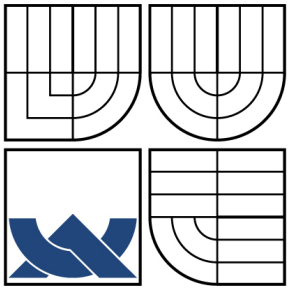
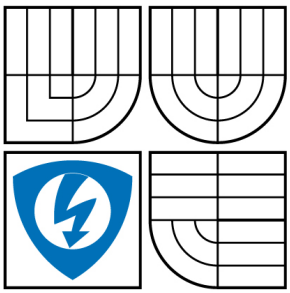


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

SNÍMAČE POLOHY S PROCESOREM AVR

POSITION SENSORS WITH AVR MICROCONTROLLER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

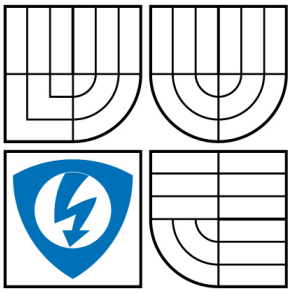
AUTOR PRÁCE — MARTIN HALTUF

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — doc. Ing. LUDĚK ŽALUD, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student:	Haltuf Martin	***ID:***	80570
Ročník:	3	***Akademický rok:***	2007/2008

NÁZEV TÉMATU:

Snímače polohy s procesorem AVR

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1.Prostudujte problematiku měření orientace a polohy mobilního robotu.
2.Seznamte se s rodinou mikrokontrolérů AVR od firmy Atmel.
3.Po konzultaci s vedoucím navrhněte a prakticky realizujte jednoduché zařízení pro měření polohy mobilního robotu dle upřesnění vedoucího semestrálního projektu.
4.Zařízení otestujte, dosažené výsledky zhodnoťte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Termín zadání:	1.2.2008	***Termín odevzdání:***	2.6.2008

Vedoucí práce: doc. Ing. Luděk Žalud, Ph.D.

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práve třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřící techniky

Snímače polohy s procesorem AVR

Bakalářská práce

Bakalářský studijní obor: Automatizační a měřící technika
Student: Martin Haltuf
Vedoucí projektu: doc. Ing. Luděk Žalud, Ph.D.

Anotace:
Bakalářská práce se zabývá možnostmi měření polohy metodou inerciální navigace. Jsou zde popsány druhy senzorů využívajících tuto metodu. Největší pozornost je věnována senzoru úhlové rychlosti gyroskopu. V práci je též popsána obecná charakteristika rodiny mikrokontrolérů AVR firmy Atmel. Mikrokontrolér AVR řady ATmega je použit v návrhu jednoduchého zařízení pro měření polohy mobilního robotu pomocí digitálního gyroskopu firmy Analog Device.

Klíčová slova: Inerciální navigace, Gyroskop, AVR

Brno University of Technology

Faculty of Electrical Engineering and Communication

Department of Control, Measurement and Instrumentation

Position sensors with AVR microcontroller

Bachelor´s thesis

Specialization of study: Cybernetics, Control and Measurement
Student: Martin Haltuf
Supervisor: doc. Ing. Luděk Žalud, Ph.D.

Annotation:
The Bachelor thesis deals with possibilities of measurement of location by inertial navigation method. There are described varieties of sensors, which use this method. Large attention is paid to angular speed of gyroscope. In study the characterization of AVR microcontroller of Atmel Company is given. The ATmega microcontroller AVR series is used design of simple device for measurement of localization of mobile robot by the digital Analog Device gyroscope.

Keywords: Inertial navigation, Gyroscope, AVR

Bibliografická citace

HALTUF, M. *Snímače polohy s procesorem AVR*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 50 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Luděk Žalud, Ph.D.

P r o h l á š e n í

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma "Snímače polohy s procesorem AVR" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne : Podpis:

P o ď ě k o v á n í

Děkuji tímto doc. Ing. Luďkovi Žaludovi, Ph.D. a Ing. Františkovi Burianovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

V Brně dne : Podpis:

OBSAH

1. ÚVOD 10
2. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE 11
2.1 Metoda inerciální navigace 11
2.1.1 Inerciální určování polohy a dráhy tělesa 11
2.1.2 Konstrukce inerciálních měřících systémů 11
2.2 Senzory využívající metodu inerciální navigace 12
2.2.1 Gyroskopy 12
2.2.2 Princip činnosti gyroskopu 12
2.2.3 Typy gyroskopů: 13
2.2.4 Akcelerometr 20
2.2.5 Inklinometr 20
2.2.6 Elektronický kompas 21
2.3 Mikrokontroléry řady AVR 23
2.3.1 Obecná charakteristika mikrokontrolérů AVR 23
2.3.2 Mikrokontrolér AVR ATmega8 25
2.4 Hardware 31
2.4.1 Popis obvodu 31
2.4.2 ATmega8 36
2.4.3 Gyroskop řady ADXRS 38
2.4.4 Gyroskop ADIS16100 38
2.4.5 Řídící program mikrokontroléru ATmega8 43
2.4.6 Rozhraní SPI a komunikace 43
3. ZÁVĚR 47
4. LITERATURA 48

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.2.3-1 Gyroskop se dvěma stupni volnosti [13].

Obrázek 2.2.3-2 Gyroskop se třemi stupni volnosti [13].

Obrázek 2.2.3-3 Sagnacův efekt [13].

Obrázek 2.2.3-4 Princip prstencového laserového gyroskopu [13].

Obrázek 2.2.3-5 Princip laserového gyroskopu s trojúhelníkovým blokem [10].

Obrázek 2.2.3-6 Princip vláknového gyroskopu [13].

Obrázek 2.2.6-1 Magnetické siločáry Země [6].

Obrázek 2.3.2-1 Architektura mikrokontroléru ATmega8 [4].

Obrázek 2.4.1-1 Blokové schéma zapojení (usměrnění, filtrace, stabilizace)

Obrázek 2.4.1-2 Schéma zapojení napájení

Obrázek 2.4.1-3 Schéma zapojení mikrokontroléru ATmega8

Obrázek 2.4.1-4 Schéma zapojení obvodu MAX232

Obrázek 2.4.1-5 Schéma zapojení gyroskopu ADIS16100

Obrázek 2.4.2-1 Konfigurace pinů pouzdra PDIP [4]

Obrázek 2.4.3-1 Blokové schéma zapojení gyroskopu ADXRS300 [3]

Obrázek 2.4.4-1 Blokové schéma zapojení gyroskopu ADIS16100 [2].

Obrázek 2.4.4-2 Konfigurace pinů gyroskopu ADIS16100 [2]

Obrázek 2.4.4-3 Zapojení vstupů a výstupů gyroskopu ADIS16100

Obrázek 2.4.4-4 Sekvence rozhraní SPI gyroskopu ADIS16100 [2]

Obrázek 2.4.4-5 Citlivá osa a rozsah gyroskopu ADIS16100 [2]

Obrázek 2.4.6-1 Zapojení obvodů Master a Slave rozhraní SPI [7]

Obrázek 2.4.6-2 Propojení stanic Master a Slave [7]

Obrázek 2.4.6-3 Význam parametrů CPOL a CPHA na rozhraní SPI [7]

Obrázek 2.4.6-4 Čtení dat z paměti s rozhraním SPI [7]

Obrázek 2.4.6-5 Zápis dat do paměti s rozhraním SPI [7]

SEZNAM ZKRATEK

AFG	Air-Bearing Floated Gyroscope
ALU	Arithmetic Logic Unit
DTG	Dynamic Tuned Rotor Gyroscope
ESG	Electrostatically Suspended Gyroscope
GPS	Global Positioning System
I^2C	Inter-Integrated Circuit
LGA	Land Grid Array
LSB	Least Significant Bit
MCU	Multipoint Control Unit
MEMS	Micro-Electro-Mechanical Systems
PDIP	Plastic Dual Inline Package
PWM	Pulse Width Modulation
RISC	Reduced Instruction Set Controllers
SMD	Surface Mount Device
SPI	Serial Peripheral Interface
TTL	Transistor Transistor Logic
TWI	Two Wire Interface
USART	Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter

1. ÚVOD

Určováním polohy se v dnešní době převážně myslí použití navigačního systému GPS. Je to způsobené velkým rozvojem a velkou dostupností tohoto systému. Globální polohový systém představuje pasivní dálkový systém využívající satelitní navigaci. Umožňuje v reálném čase určit polohu objektu, směr a rychlost pohybu kdekoliv na Zemi nezávisle na meteorologických podmínkách. Přístroj GPS pouze přijímá informace ze satelitu, ale sám žádné nevysílá, proto se jedná o přístroj pasivní. Původní využití systému GPS bylo jen pro vojenské účely, ale postupem času se stal dostupný široké veřejnosti. Ale ne všude lze určovat polohu tímto systémem, a proto je zapotřebí použití jiných navigačních systémů, které využívají metodu inerciální navigace. Tyto navigační systémy nepotřebují ke své navigaci žádný signál ze satelitů jako systém GPS. Signál ze satelitů nelze totiž přijímat v uzavřených prostorech a pod vodou. Systémy využívající metodu inerciální navigace zpočátku pracovaly s mechanickými senzory, později elektromechanické nebo elektrooptické senzory. Mezi senzory využívající k vyhodnocení polohy metodu inerciální navigace patří gyroskopy, akcelerometry, inklinometry a kompasy.

2. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2.1 METODA INERCIÁLNÍ NAVIGACE

2.1.1 Inerciální určování polohy a dráhy tělesa

Inerciální navigace je metoda pomocí níž se dá určit aktuální poloha v různém prostředí bez signálů ze satelitů. U inerciálních navigačních systémů je vyžadována počáteční pozice a aktuální pozice je určována vzhledem k výchozí pozici. Ze známé výchozí polohy a ze zaznamenané změny zrychlení a úhlu natočení lze spočítat polohu a rychlost. Jelikož je měřený signál třeba několikrát integrovat vzniká chyba určení přesné polohy. Tuto chybu lze eliminovat nějakou zpětnovazební metodou [13].

2.1.2 Konstrukce inerciálních měřících systémů

Princip inerciálního určení polohy spočívá v neustálém zpracování toku informací o pohybu objektu a to v nepřetržitém měření vektoru okamžitého zrychlení. Informace potřebné k tomuto měření získáme většinou z gyroskopických měření [13].

2.2 SENZORY VYUŽÍVAJÍCÍ METODU INERCIÁLNÍ NAVIGACE

2.2.1 Gyroskopy

Slovo gyroskop se pojí se slovem gyroteodolit. Je to přístroj, který používáme zejména na gyroskopické určování azimutu vybraného směru. Je tedy jistou analogií kompasu, avšak místo magnetické střelky se k orientaci k severu využívá speciálního setrvačníku – gyroskopu [10]. V oblasti inerciální měřící techniky chápeme pod pojmem gyroskop přístroj vhodný na měření rotací, tj. změny směru nebo orientace [13]. V porovnání s kompasem je gyroteodolit přesnější, protože nepodléhá vnějším vlivům prostředí, které mohou u kompasu znehodnotit výsledky [10]. Gyroskopy původně pracovaly na principu zachování rotační energie, většina moderních elektromechanických gyroskopů dnes však ke své činnosti využívá principu Coriolisovy síly nebo Sagnacova jevu.

2.2.2 Princip činnosti gyroskopu

Gyroskop je setrvačník a to těleso ve tvaru kruhové desky rychle rotující kolem osy kolmé k rovině desky [10]. Zakončení osy jsou zapojené do ocelového prstence nebo do tzv. kardanového závěsu. Pokud je setrvačník rychle roztočen, získá poměrně vysokou stabilitu a jeho osa odolává silám zvenčí, které usilují o její naklonění. Toto je způsobeno tím, že má vysoký moment síly. Pevnost osy gyroskopu v prostoru je dána prvním Newtonovým zákonem. Ten říká, že těleso, které je v klidu nebo v pohybu, zůstává v setrvalém stavu, dokud na něj nezačne působit vnější síla. Osa gyroskopu, která je ze začátku rychle roztočena, má svou vlastní tendenci ve své rotaci a poloze setrvat. Systém dvou nebo tří otáčejících se a na sebe kolmých setrvačníků s vysokou rychlostí otáčení se nazývá gyroskopický kompas. Tento systém se snaží udržet svoje natočení nezávisle od okolního prostředí.

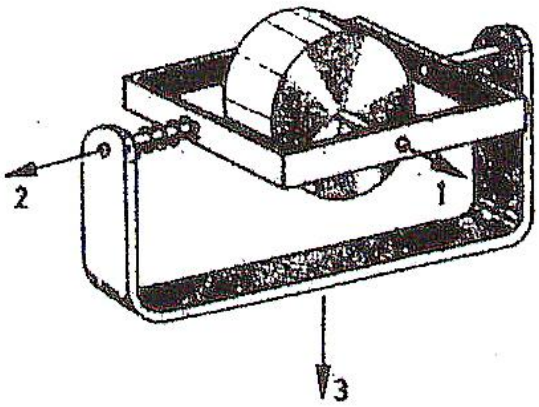
2.2.3 Typy gyroskopů:

- Mechanický gyroskop
- Vibrační gyroskop
- Optický gyroskop (Laserový gyroskop, Vláknový gyroskop)

Mechanický gyroskop

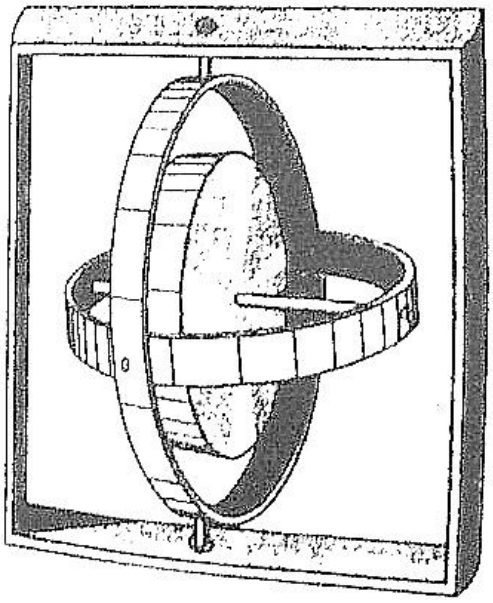
Pro určení azimutu je zapotřebí gyroskop se třemi stupni volnosti. Pro určení aktuální polohy je zapotřebí šesti parametrů. Třech údajů o translaci a třech údajů o rotaci. Ve výrobě inerciálních měřících systémů se používají gyroskopy s jedním a dvěma stupni volnosti. Při použití gyroskopů s jedním stupněm volnosti je třeba instalovat pro každou osu měřícího systému jeden gyroskop. Při použití gyroskopu s dvěma stupni volnosti vystačíme s dvojicí snímačů.

Konstrukce gyroskopu s dvěma stupni volnosti se skládá ze setrvačníku, z rámu a z nosiče. Způsob upevnění rámu na nosič umožňuje jeho otáčení okolo osy kolmou na osu rotace setrvačníku. Osa rotace nosiče je kolmá na obě předcházející, čímž je definována pravoúhlá soustava se začátkem v těžišti setrvačníku. Při otáčení se setrvačníku vysokou úhlovou rychlostí vyvolá každé pootočení nosiče okolo své osy vychýlení rámu z jeho rovnovážné polohy. Velikost výchylky, úměrné pootočení nosiče je buď přímo měřená, nebo korigovaná kompenzačním okruhem gyroskopu. Výstupním signálem takového gyroskopu je pak proud nebo napětí indikované v kompenzačním okruhu [13].



Obrázek 2.2.3-1 Gyroskop se dvěma stupni volnosti [13].

Konstrukce gyroskopu se třemi stupni volnosti je složitější. Skládá se ze setrvačníku uloženého ve dvojici kardanových rámech, které jsou uloženy v nosiči. Způsob uložení setrvačníku umožňuje jeho vychýlení z rovnovážné polohy ve dvou rovinách kolmých na osu setrvačníku [13].



Obrázek 2.2.3-2 Gyroskop se třemi stupni volnosti [13].

Typy mechanických gyroskopů [13]:

1. dynamicky laděný gyroskop - DTG
2. gyroskop se setrvačníkem zavěšeným v elektrostatickém poli - ESG
3. gyroskop se setrvačníkem uloženým na vzduchovém polštáři - AFG

Gyroskopy typu DTG a ESG jsou gyroskopy se třemi stupni volnosti. Na záznam úhlové rychlosti výchylky setrvačníku vůči krytu se používá dvojosý senzor. Gyroskop typu ESG má setrvačník zavěšený ve vakuu bez fyzického kontaktu na kryt. Senzory detekující polohu setrvačníku jsou umístěny na krytu snímače. Slouží na určení změny vzájemné orientace krytu a osy setrvačníku, který zachovává svoji orientaci v inerciálním prostoru. Gyroskop typu AFG se skládá z válcovitého hermeticky uzavřeného setrvačníku. Prostor mezi krytem a setrvačníkem je vyplněný

vysoko viskózním médiem. Gyroskop typu AFG měří úhlovou rychlost relativní výchylky krytu vůči setrvačníku, využívající přitom princip gyroskopické reakce. Reakce je vyvolaná viskozitou media a její velikost je úměrná úhlové rychlosti relativní výchylky [13].

Vibrační gyroskop

Tyto gyroskopy obsahují vibrující ladičku nebo srovnatelnou strukturu realizovanou v křemíkovém substrátu. Struktury se aktivují elektrostatickými, piezoelektrickými nebo elektromagnetickými silami. Rotační pohyb struktur vyvolává Coriolisovy síly, které jsou příčinou dodatečných vibrací v kolmém směru k původním vibracím [22].

Coriolisova síla [11].

Je zdánlivá síla působící na pohybující se hmotný bod v rotující soustavě. Uplatňuje se, je-li směr pohybu hmotného bodu jiný, než je směr osy rotace.

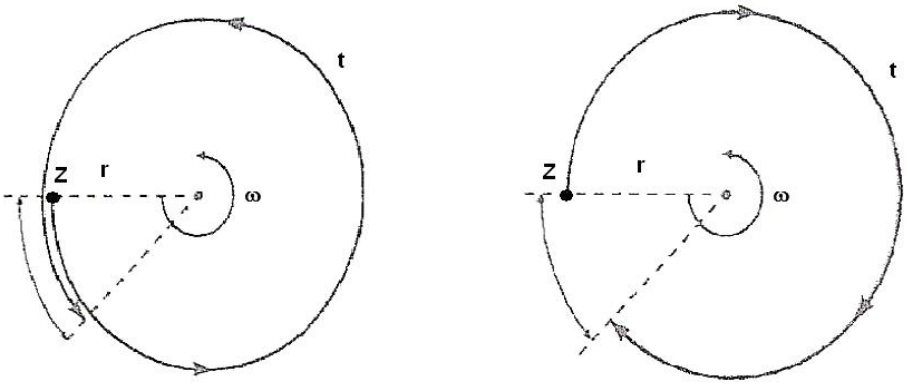
Rovnice 1 $$Fc = -2 \cdot m \cdot \omega \times v$$

Fc - Coriolisova síla
m - hmotnost tělesa
ω - vektor úhlové rychlosti otáčení soustavy
v - vektor pohybu tělesa

Jeli těleso v otáčející soustavě v klidu, nebo pohybuje-li se ve směru rovnoběžném s osou rotace, je vektorový součin nulový a Coriolisova síla nepůsobí. Síla je orientovaná kolmo k rovině tvořené osou rotace a směru pohybu hmotného bodu.

Optický gyroskop

Optické gyroskopy pracují na principu Sagnacova efektu, podle kterého je možné z rozdílu délky oběžných drah dvou světelných paprsků obíhajících proti sobě po uzavřené kruhové dráze, určit úhlovou rychlost rotace [13].



Obrázek 2.2.3-3 Sagnacův efekt [13].

Sagnacův efekt [13] [18]

Paprsek cestující jedním směrem

Rovnice 2 $$L^{-} = 2 \cdot \pi \cdot r - r \cdot \omega \cdot t^{-}$$

Paprsek cestující směrem opačným

Rovnice 3 $$L^{+} = 2 \cdot \pi \cdot r - r \cdot \omega \cdot t^{+}$$

Při otáčení zdroje světelných paprsků Z úhlovou rychlostí ω se čas oběhu jednoho paprsku zkrátí a druhého prodlouží. Rozdíl časů oběhu Δt je funkcí rychlosti světla ve vakuu c_0, plochy uzavřené dráhou světelných paprsků P a úhlové rychlosti ω.

Rovnice 4 $$\Delta t = \frac{4 \cdot P}{c_0^{\,2}} \cdot \omega$$

Rozdíl vzdálenosti ΔL

Rovnice 5 $$\Delta L = \Delta t \cdot c_0 = \frac{4 \cdot P}{c_0} \cdot \omega$$

Fázový posun ΔΦ způsobený pootočením určíme ze vztahu

Rovnice 6 $$\Delta\Phi = 2 \cdot \pi \cdot \frac{c_0}{\lambda} \cdot \Delta t \,,$$

kde λ je vlnová délka použitého světelného záření. Po dosazení do rovnice a úpravě dostáváme

Rovnice 7 $$\Delta\Phi = \frac{8 \cdot \pi \cdot P}{c_0 \cdot \lambda} \cdot \omega \,,$$

resp.

Rovnice 8 $$\omega = \frac{c_0 \cdot \lambda}{8 \cdot \pi \cdot P} \cdot \Delta\Phi \,.$$

L - celková uražená dráha
r - poloměr kruhové dráhy
ω - úhlová rychlost
t - čas oběhu paprsku
c_0 - rychlost světla ve vakuu
P - plocha opsaná vláknem
λ - vlnová délka
Φ - fázový posun

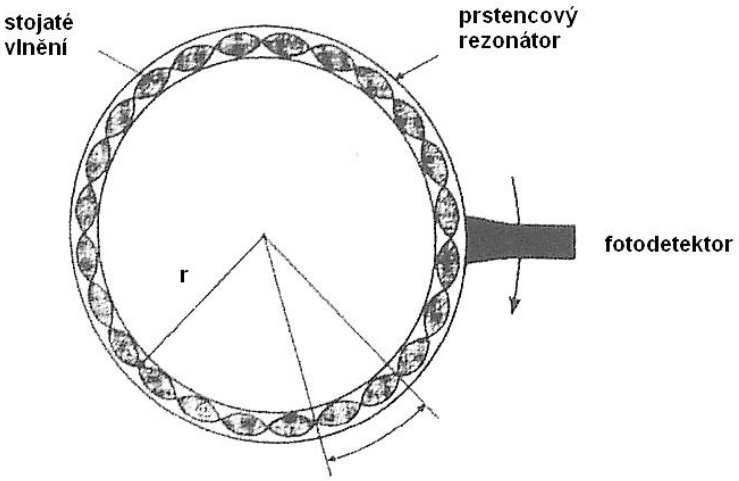
U optických gyroskopů můžeme oproti mechanickým gyroskopům vyloučit vlivy jako setrvačnost a tření. Optické gyroskopy mají také dlouhodobou stabilitu, vyšší spolehlivost a životnost [10].

Typy optických gyroskopů:

- Laserový gyroskop
- Vláknový gyroskop

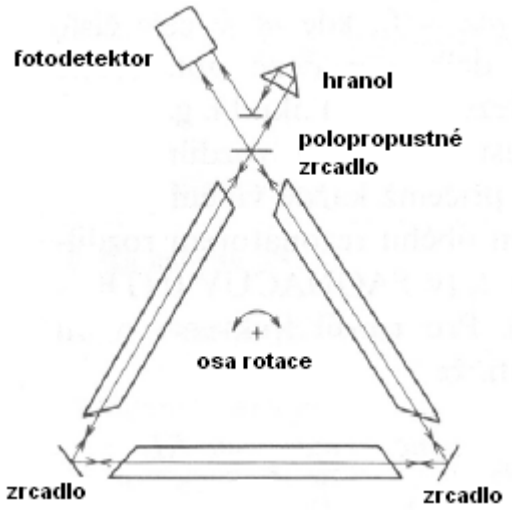
Laserový gyroskop

Laserové gyroskopy se vyznačují vysokou stabilitou. Jedná se o velmi přesný způsob měření úhlové rychlosti. Použitím optické dráhy tvaru prstence vzniká uvnitř prstence stojaté vlnění. Rotující detektor spojený s prstencem pozoruje pravidelné střídání světelných extrémů [13]. Pokud je gyroskop v klidu, tak dvě proti sobě šířící vlnění generované v rezonátoru mají stejné kruhové frekvence. Je-li gyroskop naopak v pohybu, tak dvě proti sobě šířící vlnění mají rozdílné kruhové frekvence [10].



Obrázek 2.2.3-4 Princip prstencového laserového gyroskopu [13].

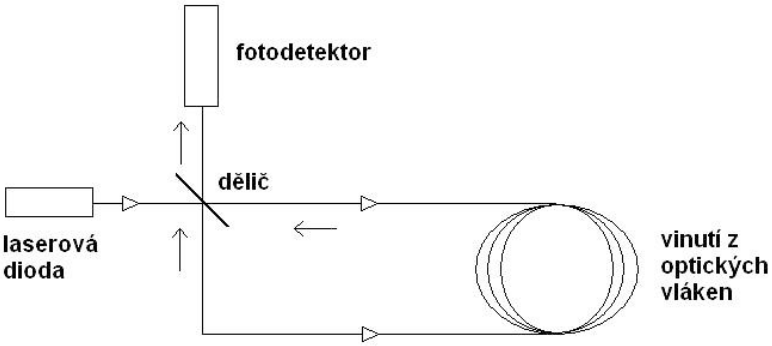
Uzavřená dráha kruhového generátoru je většinou nahrazena drahou tvaru mnohoúhelníka. Dráha světelných paprsků je definována třemi nebo i více zrcadly [13]. Protisměrné šířící se vlnění je vyvedeno z rezonátoru. Na detektor je přivedeno pomocí polopropustného zrcadla. Detektor snímá a počítá intenzivní maxima a ze směru pohybu proužků určí smysl otáčení gyroskopu. Počet proužků je úměrný rozdílu frekvencí proti sobě jdoucích vlnění [10].



Obrázek 2.2.3-5 Princip laserového gyroskopu s trojúhelníkovým blokem [10].

Vláknový gyroskop

Podobně jako laserové gyroskopy využívají vláknové gyroskopy pro určení úhlové rychlosti Sagnacova efektu. Použití optických vláken umožňuje mnohonásobně prodloužit dráhu světelných paprsků a tak zvýšit rozlišovací schopnost a přesnost laserového gyroskopu. Rozdíl mezi laserovým a vláknovým gyroskopem je použití pro uzavřenou dráhu optických vláken a ne trojúhelníku, resp. mnohoúhelníku. Optické vlákno je nejčastěji navinuto ve tvaru cívky a jeho délku je možné libovolně měnit. Schéma tohoto gyroskopu obsahuje zdroj laserového paprsku připojený na dělič, který dělí paprsek na dvě stejné, ale proti sobě jdoucí vlnění. Tento dělič slouží i na vytvoření interferenčního signálu, který je zpracován detektorem fázového posunu. Výstupní signál detektoru je funkcí fázového posunu a úhlové rychlosti. Použití optických vláken přineslo zvýšení přesnosti optických gyroskopů [10].



Obrázek 2.2.3-6 Princip vláknového gyroskopu [13].

2.2.4 Akcelerometr

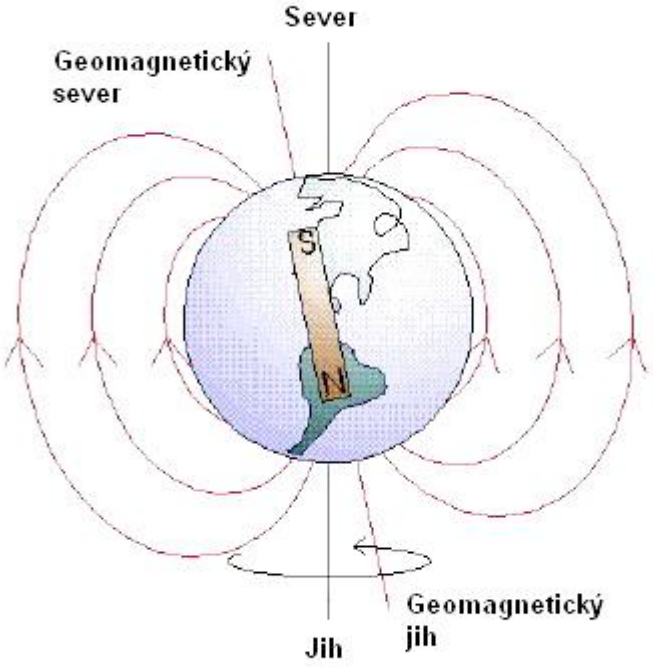
Akcelerometr je senzor, který udává velikost zrychlení v určitém směru. Udává se v násobku zemského tíhového zrychlení g. Klasické mechanické senzory jsou v dnešní době nahrazovány součástkami vyrobenými technologií MEMS. Součástky vyrobené technologií MEMS mají mnohem menší rozměry, nižší energetickou spotřebu a nižší cenu. Výhodou použití inerciální navigace s akcelerometrem je tzv. soběstačnost tohoto navigačního systému, což znamená, že pro funkci nejsou nutné žádné externí objekty. Nevýhodou těchto součástek je zatím stále nedostatečná přesnost pro mnohé aplikace. Akcelerometry fungujících na různých principech a jsou vyráběnými různými technologiemi výroby. Kapacitní snímání pohybu, piezoodporové snímání pohybu a piezoelektrické snímání pohybu. Mezi další mnohem dražší akcelerometry patří např. elektromechanické a rezonanční akcelerometry. Kromě vysoké ceny mají elektromechanické akcelerometry navíc příliš velké rozměry [1].

2.2.5 Inklinometr

Inklinometr je senzor, který měří náklon ve dvou osách. Náklon levo-pravý (roll) a náklon předo-zadní (pitch) [6].

2.2.6 Elektronický kompas

Kompas využívá ke zjištění azimutu (úhel mezi magnetickým severem a směrem pohybu objektu) magnetické pole Země. Síla tohoto pole není na všech místech Zemského povrchů stejná. Magnetické siločáry směřují od jižního k severnímu geomagnetickému pólu. Geomagnetické póly jsou však umístěny, kvůli shodnosti s geografickými póly, opačně než póly zobrazeného dipólu. Magnetická osa Země se od zemské geografické osy odchyluje asi o 11 stupňů [12].



Obrázek 2.2.6-1 Magnetické siločáry Země [6].

Pro měření magnetického pole Země se používají magnetometry. Naproti tomu magnetické pole Země bývá často rušeno elektrickým vedením, přístroji vyzařujícími magnetické pole nebo stíněno železnými prvky. Tyto problémy se projevují hlavně u aplikací uvnitř budov a je možné je částečně omezit použitím jiných senzorů [12].

Druhy kompasů:

- Mechanické magnetické kompasy
- Fluxgate kompasy
- Magnetoindukční kompasy
- Magnetorezistivní kompasy

Magnetoindukční kompas

Kompas je složen z prstencového magnetu nebo dvou tyčových magnetů připevněných ke kulaté průsvitné slídě opatřené stupnicí, jenž se ve směsi vody a alkoholu otáčí kolem kolíku ve svém středu, který je pevně spojen s nádobou. Kapalina nadnáší hmotnost otáčející se části s magnetem a tlumí případné nárazy a vibrace. Celá tato hermeticky uzavřená nádoba je zavěšena v kardanovém závěsu se dvěma stupni volnosti [12].

Fluxgate kompas

Kompas je složen ze dvou cívek (primární a sekundární) navinuté okolo jádra z materiálu s vysokou permeabilitou. Magnetické indukce tohoto jádra se mění podle velikosti a směru magnetického pole, ve kterém se jádro nachází. Další princip je měření změny odporu nasyceného jádra. Změna odporu je způsobena měřeným magnetickým polem [12].

Magnetoindukční kompas

Kompas, který má pro každou jednu cívku, která funguje jako indukční část v nízko výkonovém LR oscilátoru. Relativní permeabilita feromagnetického jádra cívky je závislá na magnetickém poli, v němž se nachází [12].

Magnetorezistivní kompas

Kompas je založen na magnetorezistivním jevu. Elektrický odpor magnetického materiálu je závislý na velikosti a směru externího magnetického pole, v němž je materiál umístěn [12].

2.3 MIKROKONTROLÉRY ŘADY AVR

2.3.1 Obecná charakteristika mikrokontrolérů AVR

Jádro řady AVR se podobá jádru většiny mikroprocesorů s redukovanou instrukční sadou RISC. Skládá se z 32 stejných 8mi bitových registrů, které obsahují jak data, tak adresy. K přístupům k těmto univerzálním registrům stačí jeden hodinový cyklus. Během jednoho hodinového cyklu se provede jedna ALU operace. Posledních 6 registru lze ve dvojici použít jako ukazatele adresy pro nepřímé adresování paměti dat. Tyto registry dovolují libovolné ukládací operace. Programátor má například na výběr, zda se ukazatel adresy bude po zpracování určité instrukce inkrementovat nebo se před zpracováním této instrukce dekrementovat. ALU umožňuje aritmetické a logické operace mezi registry nebo mezi registrem a konstantou. Také umožňuje operace s jediným registrem. K registrovým operacím se mohou přidat i operace aplikující obvyklé paměťové adresní módy na soubor registrů. Je to umožněno tím, že soubor registrů zabírá dolních 32 adres datového prostoru. K registrům to dovoluje přístup jako by to byly běžné paměťové buňky. Paměťový prostor dále obsahuje 64 adres I/O registrů sloužící k periferním funkcím jako jsou řídící registry, čítače/časovače, A/D převodníky a další I/O funkce.

Mikrokontroléry AVR využívají koncepci Harvardské architektury. Což je oddělená paměť pro program a oddělená paměť pro data. Program umístěný v programové paměti je prováděn s jednoduchým překrýváním instrukcí. Zatím co jedna instrukce je prováděna, druhá je přesouvána z programové paměti. Kromě paralelního naprogramování paměti je možné i sériové naprogramovaní přímo v systému. Při paralelním programování se využívá navržení příslušného obvodu tak, aby po připojení programovacího napětí na určitý vývod obvodu se provedlo přepnutí vývodů, které jsou v normálním režimu vývody I/O portů, tak, aby tyto vývody obvodu byly připojeny k datovým a adresovým vývodům vnitřní programové paměti. Poté lze do této paměti paralelně zaznamenat data, což je vlastně příslušný program. Po naplnění této paměti snížení napětí na vývodu umožňujícím přepínání do programovacího módu nebo z programovacího módu a uvedení procesoru do počátečního stavu pak mikrokontrolér pracuje podle právě naprogramovaného

programu. Při tomto způsobu programování je třeba, aby při programování byl k I/O vývodům připojen programátor a aby nebyly připojeny k jiným obvodům. Při programování je třeba mikrokontrolér vyjmout a vložit do programátoru. Tato nevýhoda odpadá při sériovém programování. Mikrokontrolér zůstává v aplikaci a pomocí několika signálu připojených k programátoru se dá jednoduše naprogramovat.

Při provádění instrukcí volání je přímo přístupný adresový prostor. Většina AVR instrukcí má formát 16ti bitového slova. Každá adresa programové paměti obsahuje 16ti nebo 32 bitovou instrukci. Při provádění obsluhy přerušení a volání podprogramu se návratová adresa programového čítače ukládá do zásobníku. Zásobník je umístěn v datové paměti. 16ti bitový ukazatel zásobníku je přístupný pro čtení a zápis v I/O prostoru. Systém přerušení má vlastní řídící registry umístěné v I/O prostoru a navíc bit ve stavovém registru pro zákaz nebo povolení všech přerušení [20].

Architektura má pět adresových módů pro paměť dat [20]:

- přímé adresování
- nepřímé adresování s posunutím
- nepřímé adresování
- nepřímé adresování s dekrementací ukazatele adresy před zpracováním instrukce
- nepřímé adresování s inkrementací ukazatele instrukce po zpracování instrukce

Jednotlivé způsoby adresování

Přímé adresování spočívá v přímém zadání adresy do instrukce, ať už číselně, nebo zástupným řetězcem reprezentujícím adresu daného registru. U nepřímého adresování je hodnota v určeném registru brána jako adresa, na kterém je uložen operand. Stejně je tomu i u nepřímého adresování s inkrementací a nepřímého adresování s dekrementací s tím rozdílem, že u prvního dojde po vyzvednutí operandu ke zvětšení hodnoty registru adresy operandu o 1, u druhého je hodnota

v příslušném registru nejdříve o 1 zmenšena a pak použita jako adresa operandu. Oba způsoby adresování jsou velmi vhodné při práci s proměnnými delšími než jeden byte, ať jsou to číselné hodnoty nebo znakové řetězce. Nepřímé adresování s posunutím je vhodné pro adresování prvků struktury a lokálních proměnných v podprogramech. Přímé adresování má velkou nevýhodu, že vyžaduje, aby instrukce byla dlouhá dvě slova, první 16ti bitové slovo je operační kód instrukce, druhé slovo je 16ti bitová adresa. Zároveň je tento způsob adresování vhodný pro implementaci datové třídy static, protože všechny proměnné této třídy musejí být umístěny z principu v paměti a ne v registrech. I přes uvedenou nevýhodu velké délky instrukce zůstává tento způsob adresování vhodný pro načítání nebo úschovu dat typu byte [16].

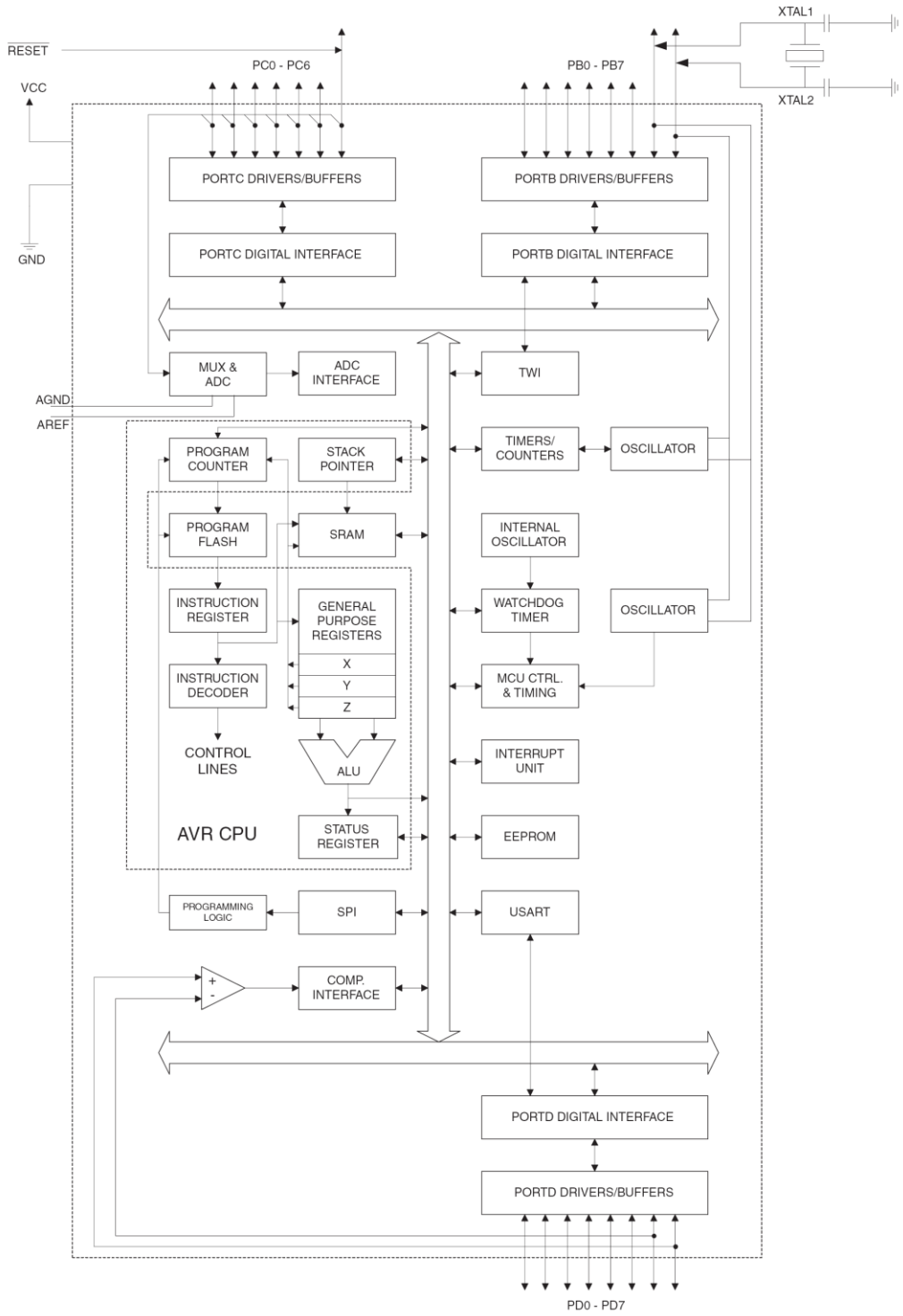
Řady mikrokontrolérů

Atmel vyrábí mikrokontroléry AVR ve třech řadách. A to řadu základní, které mají 118 instrukcí. Řada ATtiny mající 90 instrukcí a řadu ATmega mající 130 instrukcí [20].

2.3.2 Mikrokontrolér AVR ATmega8

Řada mikroprocesorů ATmega vychází z předchozích řad mikroprocesorů AVR. Z předchozích řad má řada ATmega zaimplementováno mnoho různých periférií. Mnoho periférií má ale rozšířené možnosti. Jako první vylepšení je maximální hodinová frekvence. Ta dosáhla 16 MHz při napájecím napětí 5 V a 8 MHz při napájení napětí 3 V. Velmi důležitým rozšířením je implementace hardwarové násobičky, která dokáže vynásobit dvě 8mi bitová čísla na 16ti bitové během dvou hodinových taktů. Implementována je podpora jak násobení se znaménkem, tak násobení bez znaménka a to včetně podpory pevné desetinné tečky mezi 7. a 6. bitem 8mi bitového čísla. Dalším rozšířením je zvětšení interních pamětí. Programová paměť typu Flash má velikost 8 kB, interní paměť dat SRAM má velikost 1 kB a interní paměť EEPROM má velikost 512 byte. V řadě ATmega jsou standardně implementovány tři čítače/časovače, několika kanálový 10ti bitový A/D převodník

a interní kalibrovaný v určitých mezích nastavitelný oscilátor se čtyřmi frekvencemi. 1 MHz, 2 MHz, 4 MHz a 8 MHz [14].



Obrázek 2.3.2-1 Architektura mikrokontroléru ATmega8 [4].

Obvody Resetu

Dobrou vlastností obvodu je přístupnost jednotlivých stavových bitů PORF, BORF, EXTRF a WDRF. Podle informace z těchto registrů lze zjistit, co vedlo k resetu mikroprocesoru [14].

Režim se sníženou spotřebou

Režim se sníženou spotřebou je vhodný v momentu, kdy potřebujeme dosáhnout maximální přesnosti A/D konverze při použití interního A/D převodníku. Malé rozměry čipu a tím velmi malé vzdálenosti jednotlivých digitálních částí od obvodu A/D převodníku spolu s relativně vysokými kmitočty se strmými hranami, to jsou ideální podmínky pro vznik přeslechů. Po dobu převodu A/D převodníku je vhodné všechny periférie odstavit. Mikroprocesor je vybaven 5 režimy se sníženou spotřebou, kdy jednotlivé periférie nepracují. Mají zastaven řídící kmitočet [14].

Čítač/časovač 0

Jedná se o 8mi bitový binární, vzestupně čítající čítač, který při přeplnění je schopen generovat přerušení. Je možné si vybrat z mnoha různých zdrojů signálu, které může čítat. Je to především interní kmitočet mikroprocesoru, nebo interní kmitočet vydělený 8, 64, 256 nebo 1024. Hlavními oblastmi využití tohoto čítače/časovače budou v oblasti generování interního taktu pro periodické přerušení a ošetření stavu periférií jako obnova informace na displeji nebo jiné procesy, které je nutné periodicky opakovat. Díky možnosti čítání externího signálu je možné tímto čítačem/časovačem měřit i externí kmitočet. Při čítání externího signálu je vstupní signál synchronizován s interním řídícím kmitočtem. Maximální frekvence, kterou je čítač schopen čítat, je tedy omezena systémovým kmitočtem mikroprocesoru. Programová obsluha této periférie neskrývá žádné úskalí, neboť je pouze 8mi bitová. Číst i zapisovat registr čítače je možné kdykoliv [14].

Čítač/časovač 1

Jedná se o 16ti bitový čítač. Tato jednotka dokáže generovat dva průběhy PWM s maximálně 16ti bitovým rozlišením. Signál je možno generovat různými způsoby.

Prvním způsobem je „Fast PWM“, kdy vlastní čítač tvořící časovou základnu pro generování PWM čítá pouze vzhůru. Další dva způsoby generování signálu PWM je „phase correct“ a „phase-frequency correct“. Při přístupu k 16ti bitovým registrům je nutné zachovat doporučený postup, protože vnitřní sběrnice je pouze 8mi bitová a tudíž nelze zapsat či číst jednoduše 16ti bitový registr v jediný okamžik. Mikroprocesor je tedy vybaven záchytným registrem. Při čtení je čten nižší byte 16ti bytového registru a současně je zachycen vyšší byte 16ti bitového registru do záchytného registru. Programátor může číst obsah záchytného registru kdykoliv. Při zápisu do 16ti bitového registru je nejdříve zapsán vyšší byte 16ti bitového registru do záchytného registru a pak teprve zapsán nižší byte 16ti bitového registru [14].

Čítač/časovač 2

Jedná se v podstatě o čítač/časovač 0 s několika rozšířeními. Tento čítač/časovač se od ostatních liší existencí samostatného oscilátoru. Dalším rozšířením tohoto čítače je PWM modul [14].

Synchronní sériový kanál - SPI

Jedná se o synchronní sériové rozhraní pro komunikaci mezi mikroprocesorem a periferiemi. Má vlastní generátor přenosových rychlostí, pomocí kterých lze nastavit čtyři přenosové rychlosti. Rozhraní umožňuje nastavit typ zařízení. Tedy je schopen pracovat jako Master nebo Slave [14].

Univerzální synchronní / asynchronní sériový kanál – USART

Toto rozhraní je pro aplikace, které potřebují komunikovat s okolím. Universální sériový přijímač/vysílač, je běžnou součástí AVR MCU. Rozhraní má vestavěn vlastní generátor přenosových rychlostí. Díky tomu, že generátor využívá přímo kmitočet hlavního oscilátoru, lze využít vysokých přenosových rychlostí i při nízkém systémovém taktu [14].

Synchronní sériový kanál – TWI

Pod tímto názvem se skrývá rozhraní I^2C. Rozhraní podporuje systémy až se 128 zařízeními. Umožňuje práci jak v Master, tak v Slave módu [14].

Analogový komparátor

Jelikož mnoho signálů, které mikroprocesory zpracovávají, jsou analogové, musí se nejdřív převést do digitální formy. Tomuto účelu slouží A/D převodníky. Pro řadu aplikaci postačují méně přesné metody převodu pomocí analogového komparátoru. Pro případ, kdy není komparátor potřeba a je nutno během režimu snížené spotřeby snížit spotřebu mikroprocesoru, je možné jednotku komparátoru interně odpojit od napájení [14].

Analogově / digitální převodník

A/D převodník je založen na metodě postupné integrace s dobou převodu 50 μs až 260 μs, kterou je možno nastavit vhodným výběrem dělícího poměru časové základny A/D převodníku. Převodník má maximální nelinearitu ±0,5 LSB a absolutní přesnost 2 LSB. Před vlastní A/D převodník je předřazen analogový multiplexer. Převodník má integrovaný vlastní zdroj referenčního napětí [14].

Řadič přerušení

Řadiče řady ATmega mohou mít v základní řadě až 34 zdrojů přerušení. Adresy jejich vektorů přerušení jsou uspořádány za sebou od počátku paměťového systému a jejich pořadí odpovídá i jejich priorita [14].

I/O porty

MCU řady ATmega v základní řadě mohou být vybaveny až 8mi bitovými porty obousměrnými branami PORT A, PORT B, PORT C, PORT D, PORT E a PORT F. Brány jsou mapovány každá na tři adresy. Vstupní vývody, výstupní registr a směrový registr. Funkce těchto tří registrů je stejná u všech portů [20].

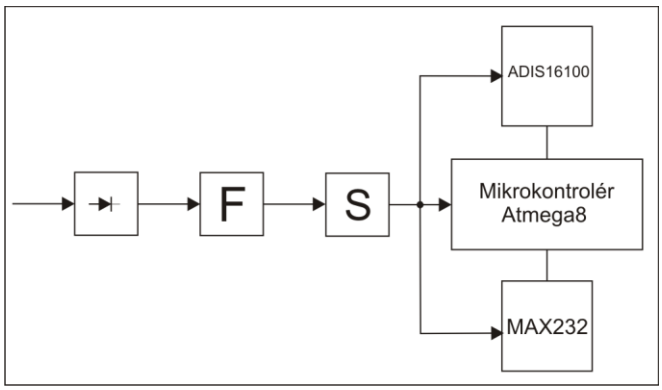
Paměť EEPROM

Paměti EEPROM jsou potřebné pro uchování dat některých programů i při vypnutí přístroje. Paměti EEPROM je možné kdykoliv přepsat. Veškerá komunikace s vnitřní pamětí EEPROM se děje stejně jako u ostatních periférií. K přístupu k paměti EEPROM je potřeba datový, adresový a řídící registr [20].

2.4 HARDWARE

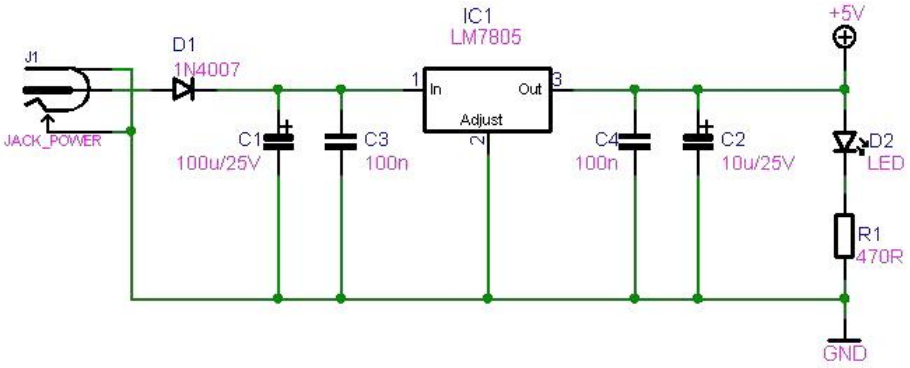
2.4.1 Popis obvodu

Navrhnuté zařízení je realizováno pro mobilního robota U.T.A.R.2 jako součást systému pro inicializaci polohy.



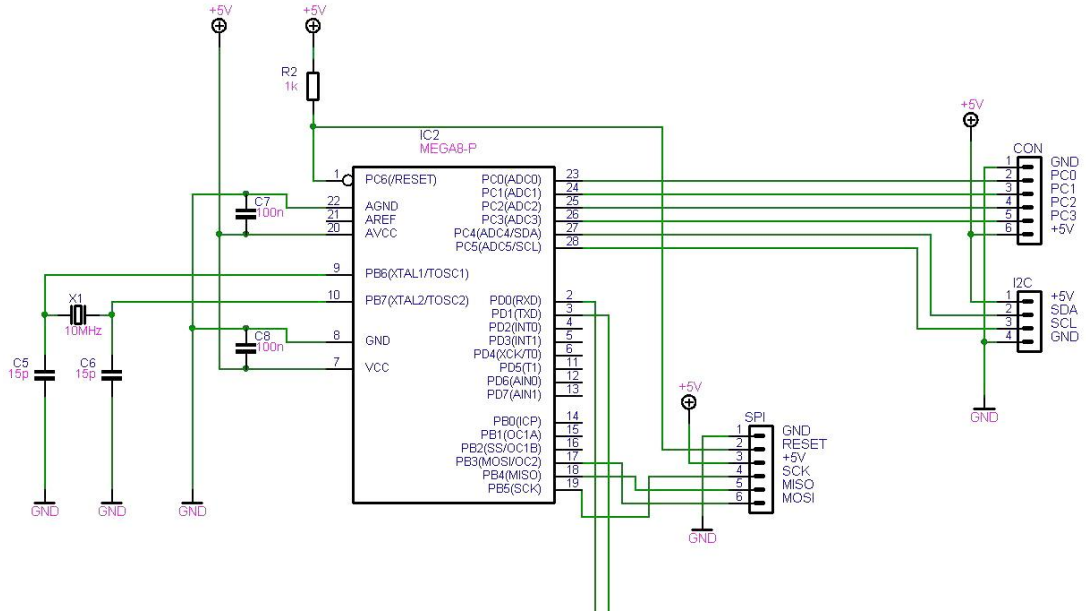
Obrázek 2.4.1-1 Blokové schéma zapojení (usměrnění, filtrace, stabilizace)

Celkový plošný spoj a schéma zapojení je navrženo v programu EAGLE 4.16 [5]. Program EAGLE se skládá ze tří hlavních modulů a to editor součástek, editor schémat a editor spojů. Tyto moduly jsou ovládány z jednoho uživatelského prostředí. Veškeré použité součástky ve vytvořeném plošném spoji se nachází v knihovně součástek programu. Jedinou součástku, kterou bylo nutno navrhnout v editoru součástek, bylo 16ti padové pouzdro LGA gyroskopu. Pouzdro bylo navrženo podle rozměrů z dostupného datasheetu gyroskopu ADIS16100 [2]. Plošný spoj je navržen na dvě části. Na řídící plošný spoj s mikrokontrolérem ATmega8 a malý plošný spoj pro gyroskop s SMD kondenzátory. Připojení k hlavnímu plošnému spoji je realizováno pomoci 14ti pinů. Malý plošný spoj s gyroskopem je tedy tvořen pro použití i v jiných systémech. Hlavní důvod nezapojení gyroskopu na řídící plošný spoj je jeho složité pájení. Pokud by se hlavní plošný spoj pokazil nebo by byla potřeba ho pozměnit, nebylo by již možné gyroskop vyjmout.



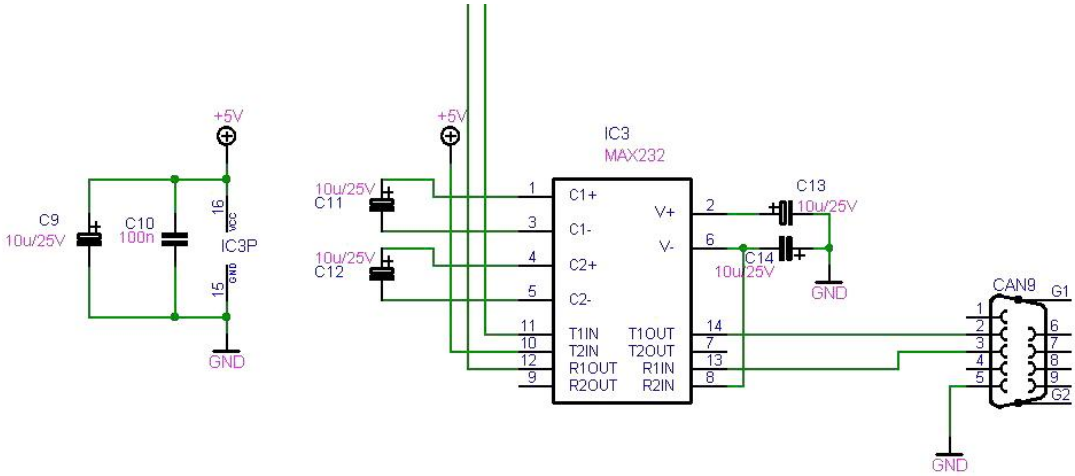
Obrázek 2.4.1-2 Schéma zapojení napájení

Napájecí zdroj lze připojit pomocí konektoru K375A [9]. Jedná se o napájecí vidlici 2,1 mm do plošného spoje. Přítomnost napájení je identifikována zelenou LED diodou. V zapojení je použitý obvod LM7805 [8]. Jedná se o klasický usměrňovač napětí v pouzdru TO-220. Slouží ke stabilizaci napětí a získání +5 V k napájení logiky. Obvod LM7850 je zapojen společně s chladičem V4330N [9]. Všechny použité elektrolytické kondenzátory jsou pro napětí do 25 V.



Obrázek 2.4.1-3 Schéma zapojení mikrokontroléru ATmega8

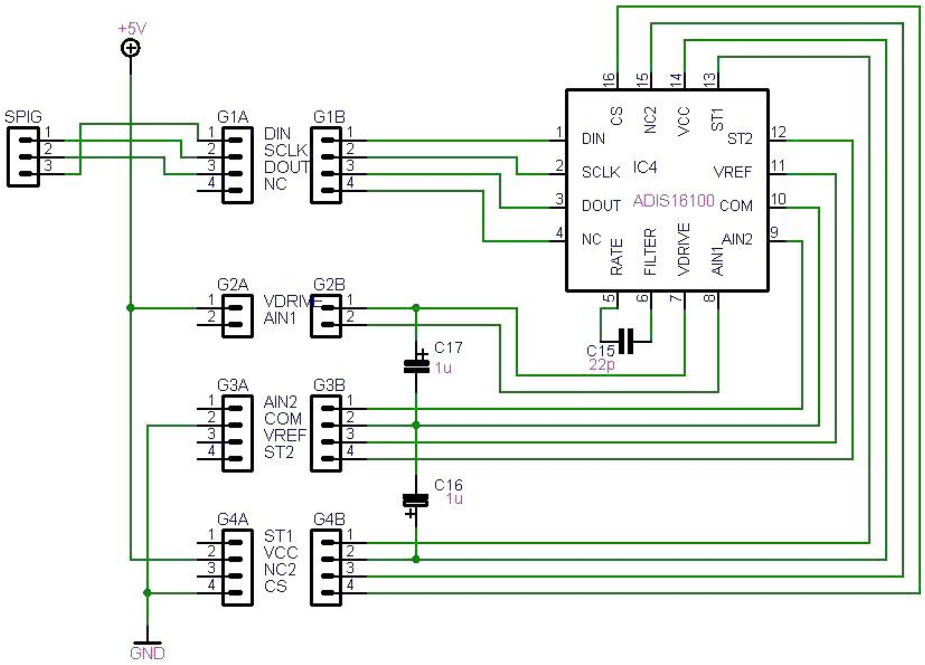
V obvodu je již zmíněný mikrokontrolér ATmega8. Jedná se klasické pouzdro PDIP s 28 piny. Pro jeho snadné vyjmutí a vložení je připevněn pomocí precizní patice. V obvodu je použit 10 MHz krystal.



Obrázek 2.4.1-4 Schéma zapojení obvodu MAX232

Sériovou komunikaci zajišťuje obvod MAX232 [19]. Jedná se o převodník TTL na RS232. Komunikace mezi mikrokontrolérem ATmega8 a obvodem MAX232 je zajištěna piny RXD a TXD. Výstup a vstup sériové komunikace zajišťuje konektor CANON9.

Čtyř pinový konektor I2C (+5 V, SDA, SCL, GND) zajišťuje možnost připojení dalšího mikrokontroléru. Šesti pinový konektor SPI (GND, RESET, +5 V, SCK, MISO, MOSI) zajišťuje možnost programování mikrokontroléru. Současně přes část konektoru SPI je k mikrokontroléru ATmega8 připojen gyroskop ADIS16100. Toto propojení je realizováno třemi piny (SCK, MISO, MOSI) formou propojovacích černých jumperů. Pokud je tedy mikrokontrolér programován, není gyroskop k mikrokontroléru připojen. Poslední konektor CON (GND, PC0, PC1, PC2, PC3, +5 V) je realizován jako výstup z mikrokontroléru pro možné dodatečné použití.



Obrázek 2.4.1-5 Schéma zapojení gyroskopu ADIS16100

U zapojení gyroskopu jsou zapojené jen potřebné piny. Jedná se o datové piny (DIN, DOUT, SCK, CS) a napájecí piny (VCC, VDRIVE, COM). Datové piny jsou zapojeny na rozhraní SPI mikrokontroléru ATmega8. Jediný pin a to CS je zapojen přímo na zem. Napájecí piny jsou zapojeny na napájení obvodu. Na piny RATE a FILT je zapojen tantalový kondenzátor pro nastavení šířky pásma gyroskopu.

Konstrukce řídícího plošného spoje (strana TOP)

- Montáž drátové propojky
- Instalace odporů R1 – R2
- Instalace diod D1 – D2
- Instalace precizní patice pro IC2 (ATmega8)
- Instalace pinů I2C, CON, SPI, SPIG, G1A, G2A, G3A, G4A
- Instalace kondenzátorů C1 – C14
- Instalace krystalu X1
- Instalace konektoru CANON9 a K375A **[19]**
- Instalace stabilizátoru IC1 (LM7805) společně s chladičem V4330N [19]
- Instalace obvodu IC3 (MAX232)

Konstrukce plošného spoje gyroskopu (strana TOP)

- Instalace obvodu IC4 (ADIS16100)
- Instalace SMD kondenzátorů C15 – C17

Konstrukce plošného spoje gyroskopu (strana BOTTOM)

- Instalace pinů G1B, G2B, G3B, G4B

Pájení gyroskopu ADIS16100

Pájení gyroskopu není jednoduché, jelikož tento typ má pouzdro s pady pouze na spodní straně. Jedná se o 16 padů po obvodu pouzdra. Pro pájení na plošný spoj byla zvolena metoda pocínování slabou vrstvou cínu pájecích cest plošného spoje. Po přiložení gyroskopu podle již připravených křížků na plošném spoji byly jednotlivé pocínované cesty zahřívány a cín vtlačován k padům gyroskopu. Tím došlo k jeho připevnění. Jednotlivé cesty byly mezi sebou překontrolovány, jestli nedošlo ke zkratu.

2.4.2 ATmega8

Technické parametry [4]:

vysoce výkonný, nízko napájený AVR 8mi bitový mikrokontrolér

vyspělá RISC architektura

- 130 instrukcí
- 32 x 8 hlavních pracovních registrů
- plně statické operace
- 16 miliónů instrukcí za sekundu při 16 MHz

vysoká odolnost pamětí

- 8 kB Flash paměti na program
- 512 B EEPROM
- 1 kB vnitřní SRAM
- zápis/mazání 10000 cyklů pro Flash a 100000 cyklů pro EEPROM
- data uchovaná 20 let při 85 °C / 100 let při 25 °C
- optimální zavedení kódu

periferní vlastnosti

- 2krát 8mi bitový čítač/časovač
- jeden 16ti bitový čítač/časovač
- real time conter s odděleným oscilátorem
- tři PWM kanály
- 8 kanálový A/D převodník v TQFP a QFN/MLF pouzdru (přesnost 10 bit)
- 6 kanálový A/D převodník v PDIP pouzdru (přesnost 10 bit)
- Bytově orientovaný dvouvodičový sériový interface
- Programovací USART (sériový výstup pro RS-232)
- Master/Slave SPI sériový interface
- Programovací Watchdog
- Analogový komparátor

speciální vlastnosti

- reset napájením při zapnutí
- vnitřní kalibrovaný RC oscilátor
- vnější a vnitřní přerušení
- pět spících módů

I/O pouzdro

- 23 programovatelných pinů
- 28 pinů pouzdra PDIP
- 32 pinů pouzdra TQFP
- 32 padů pouzdra QFN/MLF

napájení

- 4,5 V až 5,5 V

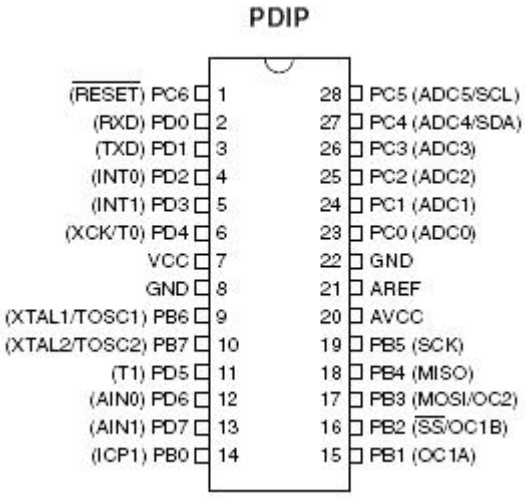
rychlostní stupeň

- 0 MHz až 16 MHz

Spotřeba při 4 MHz, 3 V, 25 °C

- aktivní mód: 3,6 mA
- nečinný mód: 1,0 mA
- vypínací mód: 0,5 µA

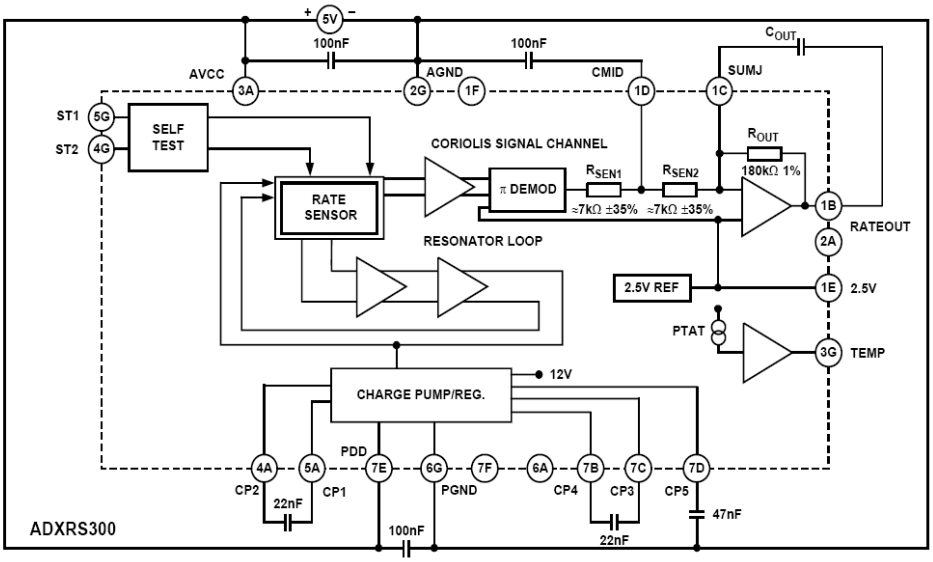
Pouzdro PDIP



Obrázek 2.4.2-1 Konfigurace pinů pouzdra PDIP [4]

2.4.3 Gyroskop řady ADXRS

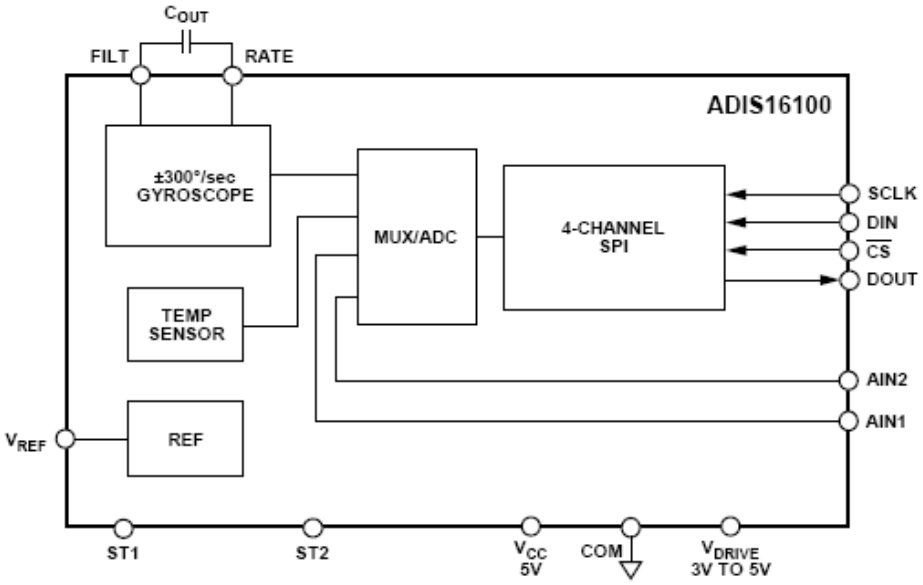
Senzor ADXRS je provedený technologií integrovaný MEMS kombinující mechanický snímač a veškeré vyhodnocovací a řídící bloky. Jádrem obvodu je samotný snímač (Rate Sensor), rezonanční obvody (Resonator Loop) pro generování pohybu snímače, obvody zpracování výstupního signálu snímače (Coriolis signal channel), testovací obvody (Self-test), obvody nábojové pumpy pro generování napětí pro rezonanční obvody a obvody referenčního zdroje napětí [21].



Obrázek 2.4.3-1 Blokové schéma zapojení gyroskopu ADXRS300 [3]

2.4.4 Gyroskop ADIS16100

ADIS16100 je kompletní senzor úhlové rychlosti od firmy Analog Device. Je vyráběn jako integrovaný MEMS obvod. Rozsah tohoto gyroskopu je ±300 °/s. Tento gyroskop je vyráběn v LGA pouzdře s rozměry 8,2 mm x 8,2 mm x 5,2 mm [2]. Senzor je obohacenou verzí gyroskopu ADXRS a doplněn o dodatečné funkce a integrovaným sériovým periferním rozhraním SPI. Senzor ADIS má stejné zabudované zpracovaní signálu a při použití externího rezistoru možnost zvýšení rozsahu a při použití externího kondenzátoru snížení šířky pásma.



Obrázek 2.4.4-1 Blokové schéma zapojení gyroskopu ADIS16100 [2].

Gyroskop ADIS16100 funguje na principu rezonančního gyroskopu. Dvě polysilikonové snímací struktury obsahují chvějící rám, který je elektrostaticky řízen rezonancí. Toto produkuje nezbytný prvek rychlosti pro vytvoření Coriolisovy síly při rotaci gyroskopu. Elektrostatický rezonátor vyžaduje 14 V až 16 V pro operaci. Protože je k dispozici jen 5 V, které jsou typicky použitelné v mnoha případech, je v senzoru obsažena nábojová pumpa. V senzoru je zahrnuta i dolní propust pro omezení vysokého kmitočtu. Frekvenční odezva je ovládána druhou dolní propustí [2].

Nastavení šířky pásma [2]

Externí kondenzátor může být použitý s odporem senzoru k tomu, aby vytvořil dolní propust, která by omezila šířku pásma gyroskopu.

Rovnice 9 $$f_{OUT} = 1/(2 \cdot \pi \cdot R_{OUT} \cdot (C_{OUT} + 0{,}022\mu F))$$

R_{OUT} je vnitřní impedance senzoru odvětvena během výroby 180 kΩ ± 1 %

C_{OUT} je externí kapacitní reaktance náboje na pinech RATE a FILT

Odpor aplikovaný mezi piny RATE a FILT má za následek:

Rovnice 10 $$R_{OUT} = (180k\Omega \cdot R_{EXT}) / (180k\Omega + R_{EXT})$$

R_{EXT} je externí odpor

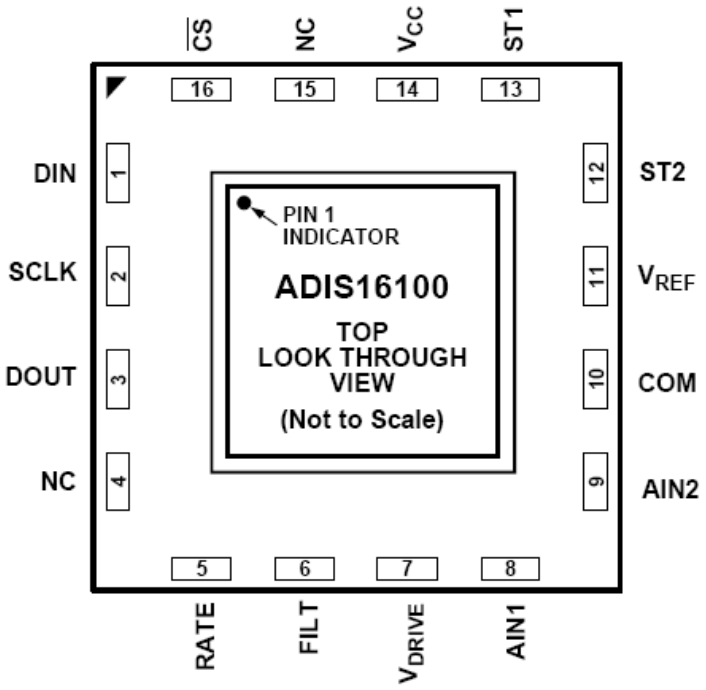
Při použití C_{OUT} = 0 µF je při poklesu -3 dB frekvence 40 Hz při hodnotě 0,022 µF vnitřního kondenzátoru senzoru.

Výpočet frekvence pro použitý kondenzátor v zapojení (22 pF)

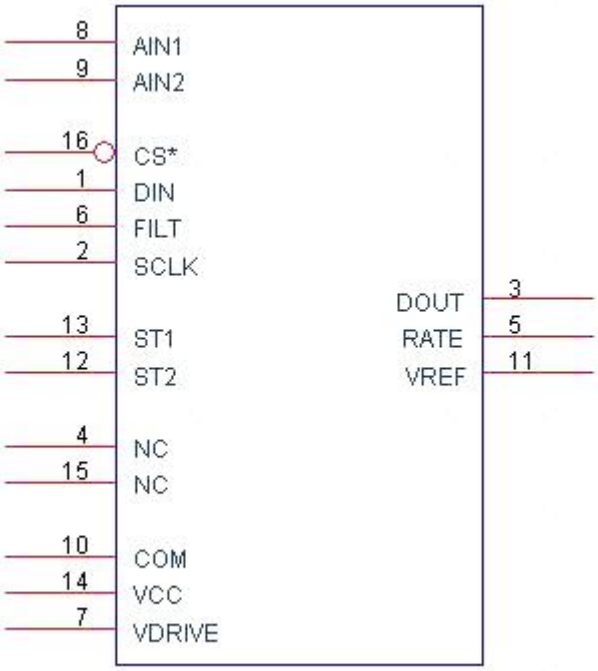
Rovnice 11 $$f_{OUT} = 1/(2 \cdot \pi \cdot 180k\Omega \cdot (0{,}022\mu F + 0{,}022\mu F)) = 20Hz$$

Základní operace

Gyroskop ADIS16100 je určený pro jednoduché spojení do průmyslových systémů, vyžadující jen 5 V napájení a 4 vývody pro standardní sériové periferní rozhraní SPI, které zajišťuje všechny digitální vstupy a výstupy komunikace v gyroskopu [2].



Obrázek 2.4.4-2 Konfigurace pinů gyroskopu ADIS16100 [2]



Obrázek 2.4.4-3 Zapojení vstupů a výstupů gyroskopu ADIS16100

Sériové periferní rozhraní SPI

Rozhraní SPI gyroskopu ADIS16100 zahrnuje 4 signály: chip select CS, sériové hodiny SCLK, vstup dat DIN a výstup dat DOUT. Signál CS umožňuje rozhraní SPI řídit každou událost. Všechny data rámce mají 16 hodinových cyklů. Protože rozhraní SPI umožňuje full duplex mode, podporuje paralelně 16ti bitový příjem signálu DIN a odesílání signálu DOUT uvnitř stejného rámce [2].

Kontrolní registr

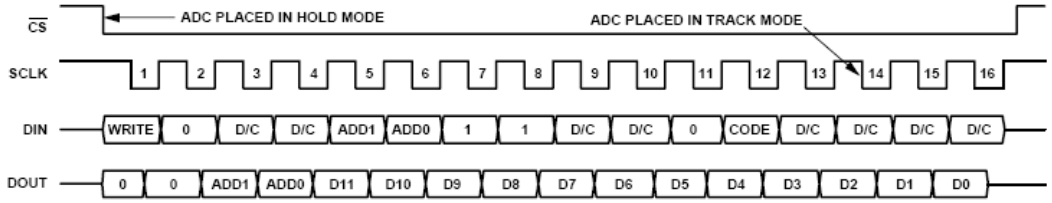
Kontrolní registr signálu DIN poskytuje kontrolu pro dvě nastavení: datový zdroj výstupu a kódování (dvojkový doplněk versus dvojitý offset). DIN sekvence start začíná log.1 pro konfiguraci sekvence a log.0 pro čtení sekvence. Data vložená z DIN pinu do gyroskopu padají na okraj sekvencí SCLK. Když je 16 hodinových impulsů kompletní, tak je kontrol registr aktualizovaný a připravený pro další čtení sekvence. Jestliže je datový rámec menší než 16 hodinových cyklů, tak se kontrolní registr neaktualizuje a udržuje se v předchozí konfiguraci [2].

A/D přepočet

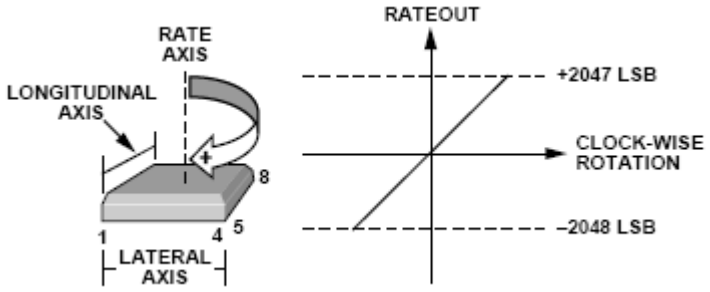
Signály CS a SCLK kontrolují analogově digitální přepočet procesu. Režim track-and-hold sleduje 14 padajících okrajů hodinového signálu SCLK. Signál SCLK řídí A/D přepočet použitím padajících hran pro kontrolu. Všech 16 hodinových cyklů je požadováno pro celý přepočet. Když data rámu jsou nižší než 16 hodinových cyklů, tak přepočet nemůže být kompletní a nejsou aktualizovány výstupní data [2].

Přístup k výstupním datům

Signál DOUT začíná se dvěma nulami, první z nich je jako hodinový impuls po padající hraně signálu CS a další hodinový impuls bez první padající hrany signálu SCLK. Dalších 14 bitů je ADD0, ADD1 a 12 datových bitů bez padajících hran hodinového cyklu. Po 16 hranách se signál DOUT přesune do třístavového módu [2].



Obrázek 2.4.4-4 Sekvence rozhraní SPI gyroskopu ADIS16100 [2]



Obrázek 2.4.4-5 Citlivá osa a rozsah gyroskopu ADIS16100 [2]

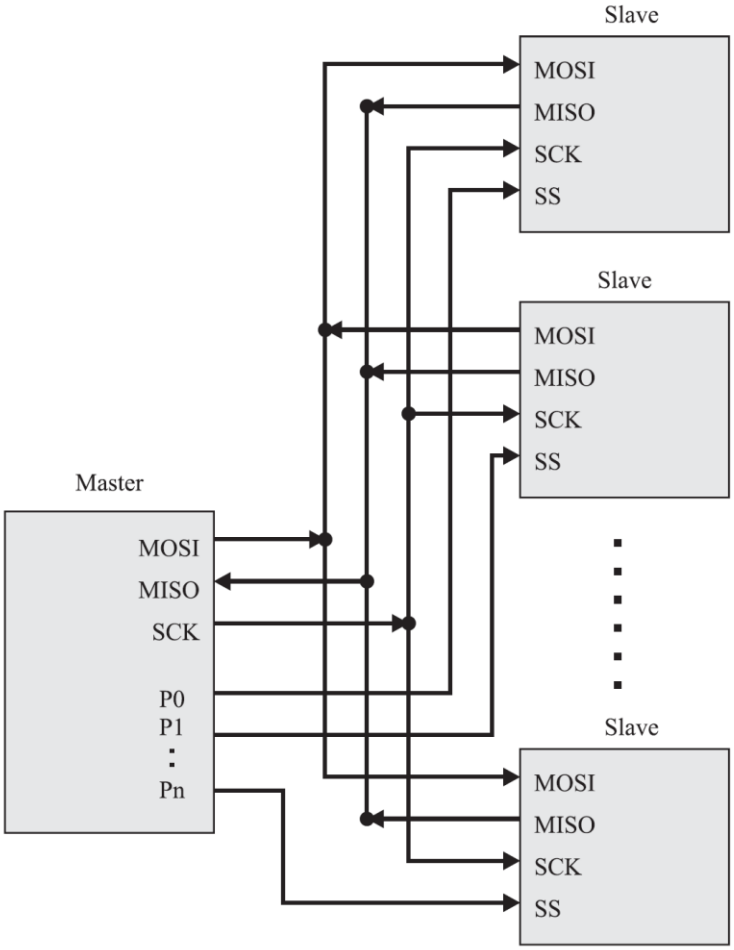
2.4.5 Řídící program mikrokontroléru ATmega8

Mikrokontrolér je programovaný přes rozhraní SPI. K tomuto programovaní je použit volně šiřitelný software od firmy ATMEL a to AVR STUDIO. Jedná se o vývojové prostředí pro psaní programového kódu. AVR STUDIO umožňuje psaní kódu assembleru. Vhodnou nástavbou tohoto programu je možné programovat i v jazyce C. Pro zápis vytvořeného programu do mikrokontroléru je použit programátor STK200 [15]. Programátor je připojený přes paralelní port a jako software je použit PonyProg [15]. Program pro jednoduché snímání polohy se senzorem gyroskop pracuje na předávání dat z gyroskopu pomocí rozhraní SPI na sériovou linku zařízení, které následně bude data zpracovávat.

2.4.6 Rozhraní SPI a komunikace

Rozhraní SPI je určeno především pro připojení vnějších pamětí, A/D převodníků a dalších obvodů k mikrokontroléru, případně pro vzájemnou komunikaci mezi mikrokontroléry. U některých mikrokontrolérů je SPI využíváno i pro programování jejich vnitřní paměti Flash.

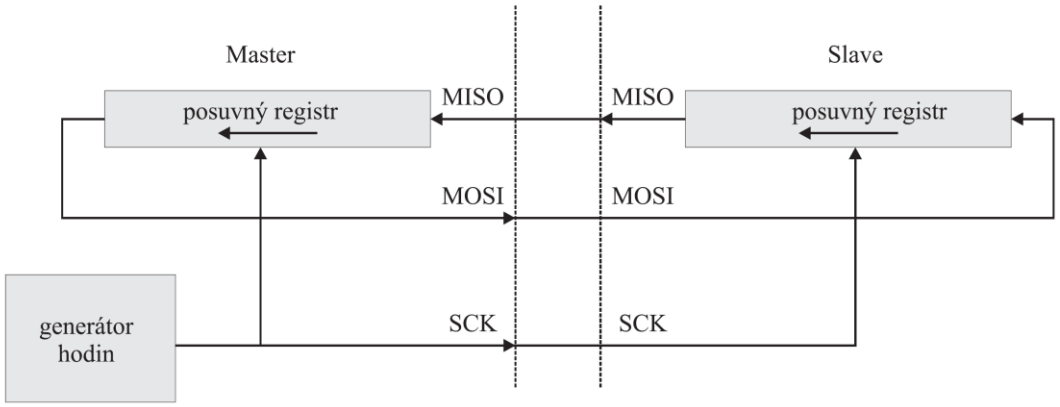
V systému mohou být zapojeny dva nebo více obvodů. Jeden z obvodů je typu Master a ostatní jsou typu Slave. Typu Master je obvykle procesor. Jednotlivé obvody jsou propojeny čtyřmi vodiči. Datový výstup MOSI obvodu Master je připojen na vstupy MOSI obvodů Slave. Datový vstup MISO obvodu Master je propojen s výstupy MISO obvodů Slave. Výstup hodinového signálu SCK je připojen na vstupy SCK obvodů Slave. Každý obvod Slave má vstup SS pro výběr obvodu. Je-li SS v neaktivní úrovni, je rozhraní SPI daného obvodu neaktivní a jeho výstup MISO je ve vysokoimpedančním stavu. Vstupy SS jednotlivých obvodů jsou samostatnými vodiči propojeny s obvodem Master. Je-li obvodem Master mikrokontrolér, bývají tyto vodiče připojeny k některému z jeho portů. Tak lze snadno vybírat obvod, se kterým má být v daném okamžiku vedena komunikace [7].



Obrázek 2.4.6-1 Zapojení obvodů Master a Slave rozhraní SPI [7]

Průběh komunikace

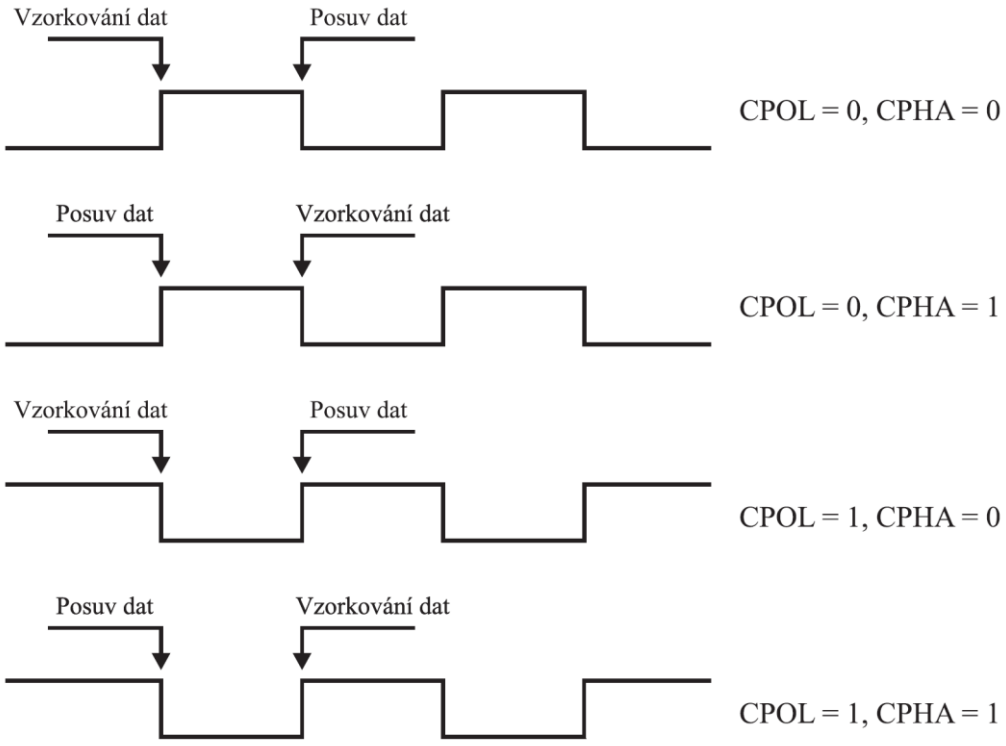
Pro komunikaci Master nastaví log.0 na SS zařízení, se kterým chce komunikovat. Pak začne generovat hodinový signál na SCLK a v té chvíli vyšlou obě zařízení svoje data, přičemž MOSI je vždy Master výstup, Slave vstup a MISO je Master vstup, Slave výstup. Jakmile jsou data vyslána, může komunikace dále pokračovat. Master dále dodává hodinový signál, hodnota SS se nemění nebo může být ukončena. Master přestane vysílat hodinový signál a nastaví do SS log.1 [17].



Obrázek 2.4.6-2 Propojení stanic Master a Slave [7]

Vztah mezi hodinovým signálem a daty [17]

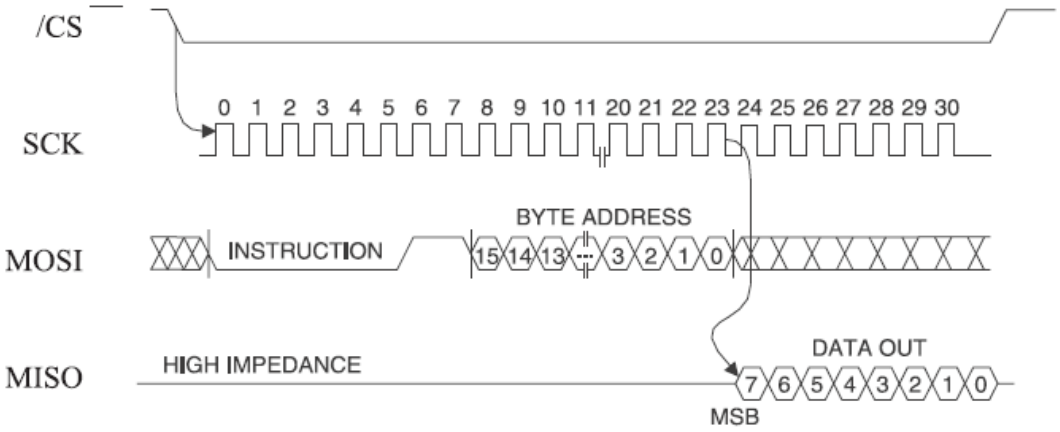
Vztah se určuje dvěma konfiguračními bity a to parametry CPOL a CPHA



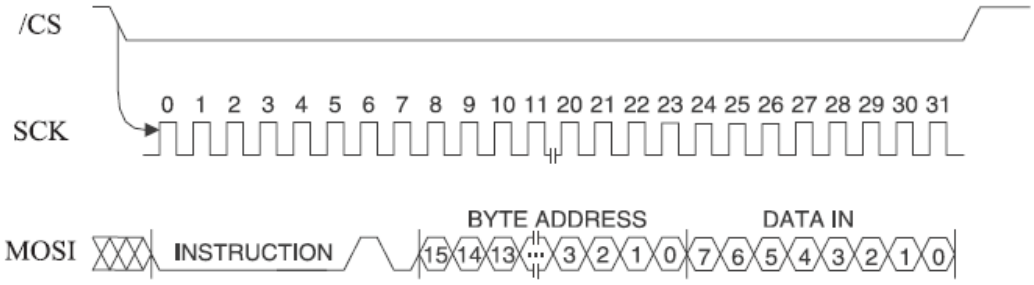
Obrázek 2.4.6-3 Význam parametrů CPOL a CPHA na rozhraní SPI [7]

- CPOL= 0; klidová úroveň hodinového signálu log.0
- CPOL = 1; klidová úroveň hodinového signálu je log.1
- CPHA = 0; hodnota je čtena při vzestupné hraně
- CPHA = 1; hodnota je čtena při sestupné hraně

Příklad komunikace se sériovou pamětí při čtení a zápisu dat



Obrázek 2.4.6-4 Čtení dat z paměti s rozhraním SPI [7]



Obrázek 2.4.6-5 Zápis dat do paměti s rozhraním SPI [7]

3. ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce je seznámení s možnostmi měření polohy mobilního robota, seznámení s rodinou mikrokontrolérů AVR firmy Atmel a návrh jednoduchého zařízení pro měření polohy mobilního robota. První část práce se zabývá problematikou inerciální navigace a druhy používaných senzorů využívajících tuto metodu. Nejdůležitějším senzorem celé práce je gyroskop. Tento senzor je použit v návrhu jednoduchého zařízení pro měření polohy mobilního robota. Druhá část práce se zabývá rodinou mikrokontrolérů AVR a jejich obecnou charakteristikou. Je zde vybrán jeden mikrokontrolér řady ATmega a to mikrokontrolér ATmega8. U tohoto mikrokontroléru jsou popsány jeho vlastnosti. Nakonec práce je navrženo jednoduché zařízení pro měření polohy mobilního robota U.T.A.R.2. Jedná se o jeden z mnoha senzorů pro určování jeho polohy. Zařízení obsahuje mikrokontrolér ATmega8 a konektory pro připojení a komunikaci. Jako gyroskop je použit senzor firmy Analog Device. Jedná se o typ ADIS16100 s digitálním výstupem. Naměřené hodnoty z gyroskopu jsou mikrokontroléru předávány pomocí rozhraní SPI. Zařízení bylo otestováno, ale jelikož komunikace mezi mikroprocesorem a snímači s vestavěným SPI rozhraním v některých případech nepracuje na 100 %, je i zde potřeba dalšího ladění a hledání správných parametrů SPI komunikace. Problém v komunikaci mohl nastat také ve zvoleném postupu pájení gyroskopu na plošný spoj a možného vytvoření studeného spoje.

4. LITERATURA

[1] *Akcelerometr* [online]. <http://wiki.kn.vutbr.cz/robot/index.cgi?akcelerometr>

[2] Analog Devices, Inc.: *ADIS16100* [online], c2006. <http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/ADIS16100.pdf>

[3] Analog Devices, Inc.: *ADXRS300* [online], c2004. <http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/ADXRS300.pdf>

[4] Atmel Corporation: *ATmega8* [online], c2008. <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2486.pdf>

[5] CadSoft Computer GmbH: *Eagle Software: Plošné spoje snadno a rychle* [online], c2003. <http://www.elcad.cz/eagle/>

[6] Doskočil E.: *Zařízení pro inerciální navigaci*, Bakalářská práce ČVUT Praha, Praha 2006.

[7] Dudáček K.: *Sériová rozhraní SPI, Microwire, I^2C a CAN*, ZCU, Plzeň 2002.

[8] Fairchild Semiconduktor: *LM78xx_LM78xxA* [online], c2006. <http://www.fairchildsemi.com/ds/LM/LM7805.pdf>

[9] *GM Electronic* [online]. <http://gme.cz/cz/index.php>

[10] *Gyroskop* [online]. <josef.fsv.cvut.cz/~tuten/data/cvut/Fys/Gyroskop.doc>

[11] Hrdlička I.: *Bezkardanový systém orientace pro bezpilotní letoun* [online]. <http://l202.fi.muni.cz/?tpl=doc/project3&lang=en#3.1.2>

[12] *Kompas* [online]. <http://wiki.kn.vutbr.cz/robot/index.cgi?kompas>

[13] Kopáčik A.: *Inerciální měřící systémy*, STU, Bratislava *2003*.

[14] Kopelent J.: *Mikroprocesory ATMEL*, KTE, Praha *2002*.

[15] LancOS: *PonyProg – Serial device programmer* [online]. <http://www.lancos.com/prog.html>

[16] Redakce HW serveru: *ATMEL AVR neboli mikroprocesory rodiny 90Sxxx a dalších* [online], c2003. <http://hw.cz/Teorie-a-

praxe/Programovani/ART993-ATMEL-AVR-neboli-mikroprocesory-rodiny-90Sxxx-a-dalsich.html>

[17] *SPI* [online]. <http://cs.wikipedia.org/wiki/SPI>

[18] Šolc F., Žalud L.: *Robotika*, VUT Brno, Brno 2002.

[19] Texas Instruments, Inc.: *MAX232, MAX232I* [online], c2008. <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf>

[20] Váňa V.: *Mikrokontroléry ATMEL AVR*, BEN, Praha *2003*.

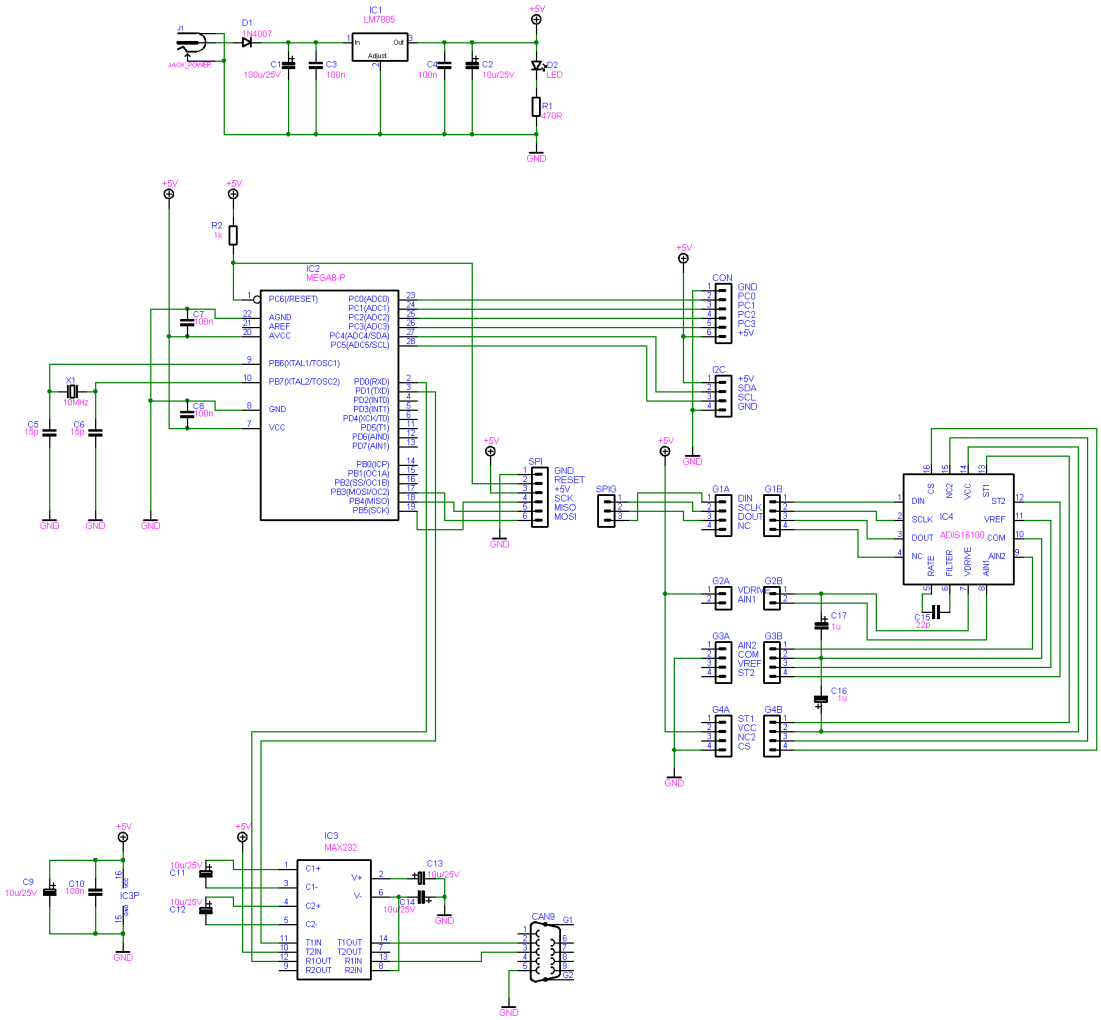
[21] Vojáček A.: *Gyroskopy v integrovaném provedení MEMS* [online], c2006. <http://automatizace.hw.cz/clanek/2006010401>

[22] Zeměměřická knihovna VÚGTK: *Novinky zeměměřičské knihovny* [online], c2005. <http://www.vugtk.cz/nzk/c4-05/1.htm>

SEZNAM PŘÍLOH

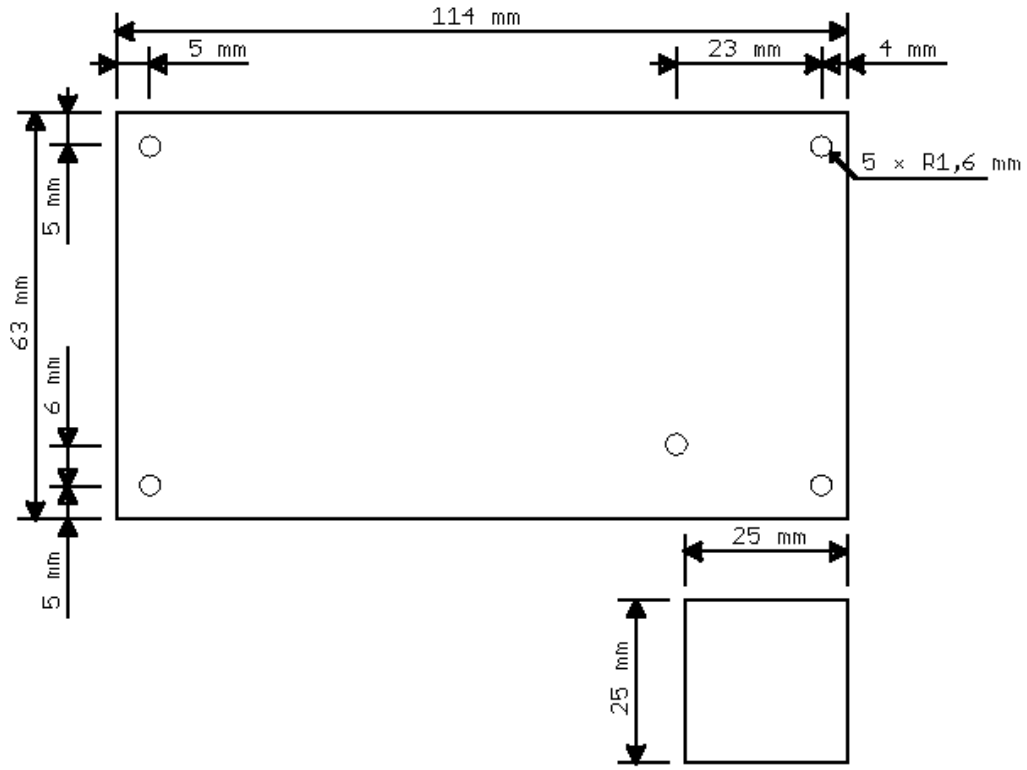
Příloha 1 Celkové schéma zapojení
Příloha 2 Mechanický výkres
Příloha 3 Desky plošných spojů
Příloha 4 Rozpiska součástek
Příloha 5 Fotodokumentace
Příloha 6 Přiložené CD

Příloha 1 – Celkové schéma zapojení

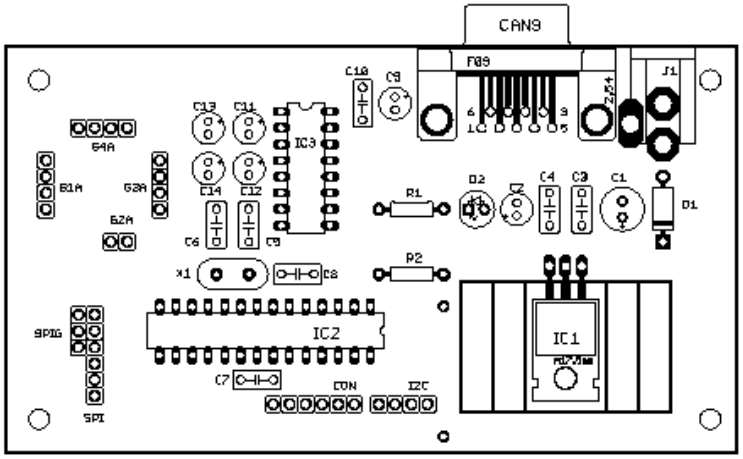


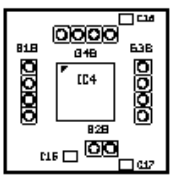
Příloha 2 – Mechanický výkres

Rozměry



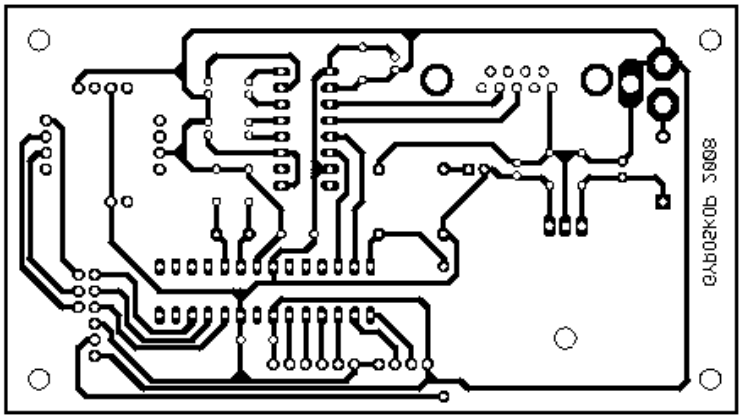
Součástky



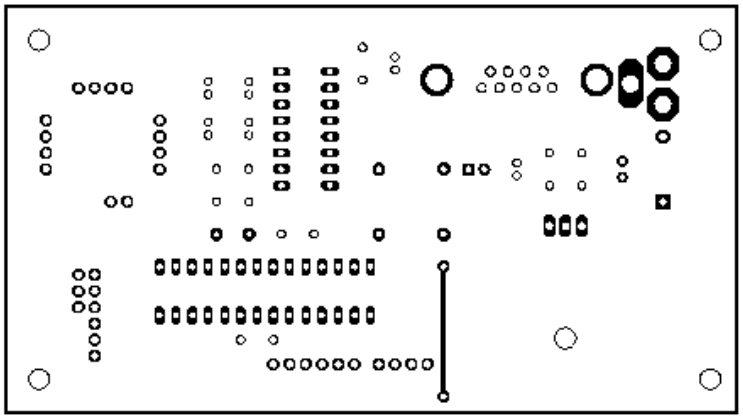


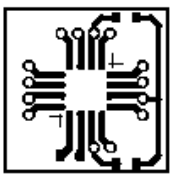
Příloha 3 – Desky plošných spojů

Strana BOTTOM



Strana TOP



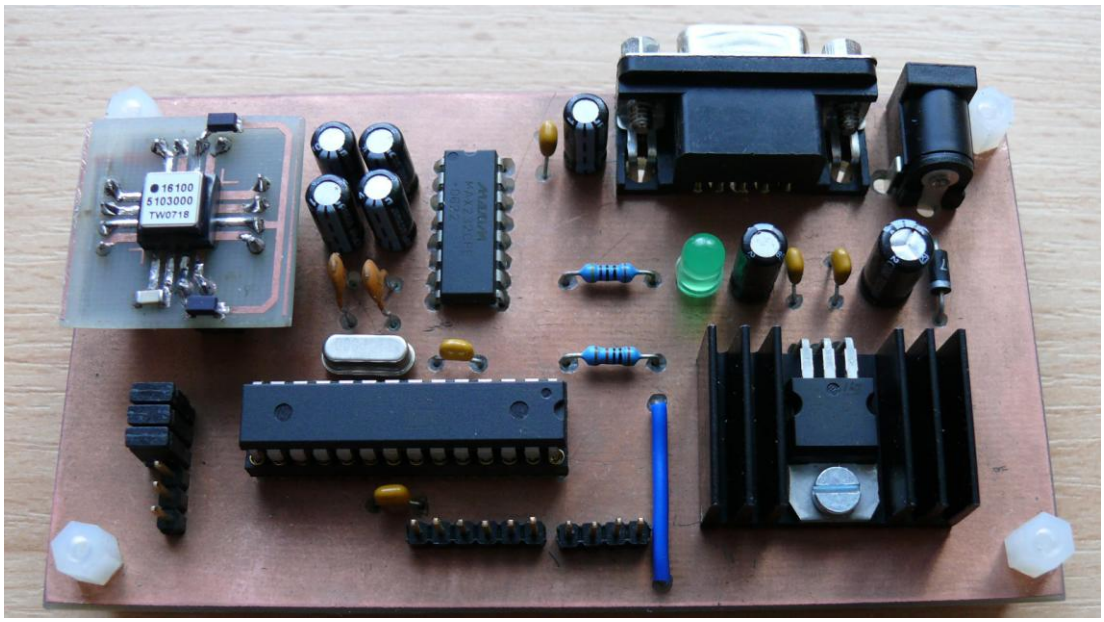


Příloha 4 - Rozpiska součástek

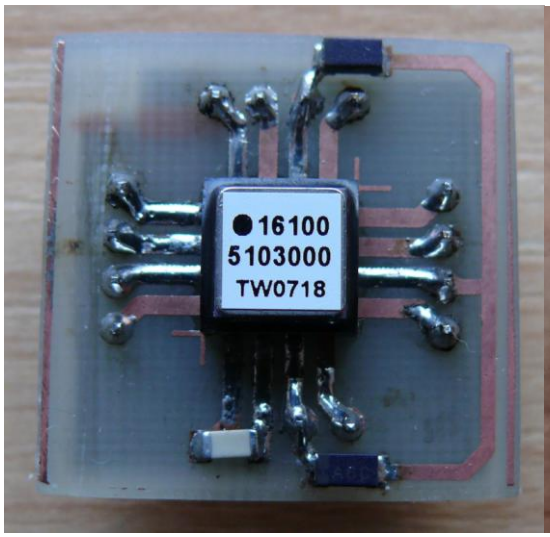
Rozpiska	Název	Typ GME	Hodnota	Poznámka
C1	Kondenzátor	E100M/25V	100M	elektrolytický
C2, C9, C11, C12, C13, C14	Kondenzátor	E10M25V	10M	elektrolytický
C3, C4, C7, C8, C10	Kondenzátor	CK 100N/63V	100n	keramický
C5, C6	Kondenzátor	CK 15P/50V	15p	keramický
C15	Kondenzátor SMD	CK1206 22P	22p	keramický
C16, C17	Kondenzátor SMD	CTS 1M/16V	1M	tantalový
R1	Rezistor	RR 470R	470R	metalový
R2	Rezistor	RR 1K	1K	metalový
D1	Dioda	1N4007	1000V	
D2	Dioda	LED 5MM		zelená
IC1	Stabilizátor	7805-STM		
IC1	Chladič	V4330N		
IC2	Mikroprocesor	ATMega8-16PU		DIL 28
IC2	Precizní patice	DIL28PZ		
IC3	Převodník	MAX232CPE		DIL 16
X1	Krystal	QM 10.000MHZ		
J1	Napájecí konektor	K375A		
CAN9	Canon 9 pinový	CAN 9 Z 90		zásuvka
CON	Konektor 6 pinový	S1G40		lámací konektor S1G40 se 40 piny
I2C	Konektor 4 pinový	S1G40		
SPI	Konektor 6 pinový	S1G40		
G1B	Konektor 4 pinový	S1G40		
G2B	Konektor 2 pinový	S1G40		
G3B	Konektor 4 pinový	S1G40		
G4B	Konektor 4 pinový	S1G40		
G1A	Konektor 4 pinový	BL20G		konektor BL20G s 20 piny
G2A	Konektor 2 pinový	BL20G		
G3A	Konektor 4 pinový	BL20G		
G4A	Konektor 4 pinový	BL20G		
Rozpiska	**Název**	**Typ**	**Hodnota**	**Poznámka**
IC4	Gyroskop	ADIS16100		

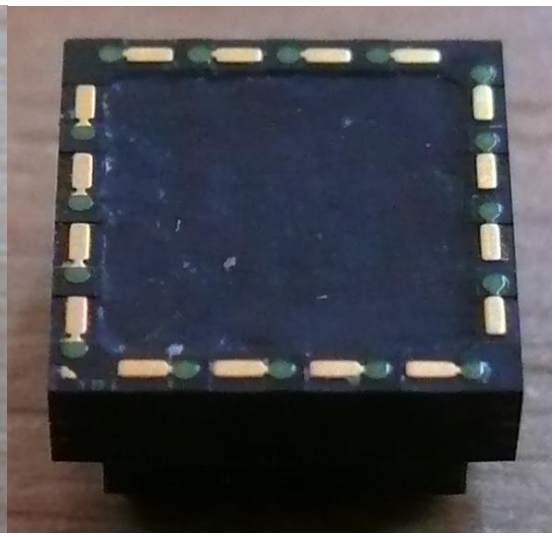
Příloha 5 – Fotodokumentace

Řídící plošný spoj



Plošný spoj a pady gyroskopu ADIS16100





Příloha 6 – Přiložené CD

- \Bakalarska_prace

  Bakalářská práce v elektronické podobě
- \Datasheets

  Dostupné datové listy k obvodům
  (ATmega8, ADIS16100, LM7805, MAX232)
- \Eagle

  Navržený plošný spoj, schéma zapojení
  a soubor použitých součástek
- \Program

  Zdrojový text řídícího programu