

Senzory

Michal Šerý

Automatizace

- 1 **Senzory**
- 2 **Signálové převodníky**
- 3 **Mezisystémové převodníky**
- 4 **A/D převodníky**
- 5 **D/A převodníky**

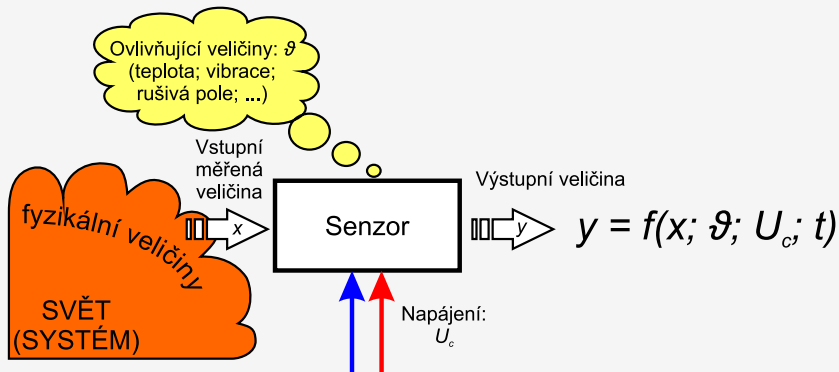
Senzor je funkční prvek tvořící vstupní blok měřicího řetězce, který je v přímém styku s měřeným prostředím.

Pojem senzor je ekvivalentní pojmu snímač nebo detektor.

Citlivá část senzoru se občas označuje jako čidlo. Senzor jako primární zdroj informací snímá sledovanou fyzikální, chemickou nebo biologickou veličinu a dle určitého definovaného principu ji transformuje na měřicí veličinu - nejčastěji na veličinu elektrickou.

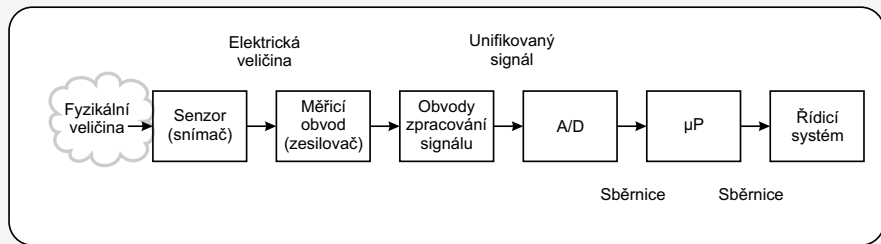
Dále existují senzory, u nichž je neelektrická veličina přímo transformována na číslicový signál.

Blokové schéma senzoru



Obrázek: Blokové schéma senzoru

Blokové schéma měřicího řetězce



Obrázek: Blokové schéma měřicího řetězce

- A/D - analogově-číslicový převodník
- μP - mikroprocesor

1. generace

Klasické snímače (DUMB - hloupé), bez normalizovaného výstupního elektrického signálu (např. termočlánek, tenzometr).

2. generace

Mikro a opto-elektronické snímače s normalizovaným obvykle proudovým výstupním signálem (např. tlakový membránový Si-senzor, optické vláknové senzory).

3. generace

Inteligentní (SMART) senzory, videoprocessorové subsystémy.

Dle měřené fyzikální veličiny:

Senzory

- teploty,
- tlaku,
- průtoku,
- radiačních veličin,
- mechanických veličin
 - dráha,
 - rychlost,
 - zrychlení,
 - kroutící moment.
 - ...
- analýzy kapalin a plynů,
- elektrických a magnetických veličin
- ...

Dle principu převodu:

- fyzikální
 - odporové,
 - indukčnostní,
 - indukční,
 - kapacitní,
 - magnetické,
 - piezoelektrické,
 - optické vláknové,
 - ...
- chemické převod je založen na chemické reakci probíhající na rozhraní analyt - senzor (adsorbce, absorpce, ...)
- biochemické (tvoří samostatnou část chemických senzorů, ke své činnosti využívají biologicky aktivní látky)

Dle styku s měřeným prostředím:

- dotykové (kontaktní)
- bezdotykové (bezkontaktní)

V robotice

- taktilní (uchopení, drsnosti povrchu, ...)
- proximní (indukční, RFID, ...)

Dle transformace signálu:

- aktivní - senzor je zdrojem energie (termočlánek),
- pasivní - PT100.

Dle výrobní technologie:

- pneumatické,
- elektromechanické,
- mechanické,
- elektrochemické,
- polovodičové,
- mikroelektronické,
- optoelektronické,
- ...

Technické parametry senzorů.

- Statické
- Dynamické

Statické parametry senzorů.

- Statická převodní charakteristika
- Citlivost
- Práh citlivosti
- Dynamický rozsah
- Reprodukovatelnost
- Rozlišitelnost
- Aditivní a multiplikační chyby
- Linearita
- Parametry výstupu

Dynamické parametry senzorů.

- Parametry časové odezvy
- Časová konstanta
- Šíře frekvenčního pásma
- Frekvenční rozsah
- Rychlost číslicového přenosu
- Parametry šumu

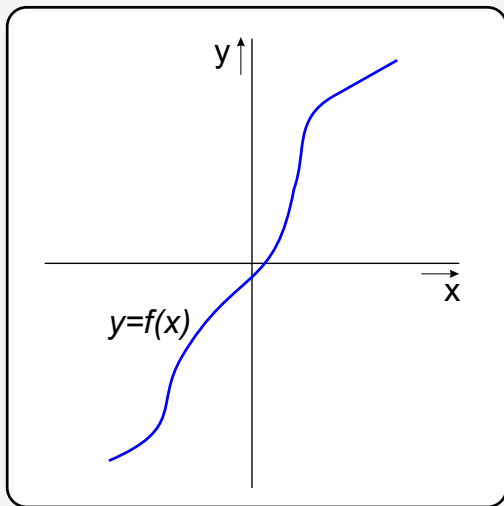
Statická převodní charakteristika

Je dána funkční závislostí $y = f(x)$. Tedy mezi vstupní (nezávislou) veličinou x a výstupní (závislou) veličinou y v ustáleném stavu. To znamená po odeznění všech přechodových dějů.

Lze ji často popsat polynomem:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$$

Senzory - statické parametry senzorů.



Obrázek: Statická převodní charakteristika

Ideální statická převodní charakteristika

Je dána lineárním vztahem:

$$y = Kx$$

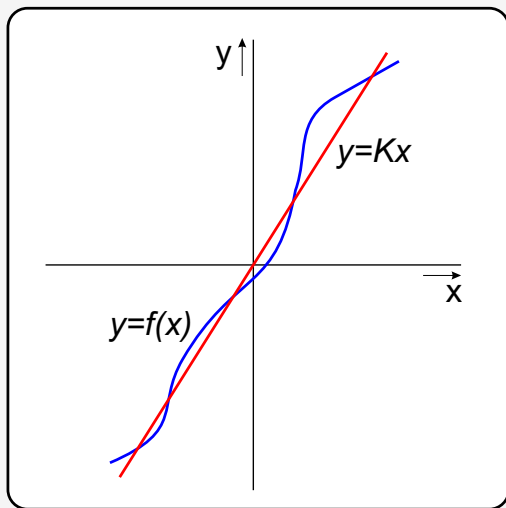
Konstantu K nazýváme citlivost.

Pro obecnou funkční závislost je citlivost definována jako limitní poměr přírůstku Δy ku přírůstku Δx :

$$K = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{df(y)}{dx}$$

Vzhledem k tomu, že v reálném světě působí na senzor řada parazitních veličin ϑ_i je lépe definovat K jako:

$$K = \left(\frac{\partial f(y)}{\partial x} \right)_{\vartheta_1, \vartheta_2, \dots, \vartheta_n = \text{konst}}$$



Obrázek: Ideální statická převodní charakteristika

Práh citlivosti

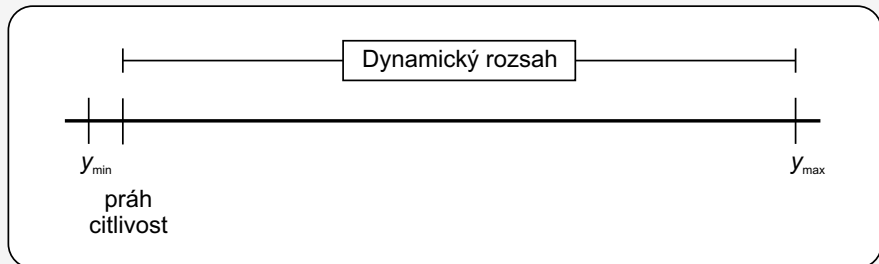
Je dán hodnotou snímané veličiny, při níž je na výstupu senzoru signál odpovídající střední kvadratické odchylce šumu senzoru. Například pro napěťový signál:

$$u_y = \sqrt{u_s^2}$$

Práh citlivosti je nejmenší hodnota vstupní veličiny, která může být indikována snímačem.

Dynamický rozsah

Je dán intervalem přípustných hodnot snímané fyzikální veličiny, ohraničené prahem citlivosti a maximální hodnotou měřené veličiny.



Obrázek: Dynamický rozsah

Reprodukovatelnost

Je dána odchylkou naměřených hodnot při krátkodobém časovém sledu měření neměnné vstupní veličiny a neměnných rušivých vlivů okolí.

Rozlišitelnost

Je nejmenší inkrement výstupu senzoru, který senzor zaznamená při změně vstupu. Odpovídající absolutní nebo relativní chybě senzoru.

$$r_a = \frac{1}{1 + \frac{y_{max} - y_{min}}{2(\Delta_y)_{max}}} \approx 2\delta_s$$

kde $y_{max} - y_{min}$... rozsah měření
 $(\Delta_y)_{max}$... maximální chyba

Při převodu analogové veličiny na číslicovou je rozlišitelnost definována vztahem:

$$r_a = \frac{1}{(2^n - 1)} \approx \frac{1}{2^n}$$

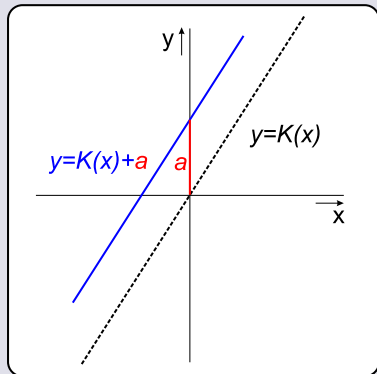
kde n ... počet bitů

Aditivní chyba

Se projevuje posunem jmenovité lineární charakteristiky.

$$y = K(x)$$

$$y_1 = K(x) + a$$



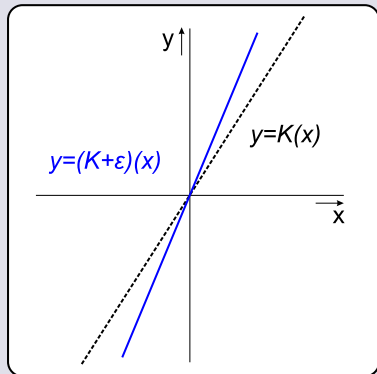
Obrázek: Aditivní chyba

Multiplikativní chyba

- ekvivalentní změna citlivosti senzoru
- závislá na hodnotě měřené veličiny
- změna sklonu statické charakteristiky

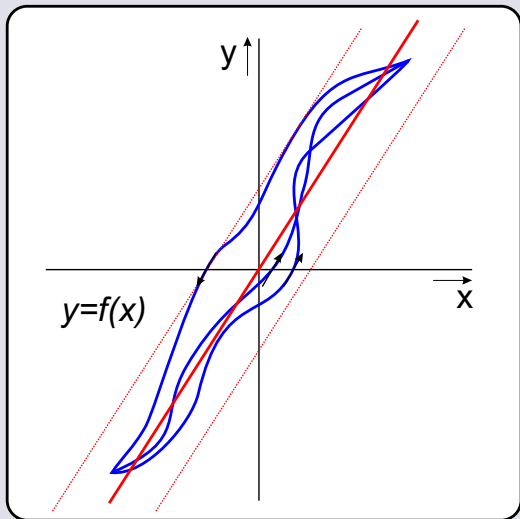
$$y = K(x)$$

$$y_1 = K_1(x)$$



Obrázek: Multiplikativní chyba

Chyba hysterézni



Dynamické vlastnosti senzorů

- nutno znát pro analýzu a syntézu měřících a regulačních obvodů
- parametry časové odezvy, časová konstanta, šíře frekvenčního pásma, frekvenční rozsah, rychlost číslicového přenosu, parametry šumu aj.

Technické parametry senzorů.

Plný rozsah senzoru (horní hranice měřicího rozsahu)

je nejvyšší hodnota měřené veličiny, která může být senzorem detekována.

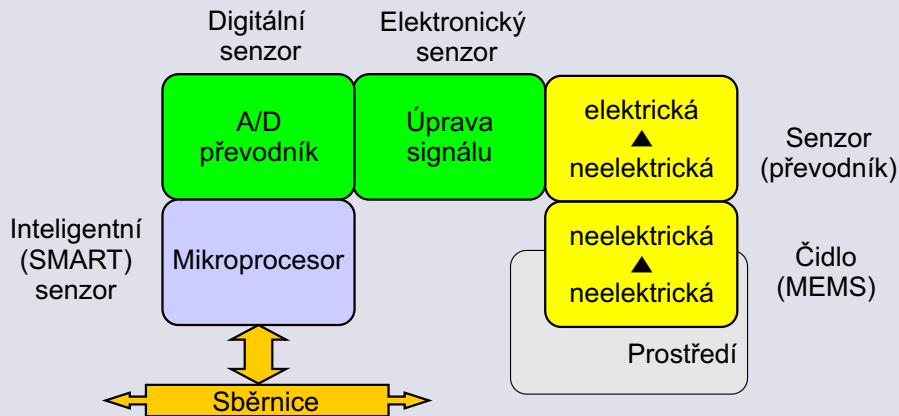
$$R = x_{max}$$

Chyba linearity

Se projevuje odchylkou od ideální lineární charakteristiky.

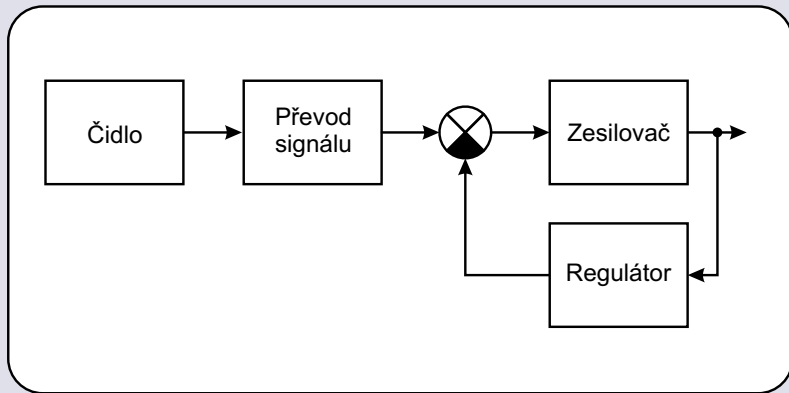
$$L_e = \frac{\Delta y_{max}}{R}$$

Blokové schéma



MEMS - mikroelektro-mechanický systém

Blokové schéma



Obrázek: Vytvoření unifikovaného signálu

Důvod

Jednou z podmínek zavedení stavebnicového řídicího systému je unifikace (sjednocení) signálu uskutečňující přenos informace mezi jednotlivými funkčními celky.

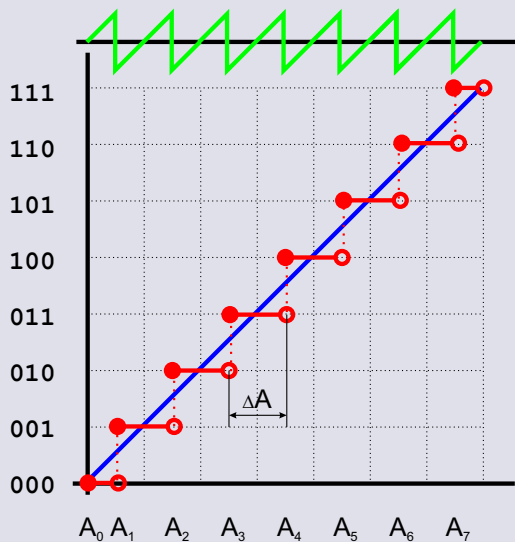
Typy unifikovaných signálů - logické

- Logické signály
 - = 0; 24 V
 - = 0; 10 V
 - = 0; 5 V
 - = -15; 15 V
 - ~ 0; 24 V
 - ~ 0; 230 V
 - ...

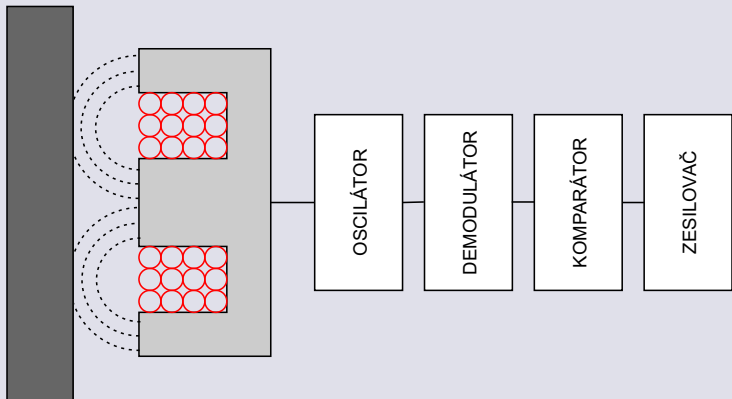
Typy unifikovaných signálů - spojitě

- Napěťové signály - k přenosu vnitřních částí
 - 0 až 10 V
 - -10 až 10 V
 - 0 až 5 V
 - ...
- Proudové signály - k dálkovému přenosu
 - 0 až 20 mA
 - 4 až 20 mA
- Pneumatické signály
 - 20 - 100 kPa

Grafické znázornění



Blokové schéma



Technické parametry senzorů.

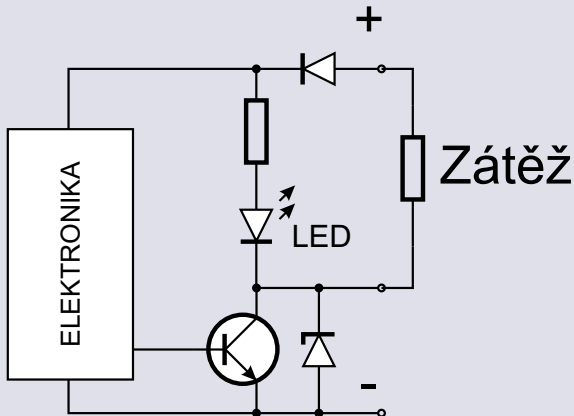
Princip činnosti

- Oscilátor generuje v cívce vř elektromagnetické pole.
- Rozladování oscilátoru vlivem vířivých proudů po přiblížení feromagnetického materiálu k čelu snímače.
- Výstup oscilátoru je demodulován.
- Čím větší rozladění, tím větší napětí.
- Komparátor porovnává výstupní napětí demodulátoru s prahovou hodnotou.
- Výstupní zesilovač upravuje signál na požadovanou hodnotu.
- Výstup ON/OFF

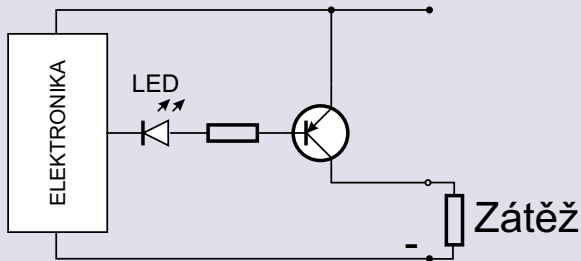
Technické parametry senzorů.

- Krytí: IP67
- Hystereze: 2°
- Rozsah odezvy: $23^\circ \pm 7^\circ$

Varianty výstupu NPN



Varianty výstupu PNP



Sběrnice I²C (Inter-Integrated Circuit) byla vyvinuta firmou Philips Semiconductor pro komunikaci mezi dílčími bloky v rámci jednoho zařízení. Je to sériová, 8-bitově orientovaná, sběrnice pro obousměrnou komunikaci.

Tato sběrnice je tvořena dvojicí signálů, představující datový kanál **SDA** (Synchronous Data) a hodinový signál **SCL** (Synchronous Clock). Komunikace probíhá v hierarchickém spojení nadřazeného zařízení (**Master**) a podřízených obvodů (**Slave**).

Úkolem řídicího obvodu je řízení celé komunikace, vznášení požadavků a generování hodinového signálu. Každý podřízený obvod musí mít implementovanou svou jedinečnou adresu, pomocí níž je adresován.

I2C (IIC, TWI - two wire interface)

Následující informace jsou platné pro verzi 2.0 z roku 1998. 7-bitové a 10-bitové adresování.

Master může operovat jako vysílač či přijímač. Jde o pravou sběrnici typu multi-master se zabudovanou detekcí kolizí či více obvodů, které vysílají v jednom okamžiku.

Může pracovat rychlostí: do 100kbit/s v Standart-mode,
do 400kbit/s ve Fast-mode
do 3,4Mbit/s v High-speed mode.

Přitom na jedné sběrnici mohou být připojena zařízení podporující tuto rychlost, ale také zařízení pomalejší. V podstatě se přenosová rychlost může pohybovat v rozmezí 0 až 3,4 Mbit/s.

Počet zařízení připojitelných na sběrnici je omezen maximální kapacitancí sběrnice do 400 pF a počtem využitelných adres.

(To například při 100 kHz odpovídá cca 1 m celkové délky kabelu).

Stejná zařízení obvykle 8 ks.

Komunikace po sběrnici je řízena komunikačním protokolem:

- zahájení komunikace (START Condition)
- adresního paketu
- potvrzování přijatých paketů
- datového paketu
- potvrzování přijatých paketů
- ukončení komunikace (STOP Condition)

Klidová Úroveň na obou linkách sběrnice I²C je v log. 1 a datovou linku smí ovládat vždy jen jedno zařízení. Lze vytvořit i strukturu multimaster.

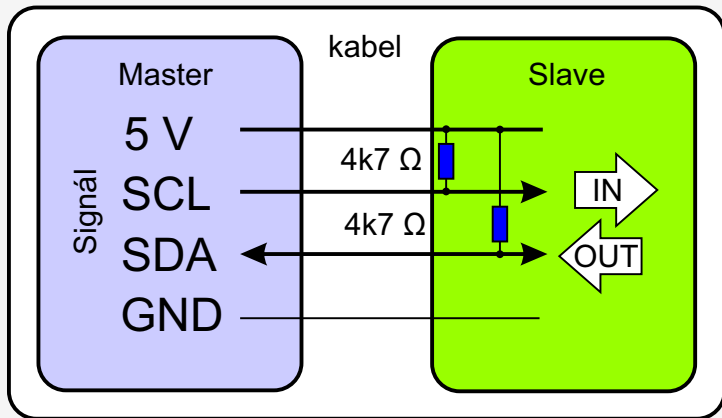
Pro úroveň signálu na datové lince SDA platí, že musí být konstantní v okamžiku HIGH úrovně hodinového signálu SCL. To neplatí pouze u START a STOP podmínky.

Adresní paket se skládá ze 7bitové adresy podřízeného obvodu, dále k bitu určující následné čtení nebo zápis z/do obvodu. První část adresy je pevně nastavena v SLAVE obvodu (určeno typem obvodu) a nejnižší tři bity bývají vyvedeny jako vývody obvodu a jejich zapojením na log. 0 nebo log. 1 se určí adresa na sběrnici. Na jedné sběrnici je možno připojit obvykle 8 stejných obvodů.

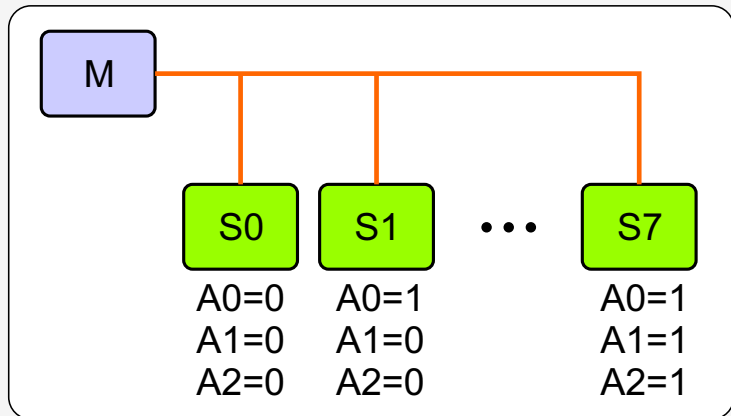
Paket je ukončen potvrzovacím bitem ACK (Acknowledge). Je-li hodnota tohoto bitu v log. 0, je potvrzení platné, zůstane-li v log. 1, potvrzení neproběhlo a komunikace nebyla navázána. Adresa je zapisována v pořadí od MSB k LSB.

Datový paket obsahuje 8bitové datové slovo, rovněž v pořadí od MSB k LSB a je ukončen potvrzovacím bitem ACK s aktivní úrovní v log. 0.

Zapojení:



Zapojení:



I2C - read

Master čte z Slave obvodu.

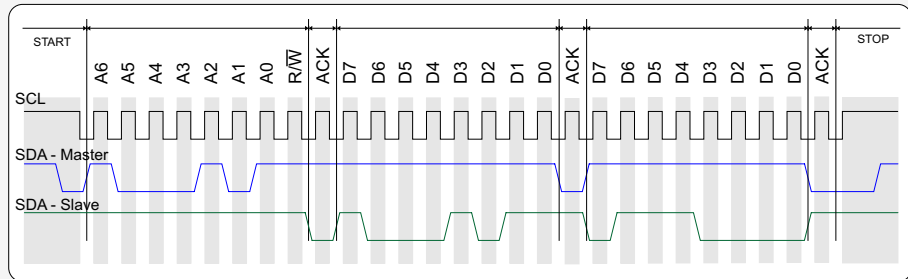
START podmínka.

Adresa obvodu - 1000101.

Typ příkazu: *Read/Write* 1/0 - 1

Data: 1. byte - 10001011.

Data: 2. byte - 01110000.



I2C - write

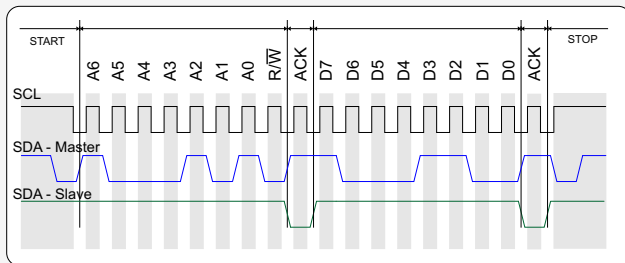
Master posílá příkaz na Slave obvod.

START podmínka.

Adresa obvodu - 1000101.

Typ příkazu: *Read/Write* 1/0 - **0**

Data: 1. byte - 10001100.



Ukázka z datasheet:

Ukázka programu

Parametry:

rychlosti přenosu ukázka adresace podle druhu senzoru zapojení obvodu

kde A ... bla bla bla Při zápisu označujeme obvykle velkým písmenem A, B, ...X, Y, Z.

1 0 0

text

Míček na dráze: <https://www.youtube.com/watch?v=eOvNkMFb-8s>

Šipka na rameni: <https://www.youtube.com/watch?v=fusr9eTceEo>

Samoříditelné auto: <https://www.youtube.com/watch?v=4Y7zG48uHRo>