\sin \beta}{b} = \frac{\sin \theta}{l}$$

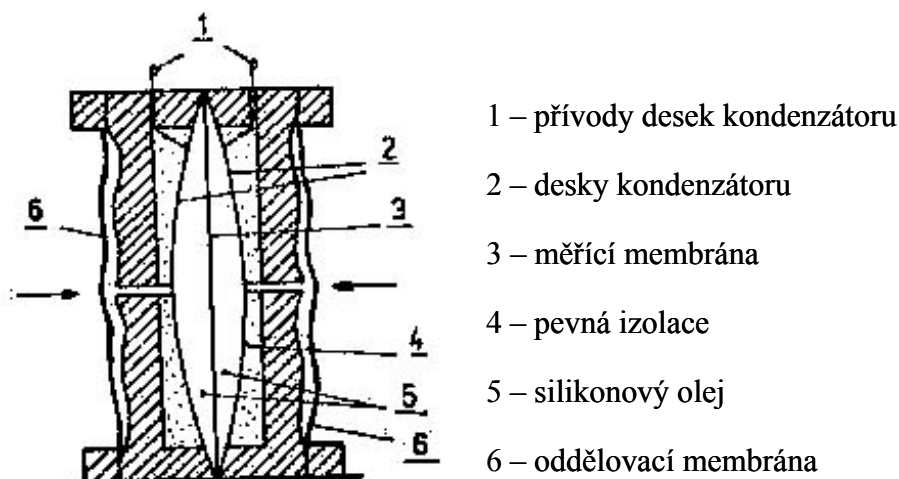
Poté můžeme pomocí funkce sinus vypočítat výšku v

2.3 Barometrické měření

K měření lze použít elektrické manometry, které transformují malé deformace deformačních členů na elektrický signál.

2.3.1 Kapacitní manometr

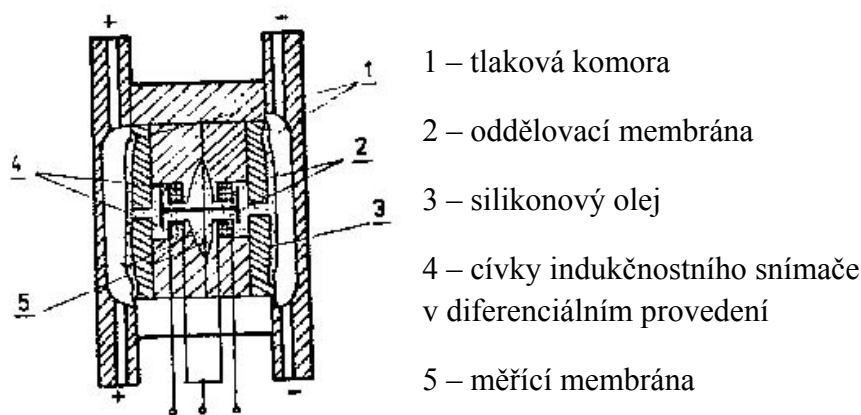
Pracuje na principu diferenčního kondenzátoru. Změny tlaku se přenáší přes oddělovací membrány na membránu měřící, která je uložena uprostřed tzv. tlakové komory. Po stranách měřící membrány jsou umístěny desky kondenzátoru, které s měřící membránou tvoří diferenční kondenzátor. Dielektrikem je zde silikonový olej. Tento snímač umožňuje měření tlakové difference s přesností 0,25%. Rozsah měřitelného tlaku se pohybuje od 1kPa do 190kPa. Snímač lze provozovat při teplotách od -40° do $+110^{\circ}\text{C}$.



Obrázek 4 – Kapacitní manometr fy Rosemount

2.3.2 Indukční manometr

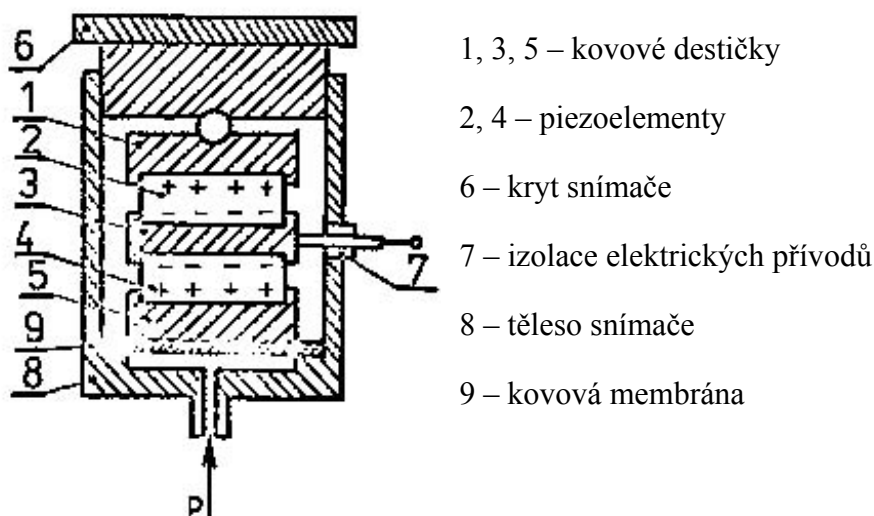
Podobně jako kapacitní je i indukční manometr deformačním. Hlavní částí je membrána nebo vlnovec, navrženy pro měření přetlaku nebo tlakové difference. Zde jsou však deformace deformačního členu snímány indukčností snímačem. Na obr. 5 je příklad provedení indukčního snímače.



Obrázek 5 – Indukční snímač fy Hartmann a Braun

2.3.3 Piezoelektrický manometr

Pomocí tohoto manometru, lze měřit tlaky 100MPa a vyšší. Nejvíce se však používají pro měření dynamických tlaků. Zhotovují se z krystalových výbrusů, obvykle z křemene. Tlak přiváděný na kovovou membránu přenáší své deformace prostřednictvím kovových destiček na piezoelementy, které jsou uspořádány paralelně. Paralelní uspořádání umožňuje sčítání náboje. Provedení je zobrazeno na obrázku 6.



Obrázek 6 – Piezoelektrický manometr

2.3.4 Tenzometrické manometry

Tenzometrické snímače tlaku lze rozdělit do pěti skupin, dle jejich provedení.

- 1) Snímače s kovovými tenzometrickými prvky zhotovenými z kovových vláken o průměru $20\mu\text{m}$ až $30\mu\text{m}$ nebo z kovové fólie o síle $2\mu\text{m}$ až $10\mu\text{m}$. Obvykle se připevňují lepením na sledovaný objekt.
- 2) Snímače s polovodičovými prvky – křemíková destička o průměru $10\mu\text{m}$ až $20\mu\text{m}$, které se také připevňují lepením na sledovaný objekt.
- 3) Snímače s kovovými či polovodičovými prvky, které jsou spojeny s deformačním objektem již při výrobě.
- 4) Snímače s kovovým prvkem, který je připevněn k deformačnímu objektu napařením. Takovýto tenzometr se skládá z izolační, odporové a kontaktní vrstvy. Nebo se může jednat o polovodičový prvek vytvořený planárně difuzní technologií na křemíkovém podkladu.
- 5) Snímače s kovovým nebo polovodičovým v takovém provedení, kdy tvoří s deformačním objektem i měřicím obvodem jeden celek

2.4 Inerciální způsob měření

Akcelerometr je senzor, který využívá setrvačnosti hmoty pro měření rozdílu mezi kinematickým zrychlením (vzhledem k určitému inerciálnímu prostoru) a gravitačním zrychlením. V dnešní době se akcelerometrů využívá stále více. V posledních letech se také akcelerometry, díky novým technologiím miniaturizovali a proto se vejdou i do malých například herních zařízení. Jeho funkčnosti dnes využívají různé odvětví jako je automobilové, letecké, lékařské. Avšak jejich vlastnosti se liší podle způsobu použití.

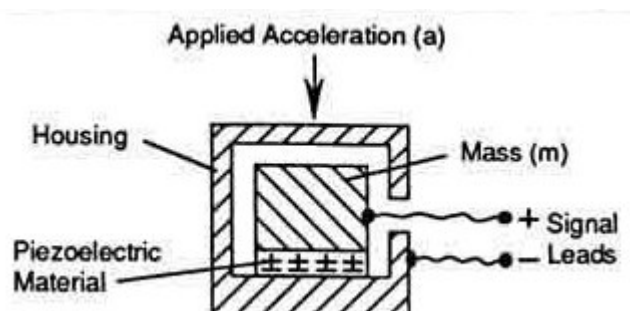
2.4.1 Piezoelektrické akcelerometry

Pro svou funkci využívají piezoelektrický materiál, který generuje náboj úměrný mechanickému namáhání, které vzniká působící akcelerací. K měření náboje na piezokrystalu se může použít externí elektronika, ale častěji se využívá akcelerometr s

vnitřní elektronikou senzoru, která konvertuje náboj na napěťový výstup. Snímač je jednoduché konstrukce a proto jej lze připojit na jednoduchý vyhodnocovací obvod.

Snímač se skládá z piezoelektrického materiálu, pro měření zrychlení. A seismické hmoty převádějící dle Newtonova zákona hodnotu zrychlení na sílu, dle vztahu:

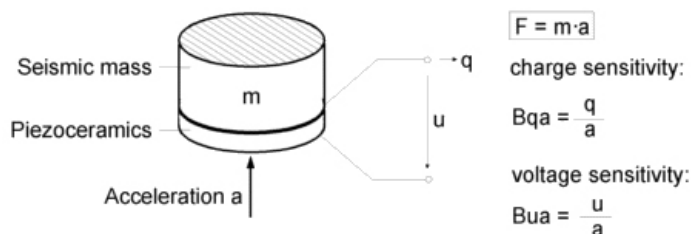
$$F = m \cdot a$$



Obrázek 7 – Nejjednodušší blokové schéma principu piezoelektrických akcelerometrů

Jedna část piezoelektrického materiálu je připevněna na tuhou podpěru základny senzoru. Druhá část je připevněna na seismickou hmotu (Mass). Pokud je snímač vystaven zrychlení (a), vytvořená síla F , která působí na piezoelektrický element, způsobí vyvolání náboje, resp. napětí na výstupu. Jelikož seismický materiál má neměnnou velikost, je výstupní signál v podobě velikosti náboje roven zrychlení.

Akcelerometr je charakterizován nábojovou citlivostí b_{qa} , popř. napěťovou citlivostí B_{ua} .



Obrázek 8 – Fyzikální princip piezoelektrického akcelerometru se základními výpočty

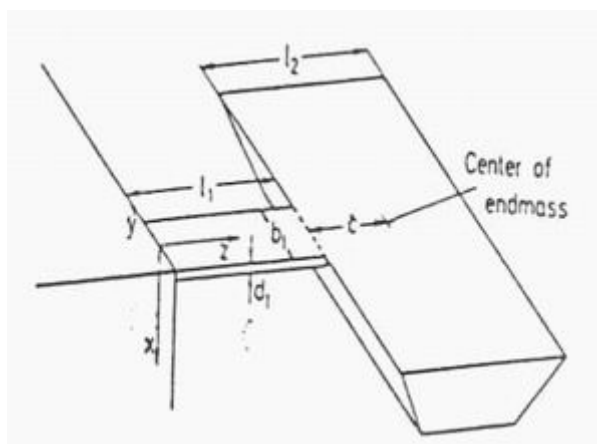
2.4.2 Piezorezistivní akcelerometry

Tento druh akcelerometrů využívá změny odporu piezokeramiky při mechanickém namáhání, které vzniká působností zrychlení. Pro měření odporu piezomateriálu se využívá základní nebo poloviční Wheatstonův můstek. Jednoduchá konstrukce snímače umožňuje napojení na jednoduchý vyhodnocovací obvod.

Piezorezistivní akcelerometr využívá piezorezistivní materiál a jeho prostřednictvím převádí sílu vzniklou urychlovanou hmotou na změnu odporu. V integrovaných piezorezistivních akcelerometrech se využívá sítě vyleptaných měřících piezorezistivních snímačů (můstků) zapojených ve Wheatstonově můstku.

Nejpoužívanější princip je založen na použití pohybu/ohybu jednoho konzolového nosníku z piezorezistivního křemíkového materiálu vlivem působícího zrychlení. Ohybem se mění odpor, který je měřen.

Zavěšená hmota piezorezistivního akcelerometru je v podstatě zátěž na pružině připevněné k rámu. Pokud se rám pohne, hmota bude mít tendenci zůstat v klidu až do doby, kdy napjatá pružina předá dostatek síly hmotě k pohybu. Síla působící na pružinu je úměrná deformaci a ta je přímo úměrná měřenému zrychlení. Základní princip je zobrazen níže (obrázek 9). Zátěž je zde označena jako endmass, nosník má šířku b_1 , délku l_1 a tloušťku d_1 .

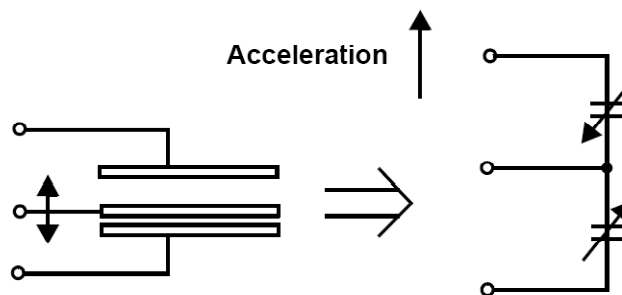


Obrázek 9 – Základní princip a struktura moderního piezorezistivního akcelerometru

2.4.3 Kapacitní akcelerometry

Princip měření je založen na změně kapacity vnitřního proměnného integrovaného kondenzátoru vlivem působící síly vzniklé zrychlením pouzdra senzoru. Samotný integrovaný senzor je vlastně povrchová mikromechanická polykřemíková struktura (nosník, pružiny, pevné úchyty) "plouvoucí" na povrchu křemíkového monokrystalu. Křemíkové pružiny umožňují pohyb celé mechanické struktury po povrchu monokrystalu a zároveň poskytují mechanický odpor síle vzniklé zrychlením. Prohnutí a deformace takové to struktury je převedena na změnu kapacity diferenciálního kondenzátoru (Obrázek 10). Ten je složen z dvou pevných desek a desky pevně spojené s deformujícím se nosníkem (beam).

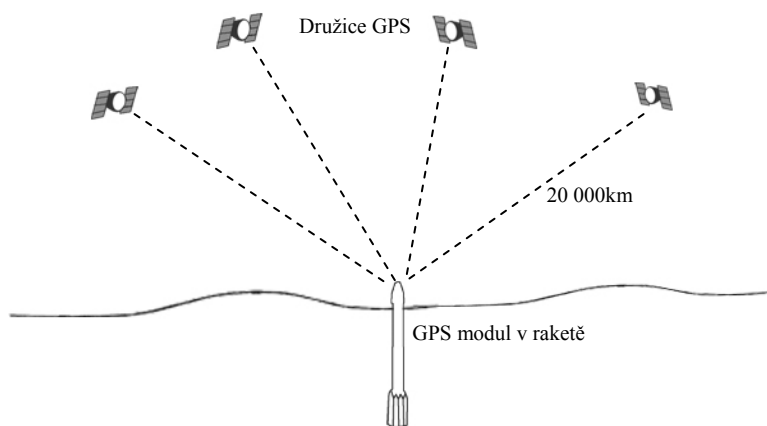
Působení zrychlení tak ve výsledku mění vzdálenost (zvyšuje nebo snižuje) pohyblivé elektrody kondenzátoru, což mění kapacitu senzoru v závislosti na intenzitě zrychlení.



Obrázek 10 – Princip senzoru akcelerometru

2.5 Měření pomocí GPS

GPS je původně vojenský navigační systém armády Spojených států amerických. Od začátku 90. let je systém bezplatně přístupný i pro civilní uživatele po celém světě. Systém je založen na výpočtu vzdáleností mezi uživatelem na Zemi a družicemi na oběžných drahách ve výšce cca 20 000 km. Aktivních družic je 24. Proto lze nad jakýmkoliv místem na Zemi přijímat maximálně z 12 družic, ostatní se nacházejí nad protilehlou stranou Země. Pro výpočet polohy i s výškou je zapotřebí signál ze čtyř družic. Družice jsou řízeny z několika stanovišť, které jsou umístěny rovnoměrně podél rovníku. Jelikož se nejedná o družice stacionární, není potřeba výhled na jih, ale obecně jen výhled na oblohu. Frekvence signálu je volena tak, aby signál nebyl ovlivňován denní či roční dobou nebo počasím. GPS jsou přístroje, které data z družic pouze přijímají a zpracovávají.

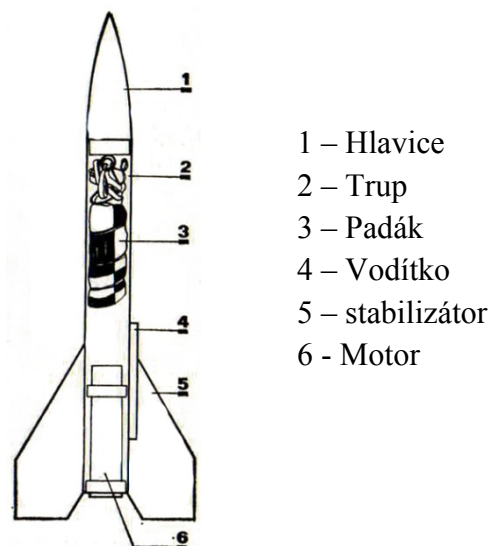


Obrázek 11 – Příjem GPS modulem v raketě

3 Předpokládaný průběh letu, specifika a omezení plynoucí z toho

3.1 Popis raketového modelu

Pro dosažení co největší výšky, je důležité vzít v potaz konstrukční prvky modelu. Raketový model se skládá z šesti hlavních částí (Obrázek 12). Hlavice uzavírá trup a musí být navržena tak, aby kladla minimální odpor při letu rakety. Další částí je trup, který uvnitř nese některé díly, jako je padák nebo motor. Padák je také jednou z velmi důležitých věcí, bez kterého by se raketa při dopadu deformovala. Na boku trupu je připevněno vodítko pro umožnění startu rakety ze startovací tyčové rampy. Na konci trupu jsou umístěny stabilizátory, které stabilizují raketu po opuštění rampy. Ke konci trupu je připevněn motor, který přenáší tah motoru do rakety.



Obrázek 12 – Model rakety

Při návrhu tvaru rakety musíme dbát na dobré aerodynamické řešení. Nejvhodnější je parabolický typ hlavice, který má nejnižší koeficient odporu. Tvar trupu bývá většinou válec. Poměr délky trupu k průměru se nazývá štíhlost. Máme-li tedy trup desetkrát větší, než je jeho průměr, znamená to, že štíhlost je 10. Pro výškové soutěžní modely se většinou používají trupy o štíhlosti 8 až 15. Další částí jsou stabilizátory, které se snažíme umístit co nejvíce vzadu. Bývají 3 nebo 4, větší počet stabilizátorů nijak stabilitu nezlepší. Při větším množství se totiž zvýší váha modelu. Rozpětí stabilizátorů se většinou volí v rozsahu dvou až čtyřnásobku průměru trupu a hloubka stabilizátoru se volí obvykle 1,5 násobek průměru trupu. Návrhové zařízení umožňuje bezpečný návrat modelu na zem. Jedním z nejjednodušších systémů je porušení váhového těžiště. Pomocí výmetu vypadne hlavice a model přistává zmírněnou rychlostí. Mezi další typy návratových zařízení patří návrat za pomoci brzdící stuhy, což je proužek papíru nebo textilní tkaniny, která je spojena s hlavicí modelu nití. Nejvíce se však používá návrat padákem. Další funkční části rakety je vodítko, které zajišťuje vedení modelu po startovací rampě. Nejčastěji se používá trubkové vodítko, používající se pro start z tyčové rampy. Používají se i rampy, které nevyžadují na

raketě vodítka žádné. Takové rampy vedou model ze tří stran a odpadá tím instalace vodítka.

3.2 Stabilita modelu

Po opuštění startovací rampy, již musí model pokračovat ve stabilním letu automaticky. Proto je potřeba stanovit především váhové těžiště modelu a těžiště aerodynamických sil. Váhové těžiště je bod, v němž je soustředěna váha celého modelu. Těžiště aerodynamických sil je bod, ve kterém jsou soustředěny aerodynamické síly působící na model při letu vzduchem. V podélné ose na model působí tah raketového motoru směrem vzhůru a opačným směrem působí odpor vzduchu a gravitace. Známkou nestabilního letu jsou výkyvy od podélné osy. Stabilní model by měl i za působení vnějších sil, jako je boční vítr, opět pokračovat i po vychýlení v přímém směru.

Pro stabilní let je nutné, aby váhové těžiště bylo umístěno před těžištěm aerodynamických sil. Model rakety, jakožto i volná tělesa v prostoru, se otáčí nebo vykyvuje kolem svého váhového těžiště. Sílou, která může způsobit otáčení modelu kolem jeho váhového těžiště, je například boční vítr, nesouměrný tlak na hlavici modelu, tlak vzduchu na vodítka, pokroucené stabilizátory, šikmý výtok plynů z trysky motoru, špatně uložený motor, nesymetrické profilování atd. Všechny rakety proto musí být konstruovány, aby omezili působení těchto vlivů. Pokud nebudeme dbát na tyto vlivy, raketa se bude za letu převracet a neudrží směr daný rampou. Většina raket je stabilizována proudem vzduchu, který je obtéká při letu. Při řešení stabilizace musíme každou nestabilizující sílu vyrovnat stejnou, proti ní působící silou, která zajistí stabilitu modelu.

Váhové těžiště můžeme určit, když hotový model vyvažujeme například na břitu nože. Těžiště se pak nachází v bodě, kdy je podepřený model zcela v rovnováze. Toto těžiště lze také určit během fáze návrhu, pokud si vyznačíme váhová těžiště jednotlivých hlavních částí (trup, motor, stabilizátory, hlavice atd.). Čím podrobněji a pečlivěji stanovíme jednotlivá těžiště dílů, tím přesnější budeme mít výsledek. Po zjištění jednotlivých těžišť si určíme jeden pevný bod, nejlépe vrchol hlavice. Od vrcholu hlavice se změří vzdálenosti bodů od jednotlivých těžišť a vynásobí se vahami příslušných dílů. Tím dosáhneme momentů jednotlivých dílů, které sečteme a dostaneme moment výsledný. Výsledný moment se vydělí celkovou vahou modelu a tím získáme vzdálenost váhového těžiště.

Těžiště aerodynamických sil zjistíme celkem jednoduše. Víme, že těžiště aerodynamických sil je totožné s geometrickým středem bokorysu nebo podélného řezu. Proto si stačí narýsovat na kus tvrdého papíru model naší rakety a tím získáme stínový obraz našeho modelu. Ten pak vyvážíme opět například na břitu a naměřený geometrický střed bude aerodynamickým těžištěm.

3.3 Dráha letu

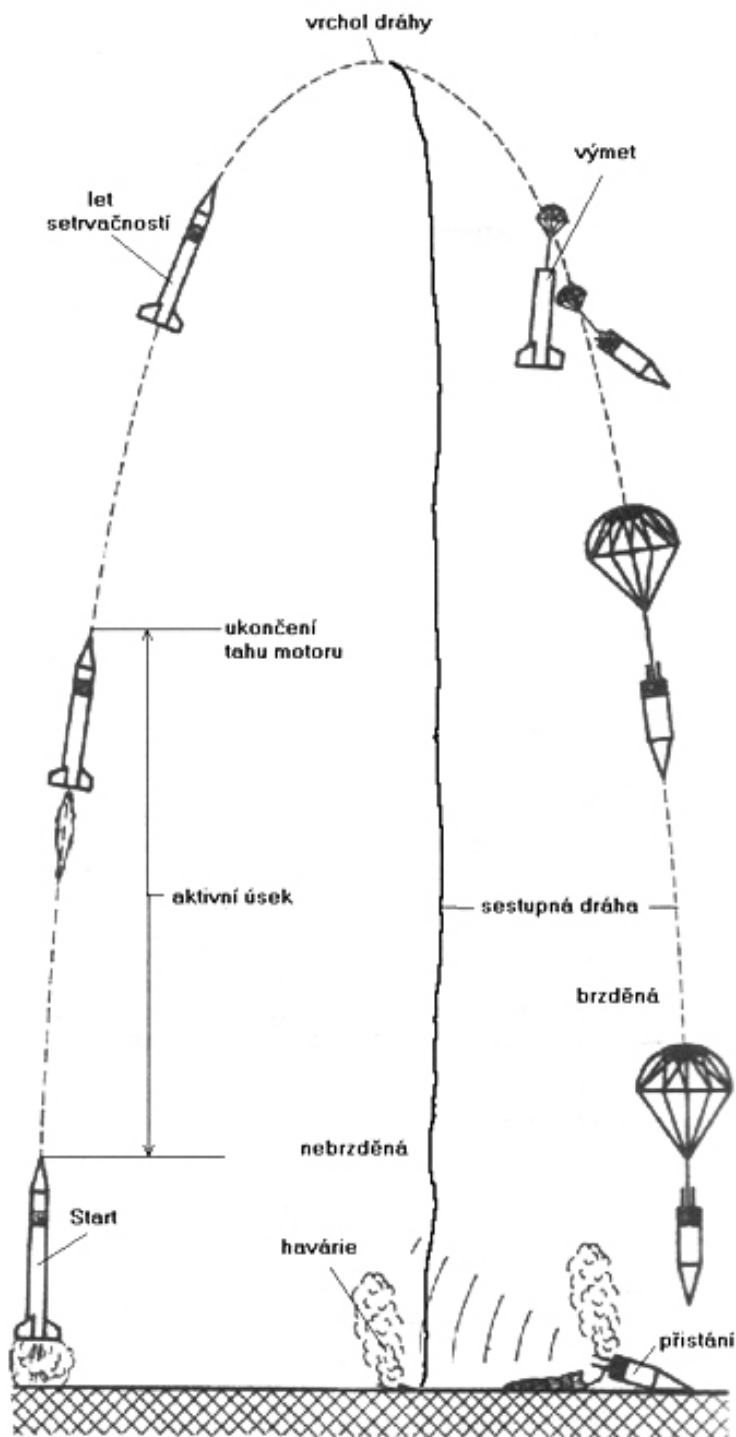
Létání s modelem rakety na rozdíl od modelu letadla je odlišné, protože raketa nemá žádné nosné plochy. Při svém letu raketa překonává zemskou přitažlivost tahem svého motoru, na rozdíl od letadel, které zemskou přitažlivost překonávají vztlakem svých nosných ploch. Z tohoto důvodu nemůže raketa létat vodorovně se zemským povrchem, ale musí být vždy před startem nastavena pod určitým úhlem. Startuje-li model kolmo vzhůru je úhel mezi horizontální rovinou a raketou 90° . Při takovémto náklonu dosahuje model největších výšek a dopadá zpět v okolí místa startu.

Modely startují vždy jen z rampy. Při startu je totiž rychlost modelu příliš malá a stabilizátory rakety jsou obtékány slabým proudem vzduchu, a tudíž jsou málo účinné. Ačkoliv motor pracuje na plný výkon, stačil by slabý závan větru a model by se rozletěl nepředvídatelným směrem. Aby takovýto moment nenastal, je raketa při startu vedena rampou, až do doby kdy získá rychlost pro dostatečnou účinnost stabilizátorů.

Na obrázku (Obrázek 13) je znázorněn průběh letu rakety startující z rampy. Po odpoutání se od rampy pokračuje raketa stabilním letem. Dráha, po kterou motor funguje, je zakreslena jako aktivní úsek, při kterém se rychlost neustále zvyšuje. V době ukončení tahu motoru má raketa nejvyšší rychlost. Doposud působilo na raketu zrychlení. Dosažená maximální rychlost rozhoduje o výšce, kterou raketa dosáhne.

Následuje část, kdy raketa již nezrychluje a stoupá pouze setrvačností. Při dosažení vrcholu dráhy je vzestupná rychlost rovna nule. Pokud by raketa stoupala neustále kolmo, byla by na vrcholu dráhy i dopředná rychlost rovna nule. Avšak téměř vždy stoupá mírně šikmým směrem, proto má na vrcholu i malou dopřednou rychlost. Od této doby raketa již nestoupá vzhůru a její vzestupný let se mění na sestupný. U vrcholu dráhy případně chvíli poté by se mělo aktivovat návratové zařízení, jinak by se model zřítíl velkou rychlostí k zemi a byl by nejspíše i nenávratně poškozen. Fáze letu je ukončena přistáním nebo kolizím s terénem.

Maximální výška je ovlivněna několika faktory, jako je startovní váha, vnější průměr trupu, váha paliva pro motor, součinitel odporu, střední tah motoru, délka tahu a úhel startu.



Obrázek 13 – dráha letu rakety

3.4 Teoretický výpočet výšky

Výšku, kterou raketa dosáhne si lze i teoreticky vypočítat. Nejdříve je však nutné zjistit základní údaje, jako je váha kompletního modelu, připraveného ke startu (startovní váha), váha modelu po vyhoření paliva, tah raketového motoru a dobu trvání tahu. Startovní váhu označíme G , váhu po vyhoření paliva označíme jako G' , tah motoru F ,

doba trvání tahu t a gravitační zrychlení g . Nejdříve si stanovíme zrychlení při startu, které označíme a_0 a zrychlení v okamžiku skončení tahu motoru a_1 . Pro zjednodušení výpočtu uvažujeme, že raketa startuje pod úhlem 90° a za ideálních povětrnostních podmínek.

$$a_0 = \left(\frac{F}{G} - 1 \right) \cdot g \qquad a_1 = \left(\frac{F}{G'} - 1 \right) \cdot g$$

Pokud je tah motoru stálý, lze předpokládat, že zrychlení ke konci hoření vzroste. Při znalosti velikosti obou zrychlení si můžeme stanovit průměrné zrychlení modelu, jako aritmetický průměr obou zrychlení.

$$a = \frac{a_0 + a_1}{2}$$

Víme, že maximální rychlost v_{MAX} dosáhne model v okamžiku dokončení tahu motoru. Tuto rychlost si můžeme vypočítat velmi snadno, vynásobením průměrného zrychlení a doby tahu motoru.

$$v_{MAX} = a \cdot t$$

Největší teoretický dostup po skončení tahu motoru bude:

$$H_1 = \frac{a \cdot t^2}{2}$$

Po skončení tahu motoru samozřejmě model stále stoupá setrvačností:

$$H_2 = \frac{v_{MAX}^2}{2g}$$

Celkový maximální dostup tedy bude součtem H_1 a H_2 . Ve výpočtech je však ještě chybí odpor vzduchu F_X . Ideální hodnotou by bylo změření v aerodynamickém tunelu. Lze si ho však i spočítat:

$$F_X = C_X \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S \cdot v^2$$

Kde C_X je koeficient tvaru tělesa, S je čelní plocha tělesa obtékaného proudem vzduchu a v bude rychlost pohybu tělesa. Z tohoto vzorce vyplývá, že odpor vzduchu roste při vzrůstajících rychlostech. Také modely s větším průměrem trupu a větším rozpětím stabilizátorů mají větší odpor. Záleží i na vhodném aerodynamickém tvaru. Koeficient C_X musí být stanoven měřením v aerodynamickém tunelu, případně jej můžeme odhadnout podle koeficientu podobných těles.

Nyní můžeme dosadit odpor vzduchu, který jsme vypočítali jako sílu do vzorce.

$$a = \left(\frac{F - F_x}{G} - 1 \right) \cdot g$$

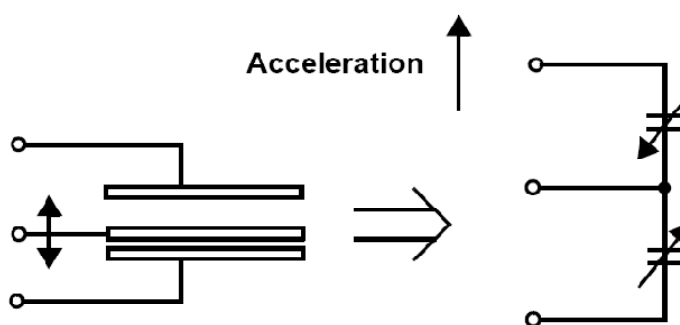
Zjistili jsme, že odpor vzduchu je síla, působící proti pohybu modelu, což znamená, že tato síla snižuje tah motoru, proto musíme vypočítaný odpor odečíst od hodnoty tahu. Výsledný vztah je pouze obecný, protože zrychlení modelu se během letu neustále mění.

4 Volba čidel

4.1 Akcelerometr MMA 2202D

4.1.1 Princip činnosti

Tento akcelerometr od firmy Freescale je mikromechanický integrovaný obvod. Součástka se skládá z kapacitního snímače a CMOS čipu ASIC. Snímač je vytvořen z polovodičových materiálů (silikonu) s použitím procesů na výrobu polovodičů (maskování a leptání). Kapacitní snímač má uvnitř čipu tříelektrodový kondenzátor, který má prostřední elektrodu volnou a její pohyb je závislý na momentu zrychlení. Čip poté převede kapacitu kondenzátoru na analogový signál.



Obrázek 14 – Fyzikální model a náhradní obvod kapacitního snímače

Změna vzdálenosti desek je měřítkem zrychlení. Podle pohybu střední elektrody se mění kapacita kondenzátoru podle vztahu:

$$C = \varepsilon \frac{S}{d}$$

kde ε je permitivita, S je plocha elektrod a d je vzdálenost elektrod.

4.1.2 Hlavní parametry

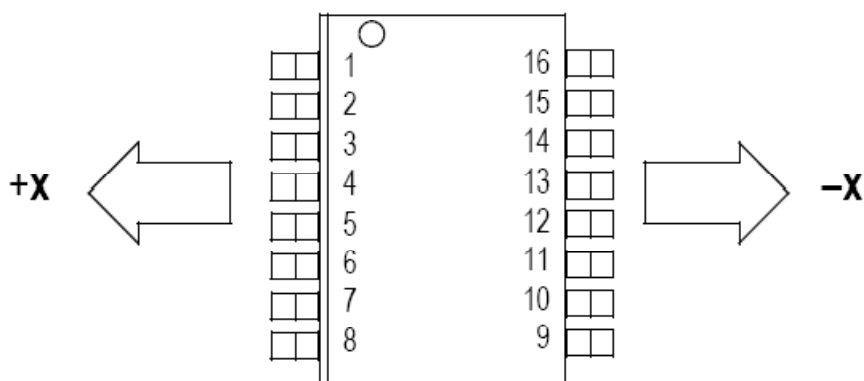
- Optimalizovaný rozsah: $\pm 50g$
- Napájení: 4.75 až 5.25 V, spotřeba max. 6 mA
- Citlivost: 40 mV/g
- Odezva: 2 ms
- Pracovní teplota: $-40^{\circ}C$ až $125^{\circ}C$

4.1.3 Možnosti použití akcelerometru MMA 2202

- Záznam a diagnostika vibrací
- Sportovní diagnostické přístroje a zařízení
- Kontrolní přístroje

4.1.4 Směr snímání zrychlení

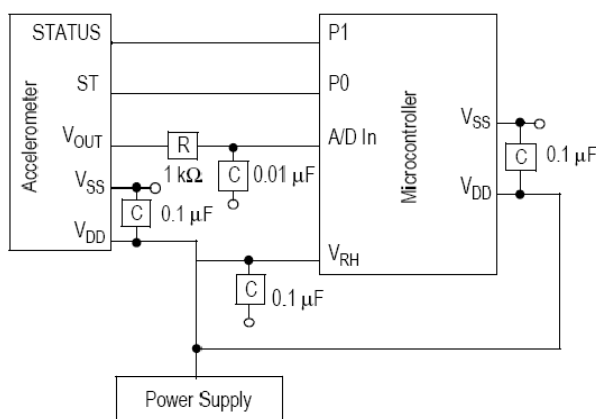
Ukázka snímání zrychlení akcelerometru (Obrázek 15). Při zrychlení ve směru +X se bude hodnota výstupu zvětšovat. Pro správnou funkci musí být akcelerometr umístěn ve směru kdy strana označena jako - X směřuje k zemi.



Obrázek 15 – Příklad snímání senzoru zrychlení

4.1.5 Základní zapojení

Doporučené základní zapojení akcelerometru s mikrokontrolerem (Obrázek 16). Důležité je připojení na A/D převodník u mikrokontroleru, protože akcelerometr sám nevysílá hodnotu digitální, ale analogovou hodnotu napětí, které je úměrné velikosti



zrychlení.

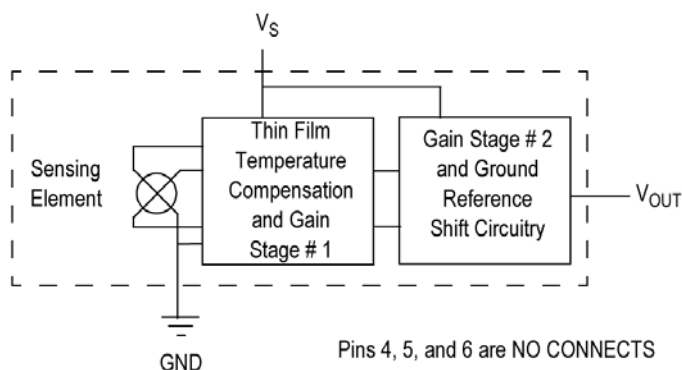
Obrázek 16 – Zapojení akcelerometru

4.2 Manometr MPX 5100

4.2.1 Princip činnosti

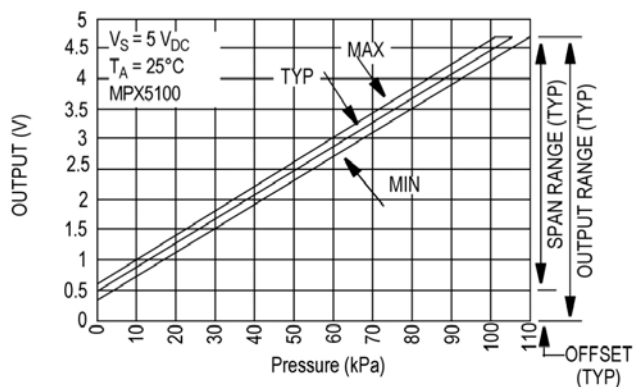
MPX5100 je integrovaný křemíkový tlakový senzor se zpracováním signálu, teplotní kompenzací a kalibrací. Tento piezorezistivní snímač je možné použít pro širokou škálu aplikací, ale zejména takové, které využívají ke své činnosti mikrokontroler nebo mikroprocesor s A/D vstupy. Ke konkrétnímu použití je možné použít i různé druhy provedení pouzdra.

Patentované provedení X-ducer™ Sensor Element charakterizuje snímač tím, že se jedná pouze o jeden piezorezistivní element, namísto klasického zapojení více elementů do můstku. Výhodou provedení tohoto senzoru je možnost společného umístění kompenzací a obvodů pro zpracování a zesílení signálu snímače na jednom čipu (obrázek 17).



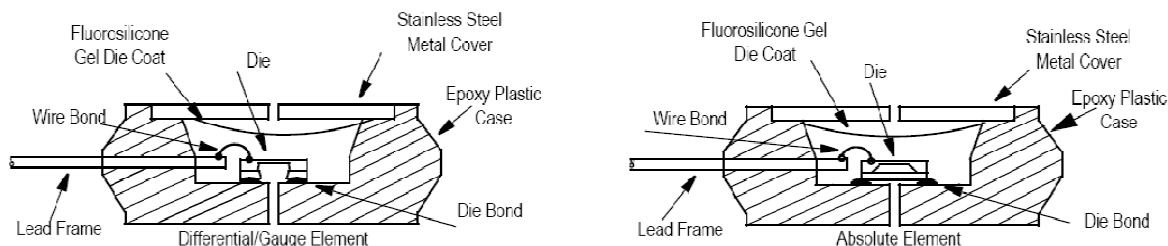
Obrázek 17 – Blokové schéma vnitřního zapojení senzoru

Na tento senzor lze nahlížet tak, jako na tzv. černou skříňku s převodní charakteristikou zobrazenou v grafu (obrázek 18).



Obrázek 18 – Závislost výstupního napětí senzoru na tlaku

Z pohledu konstrukce je samotný piezorezistivní snímač chráněn fluorosiliconovým gelem, který izoluje snímač od agresivního okolního prostředí a zároveň umožňuje přenos signálu tlaku na křemíkovou membránu.



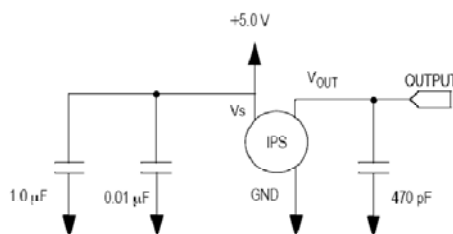
Obrázek 19 – Průřez snímačem tlaku MPX 5100

4.2.2 Hlavní parametry

- Optimalizovaný rozsah: 0 až 100 kPa (Manometrický a diferenční měření tlaku), 15 až 115 kPa (absolutní měření tlaku)
- Napájení: 4.75 až 5.25 V, spotřeba max. 10 mA
- Výstupní napěťový rozsah: 4.5 V (max. výstupní napětí 4.7V)
- Offset: 0.2V
- Přesnost: 2.5 % plného rozsahu
- Citlivost: 45 mV/kPa
- Odezva: 1 ms
- Pracovní teplota: -40°C až 125°C

4.2.3 Základní zapojení

Ukázka doporučeného zapojení obvodu s filtrací napájecího napětí a s propojením A/D převodníku v mikroprocesoru nebo mikrokontroleru (obrázek 20).



Obrázek 20 – základní zapojení senzoru tlaku

5 Návrh měřícího zařízení

5.1 Schéma zařízení

Pro výškoměr byl zvolen akcelerometr od firmy Freescale s označením MMA 2202D. Díky jeho parametrům pro přetížení až $\pm 50g$ je velmi vhodný na měření zrychlení modelářských raket, které dosahují velmi velkých přetížení. Pro měření tlaku byl zvolen tlakový senzor MPX5100 od stejné firmy.

Jako řídicí obvod byl použit procesor ATmega32 od firmy Atmel. Tento procesor se v zapojení stará o ukládání dat do externí paměti a následnou komunikaci s počítačem, důležitou pro vyhodnocení naměřených údajů. Jedná se o nízkopříkonový 8bitový mikrokontroler založený na architektuře AVR RISC. Obsahuje čtyři 8bitové vstupně/výstupní porty (celkem 32 vstupně/výstupních portů). O hodinový kmitočet se stará 16MHz krystal HC49. Disponuje jednotkami USART, SPI, TWI. Čip lze programovat pomocí jazyku C. V zapojení je použito JTAG rozhraní, které umožňuje ladění přímo na čipu. Ladění přímo na čipu je umožněno pomocí programování v programu AVR Studio.

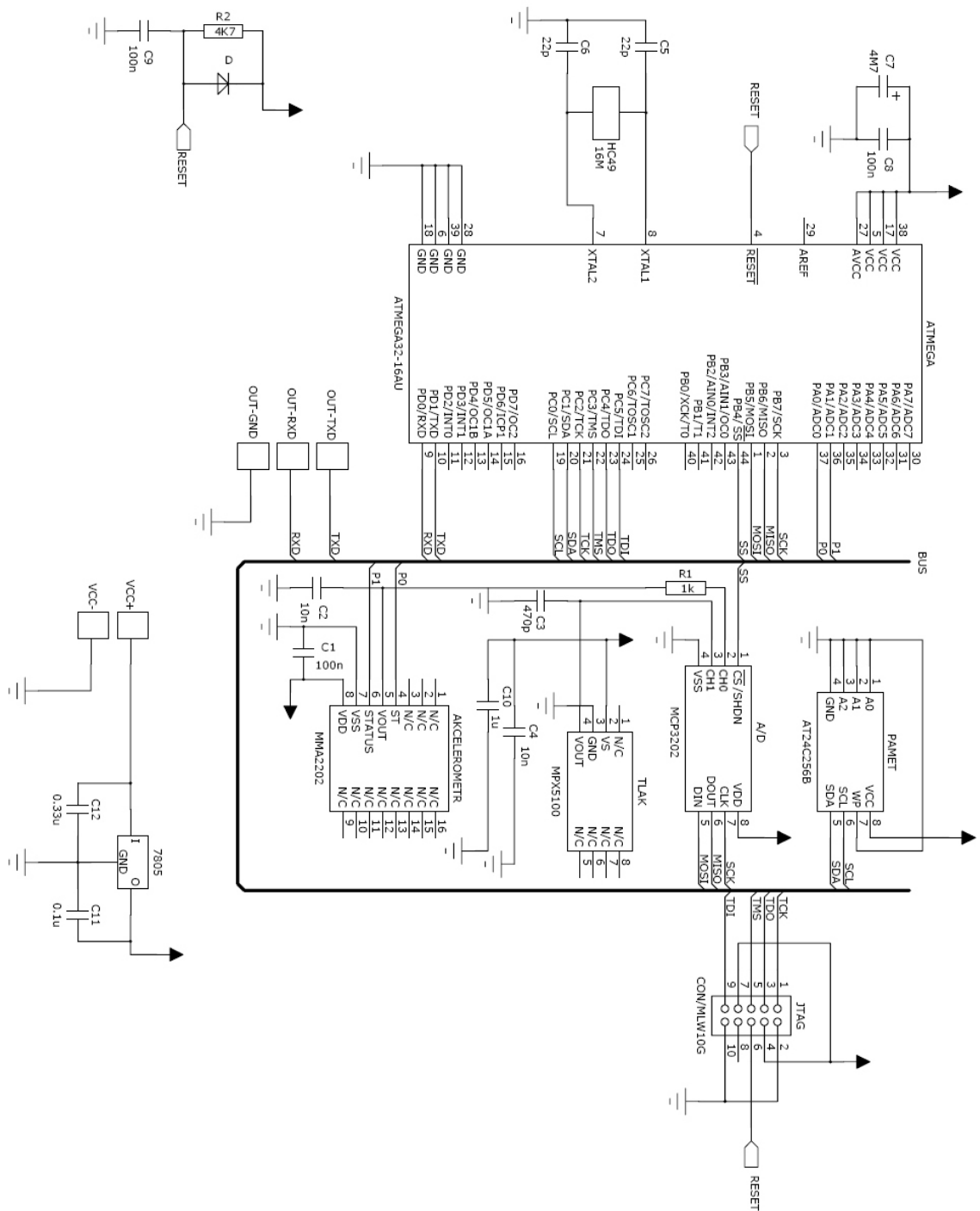
V AVR Studio lze vytvářet programové projekty. Jeho vývojové prostředí obsahuje textový editor pro tvorbu programu. Editor umí rozeznat části kódu a barevně je rozlišit. Prostředí se využívá i pro ladění čipu, kdy si uživatel může program pomocí breakpointů odkrokovat. Při fázi ladění je také možné pozorovat v pracovním okně aktuální informace o stavu všech registrů. Pokud je program špatně navržen a nachází se v něm chyba, program nedovolí spuštění programu pro testování. Vývojové prostředí je velmi přehledné a tím uživateli zvyšuje výkonnost při návrhu projektu.

Pro vzorkování byl použit 12bitový A/D převodník MCP3202, který dokáže vzorkovat maximální vzorkovací frekvencí 100ksp/s (100 000 vzorků za sekundu). Takto vysoká vzorkovací frekvence je důležitá pro naměření co nejvíce hodnot, protože výstup rakety do maximální výšky trvá jen několik vteřin. Přesnost tohoto převodníku je v technické dokumentaci určena na $\pm 1\text{LSB}$. Tento převodník má analogové vstupy, které lze použít buď jako 2 nezávislé vstupy nebo jako jeden pseudodiferenciální vstup. Při zvolení pseudodiferenciálního vstupu je jedním kanál IN+ a druhý IN-. Převodník je založen na tzv. SAR architektuře, což znamená převodník s postupnou aproximací.

Napájecí napětí, které je potřeba ke správné činnosti procesoru ATmega32, A/D převodníku, čidel a paměti je pro všechny prvky shodné, a to 5V. Pro jednoduché získání konstantního napětí 5V, byl v zapojení použit obvod 7805, ke kterému lze připojit zdroj napětí v rozmezí 7 až 18 voltů. V technické dokumentaci je znázorněno mnoho typů zapojení, ve kterých se stabilizátor používá. Je dodáván s několika typy pouzder. Disponuje funkcemi jako je tepelná ochrana nebo ochrana proti zkratu.

Pro návrh schéma a desky plošného spoje byl použit program PADS 2005 od firmy Mentor Graphics. S tímto programem jsem se seznámil během studia, a tudíž mi jsou jeho

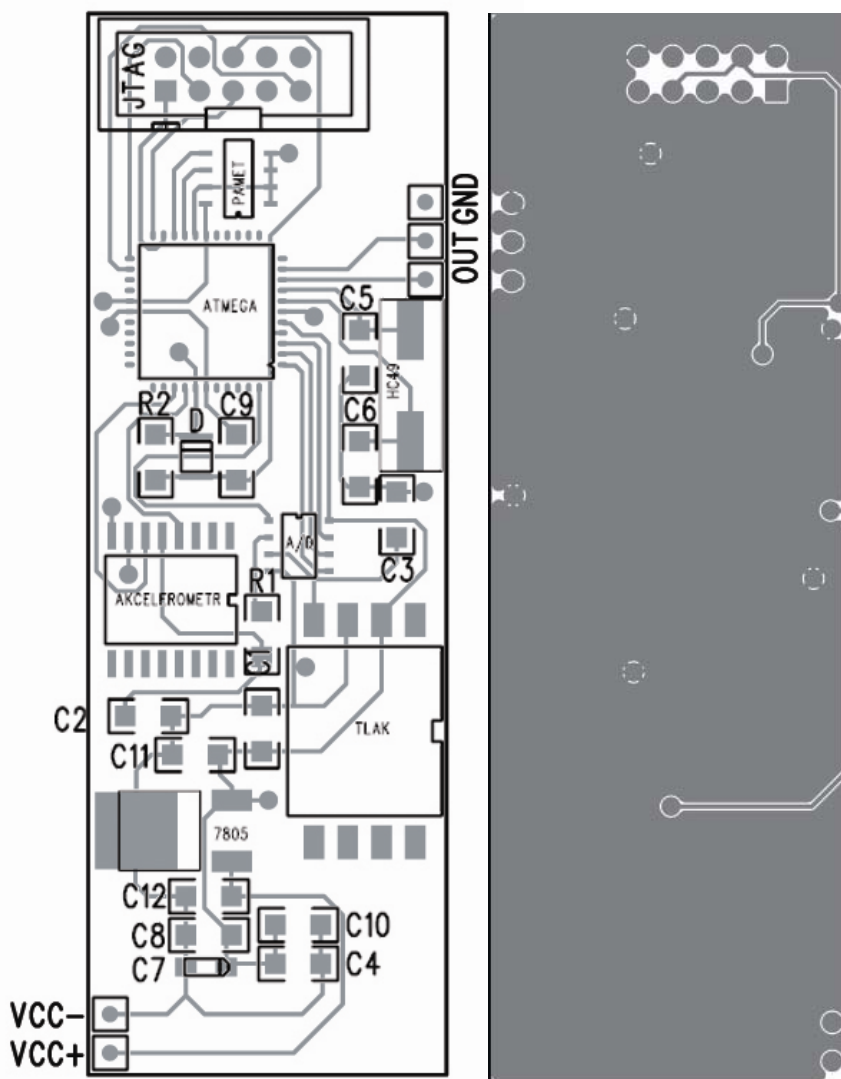
funkce známy. Jedná se o profesionální nástroj pro kreslení schémat návrh desek plošného spoje. V tomto programu lze navrhovat jak značky pro blokové schéma, tak i skutečnou podobu součástek. Pokud je již navrženo blokové schéma, které se tvoří v programu PADS Logic, lze vygenerovat navržené zapojení do PADS Layout. V Layout si lze navrhnout velikost destičky a vygenerované součástky i s vzájemným propojením realizovat. Poté již stačí v nastavení zadat typ objektů, které chceme tisknout (vrtací otvory, rozmístění součástek, vodivé cesty...). Na další straně je vyobrazeno schéma zapojení (Obrázek 21).



Obrázek 21 – Schéma zařízení pro měření výšky modelářské rakety

5.2 Stavba prototypu

S ohledem na velikost prostoru v raketě byla šířka destičky omezena na 27mm. Pro co nejjednodušší návrh a výrobu jsou spoje na destičce z obou stran. Návrh desky je znázorněn níže (Obrázek 22). Aby se dosáhlo, co nejmenší velikosti byly použity součástky s technologií SMD. V zapojení se objevují i konektory, které se ve formě SMD nevyrábějí. Jejich výhodou je větší mechanická odolnost.

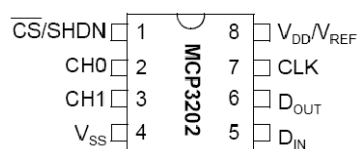


Obrázek 22 – Deska plošného spoje

Při návrhu bylo také důležitá správná pozice akcelerometr. Akcelerometr MMA 2202 D měří pouze v jedné ose, a to v ose X. Při špatném natočení o 180° by měřil přetížení v záporných hodnotách. Při otočení o 90°, oproti znázorněnému návrhu, by neměřil přetížení žádné.

5.3 A/D převodník

Převodník MCP 3202 je navržen architekturou SAR, což je převodník s postupnou aproximací. S mikrokontrolerem komunikuje pomocí SPI portu. Pro jeho funkci si můžeme zvolit ze dvou druhů měření. Buď funguje v pseudodiferenciálním zapojení nebo jako dva analogové nezávislé vstupy označené jako CH0 a CH1. Z důvodu připojení akcelerometru a tlakoměru bude využito druhé typu. Pin CS slouží k navázání komunikace s mikrokontrolerem. Pokud je pin CS nastaven, jako 0 pak neprobíhá konverze dat, ale přístroj je v pohotovostním režimu. Pin CLK je vstup hodinových impulsů. D_{IN} je signál poslaný do vstupu, který nastavuje zahájení konverze, režim měření a pořadí bitů. D_{OUT} je pin posílající data do mikrokontroleru.



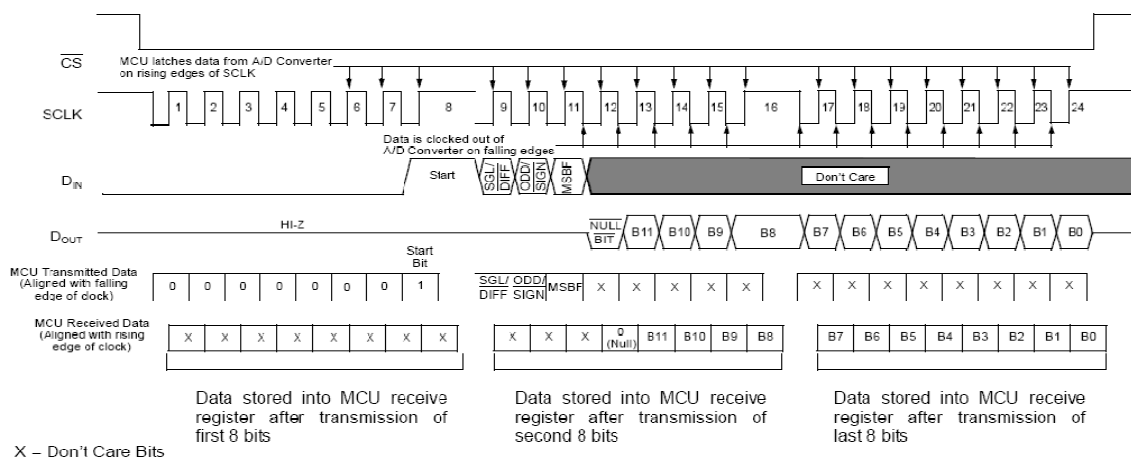
Obrázek 23 – rozmístění pinů A/D převodníku

Pro příjem dat je potřeba nejdříve nastavit pin CS na vysokou úroveň a D_{IN} nastavit také na vysokou úroveň, tím bude na vstupu vygenerován START bit. Následující dva bity SGL/DIFF a ODD/SIGN na D_{IN}, které určují, v kterém módu bude A/D převodník pracovat.

Nastavený mód	Nastavení bitu		CH0	CH1
	SGL/DIFF	ODD/SIGN		
Dva nezávislé kanály	1	0	+	-
	1	1	-	+
Pseudodiferenciální	0	0	IN+	IN-
	0	1	IN-	IN+

Tabulka 1 – Konfigurace bitů A/D převodníku

Poté je poslední důležitý bit MSBF. Když je nastaven na vysokou úroveň, budou se data generovat od LSB do MSB. Dále už pokračuje příjem dat.



Obrázek 24 – Komunikace A/D převodníku s mikrokontrolerem

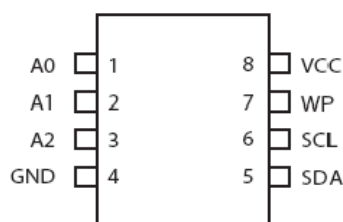
5.3.1 SPI port

SPI zajišťuje mezi mikrokontrolerem a periferními zařízeními, vybavenými taktéž SPI, vysokorychlostní přenos dat. Mezi hlavní schopnosti tohoto portu patří plný duplex (současný příjem a vysílání), třívodičový synchronní přenos dat, nastavení zařízení jako master (řídící obvod) či slave (řízený obvod), 7 programovatelných rychlostí, maximální přenosová rychlost až 8Mb/s, možnost volby pořadí bitů (LSB až MSB nebo MSB až LSB), příznaky konce a kolize přenosu, schopnost procitnutí z režimu Idle po příjmu dat v režimu slave. Zařízení nastavené jako master řídí komunikaci pomocí hodinového signálu a určuje, se kterým zařízením bude komunikovat. Výběr zařízení pro komunikaci se provádí pomocí signálu CS (někdy nazván SS). Zařízení nastavené jako slave, pokud je aktivováno signálem CS, vysílá podle hodinového signálu.

5.4 Externí paměť

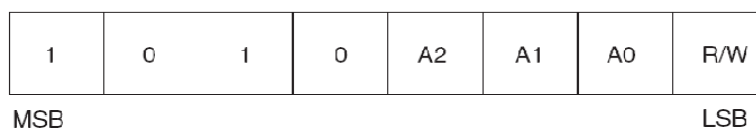
V zapojení je použita externí paměť typu EEPROM s označením AT24C256 od firmy Atmel. Jedná se o elektricky mazatelnou nevolatilní paměť. Pro komunikaci postačují dva vodiče pro obsluhu TWI portu (SDA, SCL). Používají zápisovou stránku až 64B, což umožňuje rychlé uložení velkého množství dat.

Pin SCL se používá pro synchronizaci dat z a do zařízení. Pin SDA je obousměrný, používající se k přenosu adres a dat z a do přístroje. Normální přenos dat SDA kanálem je povolen pouze při nastavené nízké úrovni SCL. Změna průběhu SCL na vysokou úroveň je určena pro nastavení STAR a STOP stavu. WP pin se používá jako ochrana proti zápisu na vstup, avšak většinou se zapojuje na zem nebo je při nezapojení spojen vnitřně se zemí. Piny A0, A1, A2 slouží pro rozeznání více zařízení na sběrnici. Při použití pouze jednoho zařízení jsou zkratovány se zemí.



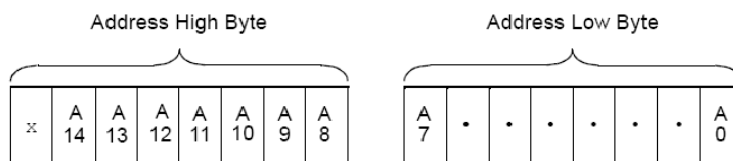
Obrázek 25 – Rozmístění pinů externí paměti

Pro práci s touto pamětí je nutné nejdříve vygenerovat START bit, který aktivuje zařízení. Následuje kontrolních bitů, přičemž první 4 jsou pevně určeny z nastavení, následující 3 signalizují piny A0, A1, A2. Poslední z 8 bitů je bit nastavující čtení nebo zápis na zařízení (obrázek 26).



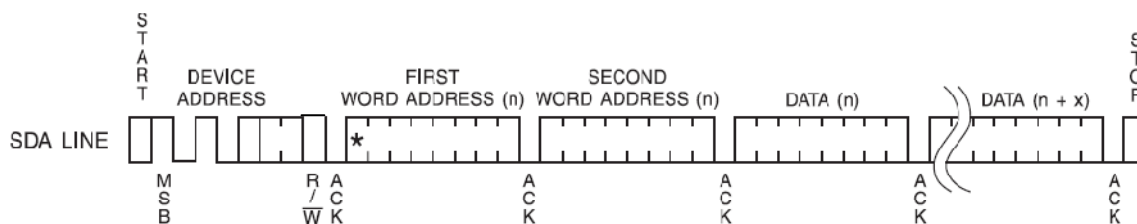
Obrázek 26 – Kontrolní byte paměti

Po každých 8 bitech je vygenerovat ACK bit pro signalizaci úspěšného obdržení dat. Následuje 8 bitů horní části adresy, dalších 8 bitů je dolní část adresy.



Obrázek 27 – Adresování paměti

Následující osmice bitů znázorňují buď ukládaná data, nebo data z paměti čtená.



Obrázek 28 – Pořadí bitů paměti

X = libovolný bit

5.4.1 TWI port

Jedná se o druh sériového rozhraní. Mezi základní vlastnosti patří podpora v režimu master a slave, mikrokontroler může pracovat jako přijímač nebo vysílač, 7 bitový adresovací prostor dovolující rozlišit až 128 adres podřízených obvodů, podpora pro multimastrovou arbitráž, přenosová rychlost až 400kHz, výstupní budiče s omezenou rychlostí přeběhu, obvodově realizovaný potlačovač šumu pro obě linky sběrnice, plně nastavitelná adresa podřízených obvodů včetně podpory pro paralelní přístup ke všem podřízeným obvodům, možnost probuzení mikrokontroleru z režimu spánku v případě adresace vnějším TWI obvodem.

5.5 Mikrokontroler

ATmega32 je nízkopříkonový 8bitový mikrokontroler založený na architektuře RISC. Architektura RISC se vyznačuje redukovanou instrukční sadou, která obsahuje hlavně jednoduché instrukce. Délka prováděné instrukce je vždy jeden cyklus, má malý počet instrukcí, menší spotřebu CPU oproti CISC architektuře. Mikrokontroler se vyrábí s několika typy pouzder.

Mezi základní vlastnosti mikrokontroleru ATmega32 patří zabudovaný RC oscilátor, disponuje jednotkami USART, SPI a TWI pro komunikaci s periferními obvody, JTAG rozhraní pro ladění aplikace přímo na čipu, má 10bitový A/D převodník, dva 8bitové čítače, jeden 16bitový čítač, Flash paměť pro programování o kapacitě 32KB, datovou paměť RAM s kapacitou 2KB, datovou paměť E²PROM o kapacitě 1024B, čtyři 8bitové vstupně/výstupní porty a 32 registrů o délce 8 bitů.

5.5.1 RISC architektura

Jedná se o jednu s počítačových architektur, označující procesory s redukovanou instrukční sadou. Jejich návrh je zaměřen na jednoduchou a vysoké optimalizovanou sadu

strojových instrukcí. Vznikla díky tomu, že většina programů využívala jen malou část všech dostupných instrukcí procesoru. Byl také složitý přístup do paměti, který zpomaloval prováděné operace. V RISC architektuře se provádí efektivněji složitější operace, pomocí jednodušších instrukcí, které lze provádět s vyšší frekvencí. Délka všech instrukcí trvá stejnou dobu a mikroinstrukce jsou implementovány na procesoru, čímž se výrazně zvýší rychlost jejich provádění.

5.6 Softwarové řešení

Data ze senzorů akcelerometru a tlakoměru jsou v analogové formě, proto jsou poslána na A/D převodník. Převodník komunikuje s mikroprocesorem pomocí sběrnice SPI. Data získaná z převodníku posílá mikroprocesor pomocí sběrnice TWI do externí 256K velké paměti, kde jsou uloženy pro vyhodnocení průběhu letu. Software pro komunikaci s externími zařízeními je nahrán do procesoru pomocí rozhraní JTAG.

Zapnutí programu se může provést buď rozepnutím kontaktu RESET při startu, anebo se data začnou zapisovat až při změně zrychlení nebo tlaku.

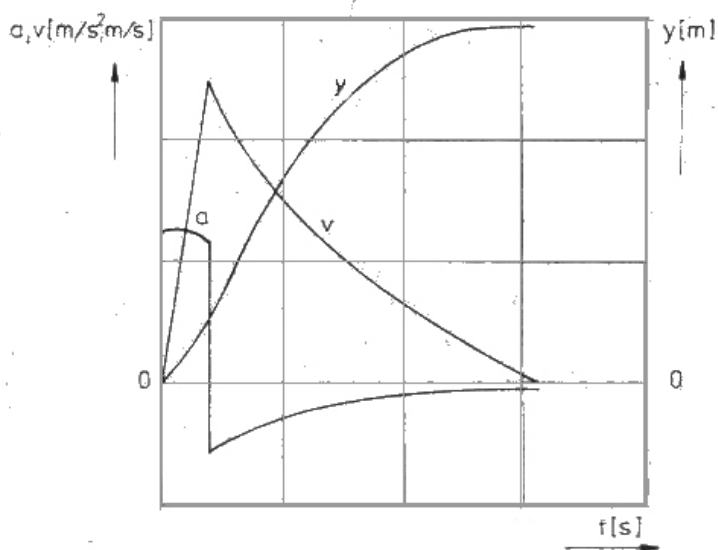
Komunikace probíhá po 8bitových slovech. Nejprve je nutné načíst data z A/D převodníku do mikrokontroleru. Nejdříve nastavíme pin CS na vysokou úroveň, tím nastavíme generování dat z A/D převodníku. Tento údaj bude reprezentovat prvním 8bitovým číslem ve formátu 0000 0001. Pro získání údajů z čidel akcelerometru nebo tlakoměru je však ještě nutné poslat stav o vysoké úrovni na pin D_{IN} , který vygeneruje tzv. START bit. Poté nastavíme režim, v kterém bude A/D převodník nastaven. V našem případě bude bit SGL/DIFF nastaven na vysokou úroveň a tím dosáhneme režimu dvou nezávislých kanálů. Pro načtení dat z akcelerometru nebo tlakoměru je nutné nastavit bit ODD/SIGN. Pro načtení dat z akcelerometru bude nastaven na nízkou úroveň a tím budeme signalizovat, že chceme přijímat data z kanálu CH0. Poslední nastavující bit je MSBF, který nastavíme na vysokou úroveň, tím dosáhneme, že data budeme přijímat od LSB k MSB. 8bitové slovo bude ve formátu 101X XXXX, písmena X znamenají libovolný stav, protože další bity již na funkci nemají vliv. Pro získání dat z tlakoměru by byl bit ODD/SIGN nastaven na vysokou úroveň a 8bitové slovo by bylo ve formátu 111X XXXX. Dále už pokračuje přijímáním dat, které ukládáme nejprve jako dvě 8bitová čísla do mikrokontroleru. Přijatá 8bitová čísla jsou poté odeslána na uložení do externí paměti.

Pro zahájení komunikace s externí pamětí je nutné nejprve vygenerovat tzv. START bit. Vygenerování proběhne jen v případě, když je SCL na vysoké úrovni zároveň se změnou z vysoké na nízkou úroveň na SDA. Následuje kontrolní byte, přičemž první čtyři bity jsou určeny, že musí být ve tvaru 1010, další 3 bity jsou adresní (A0,A1,A2), které jsou připojeny trvale na zem, poslední bit rozlišující zápis a čtení dat je nastaven na nízkou úroveň, čímž je docíleno zapisování dat. Po každých poslaných 8 bitech vyšle paměť ACK bit o nízké úrovni pro informování o úspěšném obdržení 8 bitů. Následujících 8 bitů znázorňuje první vrchní část adresových bitů, které musí být opět potvrzeny nízkou úrovní ACK. Dalších 8 bitů signalizuje spodní část adresových bitů, které rovněž musí být potvrzeny bitem ACK. Poté již následují datové byty, které mikrokontroler zaznamenal

během přijímání dat z A/D převodníku. Data z A/D převodníku jsou ve formě dvou 8 bitových čísel, tudíž i do paměti jsou uloženy jako dvě 8bitová čísla. Po obdržení dat pro uložení následuje opět potvrzovací bit ACK. Pro ukončení ukládání musí paměť obdržet tzv. STOP bit. STOP bitu dosáhneme, pokud je SCL na vysoké úrovni zároveň se změnou z nízké na vysokou úroveň na SDA.

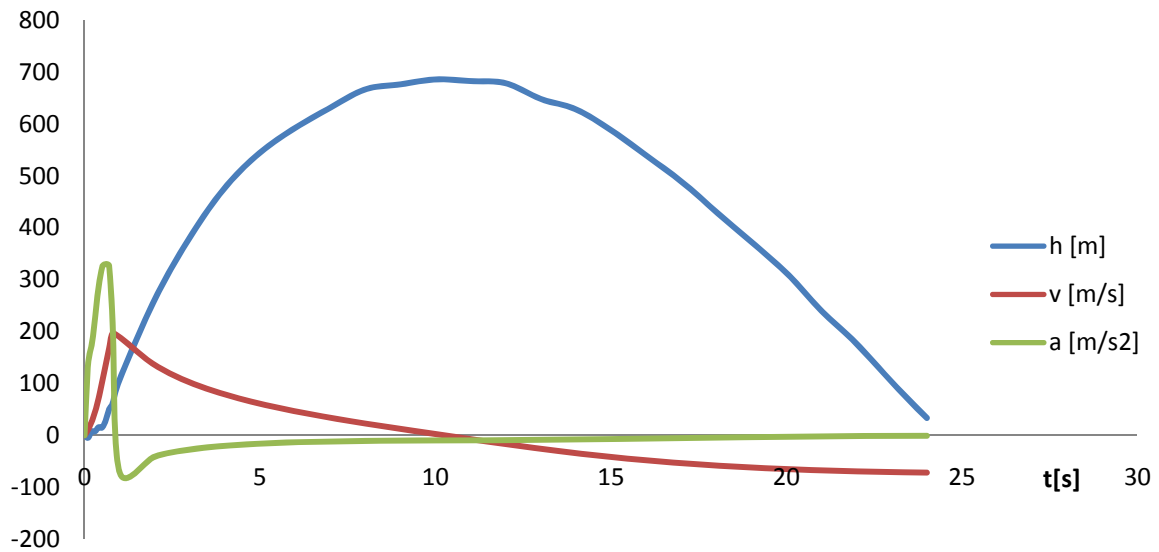
5.7 Kalibrace, ostrý let, vyhodnocení dat

Předpokládaný průběh zrychlení, rychlosti a výšky je znázorněn na následujícím obrázku (obrázek 29). Je to idealizovaný průběh, ve kterém se nevyskytuje chyba při měření, která může nastat. Z výsledku lze pozorovat, že zrychlení bylo pouze krátkodobé a poté velmi prudce kleslo z důvodu ukončení činnosti motoru. Ve stejnou dobu kdy ukončil motor svou činnost, se začala snižovat i rychlost rakety, avšak snížení rychlosti není tak prudké jako ukončení zrychlování modelu. Rychlost se nesnížila tak prudce z důvodu že model stoupal už pouze setrvačností. Maximální výšky model dosáhl v bodě, kdy se již rychlost nezvyšovala a tudíž v bodě nulové rychlosti.

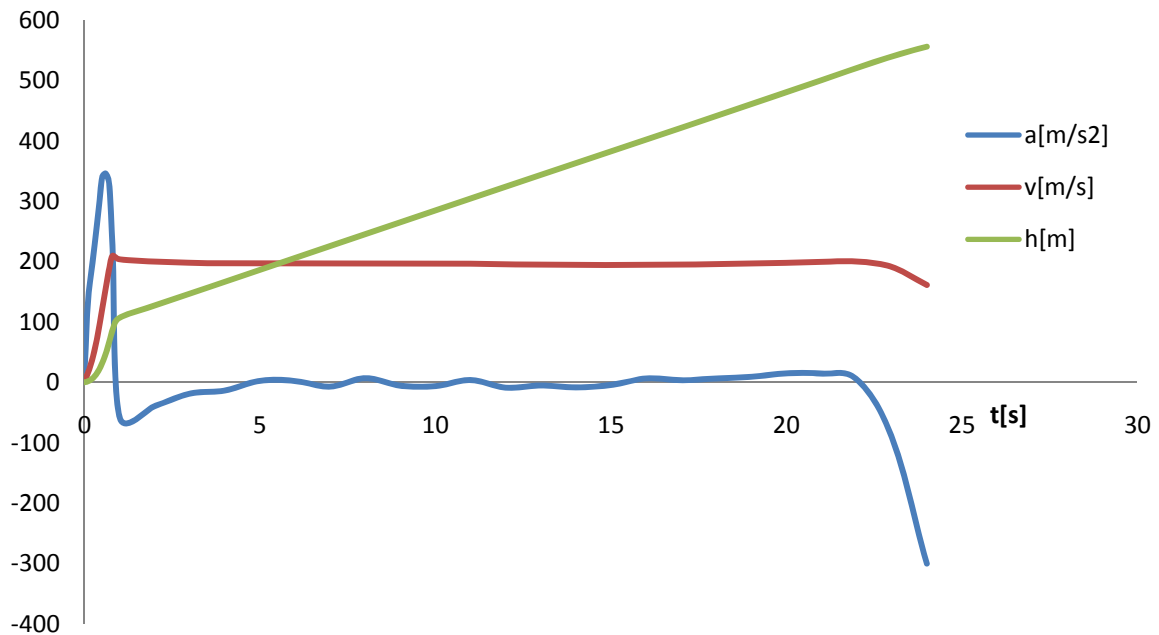


Obrázek 29 – Možný výsledek měření

Reálný průběh naměřený na tlakoměru a akcelerometru je zobrazen v následujících obrázcích.



Obrázek 30 – Průběh naměřený pomocí tlakoměru



Obrázek 31 – Průběh naměřený pomocí akcelerometru

Průběh letu probíhal dle očekávání, během pár vteřin raketa vystoupala ke svému vrcholu. Bohužel při následném klesání došlo k selhání výmetu padáku a následovala kolize s terémem. V prvním grafu je znázorněn průběh letu pomocí tlakového čidla. Naměřené výsledky poskytují i přes vysokou rychlost obtékání, která dosáhla cca 700 km/h, použitelné informace o poloze. Na druhém grafu je zobrazen průběh letu z akcelerometru. Výsledky z akcelerometru by bylo vhodné použít jako doplňující informace, z důvodu větší náchylnosti na vnější vlivy. Každá chyba se díky integraci projevuje na výsledném výpočtu výšky. Signál, který dostáváme z akcelerometru, by se dal využít pro vypuštění padáku, protože při volném pádu je působící zrychlení nulové.

6 Závěr

Z hlediska přesnosti bylo použito měření pomocí akcelerometru a tlakoměru, když by se nabízelo zkonstruovat měřicí přípravek pomocí GPS. Řešení s GPS by bylo však dražší, také je velmi dlouhá doba načtení všech 4 satelitů, které jsou potřeba k měření nadmořské výšky. Zvolený měřicí systém by měl být i přesnější. V GPS příjmu se může vyskytnout chyba i 50m.

Výsledky, které byly naměřeny pomocí tlakoměru, jsou podle očekávání téměř shodné s předpokládaným průběhem, který je vyobrazen na obrázku 29. Pokud by se při klesání rakety vypustil padák, byl pokles pozvolnější a raketa by neměla tak vysokou rychlost při kolizi s terénem. Výsledky z akcelerometru jsou spíše doplňkové a vhodné pro vypuštění padáku.

Literatura

ŠAFFEK, OTAKAR 1975. *Raketové modelářství.* Naše vojsko, 1975.

STEINER, Ivo, ČERNÝ, Jiří. 2006. *GPS od A do Z.* Praha, eNav, 2006. ISBN 80-239-7516-1

MATOUŠEK, David. 2006. *Práce s mikrokontrolery Atmel AVR ATmega16.* Praha, 2006. ISBN 80-7300-174-8

KOROPECKÁ, Helena. 1989. *Měřicí technika.* Pardubice: VŠCHT Pardubice 1989. ISBN 80-85113-05-8

STMicroelectronics. 2004. *LS 7800 SERIES.* [online] 20. 2. 2010 [Citace: 20. 3. 2010]
http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/934/934-037/dsh.934-037.1.pdf

Novák, Petr. 1999. *Vše co jste chtěli vědět o EEPROM a báli se zeptat.* [online] 23.4.2010
[Citace: 24. 4. 2010]

VOJÁČEK, Antonín. 2007. *Principy akcelerometrů - piezoelektrické.* [online] 10.3.2010
[Citace: 10.4..2010] <http://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/ART303-principy-akcelerometru--1-dil--piezoelektricke.html>

VOJÁČEK, Antonín. 2007. *Principy akcelerometrů - pizorezistivní.* [online] 10.3.2010
[Citace: 10.4.2010] <http://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/ART306-principy-akcelerometru--2-dil--piezorezistivni.html>

KŘÍŽEK, Bohuslav. 1975. *Metoda dosažení největších výšek.* Modelář, 1975.

MICROCHIP. 2001. *MCP 3202.* [online] 10.3.2010 [Citace: 16. 4. 2010]
http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/320/320-066/dsh.320-066.1.pdf

FREESCALE. 2009. *MPX 5100.* [online] 11.3.2010 [Citace: 15. 4. 2010]
http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=MPX5100&fjsp=1&tab=Documentation_Tab

FREESCALE. 2006. *MMA2202.* [online] 14. 4. 2010 [Citace: 15. 4. 2010]
<http://www.scribd.com/doc/15559868/Surface-Mount-Micro-Machined-Accelerometer-MMA2202D>

ATMEL. 2008. *Two-wire Serial EEPROM.* [online] 10.3.2010 [Citace: 15. 4. 2010]
http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/943/943-039/dsh.943-039.1.pdf

ATMEL. 2008. *8-bit Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash.*
[online] 10.3.2010 [Citace: 17. 4. 2010]
http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/958/958-074/dsh.958-074.1.pdf