

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Přenos telemetrie z dálkově ovládaného modelu

Anotace

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na návrh vhodného zařízení pro dálkově ovládaný model, který by informoval uživatele o daném stavu dálkově ovládaného modelu. Řídicí jednotku tvoří mikroprocesor MC9S08AC16. Ten přijímá data z akcelerometru MMA7260, která dále zpracuje a odešle vhodným přenosem dat k uživateli.

Klíčová slova

Mikroprocesor, akcelerometr, zrychlení, bezdrátové připojení, USB, analogový převodník, digitální převodník, wi-fi, bluetooth.

Abstract

The master theses is focused on the design of a device Suitable for remote-controlled model. Which is going to informed user about the state of the remote-controlled model. The control unit is consists of a microprocessor MC9S08AC16. It receives data from the accelerometer MMA7260, this data is further processed and sends the appropriate data transfer to the user.

Key words

The microprocessor, accelerometer, acceleration, wireless connection, USB, analog converter, digital converter, wi-fi, bluetooth.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou/ diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

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

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

V Plzni dne 9.6.2014

Dominik Škubla

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Kamilu Kosturikovi Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	8
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	9
1 POPIS MODULU	10
1.1 BLOKOVÉ SCHÉMA	10
1.2 POPIS DESKY	10
2 POPIS POUŽITÝCH ČIPŮ	11
2.1 MC9S08AC16- MIKROPROCESOR	11
2.2 LM1117IMP – MĚNIČ NAPĚTÍ	13
2.3 MMA7260 – AKCELEROMETR	14
2.4 FT232RL – PŘEVODNÍK USB PORTU NA SÉRIOVOU LINKU	18
3 VLASTNÍ REALIZACE	19
3.1 ZPŮSOBY PŘENÁŠENÍ DAT	19
3.2 MOŽNOSTI PŘENÁŠENÝCH INFORMACÍ	23
3.3 MOŽNOSTI ZPRACOVÁNÍ DAT	25
3.3.1 Přenos digitálního signálu	25
3.3.2 Přenos analogového signálu	25
3.4 PROGRAM	28
ZÁVĚR	34
POUŽITÁ LITERATURA	35
SEZNAM PŘÍLOH	36
PŘÍLOHY	37

Úvod

V dnešní době jsou hodně oblíbené RC modely dálkově ovládaných aut, proto se tato bakalářská práce zabývá problematikou způsobů přenášení dat z dálkově ovládaného modelu a jejich zpracování. Cílem je co nespolehlivěji informovat uživatele o stavu RC modelu. Pro svou práci jsem zvolil akcelerometr MMA7260, který má jako výstupní data zrychlení ve 3 osách a je nejvhodnější pro můj záměr.

Výstupní data zpracovávám v mnou navrženém programu, který je umístěn v mikroprocesoru MC9S08AC16. Program se zabývá možností zjišťování rozjezdu RC modelu a zatáčením. Dále řeší problematiku nárazu a možného převrácení a měření úhlu naklonění RC modelu při jízdě a při ustálené hodnotě.

V neposlední řadě se budu zabývat již jen teoreticky možnostmi přenášení dat a jejich zpracováním.

Seznam použitých zkratk

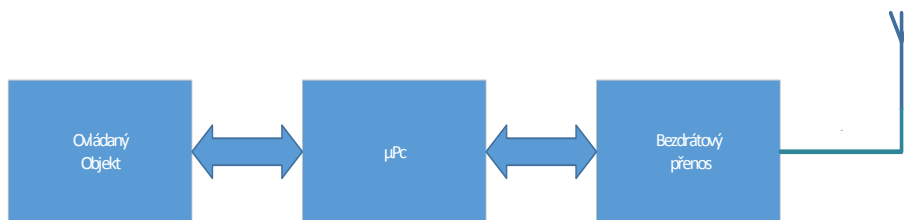
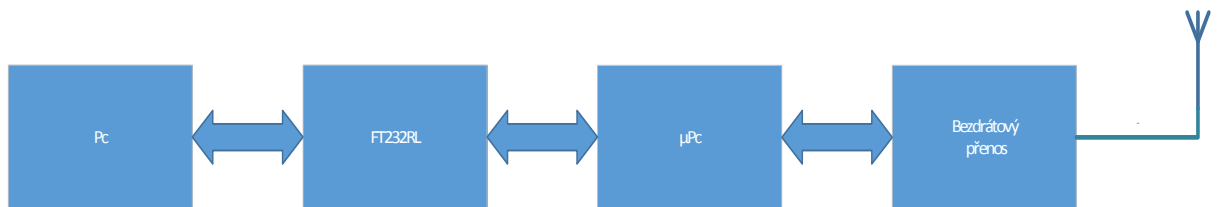
Zkratky	Anglický název	Český název
USB	Universal Serial Bus	Univerzální sériová sběrnice
TTL	Transistor-Transistor-logic	Tranzistorově-tranzistorová logika
SPI	Serial Peripheral Interface	Sériová periferie rozhraní
IIC/ I ² C	Inter-Integrated Circuit Bus	Vnitřní integrovaná kruhová sběrnice
UART	Asynchronous seriál Receiver and Transmitter	Asynchronní sériová komunikace
Wi-Fi	Wireless Fidelity	Bezdrátová věrnost
SSOP	Shrink Small Outline Package	Výrazně zmenšený pouzdro
QFN	Quad Flat No-Leads	Plochý bez vývodové pouzdro
LQFP	Low Profile Quad Flat Package	Snížený ploché pouzdro
GPS	Global Positioning System	Globální polohovací systém
EAP	Extensible Authentication Protocol	Rozšířitelný ověřovací protokol
WEP	Wired Equivalent Privacy	Soukromí ekvivalentní drátovým sítím
A/D	Analog-to-Digital converter	Analogově digitální převodník
D/A	Digital -to-Analog converter	Digitálně analogový převodník
LCD	Liquid Crystal Display	Displej z tekutých krystalů
SCL	Synchronized Clock	Synchronizační impulz
IO	Input Output	Vstup a výstup

1 Popis modulu

V této kapitole stručně popíši svůj projekt a vyjmenuji jeho jednotlivé části.

1.1 Blokové schéma

Obrázek 1.1.1 ukazuje blokové schéma celého projektu, který je rozdělen do několika částí. Jako první popíši vysílací část. Přenos dat začíná v ovládacím objektu, který zareaguje na situaci. Ta se zaznamená a zpracuje v mikroprocesoru, dále pomocí bezdrátového přenosu se přeneše do přijímací části blokového schématu, kde je proces zpracování velmi podobný vysílací části. S výjimkou FT232RL, kde se signál převede ze sériové linky na USB. Tento blok mi umožňuje připojení počítače, v němž můžeme dále zpracovat výstupní data.



Obr. 1.1.1: Blokové schéma projektu

1.2 Popis desky

Deska je rozdělena na několik částí, v kterých se řeší různé procesy (viz příloha A). V hlavní části je mikroprocesor (μP) a krystal. Pro správnou funkčnost mikroprocesoru je velmi důležité přivést krystal na piny XTAL a EXTAL. Krystal slouží pro generování hodinového kmitočtu pro procesor, v projektu jsme použili doporučené zapojení výrobce.

VDD a VSS jsou hlavní napájecí piny pro mikroprocesor (μP). Tento zdroj napětí napájí všechny vstupní obvody, výstupní obvody a interní zdroj. Interní zdroj poskytuje nižší napětí pro procesor a další vnitřní obvody mikroprocesoru (μP). Typické zapojení napájecích

pinů je řešeno tak, že jsou zde zapojeny minimálně dva kondenzátory (jak můžeme vidět na obr. 2.1.2). V tomto případě se jedná o keramický kondenzátor (C6) 0,1 μF a tantalový kondenzátor (C10) 10 μF . Tyto blokovací kapacity by měly být co nejblíže k VDD a VSS, aby potlačily vysokofrekvenční rušení. VDDAD a VSSAD jsou piny pro napájení A/D převodníku. Tyto piny musí být opět ošetřeny blokovacím keramickým kondenzátorem (C5) 0,1 μF .

2 Popis použitých čipů

V této části bakalářské práce budu popisovat základní vlastnosti jednotlivých součástek. Detailnější informace o jednotlivých čipech lze nalézt v datasheetech. Odkazy na tyto datasheety jsou součástí této práce.

2.1 MC9S08AC16- Mikroprocesor

MC9S08AC16 je mikroprocesor od firmy Freescale, která je jednou z nejrozšířenějších dodavatelů elektrických součástek. Následně popíši některé základní vlastnosti mikroprocesoru MC9S08AC16.

Centrální procesorová jednotka mikroprocesoru MC9S08AC16 je osmibitová s jádrem HCS08, která má maximální taktovací frekvenci 40MHz, čemuž odpovídá 20MHz frekvence interní sběrnice. Dále podporuje ladění systému na pozadí a má podporu až pro 32 přerušení nebo resetů zdroje.

Mikrokontrolér obsahuje 16 KB paměti flash s možností ochrany proti zápisu a až 1 KB paměti RAM.

Jedním z bezpečnostních prvků je i watchdog, který při potížích umožňuje resetovat mikroprocesor. Zdroj hodinových impulzů pro watchdog je buď externí zdroj, nebo systémová sběrnice.

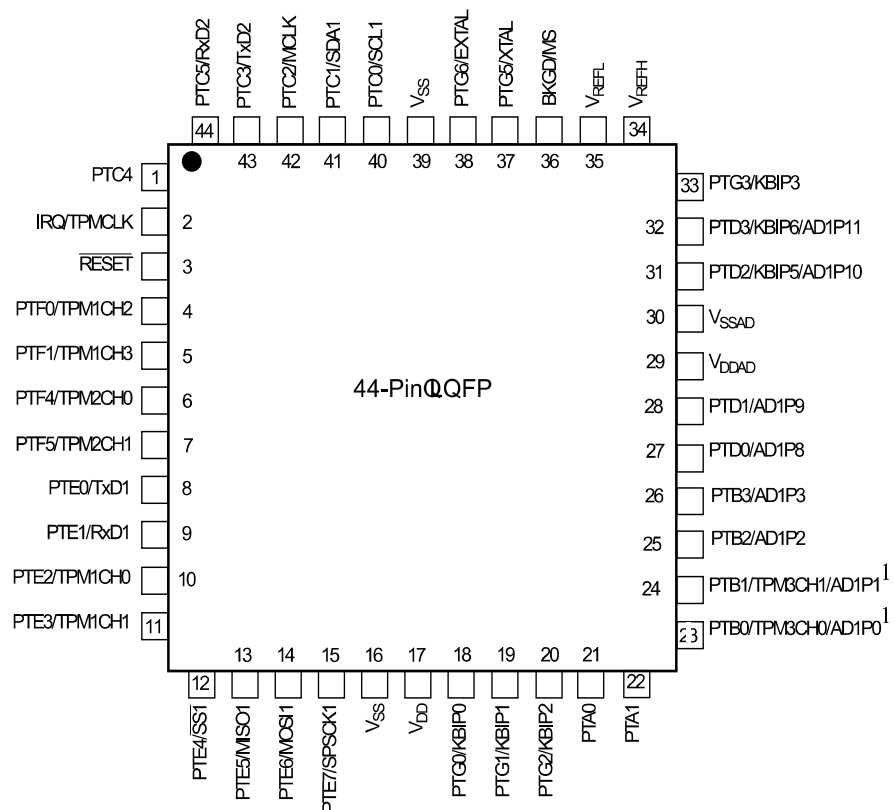
Další ochranou je možnost resetování mikrokontroléru při poklesu napájecího napětí pod minimální úroveň.

Pro snížení spotřeby mikrokontrolér umožňuje využít tři úsporné režimy.

Periferními zařízeními mikroprocesoru MC9S08AC16 jsou například ADC, které převádí analogový signál na digitální nebo dva sériové kanály (SCI). Pro komunikaci s perifériemi je zde implementováno rozhraní SPI. Další integrované rozhraní je IIC, také nazývané I²C, jež umožňuje pracovat až 100 kb/s. KBI, je 7-pinový modul přerušení z klávesnice. Dalšími

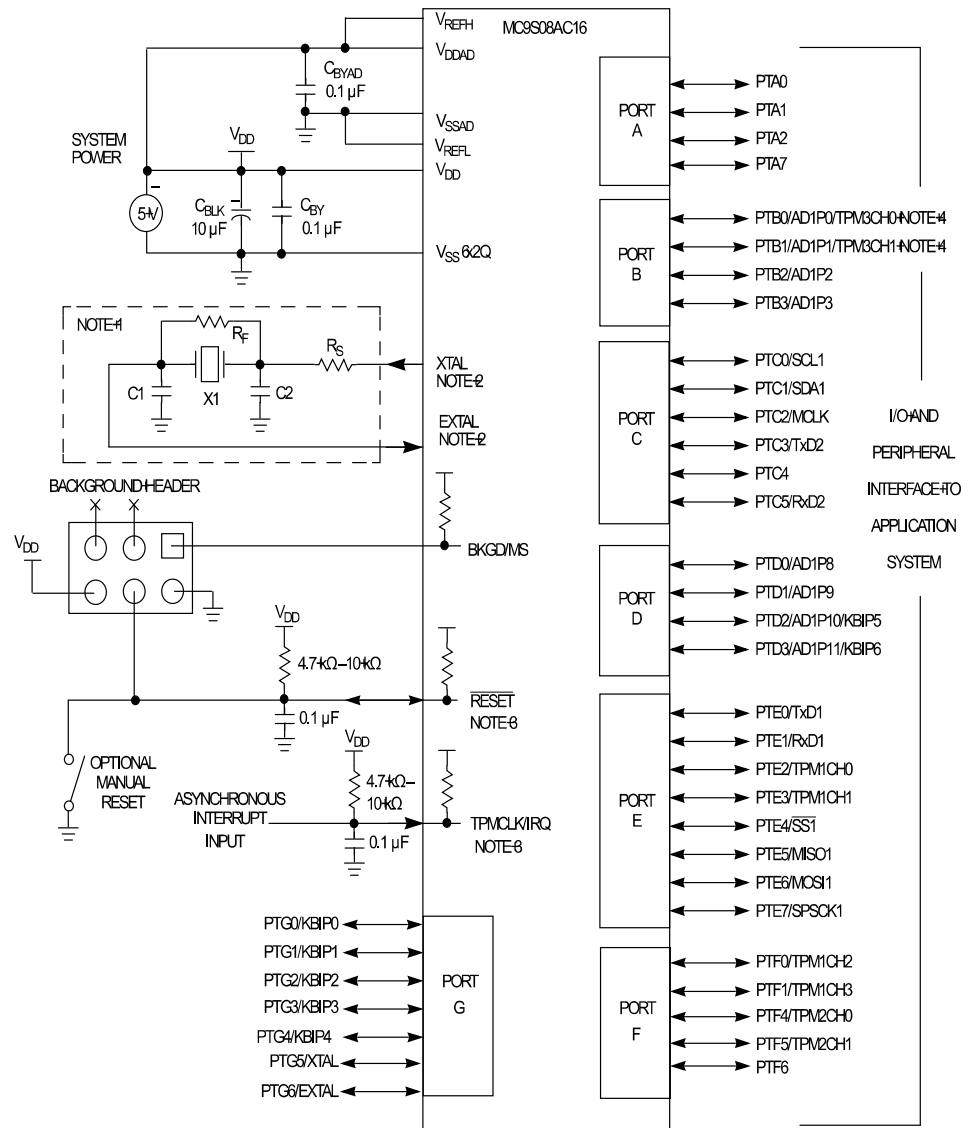
periferními zařízeními jsou tři 16-bitové časovače. Každý z nich má vstup pro input capture a output compare. Modul může být využíván i jako zdroj pulzně šířkové modulace na všech kanálech.

Mikroprocesor MC9S08AC16 obsahuje až 38 univerzálních vstupních nebo výstupních pinů.



Obr. 2.1.1: Popis jednotlivých pinů. [9]

Možnosti zapouzdření jsou celkem tři: 48, 44 nebo 32 pinů, kde 44 a 32pinové jsou v pouzdru LQFP a 48pinové je v QFN. Já jsem zvolil 44 pinové pouzdro.

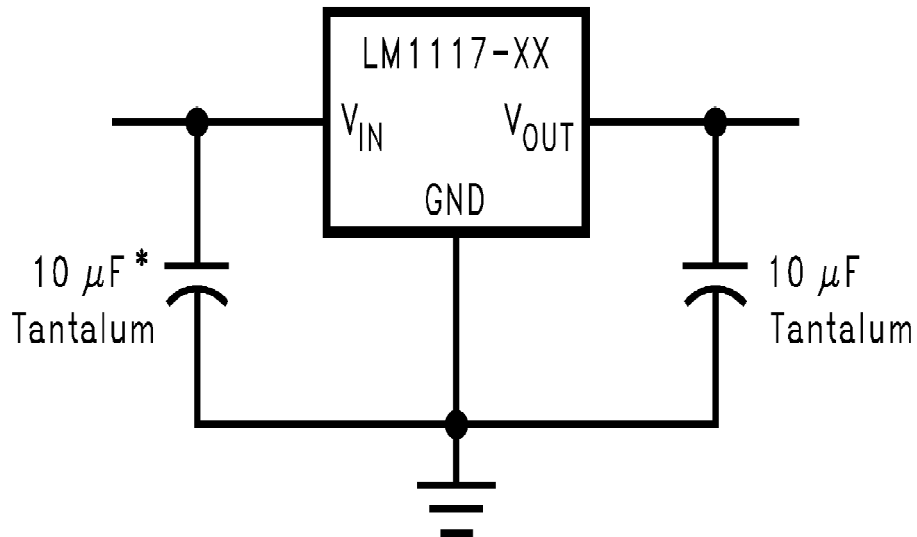


Obr. 2.1.2: Doporučené zapojení. [9]

2.2 LM1117IMP – Měnič napětí

LM1117I je série lineárních stabilizátorů s nízkým úbytkem napětí při regulaci a úbytkem o 1.2V při 800mA zatěžovacího proudu. Je k dispozici v různém provedení,

buď v předem nastavené napěťové verzi s výstupním napětím 1.8 V, 2.5V, 1.85V, 3.3V a 5V, nebo se vyrábí ve verzi, kterou lze nastavit od 1.25V do 13.8V. Já jsem zvolil předem nastavený měnič napětí s výstupním napětím 3.3V a s proudem 800mA v pouzdře SOT-223, které je prostorově úsporné. Ke zlepšení stability LM1117I je nutné přidat dva tantalové kondenzátory na výstup o velikosti 10 μ F.



* Required if the regulator is located far from the power supply filter.

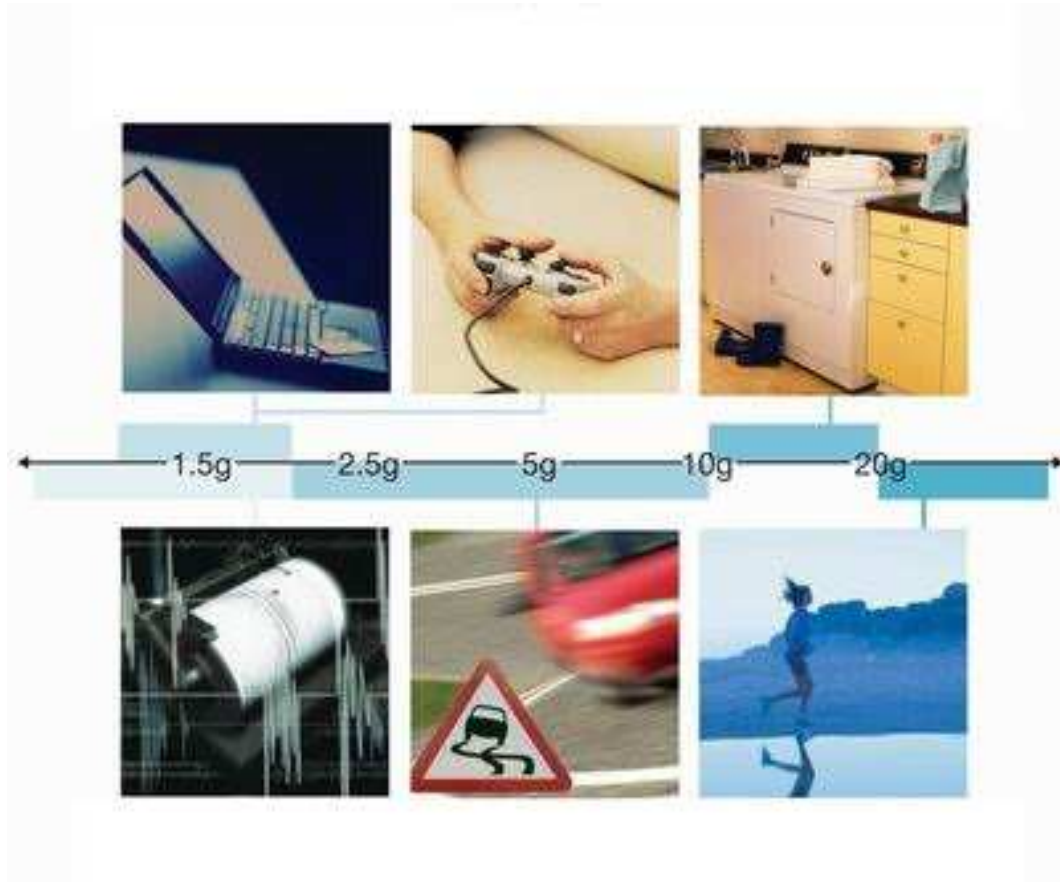
Obr. 2.2.1: Doporučené zapojení měniče. [13]

2.3 MMA7260 – Akcelerometr

Akcelerometr využívá fyzikálního jevu zrychlení, při kterém vzniká síla působící na těleso. Toto zrychlení se obvykle dělí na dva typy, a to statické nebo dynamické. Statické zrychlení využijí k zjištění náklonu daného tělesa, kdežto dynamické zrychlení určí, jakým směrem se daný prvek pohybuje nebo jakou rychlostí. Akcelerometr měří zrychlení sil, které dále zpracováváme. Díky akcelometru jsme schopni nejenom zjišťovat informace o pohybu daného zařízení a předávat je dál, ale jsme schopni i zařízení chránit. Při nárazu nebo volném pádu akcelometr může zareagovat a vykonat potřebné operace, jako je vypnutí pevného disku u laptopu při pádu nebo spuštění airbagu při nárazu auta. Velmi důležitým parametrem pro tyto funkce je citlivost, kterou vybraný akcelerometr poskytuje v rozmezí $\pm 1.5g$ $\pm 6g$. Kde 1g je zemská gravitace 9.80665 m/s².

Od 0.002g až po 2g se akcelerometr využívá při měření seismických aktivit. 1g až 2g se využívá u zjišťování úhlu natočení vůči gravitaci. Tato technologie je využita v mobilních telefonech, noteboocích nebo ovladačích. Dále se akcelerometr využívá v autech při zjišťování smyku, hodnoty se pohybují okolo 2.5g až 10g. V rozmezí 10g až 20g mohou

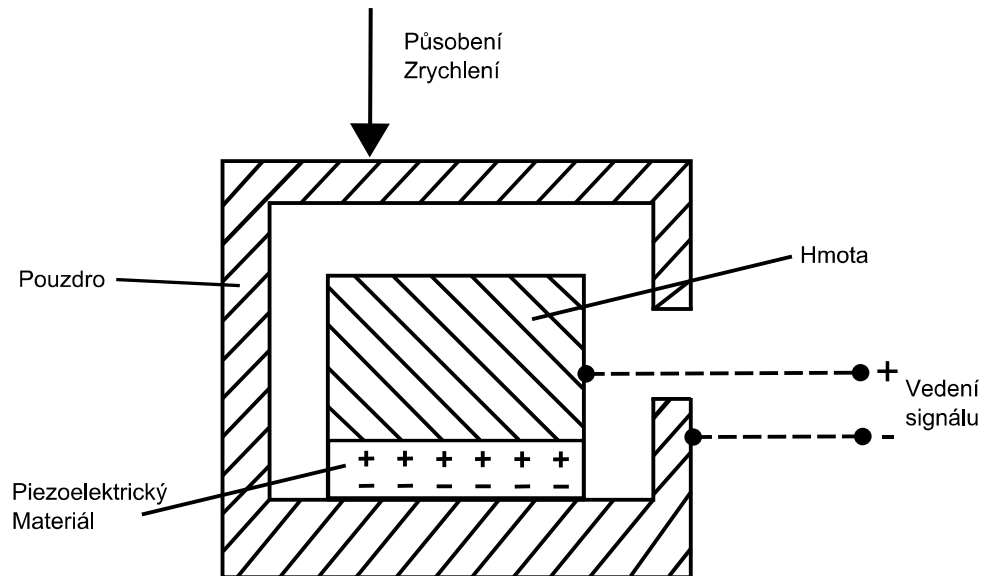
akcelerometry zajišťovat stabilitu motoru a nad 20g se může používat při zjišťování nárazu nebo jako pedometr (viz obrázek 2.3.1). Akcelerometry se nedělí jenom podle citlivosti, ale také podle způsobu měření. Dělíme je na piezoelektrické, tepelné nebo kapacitní. Dále se také mohou dělit na 2D nebo 3D akcelerometry.



Obr. 2.3.1: Hodnoty akcelerometru. [3]

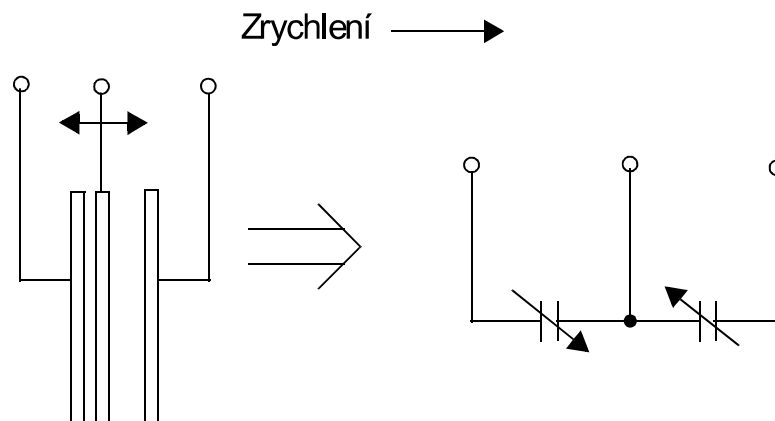
U piezoelektrického akcelerometru síla, která vznikne při zrychlení, působí na takzvanou seismickou hmotu. Seismická hmota o konstantní hmotnosti je připevněna k piezoelektrickému materiálu, na který bude působit síla F , jež je přímo úměrná zrychlení. Síla F způsobí deformaci piezoelektrického materiálu, který následně generuje náboj Q .

Tepelný akcelerometr je komora s několika teplotními snímači. Komora je naplněná plynem a uprostřed této komory se nachází topné těleso. Toto těleso ohřívá plyn. Ohřátý plyn stoupá nahoru a ochlazuje se. Po ochlazení opět klesne dolů. Pokud je akcelerometr ve vodorovné poloze, každý ze strategicky rozmístěných tepelných snímačů naměří stejnou teplotu. Ovšem pokud akcelerometr nakloním, tak se naměřené teploty liší. Tepelný snímač, který ukáže nejnižší hodnotu, určí stranu, na kterou jsem akcelerometr naklonil (viz obrázek 2.3.2).



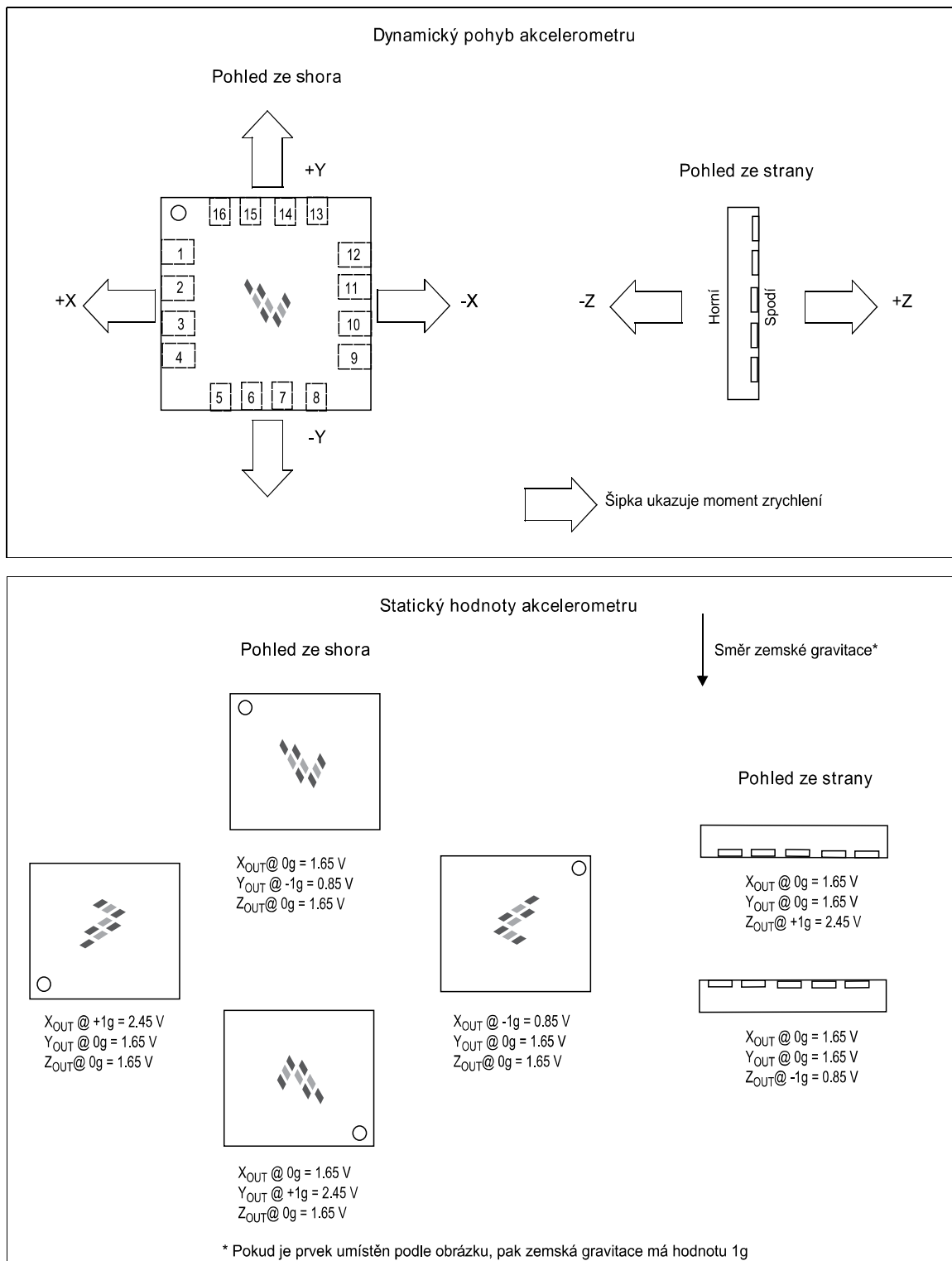
Obr. 2.3.2: Piezoelektrická akcelerometr

Kapacitní akcelerometr využívá kondenzátoru se třemi deskami, kde dvě jsou na pevně umístěné a jedna se mezi nimi pohybuje. Tím, jak se mění poloha prostřední desky (vlivem gravitace nebo zrychlení), se mění velikost dielektrika deskového kondenzátoru, a proto se změní i kapacita kondenzátoru. Pomocí více strategicky rozmístěných deskových kapacit dokážeme zjistit zrychlení v jakémkoliv směru.



Obr. 2.3.3: Kapacitní akcelerometr. [11]

Měření 3D a 2D se liší jenom v počtu os. 3D akcelometr můžeme vytvořit za pomoci dvou 2D akcelometrů, ale ve většině případů stačí pouze 2D, protože třetí osa určuje výšku.



Obr. 2.3.4: Hodnoty akcelometru. [11]

Akcelerometr MMA7260 má vysokou senzitivitu pro 1,5g až 800 mV/g s možností nastavení senzitivity na hodnoty 1,5g/2g/4g/6g. Není příliš energeticky náročný, má proudový odběr 500 μ A a napětí od 2.2 V do 3.6 V, ovšem ve Sleep Mode se jeho proudový odběr ještě sníží na 3 μ A. Toto zařízení je velmi úsporné nejen rozměrově (6mm x 6mm x 1,45mm), ale má také velmi nízkou cenu a je navrženo s ohledem na životní prostředí.

Citlivost nastavím pomocí pinů g-Select pin 1 a 2. Tyto piny umožňují nastavení až 4 druhů citlivosti, jak již bylo řečeno. Nastavení citlivosti je ideální, pokud aplikace mají rozdílné senzitivity zrychlení pro různé maximální výkony. Citlivost může být kdykoliv změněna v průběhu běhu zařízení. Pokud jednotlivé piny g-Select1 a g-Select2 nenastavím, jsou automaticky nastaveny na senzitivitu 1,5g.

g-Select2	g-Select1	g-Range	Sensitivity
0	0	1,5 g	800 mV/g
0	1	2 g	600 mV/g
1	0	4g	300 mV/g
1	1	6g	200 mV/g

Tabulka 2.3.5: Popis jednotlivých pinů v závislosti na nastavení citlivosti. [11]

Podle obrázku 2.3.4 je možné dále určit, jaká budou výstupní data akcelerometru. První část obrázku znázorňuje směry jednotlivých os vzhledem k zařízení. Druhá část znázorňuje hodnoty, které budou na výstupních pinech při působení gravitace.

2.4 FT232RL – Převodník USB portu na sériovou linku

FT232RL je jednočipový převodník USB na sériové rozhraní (UART). To znamená, že celý USB protokol je implementován v jediném integrovaném obvodu, takže přináší velkou výhodu minimálního počtu externích součástek. FT232RL má plně integrovaný generátor hodin, takže není zapotřebí žádného externího krystalu. Přenosová rychlost je od 300 baud do 3 Mbaud na úrovni TTL. Připojením tohoto obvodu vznikne virtuální sériový port v připojeném počítači. Tento obvod může pracovat ve dvou režimech. V prvním režimu je napájen z USB sběrnice, která napájí i zbytek zařízení. V druhém režimu je celé zařízení včetně FT232RL napájeno z vlastního zdroje. Vstupy a výstupy mohou pracovat v 5V nebo 3.3V úrovních. Pro 3.3V úrovně je zde integrován zdroj +3.3V. Je k dispozici s 28pinovým SSOP a QFN-32 pouzdrem.

tak pro model. Podle výkonu a spotřeby pak vybereme kapacitu dané baterie nebo akumulátoru. Jak bylo řečeno, bezdrátové sítě jsou výhodné hlavně pro jejich pohodlnost vůči uživateli a možnosti přenosu velkého množství dat.

Frekvenční pásma bezdrátových sítí se liší podle vyzářeného výkonu, doby, po kterou může dané zařízení komunikovat s modelem, a především typem přenášené informace. Tato pásma jsou přesně dána normami, aby se vzájemně nerušila s jinými signály. Tyto normy jsou volně přístupné na internetových stránkách Českého telekomunikačního úřadu. Je zřejmé, že z daných norem můžeme využít pouze pásma 433 MHz, 868 MHz nebo 2,4 GHz.

27 MHz	Provozování je možné podle VO-R/10/04.2012-7.
49 MHz	Provozování není přípustné (zařízení ruší rozhlasovou službu a necivilní aplikace).
230–400 MHz	Pásmo je vyhrazeno pro účely obrany státu – žádný civilní provoz není přípustný.
433 MHz	Provozování je možné podle VO-R/10/04.2012-7 (pouze přenos dat; bezdrátová sluchátka nejsou povolena).
470–789 MHz, 823–832 MHz	Provozování bezdrátových mikrofonů je možné podle VO-R/10/04.2012-7. (V úseku 694–789 MHz možné omezení v dlouhodobém výhledu.)
789–823 MHz, 832–862 MHz	Provozování bezdrátových mikrofonů není od 1. 1. 2013 povoleno.
863–865 MHz	Provozování akustických aplikací je možné podle VO-R/10/04.2012-7.
868–870 MHz	Provozování je možné podle VO-R/10/04.2012-7.
870–960 MHz	Pásmo provozu mobilních telefonů (GSM) – provozování jiných aplikací není přípustné.

1,2 GHz	V Evropě není možné pro zařízení krátkého dosahu využívat.
1785–1800 MHz	Nové pásmo uvolněné podle VO-R/10/04.2012-7 pro bezdrátové mikrofony.
2,4 GHz	Provozování (RLAN, RFID, zařízení krátkého dosahu) je možné podle VO-R/12/09.2010-12 nebo VO-R/10/04.2012-7.

Tabulka 3.1.1: Normy frekvenčních pásem. [5]

V pásmu 2,4 GHz pracují zařízení, jako je Wi-Fi nebo Bluetooth. Toto pásmo je bezlicenční, to znamená, že je volné pro kterýkoliv rádiový systém a nemusí se za jeho využití platit. Nevýhodou tohoto pásma je, že se může zahltit. Tento problém se vyskytuje pravidelně hlavně ve velkých městech, kde je příliš mnoho zařízení v malé vzdálenosti od sebe. Pokud se dvě zařízení připojí na stejný kanál, pak se budou navzájem rušit a může docházet k výpadkům sítě nebo snížení rychlosti v případě, že budou zasahovat do stejného kanálu. Proto je nezbytné správné natavení všech zařízení. Celý rozsah tohoto pásma je 2,400-2,4835 GHz.

Bluetooth

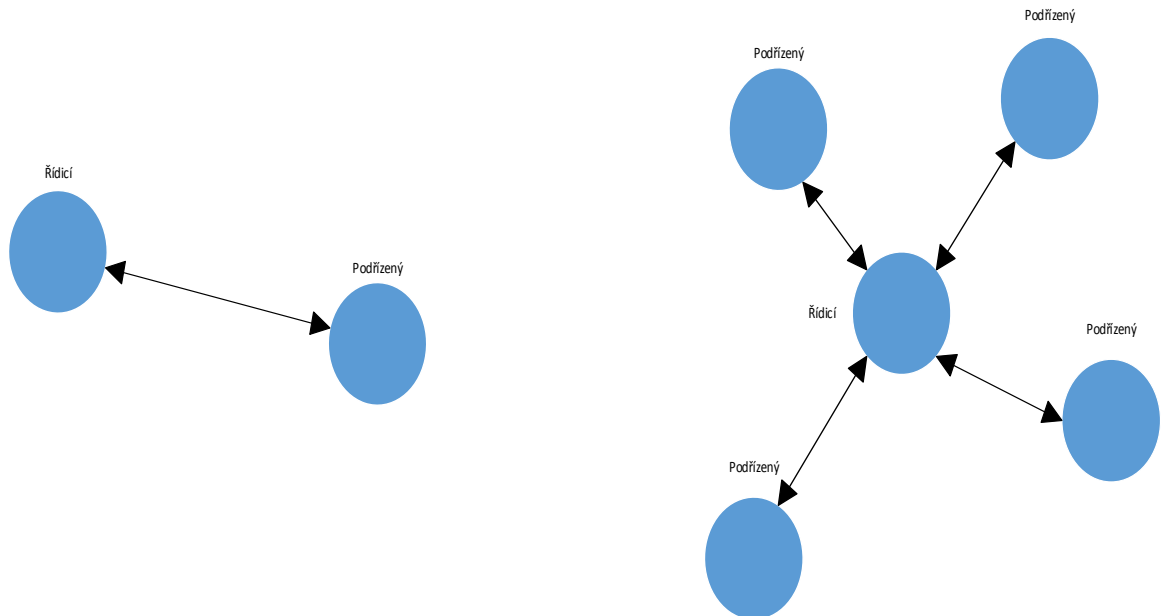
Je jednou z nepoužívanějších technologií, která je velmi účinná na malé vzdálenosti. Bluetooth dělíme do tří tříd podle výstupního výkonu.

Výkonová třída	Max. výstupní výkon	Nom. Výstupní výkon	Min. výstupní výkon
1	100 mW (20 dBm)	N/A	1 mW (0 dBm)
2	2,5 mW (4 dBm)	1 mW (0 dBm)	0,25 mW (-6 dBm)
3	1 mW (0 dBm)	N/A	N/A

Tabulka 3.1.2: Třídy Bluetooth.

V současné době se nejčastěji využívá Bluetooth u mobilních zařízení, například u handsfree nebo přímo pro připojení telefonu k palubní desce auta. Tato technologie má ovšem mnohem širší škálu využití zejména v domácnosti a kancelářích díky jednoduché instalaci.

Zařízení se mohou propojit Point to Point. Což znamená navázání kontaktu mezi dvěma zařízeními a následného přenosu dat. Také se využívá technologie Point to Multipoint. Point to Multipoint je technologie, kdy se více zařízení připojí k jednomu řídicímu zařízení a následně mezi sebou přenášejí data.



Obr. 3.1.1: Poit to Point vlevo a Point to Multipoint vpravo.

Velkou výhodou Bluetooth je velmi malá spotřeba, která má k tomu ještě funkce spánku při neaktivním spojení a hibernace při delší nečinnosti.

K zabezpečení přenosu se využívá hned několik mechanismů. První mechanismus je takzvané veřejné adresování, při kterém vybereme přímo uživatele, kterému chceme daná data adresovat. Velikost Bluetooth adresy každého uživatele je 48b. Dále je možné využít k zabezpečení přenosu dvou tajných klíčů (128 b) nebo náhodného čísla (128 b). Bluetooth má ještě možnost ověřování, které zabrání připojení nesprávného uživatele k danému zařízení. Při připojování se nastaví PIN, jenž je pak nutno zadat i na druhém zařízení.

Bluetooth je velmi výhodné a levné, ovšem jeho hlavní nevýhodou je, že dosah se pohybuje průměrně jen okolo 10 metrů. Tento rozsah se dá navýšit přidáním zesilovače nebo antény či obojího, ale tím se zase zvýší jeho velikost a cena.

Wi-Fi

Wi-Fi je další velmi známé připojení. Původně bylo určeno jako náhrada metalického připojení, ale časem se z něj stalo nejznámější připojení pro internet. Tento druh bezdrátového připojení není využíván v dnešní době jenom pro připojení k internetu. Wi-Fi může pracovat

hned v několika režimech a to Point to Point, Bridge a nebo Point to Multipoint. Tato bezdrátová komunikace se řídí podle norem IEEE 802.11. a měla by mít teoreticky rychlost komunikace 11Mb/s. V rámci této normy existuje mnoho standardů, které se liší svými parametry a schopnostmi. U Wi-Fi je velký problém se zahlcením kanálů hlavně ve velkých městech, jak již bylo řečeno výše.

Kvůli velkému rozšíření Wi-Fi také hrozí vysoké možnosti napadení. Proto existuje hned několik způsobů zabezpečení Wi-Fi sítě. Poskytovatel může síť zabezpečit tím, že pokryje jenom potřebnou oblast. Například: když je třeba využít typ sítě Point to Point, je nutné použít směrovou anténu. Dále je možné síť zabezpečit filtrem MAC adres klientů neboli EAP, který umožní přístup do sítě jen uživatelům, kteří mají svou MAC adresu napsanou v seznamu vysílače. MAC adresa je pro každé zařízení unikátní.

Nezákladnější zabezpečení je WEP, na to ale navazují i jiná zabezpečení. Zabezpečení WEP je integrováno do všech zařízení Wi-Fi. Podstatou WEP je, že se daná data šifrují podle nějakého klíče (slova). Tento klíč je pevně daný a později se k němu ještě přidává druhý, který se vektorově mění. Příjemce musí znát tento klíč, aby mohl data dešifrovat. Velkou nevýhodou WEP je, že do každého zařízení musí být daný klíč zadán uživatelem. Tedy neřeší distribuci daného klíče. WEP definuje délku klíče minimálně na 40 bitů, což je 7 znaků.

3.2 Možnosti přenášených informací

Mnou zvolený procesor je schopen měřit nejen určené informace rozjezdu, zatáčení, úhlu vůči zemské gravitaci, detekování nárazu a otřesů, měření brzdění, detekce pádu a měření vibrací. Další možností je měření stavu baterie, poloha vůči uživateli a mnoho jiných parametrů. Stručně uvedu jen několik příkladů, jak by se dalo dané měření provést.

Akcelerometr je schopen změřit zrychlení a výslednou hodnotu předat do procesoru. Toto zrychlení se pohybuje od 0 do 255 bit, kde v klidovém stavu akcelerometru je hodnota o velikosti 127bit na ose x a na ose y. Pro další úlohy je velmi důležité si uvědomit, že pokud je akcelerometr rovnoběžně s povrchem země, tak na osu neustále působí určité zrychlení, které je způsobené gravitací země. Toto zrychlení je 1g, což je zhruba 62 bit. Z toho vyplývá, že v klidové poloze bude posílat do procesoru hodnotu o velikosti 189 bit.

Bohužel akcelerometr poskytne informace jenom o zrychlení. To znamená, že pokud pojedou model konstantní rychlostí a nebude již dále zrychlovat, zpomalovat nebo zatáčet, může se model jevit, jako kdyby byl v klidovém stavu a stál. Tato chyba by se dala odstranit

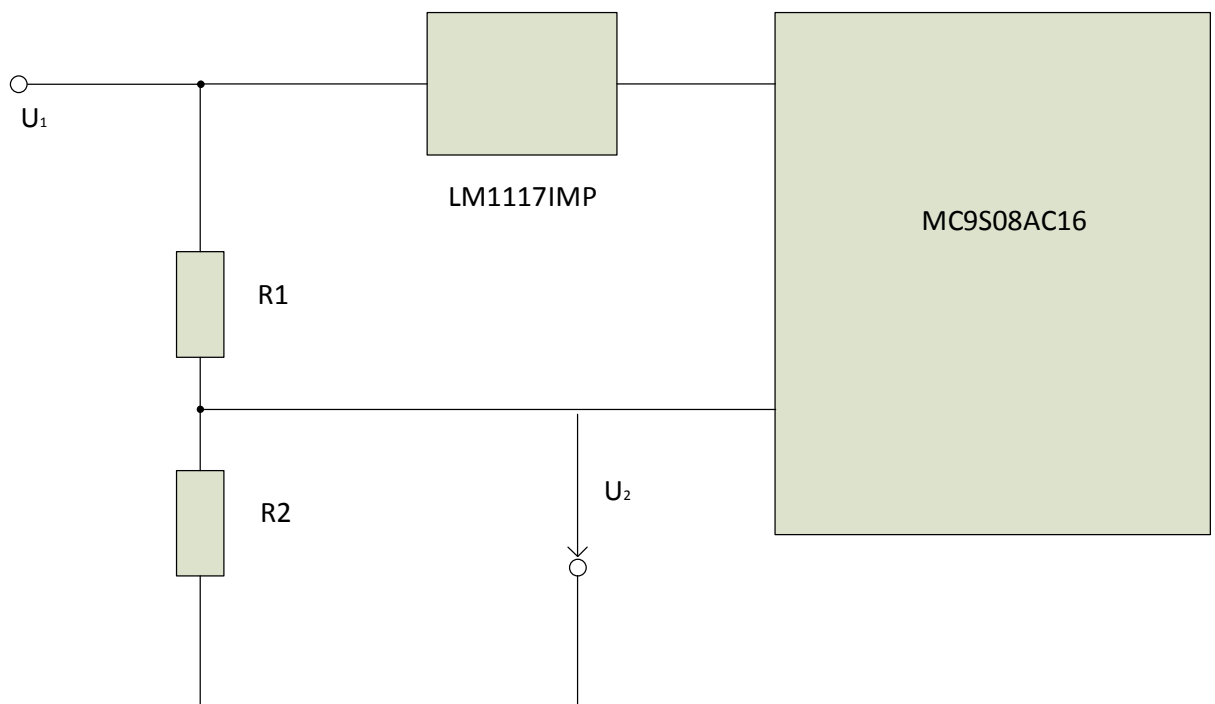
programově, případnou zpětnou vazbou z motoru, ale je možné ji odstranit i přidáním GPS nebo jiným jednodušším způsobem, třeba dynamem nebo tachometrem. Program tedy reaguje na rozjezd, to znamená zrychlení v ose x, a pak dále na zatáčení v ose y, kde je zřejmé, že model se nemůže otáčet na místě. Přidání GPS umožní sledovat polohu daného dálkově ovládaného modelu. Zde musíme využít dvou zařízení GPS. Jedno by bylo v ovladači a druhé v modelu. Navzájem by se tyto dva GPS signály porovnávaly a výsledná hodnoty by určila, kde se model nachází. Pak už by stačilo jenom výslednou hodnotu zpracovat a zobrazit ji na ovládání.

Při měření stavu baterie je třeba brát v potaz, že na analogový výstup procesoru lze připojit jenom 3,3 V a baterie mnou zvolená má 5V. Proto je zapotřebí dané napětí zmenšit přes napěťový dělič.

$$U_2 = U_1 \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$3,3 = 5 \times \frac{402k}{200k + 402k}$$

Rovnice 3.2.1



Obr. 3.2.1: Schéma zapojení děliče.

Poté měřím hodnotu v rozsahu od 0 V do 3,3 V. Maximální hodnotě 3,3V je v A/D převodníku přidělena hodnota 255 bit. To znamená, že dálkově ovládaný model je plně nabit. Následně budu pravidelně danou hodnotu sledovat a nechávat ji zobrazit na ovládání. Nyní

je možné upravit program a napsat varovné hlášení přes jednoduchou podmínku například: „Zbývá 5 % baterie“.

3.3 Možnosti zpracování dat

Mikroprocesor může přijímat buď digitální, nebo analogová data. Zaleží na provedení měřicí součástky a také se musí případně upravit plošná deska. V následující kapitole objasním základní principy zpracování dat.

3.3.1 Přenos digitálního signálu

V případě digitální komunikace se při komunikaci mezi jednotlivými IO do jednoho metru využívá takzvané externí sériové sběrnice. Těchto sběrnic je hned několik typů, například SPI nebo I²C. Mikropočítačové moduly využívají zejména sériové komunikace z důvodu zmenšení rozměrů pouzdra. Toho je docíleno zredukováním množství datových, adresových a řídicích obvodů, což sníží počet pinů na výstupu až na čtyři.

SPI rozhraní je především určeno pro připojení A/D převodníků, vnějších pamětí a pro vzájemnou komunikaci mezi mikropočítači. Představuje jednu z možných sériových sběrnic pro propojení komunikačních uzlů. Jeden z uzlů je většinou v takzvané roli sběrnice (tzn. master) a ostatní uzly pracují v roli slave, kde na mastera je připojen a dále rozveden k jednotlivým slave hodinový impuls, čímž je umožněna celá synchronizace a obousměrný přenos dat. Díky své jednoduchosti se SPI hodně využívá v mnoha aplikacích. Například při čtení nebo vypisování jednoduchého LCD display nebo D/A a A/D převodníky.

I²C slouží také jako sběrnice typu singlemaster. V mnoha ohledech je podobná SPI, ale jedním z mnoha rozdílů je, že u SPI se pro obousměrný přenos využívají dva vodiče, kdežto u I²C se využívá jenom jeden. Příslušné piny tedy musí být přepínány z výstupních pinů na vstupní a obráceně, což znamená složitější interní struktury. I²C je výrazně chytřejší než SPI, používá jen dva vodiče, a to hodiny SCL a obousměrná data, jak již bylo řečeno. K této sběrnici může být připojeno až 127 zařízení.

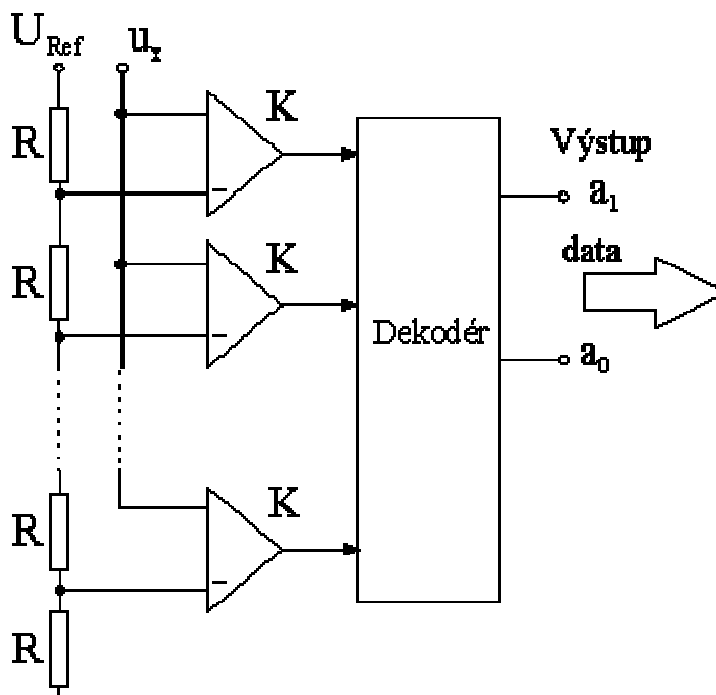
3.3.2 Přenos analogového signálu

Při analogové komunikaci se u mikroprocesorů využívá vnitřního A/D převodníku. Každý analogový signál je nejdříve kvantován v čase, neboli vzorkován, kdy se analogický

signál vzorkuje po určitém čase. Vzniká zde tedy takzvaná diskretizace v čase. Následně se signál kvantuje v amplitudě, kde opět vzniká diskretizace v amplitudě. Na závěr se signál kóduje, což znamená, že každá na vzorkovaná a kvantovaná velikost se přiřadí jednotlivé hodnotě.

Rozlišovací schopnost A/D převodníku je dána počtem úrovní digitální části. Rozlišovací schopnost se většinou počítá pomocí vzorce $1/2^n$, kde n je počet bitů výstupního slova.

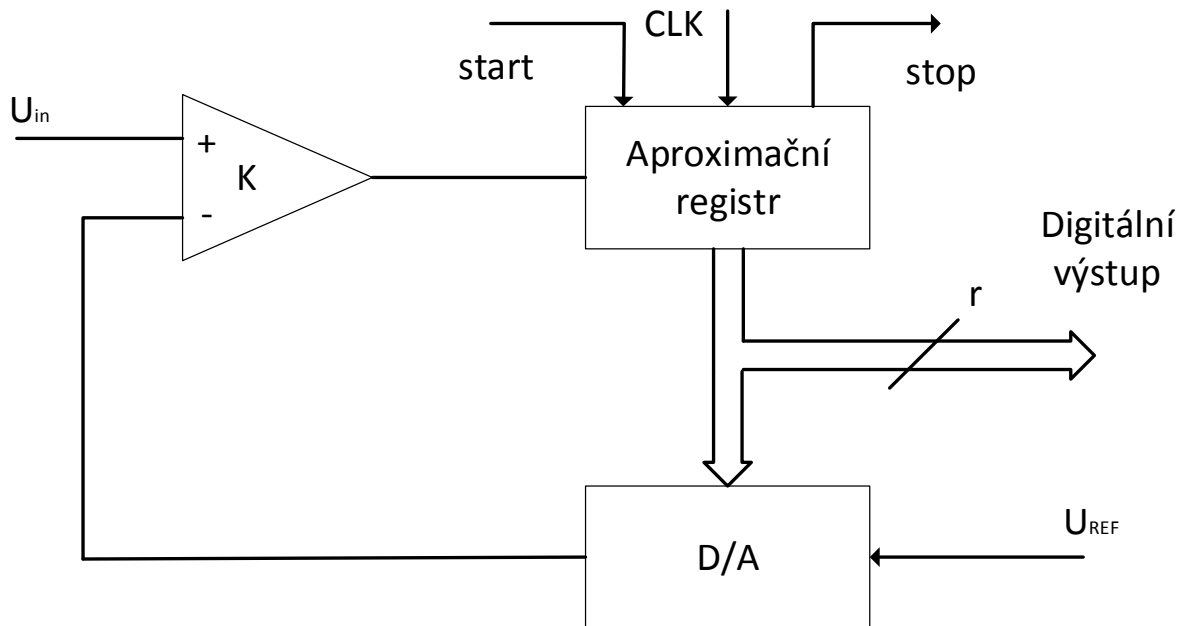
Analogových převodníků existuje hned několik typů. Jako jeden z příkladů můžu uvést zapojení paralelního komparačního převodníku. Tento A/D převodník využívá komparátoru, který srovnává výstupní napětí s kvantovaným referenčním napětím. Komparace těchto hodnot se může uskutečnit současně anebo postupně. To znamená, že hodnota D číslicového výstupního signálu je určena počtem odpovídajících kvant referenčního napětí. Obrázek zobrazuje paralelní typ komparačního A/D převodníku, kde je vstupní signál přiveden na řadu komparátorů, které ho srovnají s referenčními hodnotami.



Obr. 3.3.1: Komparační převodník

Jako další příklad uvedu převodník s postupnou aproximací. Převod začne impulzem start, který je přivedený na vstup aproximačního registru. Následně se v několika krocích bude postupně zpřesňovat hodnota. V prvním kroku dojde k vynulování celého obsahu aproximačního registru a následně se na pozici MSB nastaví log „1“. Poté se na výstup D/A nastaví $\frac{1}{2} U_{REF}$, které se porovná se vstupní hodnotou pomocí komparátoru. Pokud je vstupní

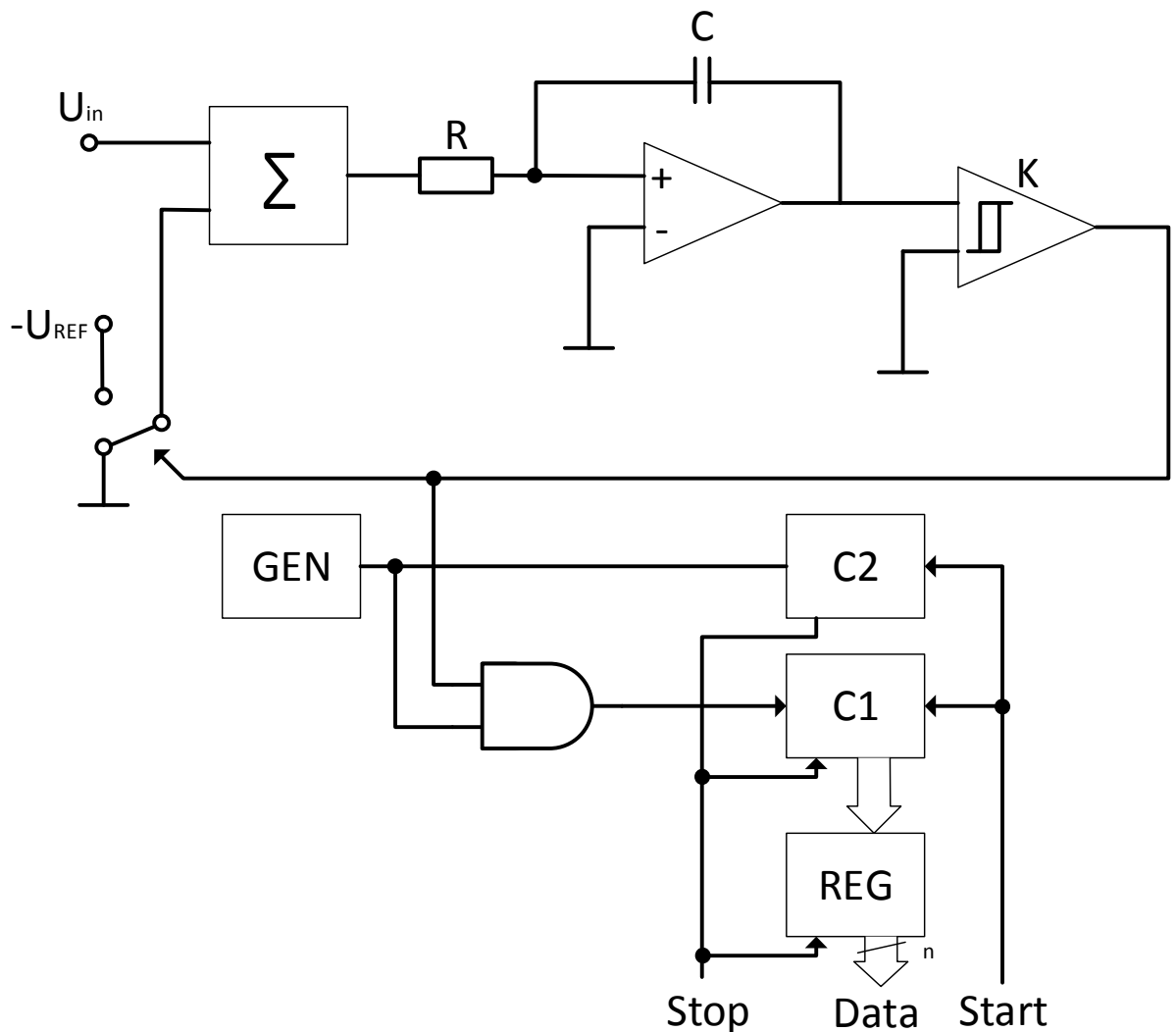
hodnota vyšší než výstupní hodnota D/A, pak komparátor ponechá nastavenou hodnotu na registru v log „1“. Je-li ale hodnota menší než na výstupu D/A převodníku, pak komparátor změní log „1“ na log „0“. Následně se celý proces opakuje pro nižší bitovou pozici. Z toho vyplývá, že doba převodu je zde nepřímo úměrná šířce slova. D/A převodník s postupnou aproximací potřebuje pro správnou funkčnost konstantní hodnotu na vstupu po celou dobu převodu. Tím se snižuje odolnost proti rušení.



Obr. 3.3.2: Převodník s postupnou aproximací.

Jako poslední příklad uvádím Sigma-delta A/D převodník. Ten je složen ze sledovacího a integračního převodníku. Od standartního sledovacího obvodu se liší tím, že využívá jenom jednobitový unipolární D/A převodník. Vstupní napětí se sčítá v sumátoru s $-U_{REF}$ nebo nulou, které jsou výstupem jednobitového unipolárního D/A převodníku. Tento převodník slouží tedy jako přepínač mezi nulou nebo záporným referenčním napětím $-U_{REF}$. Výstupní napětí ze sumátoru je integrováno a porovnáváno v komparátoru. Výstupní napětí integrátoru se mění v rozsahu šířky hysterezní smyčky komparátoru. Dosáhne-li výstupní napětí po integraci kladné meze komparátoru, komparátor se překlápí a na výstupu bude log „1“, následně se na sumátoru změní $-U_{REF}$ na nulu. To znamená, že výstupní napětí sumátoru bude kladné a na komparátoru po integraci je zapotřebí dosáhnout záporné meze komparátoru, aby se překlápil do log „0“. Celkový převod je určen dobou čítače C2. Po jeho ukončení se hodnota C1 přenesou do výstupního registru, kde nízká log „1“ umožňuje čítači C1 číst a naopak log „0“ čítač C1 blokuje. Aby mohl Sigma-delta A/D převodník spolehlivě pracovat,

je zapotřebí při každém startu oba čítače vynulovat. Tento převodník je hodně levný a má vysoký odstup signálu oproti šumu a vysokou rozlišovací schopnost, avšak jeho nevýhodou je nízká rychlost.

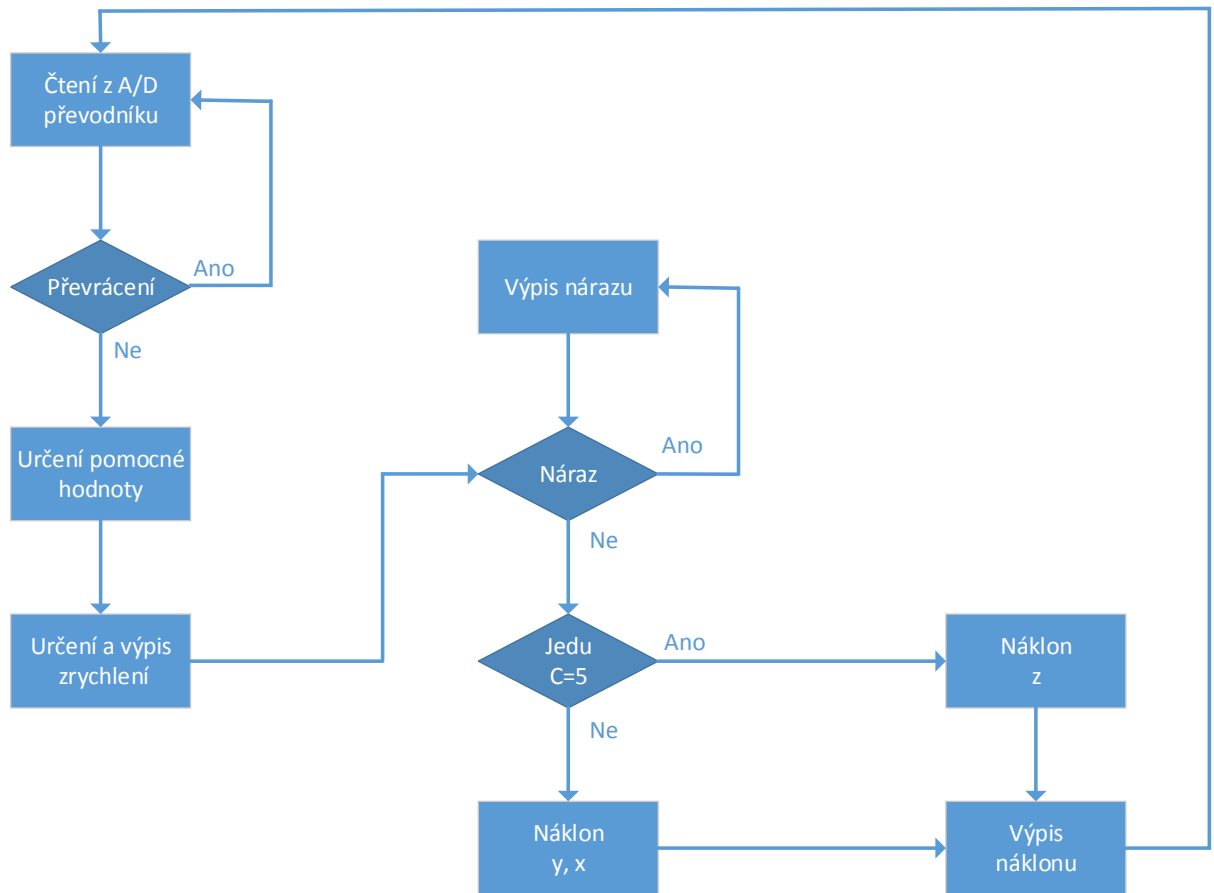


Obr. 3.3.3: Sigma-delta převodník.

3.4 Program

V následující kapitole blíže vysvětlím mnou vytvořený program pro tento systém. Pro programování jsem zvolil Codewarrior, který je uživatelsky velmi přehledný a je to jeden z nejspolehlivějších programů pro programování mikropočítačů. Při vytváření programu je nutné si uvědomit, co vlastně od daného programu očekáváme. Můj program se bude umět díky výstupním hodnotám akcelerometru orientovat v prostoru, rozpozná úhel náklonu a

krizové situace, jako je náraz, převrácení. Protože nemám zpětnou vazbu od motoru, je zapotřebí jednotlivé oddíly upravit pro lepší schopnosti tím, že je rozliším podle stupně zrychlení, které v nich nastává. Vývojovém diagram zobrazuje, jak budou jednotlivé funkce provázány.



Obr. 3.4.1: Blokové schéma programu.

V programu si zavedu Interrupt pretečení, který po přetečení časovače, v našem případě 50ms, spustí program a vykoná potřebné úlohy. V praxi by bylo možná vhodné tento program vykonávat v co nejkratších časových úsecích nebo ho rozdělit do více částí, kde v jedné části by byly údaje, které je zapotřebí kontrolovat co možná nejčastěji například náraz, převrácení nebo zrychlení. V druhé části by byly údaje, které jsou jenom informativní, jako je úhel naklonění vozidla. Také rozdělení je jenom jedna z mnoha úprav, které by se daly provést na výsledném programu. Svůj program takto rozdělovat nebudu, protože chci především ověřit jeho funkčnost.

Ve svém projektu jsem zvolil časovač TPM1, kde jsem interrupt pojmenoval pretečení. Také jsem vytvořil složku source file a head file, které jsem pojmenoval funkce.

V source file jménem funkce.c je napsána funkce a head file jménem funkce.h je použit pro definování jmen jednotlivých funkcí, aby je bylo možné zavolat. Pro usnadnění práce jsem ještě vytvořil Define.h typu head file, kde jsem vytvořil makra na obě Led diody. Následně jsem obě knihovny inkludoval do Events.c. V interruptu pretečení jsem si dále definoval hodnoty x, y, z typu byte, kde byte je makro pro datový typ unsigned char, který alokuje 1 byte jako bezznaménkový char. Char je znaková proměnná, ale vnitřně se jedná o celé číslo. V první řadě jsem potřeboval přečíst hodnoty z A/D převodníku, které jsem si uložil do proměnných x, y, z. Přečtení jsem provedl pomocí příkazu `ADC1SC1_ADCH=kanal`, kde kanal je proměnná, která mi určila, jakou proměnnou budu číst. Ve svém případě jsem přivedl na kanal=0 pro x, na kanal=1 pro y a na kanal=2 pro z. Procesor obsahuje označení provedení konverze (Conversion Complete Flag), které nám označuje log „0“, značící, že konverze ještě nebyla provedena, a log „1“, že konverze byla provedena. Podmínka `ADC1SC1_COCO` je tedy nezbytná pro funkčnost programu, jinak by mohlo dojít k neúplnému přečtení dat z A/D převodníku a tím i k chybné funkčnosti programu. Po provedení funkce jsem navrátil hodnotu, která se nám uloží pod danou proměnnou.

V další části programu jsem zjišťoval, jestli není dálkově ovládaný model převrácený. Převrácení je možné zjistit z proměnné hodnoty z, která nesmí být menší než 100. Na osu z při jízdě totiž působí jenom gravitace, to znamená, že pokud poklesne pod tuto hodnotu, pak je model převrácen. Pokud se model převrátí, bude vysílat varování v podobě „převrátil“ a číst danou osu z A/D převodníku, dokud model neobrátime zpět. Hlášení „převrátil“ je definováno jako pole, a proto ho musím rozdělit na jednotlivé znaky a tyto jednotlivé znaky vypsat na obrazovku. K tomuto účelu mi slouží funkce `retezec_send`, která mi pomocí jednoduchého cyklu `for` rozdělí pole na jednotlivé znaky. Znaky odesílám do funkce `uart_send`, který mi je odešle po sériovém portu na obrazovku. Zde je velmi důležitá podmínka `TDRE` (Transmit data register empty flag), která určuje, jestli je přenosový datový registr plný, nebo zda se mohou odesílat další data.

Pokud dálkově ovládaný model není převrácen, program dále pokračuje k určení pomocné hodnoty. Systém určení hodnoty je velmi jednoduchý. Ulehčil mi budoucí práci s proměnnými hodnotami z A/D převodníku. Nejdříve jsem definoval proměnnou c jako datový typ `unsigned int`. Int je proměnná typu celé číslo a je 4bytová. Proměnné c byla přidělena hodnota 5, aby se zabránilo výskytu záporných čísel. Následně podle situace, jestli měl dálkově ovládaný model zrychlení v ose x směrem dopředu, jsem k ní přičetl hodnotu 3, a pokud dozadu, tak jsem hodnotu 3 odečetl. To samé jsem udělal i v ose y, ale zde

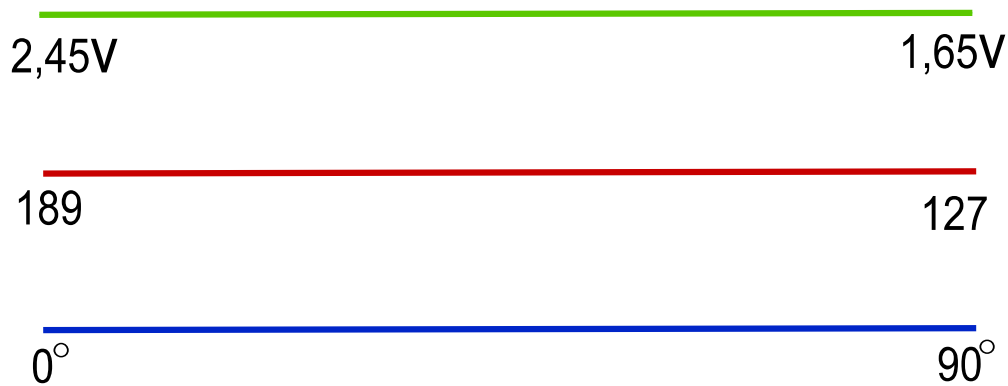
jsem přičítal nebo odečítal hodnotu 2.

V bloku určení a výpisu zrychlení jsem zjistil, zda se dálkově ovládaný model pohybuje či zatáčí podle hodnoty proměnné c . Jako příklad uvedu hodnotu proměnné $c=0$, pak dálkově ovládaný model jede dozadu a zatáčí doprava, dalším příkladem může být $c=5$, to znamená, že model stojí nebo jede konstantní rychlostí. Po určení hodnoty jsem vypsal pomocí funkce `retezec_send` hlášku, která informuje o stavu modelu.

Jako další jsem určil, jestli u dálkově ovládaného modelu došlo k nárazu. Tato část programu porovnává předchozí a následující hodnotu z A/D převodníku. Předchozí změřenou hodnotu program navýší a zmenší o 100 (čemuž odpovídá hodnota 1,2g), což je mnou určená hodnota nárazu, a porovná ji s předchozí hodnotou. Jestli po navýšení předchozí změřené hodnoty je změřená hodnota větší, znamená to, že došlo k prudké změně zrychlení, tím se generuje 3krát hláška o nárazu. Stejný postup jsem použil i pro prudké zmenšení hodnoty. V této části programu jsem použil globální proměnné typu `long`. Globální proměnné jsou zde proto, aby se lokalizovalo místo pro proměnné po celou dobu chodu programu. Kdyby tak nebylo učiněno, mohlo by se stát, že v jiné části programu si tyto proměnné neúmyslně přepíšeme.

V poslední části svého programu zjišťuji náklon dálkově ovládaného modelu. Tuto část programu jsem rozdělil na dvě funkce. Protože nemám zpětnou vazbu z motoru dálkově ovládaného modelu, nemůžu při jízdě zjišťovat náklon v osách x a y . Mohu však zjišťovat náklon modelu z osy z , tato hodnota mi neurčí, v jakém směru je daný dálkově ovládaný model nakloněn, ale určí, že je nakloněn a o kolik. V druhé části programu jsem se zabýval možnostmi, kdy dálkově ovládaný model stojí nebo jede konstantní rychlostí. V tomto případě na osy x , y nepůsobí žádné zrychlení a můžu z nich určit úhel ale i směr náklonu.

Nejdříve popíši první funkci. Je nezbytné uvědomit si vazby mezi akcelerometrem, A/D převodníkem a požadovanou osou ve stupních.



Obr. 3.4.2: Z-osa.

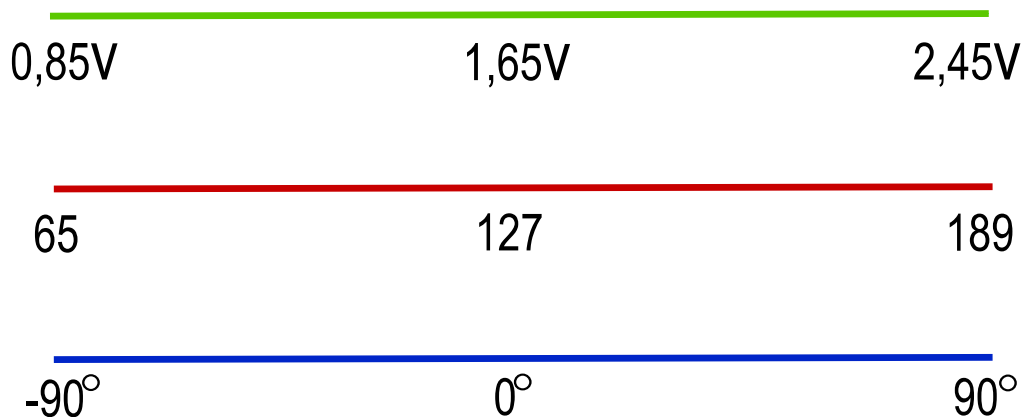
Zelená přímka je určena akcelerometrem (viz obr. 3.4.2.). Protože výstupní hodnotou A/D převodníku je 8 bitů, to znamená hodnota 0-255, a hodnoty akcelerometru se pohybují od 0-3,3V, pak středová hodnota je 1,65V a po převedení pomocí A/D převodníku (červená přímka) dostaneme hodnotu 127. Když k této hodnotě přičteme 62 (čemuž odpovídá hodnota 1g), tak se dostaneme na hodnotu 189. Abych mohl matematicky upravovat bitovou hodnotu na stupně (modrá přímka), budu potřebovat změnit datový typ na long, protože velikost datové proměnné char je 255 a mohla by být překročena. Po převedení na stupně jsem použil rovnici 3.4.1.

$$z = (189 - z) * 1,4$$

Rovnice 3.4.1

Zde nastává problém, protože není možné vynásobit hodnotou 1,4. Tato hodnota nelze programově vyjádřit, proto jsem zvolil následující postup. Závorku jsem vynásobil 14 a následně vydělil 10. Tím Codewarrior hlásil varování v podobě ztráty dat. Tato ztráta dat nevádí, protože výslednou hodnotou jsou stupně, které jsem požadoval. Před odesláním stupňů na sériový port jsem dané celé číslo rozdělil na jednotlivá čísla. Uvedu příklad: 123° je nutné rozdělit na číslo 1 pak 2 a na závěr 3. To jsem učinil ve funkci cislo, kde jsem postupným dělením, odečítáním a odesláním na sériový port získal jednotlivé složky čísla. Pro druhou část funkce to znamená, že dálkově ovládaný model stojí nebo jede konstantní

rychlostí. V druhé funkci jsem zvolil velmi podobný postup. S tím rozdílem, že jsem musel řešit ještě zápornou část stupňů, jak je vidět na obr. 3.4.3.



Obr. 3.4.3: X, Y-osa.

Proto jsem pomocí jednoduché podmínky rozdělil přímku na dvě, jedna se pohybuje od 0 do 90° a druhá od 0 do -90°. Pro první polovinu jsem odečítal od zvolené proměnné číslo 127, které osu posune na nulu, a pak jsem již postupoval obdobně jako v předchozím případě. Pro druhou část přímky jsem zvolil úplně stejný postup, akorát jsem od 127 odečítal danou proměnnou x. Pro osu y jsem zvolil úplně totožný postup jako pro x.

Závěr

Cílem této práce bylo sestrojít měřicí zařízení, včetně vhodného firmware.

Při sestrojování desky jsem se setkal hned s několika problémy. Přestože jsem byl schopný většinu z nich odstranit, některé problémy způsobily významné komplikace a znemožnily mi úplné vytvoření plošné desky. Příkladem uvedu, že byla ukončena výroba akcelerometru MMA7361LC, který jsem chtěl původně osadit. Proto jsem ho musel nahradit akcelerometrem MMA7260. Při manipulaci byl však tento akcelerometr zkratován. Pravděpodobně další nejvhodnější náhradou by byl akcelerometr typu LIS332AX. Tento akcelerometr také měří ve 3 osách, ovšem již nemá nastavení citlivosti. Citlivost je pevně daná na $\pm 2g$. Ostatní jeho parametry jsou podobné jako u MMA7260.

Celý projekt jsem ale vyzkoušel na univerzitních TWR-S08LL64. Projekt je možné dále rozvíjet a zlepšovat. Příkladem může být již zmiňované vytvoření komunikace mezi senzory, které budou předávat informace o stavu motoru nebo rychlosti modelu. V procesoru bych pak mohl hodnoty porovnávat s akcelerometrem. Tak procesor bude schopen i určit, v jakém směru je model nakloněn za jízdy. Nabízí se také případné vylepšení programu v mnoha ohledech, mohl bych zde například naprogramovat komunikaci po sériovém kanálu s využitím kruhového bufferu, který by urychlil chod celého programu. Další vylepšení celého projektu jsou zmíněna v kapitole 3.2. Celý projekt by pak mohl být ještě rozšířen o plošnou desku s komunikačním zařízením.

Tato práce mi byla neocenitelným přínosem. Měl jsem možnost nejenom vytvořit vlastní projekt, ale zároveň ho i realizovat. Zkušenosti, které jsem nabyl v tomto projektu, byly z mnoha různých oblastí elektroniky, např. při návrhu schématu, oživování desky plošných spojů a vymýšlení nejvhodnějšího programu. Chtěl bych se i nadále tomuto projektu věnovat a dokončit ho úspěšně.

Použitá literatura

- [1] HUSÁK, Miroslav. CVUT. AKCELEROMETRY. Dostupné z: <http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/prednasky/08%20Akcelerometry.pdf>, (accessed January 9, 2009).
- [2] Polák, M. *Volba a použití akcelerometru při měření vibrací*; Univerzita Pardubice: Dopravní fakulta Jana Pernera, 2010.
- [3] Vojáček, A. Jak pracují nové 3D MEMS akcelerometry Freescale, 2014. hw.cz. <http://www.hw.cz/soucastky/jak-pracuji-nove-3d-mems-akcelerometry-freescale.html> (accessed April 30, 2007).
- [4] Prof. Ing. Husák M., CSc. *AKCELEROMETRY*; ČVUT FEL Praha: <http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/prednasky/08%20Akcelerometry.pdf>, 2010.
- [5] Webový portál ESD II Využívání vymezených rádiových kmitočtů, 2014. ČTÚ. <http://www.ctu.cz/ctu-informuje/jak-postupovat/radiove-kmitocty/vyuzivani-vymezeny-radiovych-kmitoctu.html> (accessed April 30, 2007).
- [6] Bezdrátové Sítě. <http://www.ctu.cz/ctu-informujehttp://bezdratovesite.wz.cz/> (2010). Frenzel, L. What's The Difference Between Bluetooth Low Energy And ANT?. <http://electronicdesign.com/mobile/what-s-difference-between-bluetooth-low-energy-and-ant> (accessed Nov 29, 2012).
- [7] Lewis, F. Wireless Sensor Networks. Associate Director for Research. <http://210.32.200.159/download/20100130212654891.pdf> (2004).
- [8] Pinker, Jiří; Koucký, Václav, *Analogové elektronické systémy. 1. část*, Plzeň : Západočeská univerzita 2004
- [9] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *Datasheet: MC9S08AC16*. 2007. Dostupné z: http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC9S08AC16.pdf
- [10] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *Datasheet: MMA7361LC*. 2011. Dostupné z: http://www.pololu.com/file/download/MMA7361LC.pdf?file_id=0J472
- [11] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *Datasheet: MMA7260QT*. 2008. Dostupné z: http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA7260QT.pdf
- [12] STMICROELECTRONICS. *Datasheet: LIS332AX [MEMS accelerometer]*. 2014. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1700430.pdf>
- [13] TEXAS INSTRUMENTS. *Datasheet: LM1117/LM1117I [800mA Low-Dropout Linear Regulator]*. 2013. Dostupné z: <http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/lm1117-n.pdf>
- [14] FUTURE TECHNOLOGY DEVICES. *Datasheet: FT232R [USB UART IC]*. 2012. Dostupné z: http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf

Seznam Příloh

Příloha A: Schéma Projektu

Příloha B: Deska plošných spojů-TOP

Příloha C: Deska plošných spojů-BOT

Obsah DVD

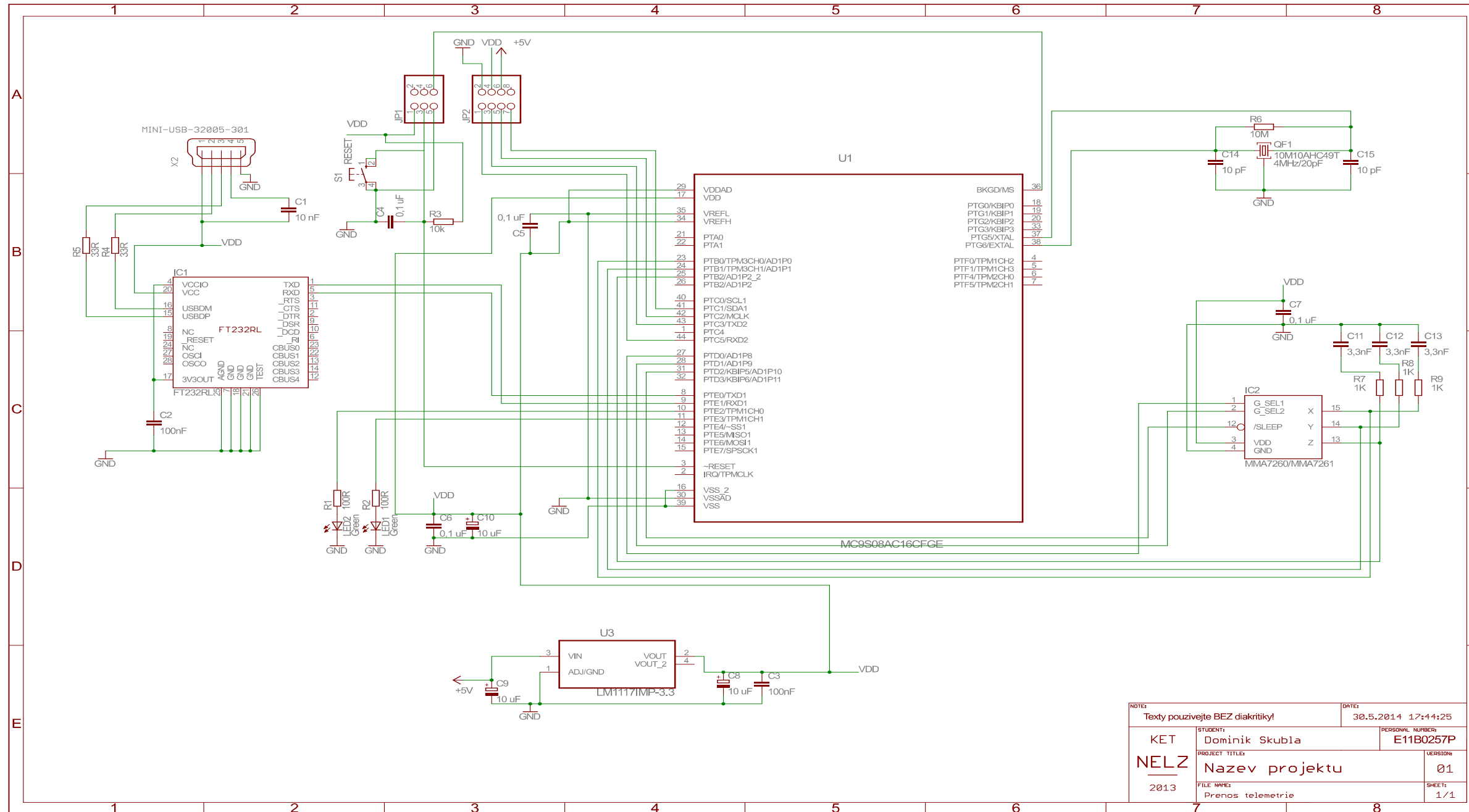
Program v Codewarrioru

Návrh desky v Eaglu

Datasheety

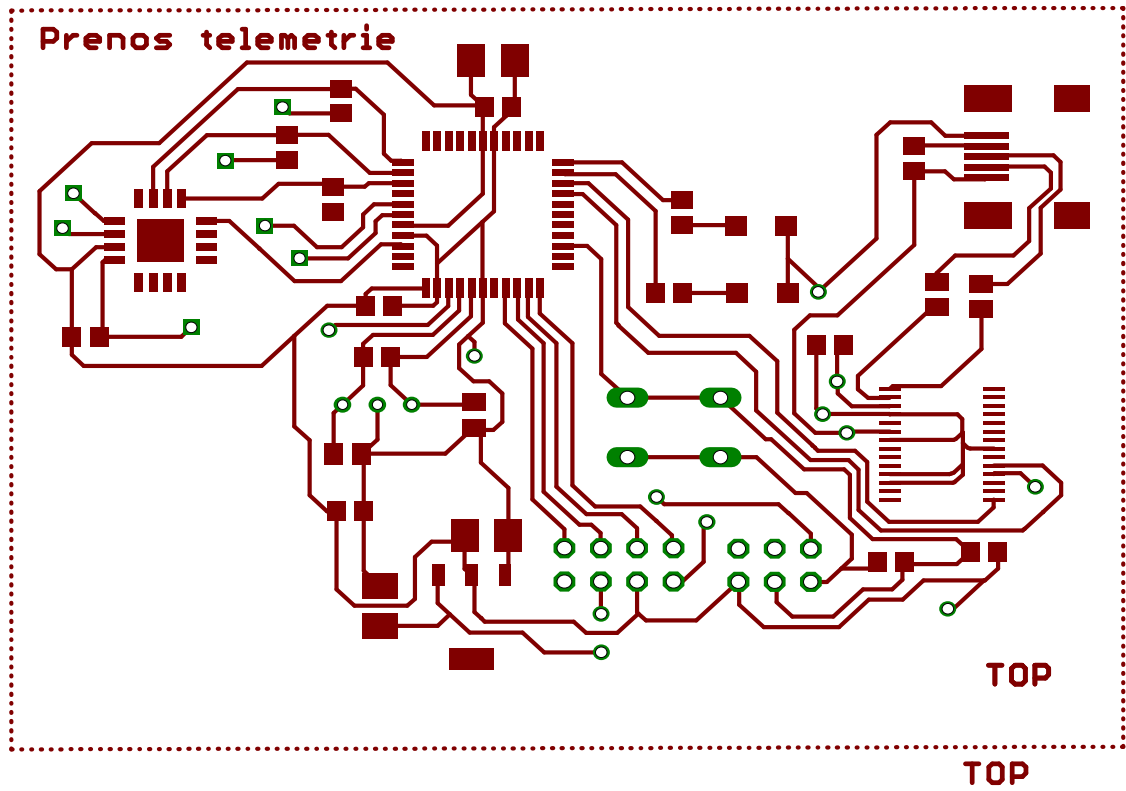
Přílohy

Příloha A: schéma projektu



NOTES	Texty používejte BEZ diakritiky!		DATE	30.5.2014 17:44:25
KET	STUDENT	Dominik Škubla	PERSONAL NUMBER	E11B0257P
NELZ	PROJECT TITLE	Nazev projektu	VERSION	01
2013	FILE NAME	Prenas telemetrie	SHEET	1/1

Příloha B: Deska plošných spojů-TOP



Příloha C: Deska plošných spojů-BOT

