

1. Teoretický základ

Zrýchlenie je vektorová fyzikálna veličina definovaná ako prvá derivácia rýchlosti podľa času, resp. druhá derivácia polohového vektora podľa času vzhľadom na vytýčený priestor. Podmienka o priestore je podstatná, pretože pri súčasných pohyboch je možné pre totožný bod v jednom okamihu určiť viac zrýchlení (celkové, relatívne, unášavé, Coriolisovo). V sústave SI je jednotkou zrýchlenia m/s^2 (meter za sekundu na druhú). Veľmi zjednodušene sa pre špeciálne prípady pohybu dá povedať, že zrýchlenie je zmena rýchlosti za jednotku času.

Ak je rýchlosť telesa konštantná (čo sa veľkosti i smeru týka), zrýchlenie telesa je nulové. Zrýchlenie telesa pri voľnom páde má smer nadol a veľkosť $9,81 \text{ m/s}^2$ (túto hodnotu označujeme g). Voľný pád je iba jedným príkladom na tzv. rovnomerne zrýchlený pohyb, teda pohyb, pri ktorom je zrýchlenie telesa konštantné. Vtedy platí medzi časom a polohou telesa vzťah (napíšeme iba x-ovú súradnicu, y-ová a z-ová majú rovnaký tvar):

$$x(t) = x(0) + v(0)t + at^2/2$$

kde $x(0)$ je poloha telesa v čase $t=0$ a $v(0)$ je rýchlosť telesa v tomto čase. Podobne pre x-ovú zložku rýchlosti telesa v čase t platí:

$$v(t) = v(0) + at$$

Najjednoduchší vzorec pre výpočet zrýchlenia (ak poznáme začiatočnú aj konečnú rýchlosť a čas, za ktorý bola táto zmena rýchlostí dosiahnutá) je:

$$a = \Delta v / \Delta t$$

Podľa Newtonovho zákona má teleso konštantné zrýchlenie vtedy, ak naňho pôsobí sila stálej veľkosti a smeru. Táto ideálna situácia praxi nastáva iba s určitými obmedzeniami. Napríklad pri spomínanom voľnom páde časom teleso dosiahne veľkú rýchlosť a vplyv odporovej sily prestane byť zanedbateľný. To sa prejaví tak, že zrýchlenie telesa sa bude postupne spomaľovať až nakoniec klesne na nulu. Rýchlosť telesa vtedy dosiahne svoju maximálnu hodnotu, ktorá je daná rovnováhou medzi gravitačnou silou a odporovou silou vzduchu.

Prístroje na meranie zrýchlenia (akcelerometre) nachádzajú uplatnenie v mnohých aplikáciách z rôznych oblastí. Napríklad:

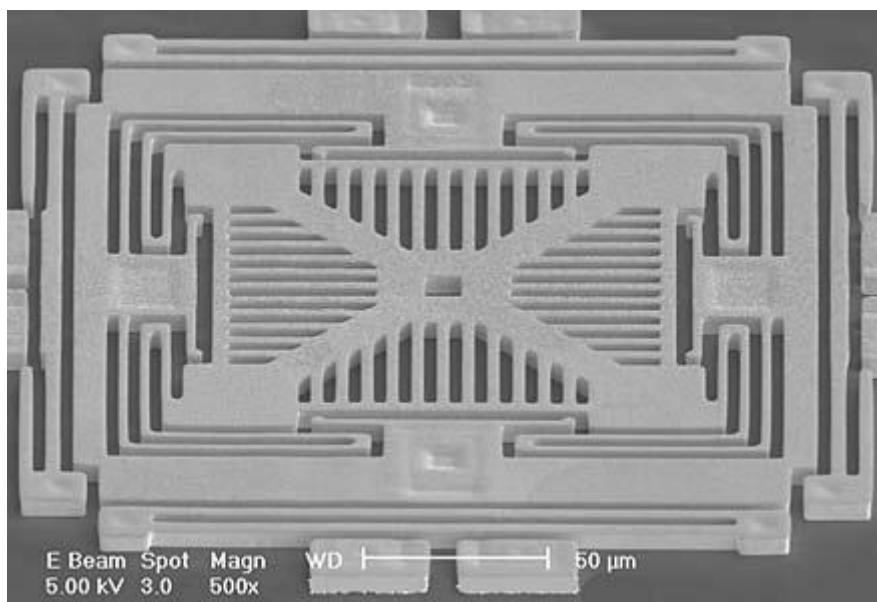
- Automobilový priemysel – prispôsobenie výkonových charakteristík a jazdných vlastností na základe merania zrýchlenia vozidla, riadenie airbagov
- Strojársky priemysel – meranie vibrácií strojov, bezpečnostné systémy strojov a zariadení
- Geológia – meranie seizmickej aktivity, meranie aktivity sopiek
- Stavebníctvo – meranie vibrácií a otrasov budov spôsobených napríklad pohybom vo vnútri a v okolí budov, stavebnou činnosťou v okolí budov, dopravou, seizmickou aktivitou, vetrom...
- Navigácia – použitie v inerciálnych navigačných systémoch
- Spotrebná elektronika – mobilné telefóny, ovládače herných konzol, notebooky, stabilizácia obrazu

2. Akcelerometer SI01

Akcelerometer SI01 je I²C senzor merajúci zrýchlenie v troch osiach v rozsahu +/-16g. Hlavnou časťou SI01 je MEMS senzor ADXL326 od AnalogDevices. Analógový výstup senzora ADXL326 je pripojený k jednočipovému mikropočítaču ATmega48PA, ktorý namerané hodnoty spracuje, a posieľa po I²C zbernici do riadiaceho modulu.

2.1. MEMS

Micro-Electro-MechanicalSystems, skratka MEMS, označuje mechanické a elektromechanické konštrukcie veľmi malých rozmerov (pod 1 mm), ako aj technológie používané na ich prípravu. Pre ilustráciu rozmerov typických MEMS sa často používa priemer ľudského vlasu (asi 50 μm). Technológia MEMS umožňuje výrobu senzorov (čipov), ako sú gyroskopy, akcelerometre a mikrofóny s veľmi malými rozmermi (rozmary čipu s MEMS sú rádovo v jednotkách milimetrov).

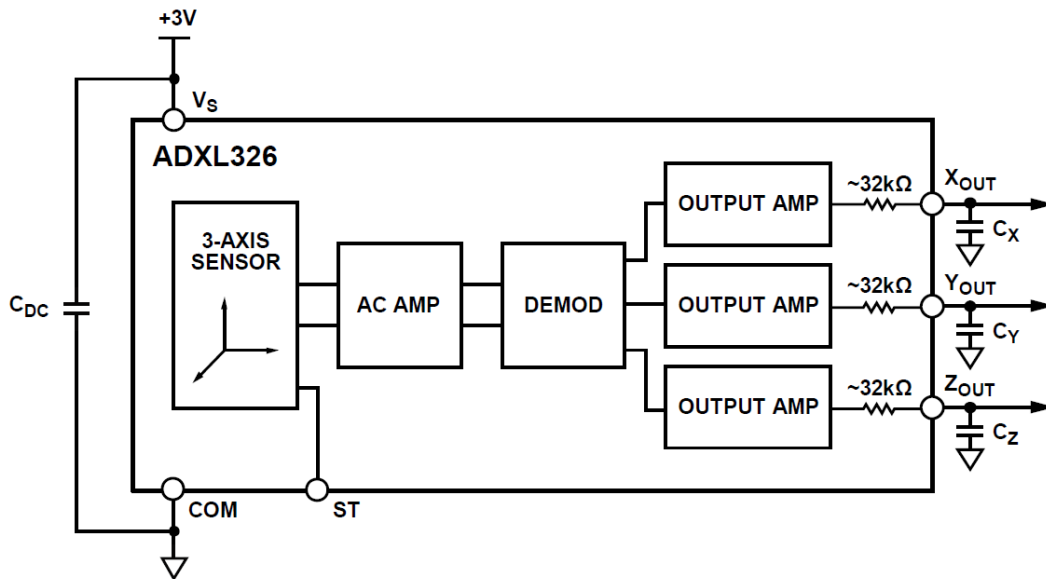


Obrázok 1: Štruktúra MEMS akcelerometra

2.2. ADXL326

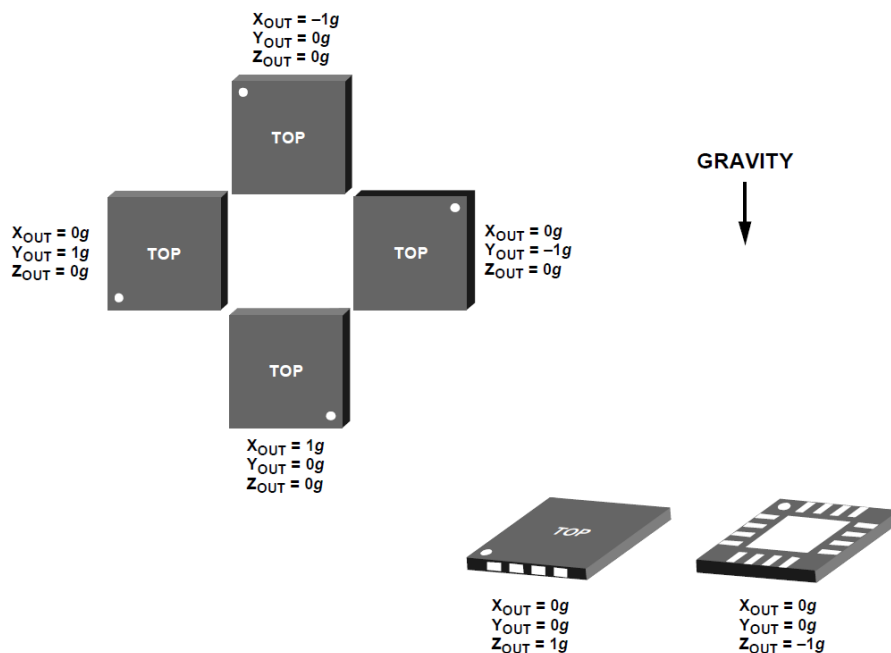
ADXL326 je kompletný trojosí senzor zrýchlenia s meracím rozsahom +/-16g. Senzor obsahuje MEMS štruktúru akcelerometra a obvody pre úpravu výstupného signálu v jednom SMT puzdre s rozmermi 4x4x1,5mm. Výstupným signálom senzora ADXL326 sú tri napätia závislé na nameranom zrýchlení v jednotlivých osiach.

Samotná MEMS štruktúra senzora ADXL326 je tvorená troma párami kremíkových doštičiek, pre každú os jeden pár. Jedna doštička je pevná a druhá je pripevnená na polykrystalických kremíkových pružinách rovnobežne s pevnou doštičkou. Zmenou zrýchlenia v niektorej z osí dochádza k deformácii pružiny (a teda k pohybu pohyblivej doštičky), a zároveň k zmene kapacity medzi doštičkami. Elektronika pripojená k MEMS štruktúre prevádza diferenciálnu kapacitu na jednosmerné napätie. Bloková schéma ADXL326 je na nasledujúcom obrázku:



Obrázok 2: Bloková schéma ADXL326

Akcelerometer ADXL326 je schopný merať okrem dynamického aj statické gravitačné zrýchlenie. Túto vlastnosť je možné využiť pri meraní náklonu. Závislosť statického zrýchlenia na orientácii senzora ADXL326 je na nasledujúcom obrázku:



Obrázok 3: Statické zrýchlenie vs. orientácia

ADXL326 je kvôli svojim vlastnostiam (rozmery, cena, presnosť..) vhodný pre relatívne nenáročné aplikácie. Napríklad v mobilných telefónoch, pri ochrane pevných diskov, v herných zariadeniach, pri stabilizácii obrazu...

2.3. Popis SI01

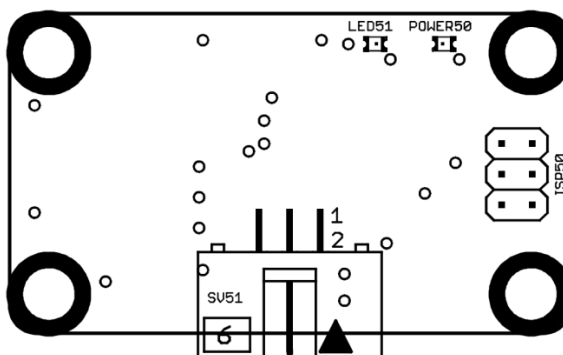
Základom senzora SI01 je vyššie spomenutý akcelerometer ADXL326. Analógové výstupy ADXL326 sú pripojené k vstupom A/D prevodníka jednočipového mikropočítača ATmega48PA. Ten v pravidelných časových intervaloch meria napätie na výstupoch ADXL326 a z nameraných hodnôt vypočítava aktuálnu hodnotu zrýchlenia pre každú os. Komunikačným rozhraním senzora SI01 je rozhranie I²C vyvedené spolu so vstupom napájania na 6-pinový konektor MLW06 (SV51).

Základné parametre senzora SI01 sú zhrnuté v nasledujúcej tabuľke:

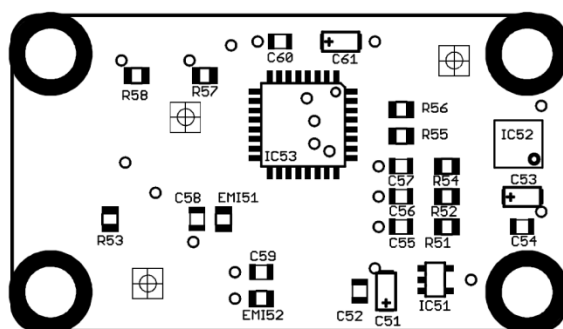
| Parameter | Hodnota | Jednotka |
|-------------------|------------|----------|
| Napájacie napätie | 5 | V |
| Odber | < 20 | mA |
| Merací rozsah | +/-16 | g |
| Pracovná teplota | -55 do 125 | °C |

Senzor SI01 má na vrchnej strane DPS dve indikačné LED. Oranžová LED (POWER50) svieti, ak je senzor napájaný. Modrá LED (LED51) bliká ak senzor komunikuje cez I²C.

Rozmery plošného spoja SI01 sú 46,5mm x 26,5mm. Montážne otvory s priemerom 4,2mm sú rozmiestnené v rasti 10mm (podľa kovového konštrukčného systému Eitech). Pohľady na obe strany plošného spoja senzora SI01 sú na nasledujúcich obrázkoch:



Obrázok 4: SI01 - Pohľad zhora

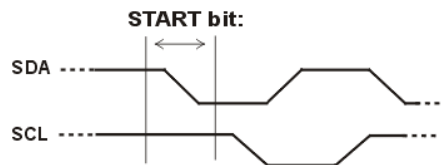


Obrázok 5: SI01 - Pohľad zdola

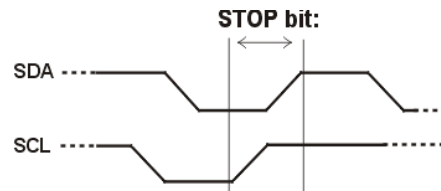
2.4. Komunikačné rozhranie SI01

Na komunikáciu so senzorom SI01 sa používa sériová zbernica I²C. Komunikácia prebieha medzi nadradeným zariadením (master) a podradeným zariadením (slave). Komunikáciu riadi master počas odosielania (operácia zápisu) aj počas prijímania (operácia čítania) dát. Master je zodpovedný za generovanie hodinového pulzu (clock) na pine SCL. Pin SDA je ovládaný oboma zariadeniami podľa potreby.

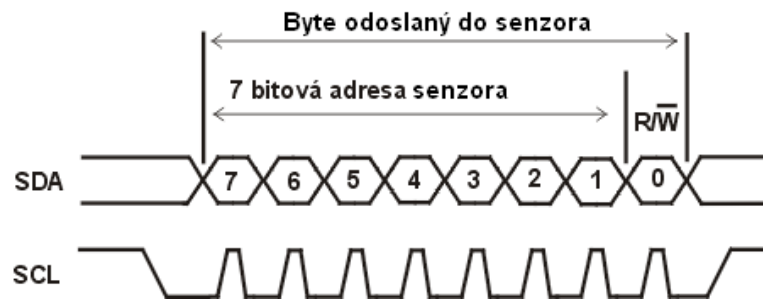
2.4.1. Základné operácie na zbernici



Vysielanie štartovacieho bitu



Vysielanie ukončovacieho bitu



Vysielanie adresy

Operácia zápisu:



Komunikácia sa začína štartovacím bitom START. Nasleduje 7-bitová adresa ADR spolu s bitom \overline{W} ktorý nastavuje smer toku dát smerom do senzora (zápis). Ak adresa korešponduje s adresou senzora, senzor odpovedá ACK bitom. Následne master zariadenie odošle 8-bitové slovo DATA, ktoré je po úspešnom prijatí potvrdené ACK bitom. Takým spôsobom môže byť odoslaný ľubovoľný počet dát. Operácia je ukončená odoslaním ukončovacieho bitu STOP.

Operácia čítania:

Komunikácia sa začína štartovacím bitom START. Nasleduje 7-bitová adresa ADR spolu s bitom R ktorý nastavuje smer toku dát smerom zo senzora (čítanie). Ak adresa korešponduje s adresou senzora, senzor odpovedá ACK bitom. Následne slave zariadenie odošle 8-bitové slovo DATA, ktoré je po úspešnom prijatí potvrdené ACK bitom. Takým spôsobom môže byť prijatý ľubovoľný počet dát. Operácia je ukončená odoslaním zamietnutia NACK a ukončovacieho bitu STOP.

Operácia čítania s adresou interného registra:

Komunikácia sa začína rovnako ako zápis, kde ako dáta je odoslaná adresa interného registra REG potvrdená senzorom. Následne master odošle opakovaný štart RS (repeated start) a komunikácia pokračuje rovnako ako počas čítania.

2.4.2. Adresa senzora a popis registrov

Senzor má prednastavenú adresu B0h

| Názov registra | Adresa | Prístup | Popis |
|----------------|--------|---------|---|
| AXIS_X_LO | 00h | R | Spodný byte aktuálnej hodnoty zrýchlenia na osi X |
| AXIS_X_HI | 01h | R | Horný byte aktuálnej hodnoty zrýchlenia na osi X |
| AXIS_Y_LO | 02h | R | Spodný byte aktuálnej hodnoty zrýchlenia na osi Y |
| AXIS_Y_HI | 03h | R | Horný byte aktuálnej hodnoty zrýchlenia na osi Y |
| AXIS_Z_LO | 04h | R | Spodný byte aktuálnej hodnoty zrýchlenia na osi Z |
| AXIS_Z_HI | 05h | R | Horný byte aktuálnej hodnoty zrýchlenia na osi Z |
| ADR | AAh | W | Nastavenie novej I ² C adresy |
| ADR_RST | CBh | W | Reset I ² C adresy na prednastavenú |

Spojenie horného bajtu a spodného bajtu do 16-bitovej hodnoty:

```
int axis = AXIS_LO | (AXIS_HI << 8) & 0xFF00;
```

Prepočet aktuálneho zrýchlenia na osi z načítanej hodnoty senzora:

$$a = \frac{axis - 512}{20}$$