



Politechnika
Wroclawska

Elektronika w automatyce

Układy pomiarowe

Wojciech Tarnawski

wojciech.tarnawski@pwr.edu.pl

www.w-tarnawski.pl



Układy pomiarowe

- Wstęp
- Pomiar napięcia , I/O
- Zabezpieczenie wejścia
- Pomiar rezystancji
- Pomiar prądu
- Pomiar temperatury, wilgotności
- Pomiar cząstek stałych
- Pomiar jasności
- Pomiar odległości
- Pomiar przyśpieszenia, ciśnienia
- Podsumowanie

Układy pomiarowe

Czym jest pomiar?

W metrologii pomiarem nazywa się proces poznawczy, w którym następuje odwzorowanie pewnych właściwości obiektu fizycznego (ciała, zjawiska) w dziedzinę liczb. Właściwość, którą można zmierzyć nazywa się wielkością fizyczną lub mierzalną.

Elementy procesu pomiarowego:

- ustalenie modelu fizycznego obiektu przez idealizację właściwości obiektu rzeczywistego (np. pominięcie pewnych czynników, oddziaływań, itp.),
- zbudowanie modelu matematycznego obiektu przez podanie związków (formuł matematycznych) ilościowych między właściwościami, które charakteryzują model fizyczny,
- ustalenie modelu metrologicznego obiektu przez przekształcenie modelu matematyczno-fizycznego w taki sposób, że opisują go tylko wielkości mierzalne,
- wybór metody pomiarowej i środków technicznych do przeprowadzenia pomiaru,
- wykonanie pomiaru(ów),
- analiza wyniku(ów) pomiaru i interpretacja (z uwzględnieniem analizy niepewności pomiarowej).

Układy pomiarowe

Jednostka miary i układ jednostek miar

Jednostką miary wielkości mierzalnej jest umownie przyjęta i wyznaczona z dostateczną dokładnością wartość tej wielkości.

Układ jednostek miar – zbiór jednostek miar wielkości mierzalnych

Metody pomiarowe

Metoda bezpośrednia – wartość wielkości otrzymuje się bezpośrednio w wyniku prostego pomiaru.

Metoda pośrednia – wartość wielkości otrzymuje się pośrednio z pomiarów bezpośrednich innych wielkości.

Układy pomiarowe

Pomiar = rzeczywista wielkość + błąd pomiarowy

Zaprezentowane w dalszej części wykładu układy, propozycje są tylko wybranymi przykładami.

Istnieje wiele innych układów i możliwości pomiaru.

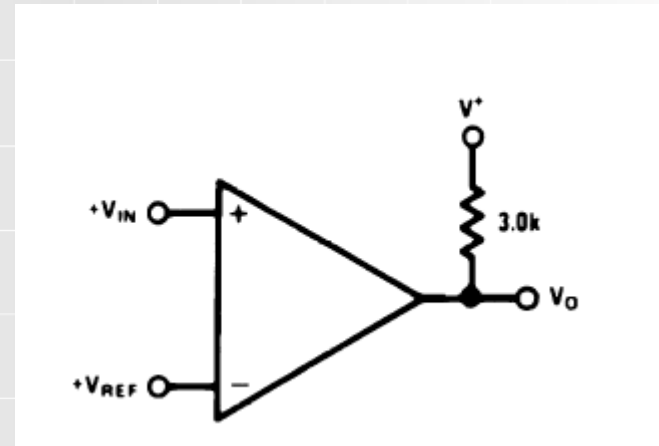
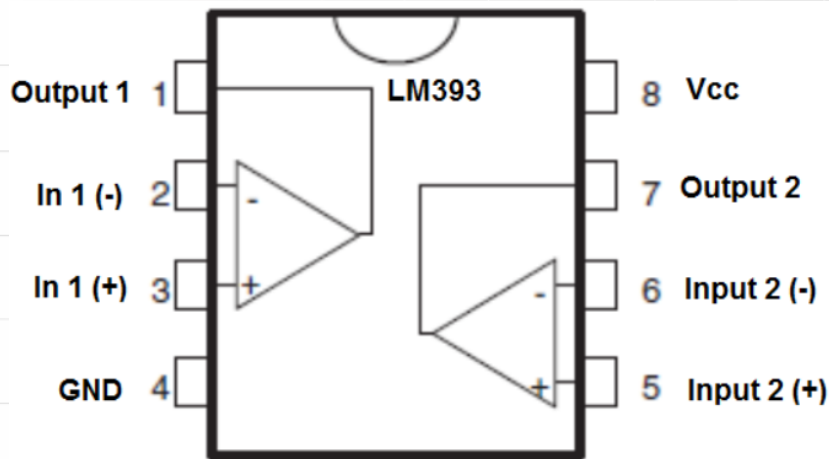
Układy pomiarowe – I/O

Pomiar dwóch stanów:

- stan wysoki
- stan niski

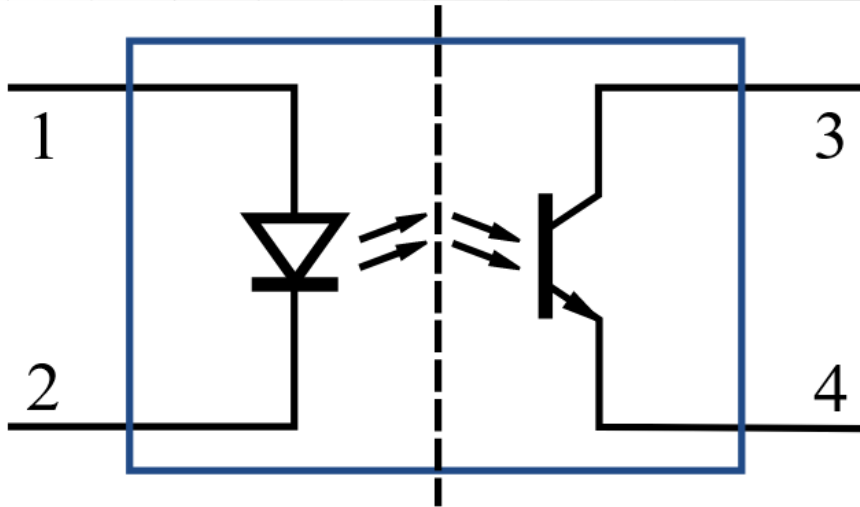
**Pomiar przez dowolny pin
wejściowy mikrokontrolera**

Komparator LM393



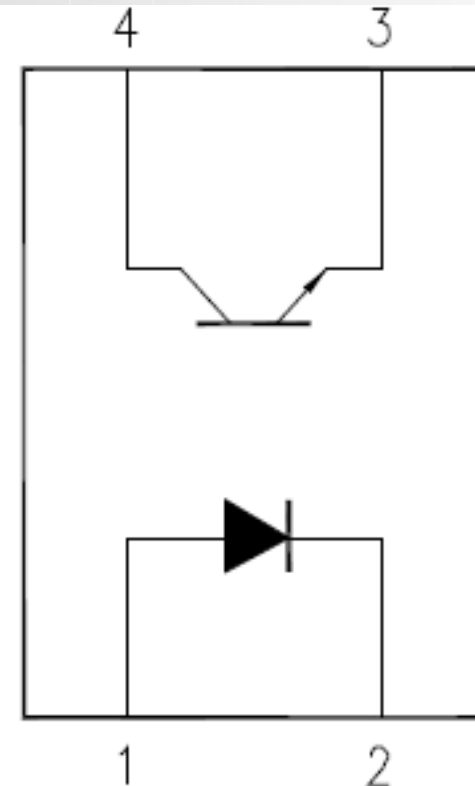
Układy pomiarowe – optoizolacja I/O

Transoptor



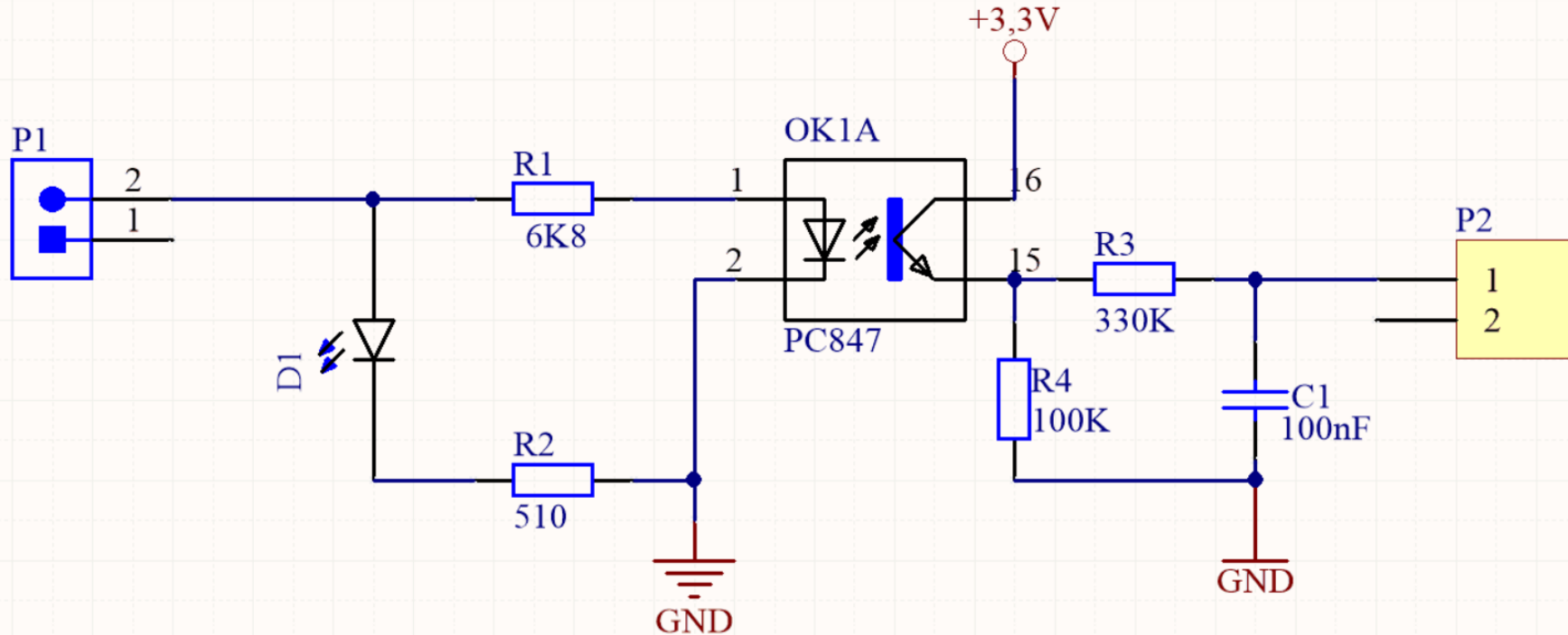
- Izolacja do 5000V
- Bariera fizyczna
- Możliwość translacji napięcia
- Duża szybkość działania
- Prosta implementacja
- Jeden kierunek

LTV817



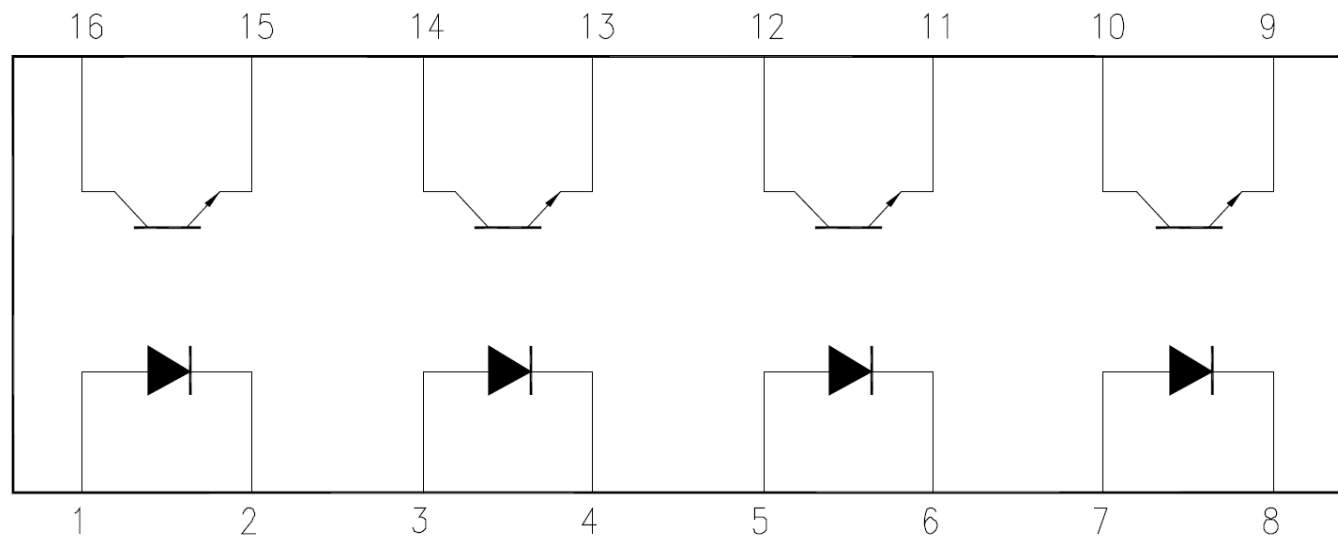
- | | |
|------------|--------------|
| 1. Anode | 3. Emitter |
| 2. Cathode | 4. Collector |

Układy pomiarowe – optoizolacja I/O



Układy pomiarowe – optoizolacja I/O

Transoptor - LTV847



1,3,5,7. Anode
2,4,6,8. Cathode

9,11,13,15. Emitter
10,12,14,16. Collector

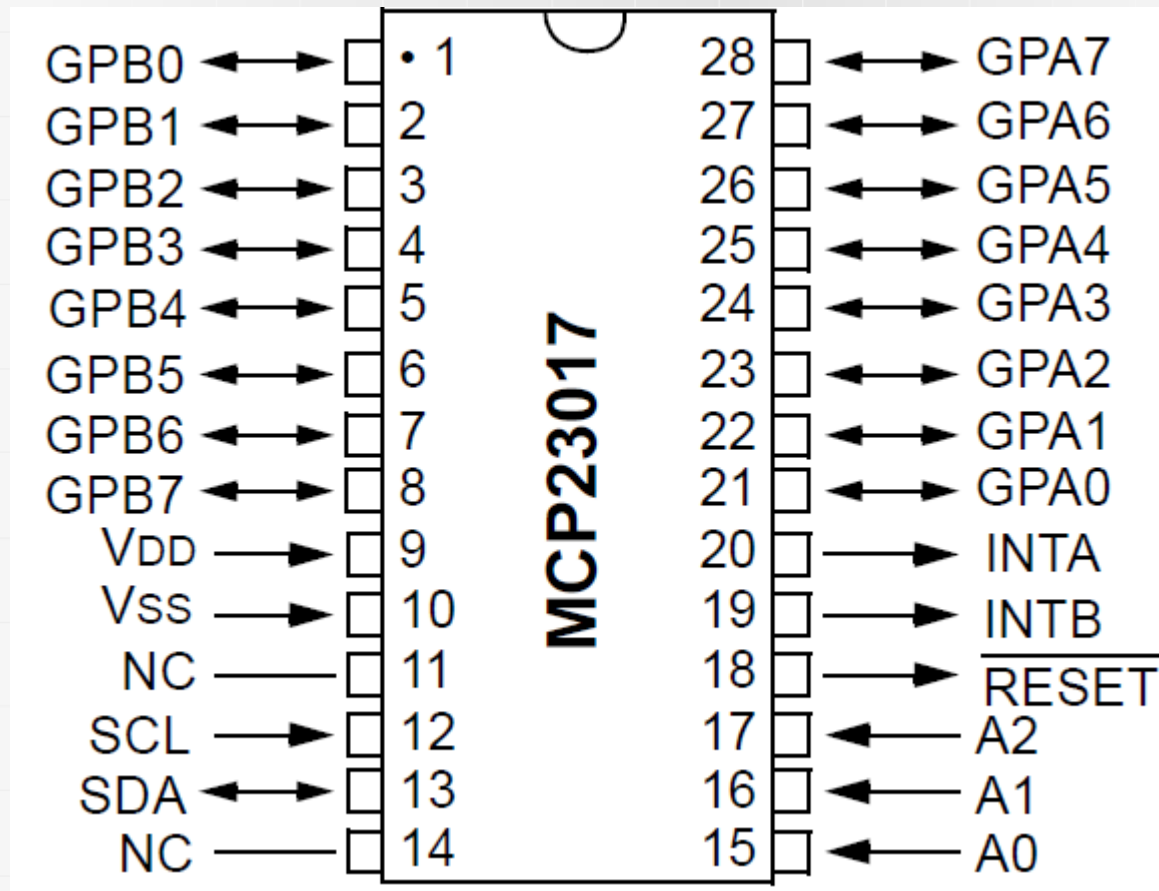
Układy pomiarowe – I/O

Jak za mało pinów?

Expander - MCP23017

I2C

16 kanałów I/O



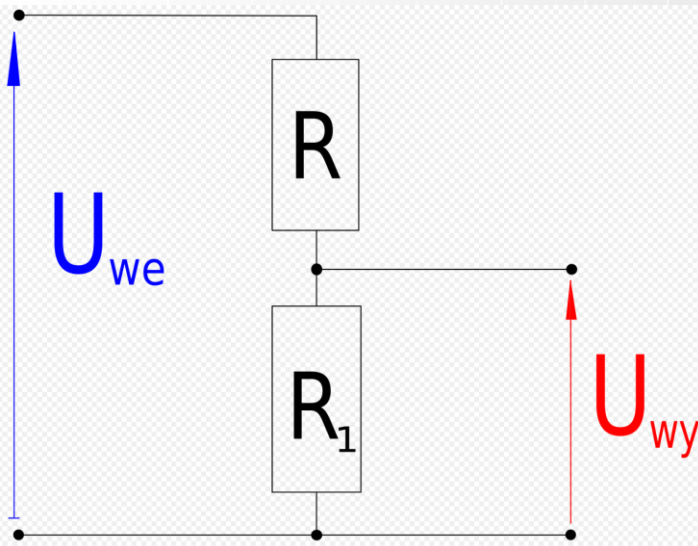
Układy pomiarowe – pomiar napięcia

Dopasować zakres napięcia

Nawet dla I/O

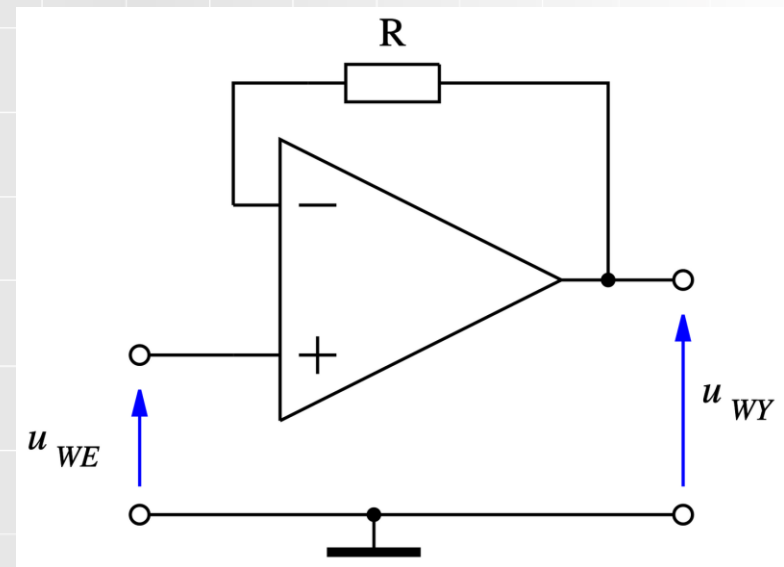
**Pomiar przez pin wejściowy mikrokontrolera
obsługujący przetwornik ADC**

Dzielnik napięcia:



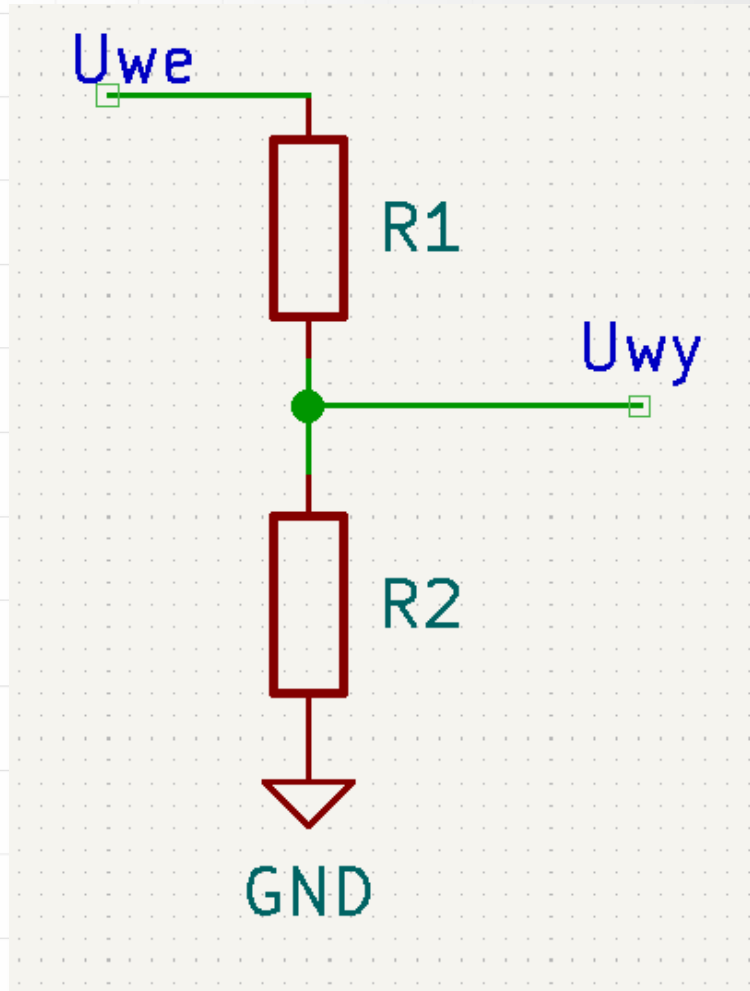
$$U_{wy} = \frac{U_{we}}{R + R_1} \cdot R_1$$

Wtórnik napięciowy:



$$U_{we} = U_{wy}$$

Układy pomiarowe – pomiar napięcia



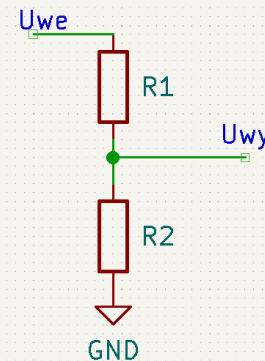
$$U_{wy} = \frac{U_{we}}{R_1 + R_2} \cdot R_2$$

$$R_1 = 56k, R_2 = 10k, U_{we} = 12V$$

Ile wynosi napięcie wyjściowe?

Układy pomiarowe – pomiar napięcia

$$R_1 = 56k, R_2 = ?, U_{we} = 12V, U_{wy} = 3V$$



$$U_{wy} = \frac{U_{we}}{R_1 + R_2} \cdot R_2$$

Szeregi wartości rezystorów:

Szeregi główne

E3	50%	10, 22, 47
E6	20%	10, 15, 22, 33, 47, 68
E12	10%	10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82
E24	5%	10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 43, 47, 51, 56, 62, 68, 75, 82, 91

Układy pomiarowe – pomiar napięcia

$$R_1 = 56k, R_2 = ?, U_{we} = 12V, U_{wy} = 3V$$

$$R_2 = 18.67k \approx 18k \rightarrow 2.919 V$$

$$R_2 = 18.67k \approx 20k \rightarrow 3.158V$$

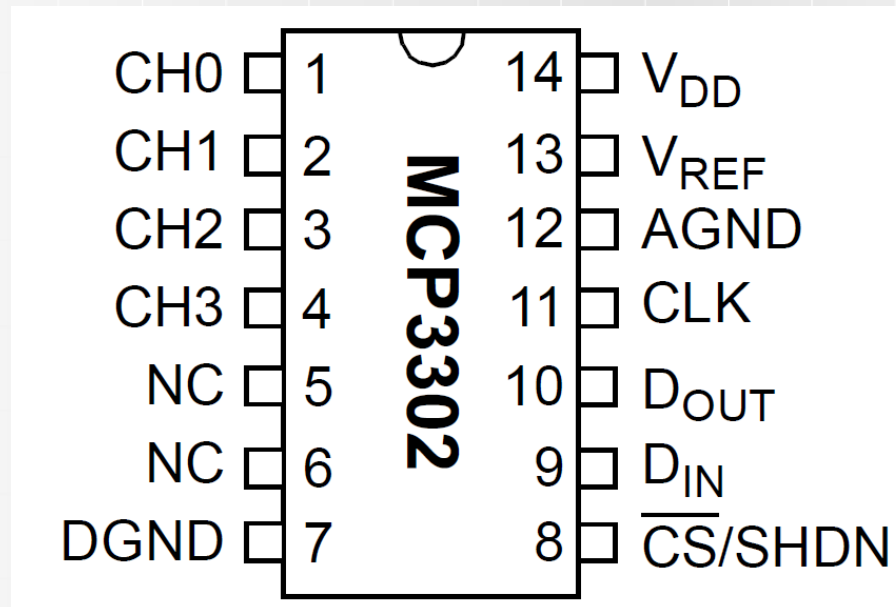
Szeregi wartości rezystorów:

Szeregi główne

E3	50%	10, 22, 47
E6	20%	10, 15, 22, 33, 47, 68
E12	10%	10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82
E24	5%	10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 43, 47, 51, 56, 62, 68, 75, 82, 91

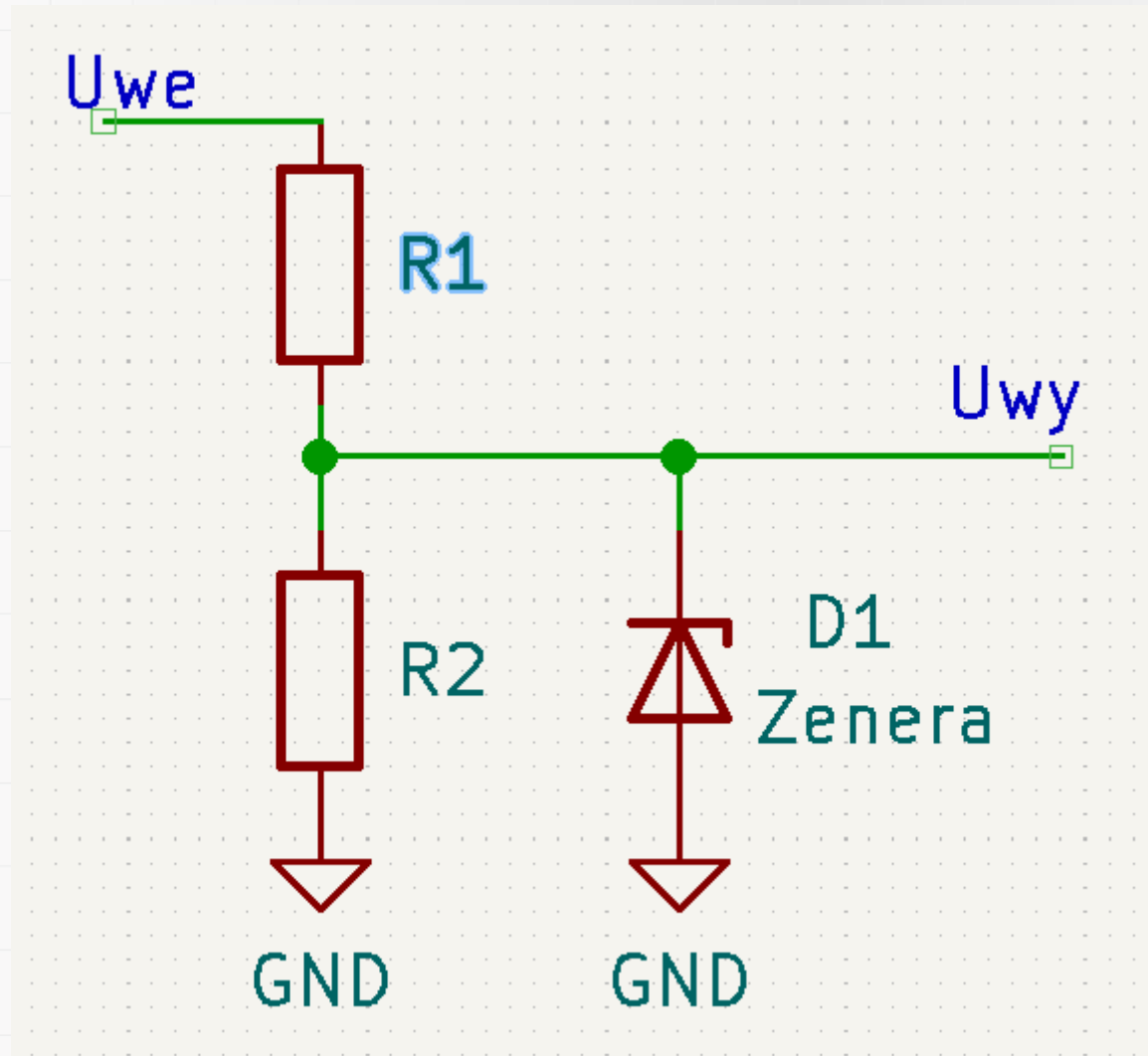
Zwiększenie ilości wejść analogowych:

- przełączanie wejść
- zastosowanie zewnętrznego przetwornika A/C:
 - MCP3302 – 4 wejścia
 - MCP3304 – 8 wejść



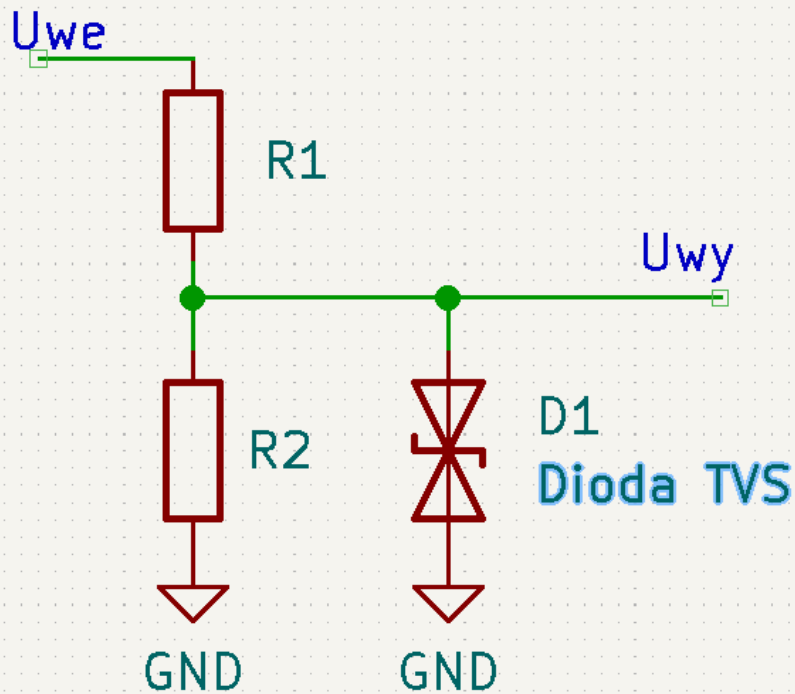
Pomiar napięcia – dzielnik napięciowy

Zabezpieczenie diodą Zenera

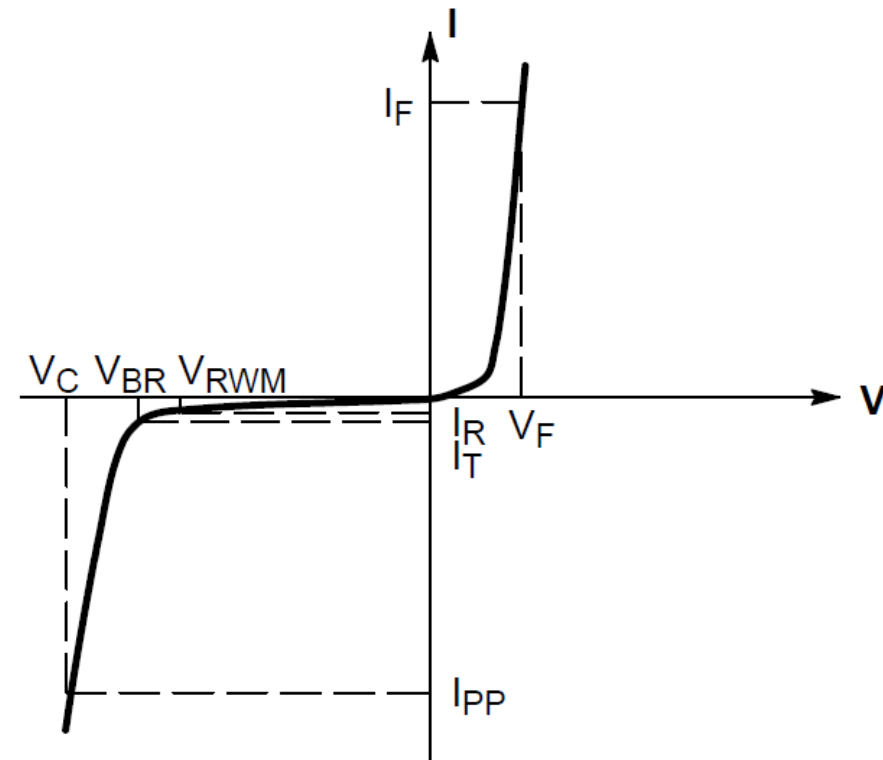


Pomiar napięcia – dzielnik napięciowy

Zabezpieczenie diodą TVS - Transient Voltage Suppressors



Napięcie V_{RWM}
Napięcie V_{BR}
Napięcie V_C

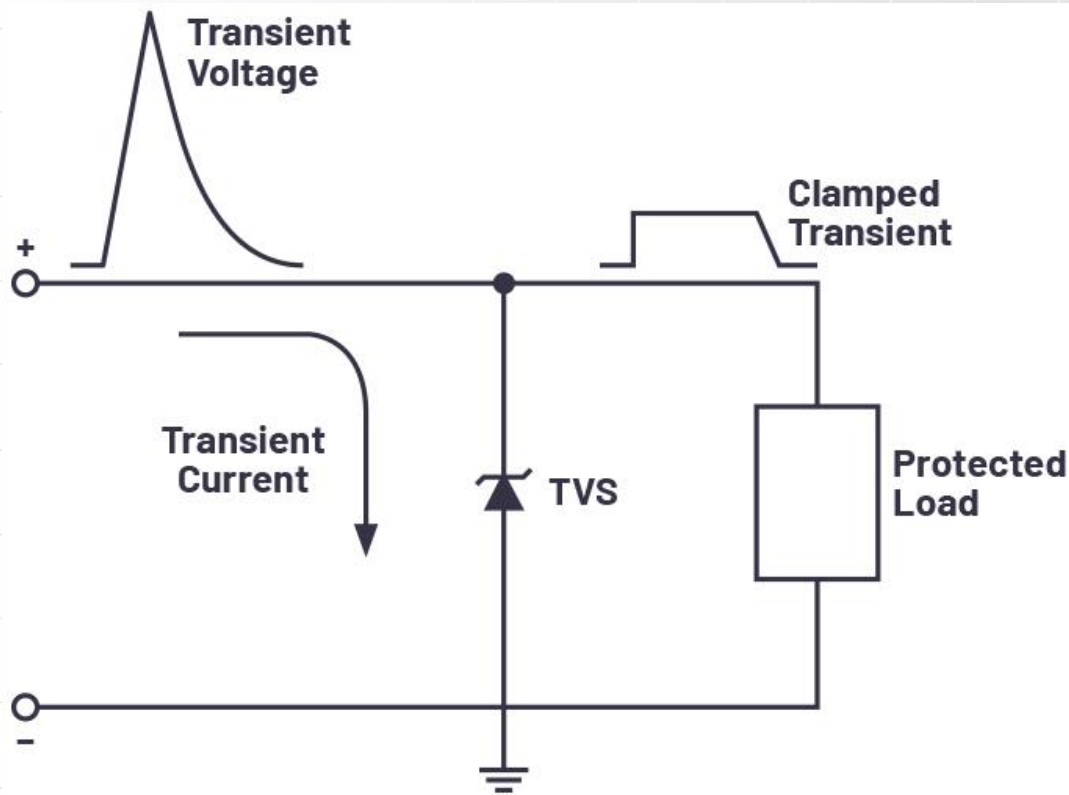


Uni-Directional TVS

Pomiar napięcia – dzielnik napięciowy

Dioda TVS - Transient Voltage Suppressors - transil

wyspecjalizowana dioda zabezpieczająca, chroniąca czułe elementy elektroniczne przed skutkami przepięć, stosowana często do tłumienia przepięć i impulsów o wysokim napięciu.



Czas reakcji:

Diody TVS: $\sim 1\text{ps}$ (10^{-12})

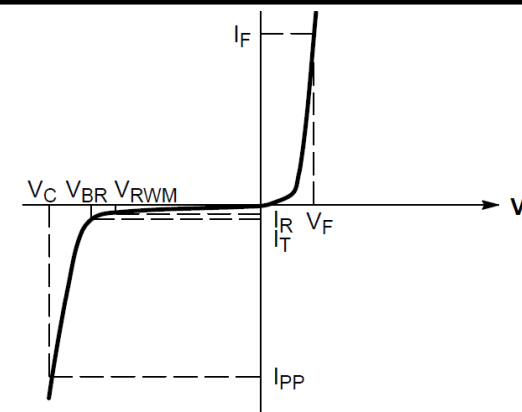
Dioda Zenera: $\sim 1\mu\text{s}$ (10^{-6})

Pomiar napięcia – dzielnik napięciowy

Zabezpieczenie dioda TVS - Transient Voltage Suppressors

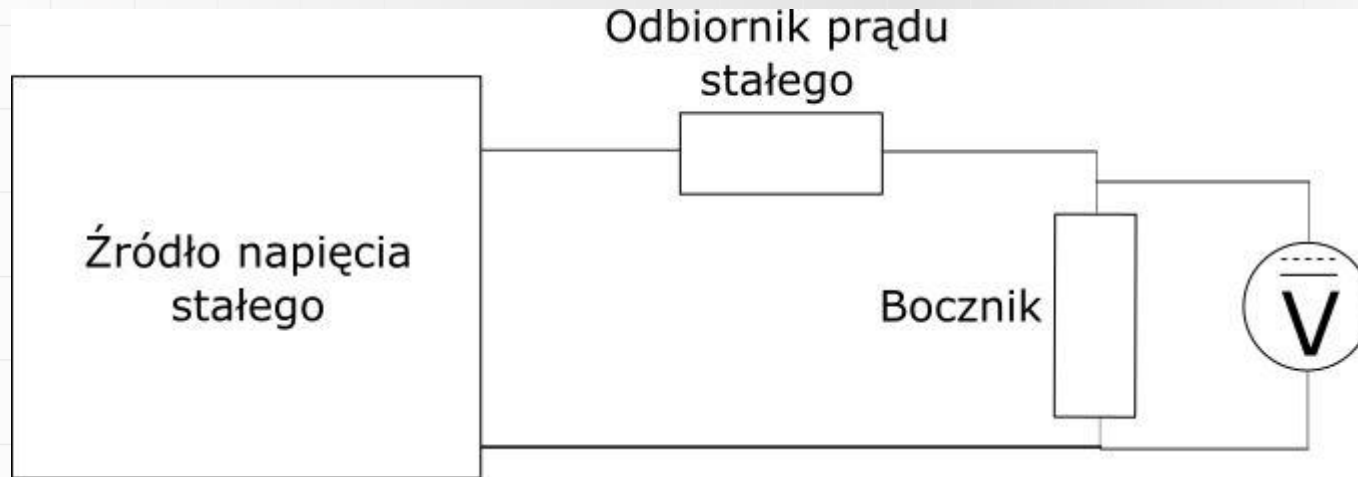
Device*	Device Marking	V_{RWM} (V)	I_R (μ A) @ V_{RWM}	V_{BR} (V) @ I_T (Note 2)	I_T	V_C (V) @ $I_{PP} = 5.0 A^\dagger$	V_C (V) @ Max I_{PP}^\dagger	I_{PP} (A) †	P_{pk} (W) †	C (pF)
		Max	Max	Min	mA	Typ	Max	Max	Max	Typ
ESD5Z2.5T1G/T5G	ZD	2.5	6.0	4.0	1.0	6.5	10.9	11.0	120	145
ESD5Z3.3T1G/T5G	ZE	3.3	0.05	5.0	1.0	8.4	14.1	11.2	158	105
ESD5Z5.0T1G/T5G	ZF	5.0	0.05	6.2	1.0	11.6	18.6	9.4	174	80
ESD5Z6.0T1G/T5G	ZG	6.0	0.01	6.8	1.0	12.4	20.5	8.8	181	70
ESD5Z7.0T1G/T5G	ZH	7.0	0.01	7.5	1.0	13.5	22.7	8.8	200	65
ESD5Z12T1G/T5G	ZM	12	0.01	14.1	1.0	17	25	9.6	240	55

Napięcie V_{RWM}
Napięcie V_{BR}
Napięcie V_C



Uni-Directional TVS

Pomiar spadku napięcia na rezystorze pomiarowym (boczniku)



Zadanie:

- prąd płynący przez bocznik: 100A
- spadek napięcia na boczniku: 60mV
- jaka jest rezystancja bocznika?
- jaka moc wydzieli się na boczniku?

$$R=? \quad P=?$$

Układy pomiarowe – pomiar prądu DC

Pomiar spadku napięcia na rezystorze pomiarowym (boczniku)

Zadanie:

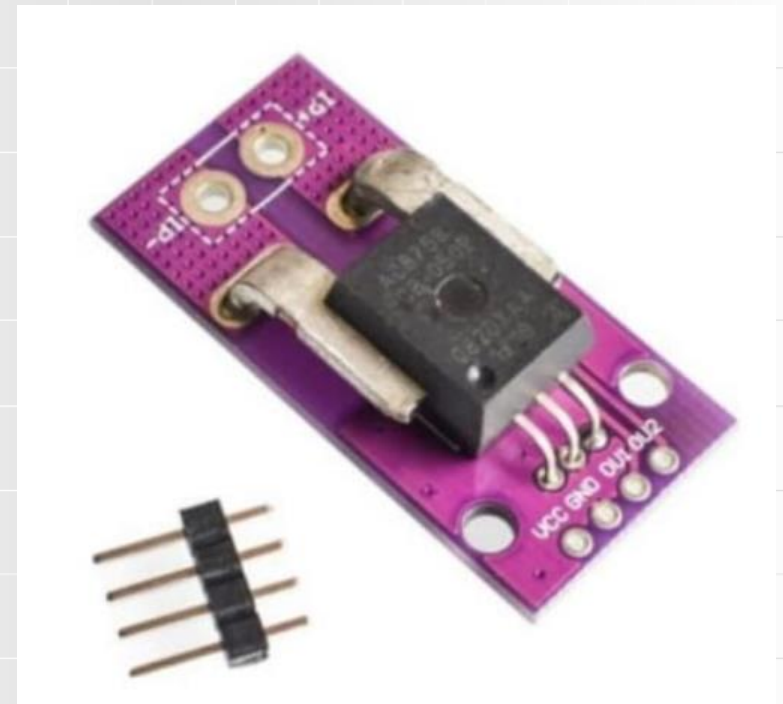
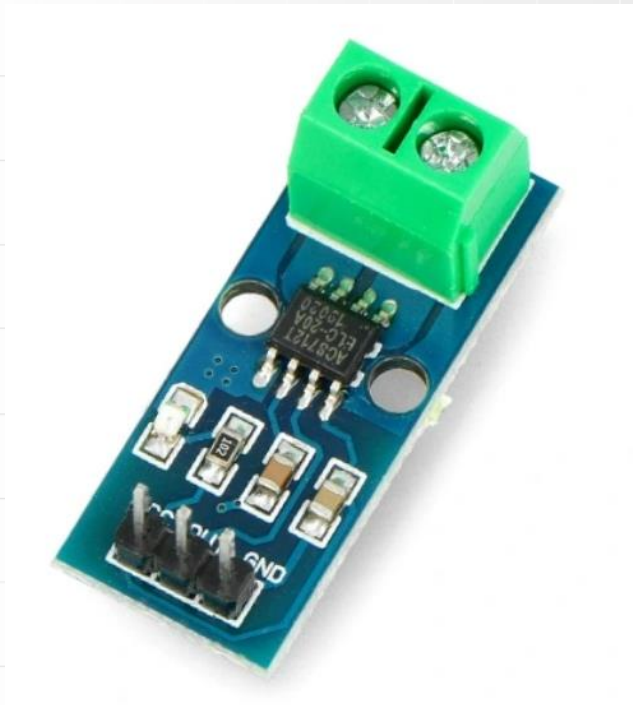
- napięcie zasilania 12V
- prąd płynący przez bocznik: 10A
- spadek napięcia na boczniku: 1V
- jaka jest rezystancja bocznika?
- jaka moc wydzieli się na boczniku?

$$R=? \quad P=?$$

Port USB 2.0 - 5V i 0,5A – 2,5W

Czujniki pomiaru prądu wykorzystujące efekt hala:

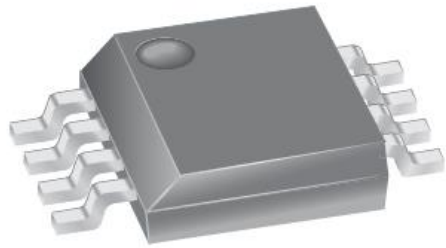
- ACS758 - czułość: 40 mV /A
- ACS712 – wersja 20A - czułość: 100 mV /A



Układy pomiarowe – pomiar prądu DC i AC

Czujniki pomiaru prądu – ACS712 – 20A

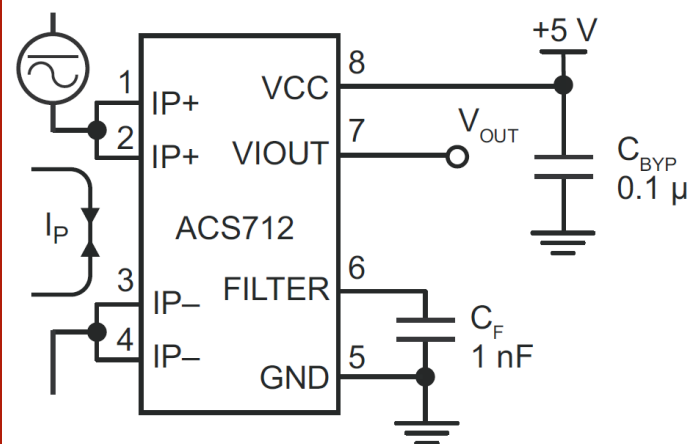
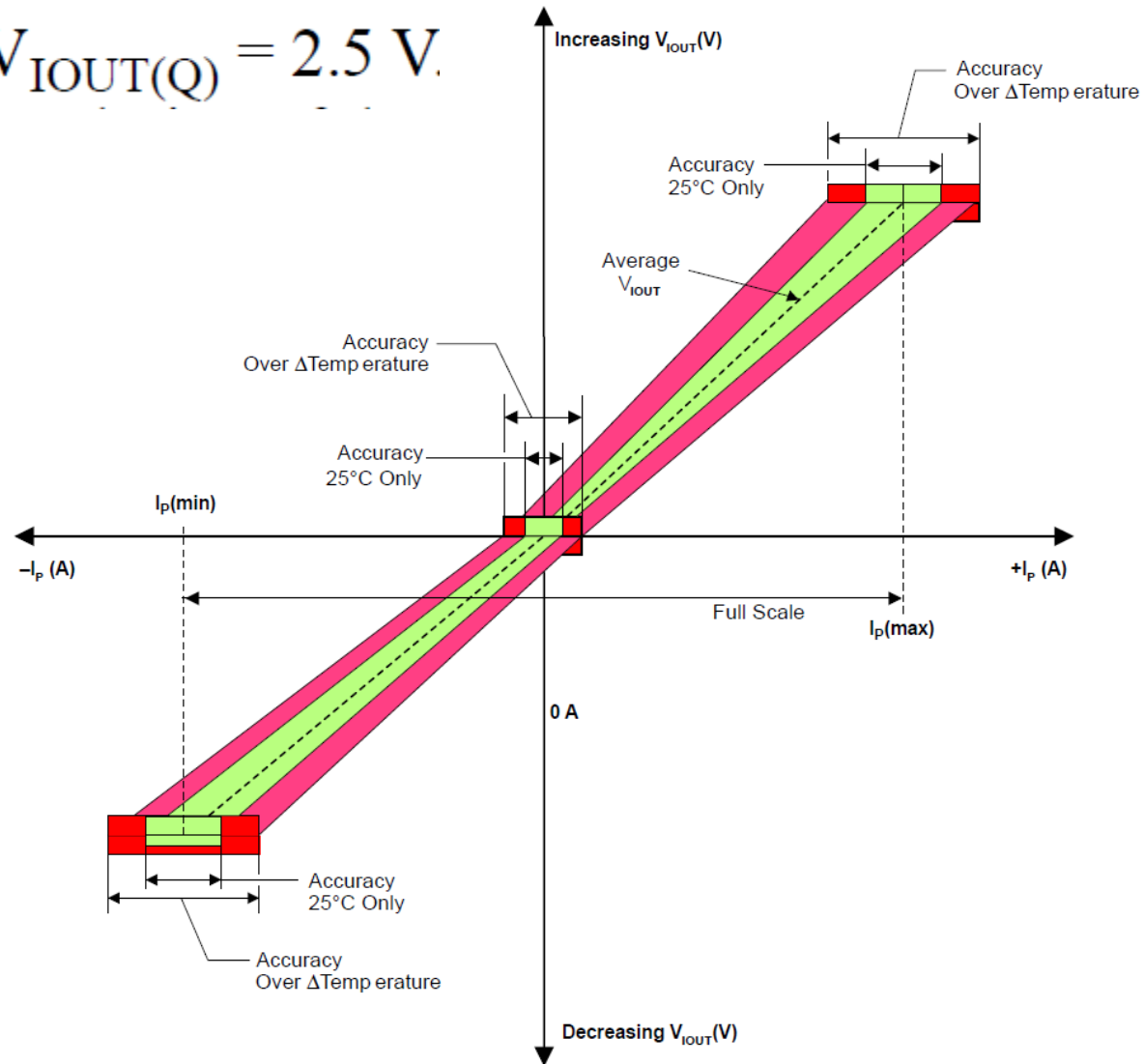
100mV/A



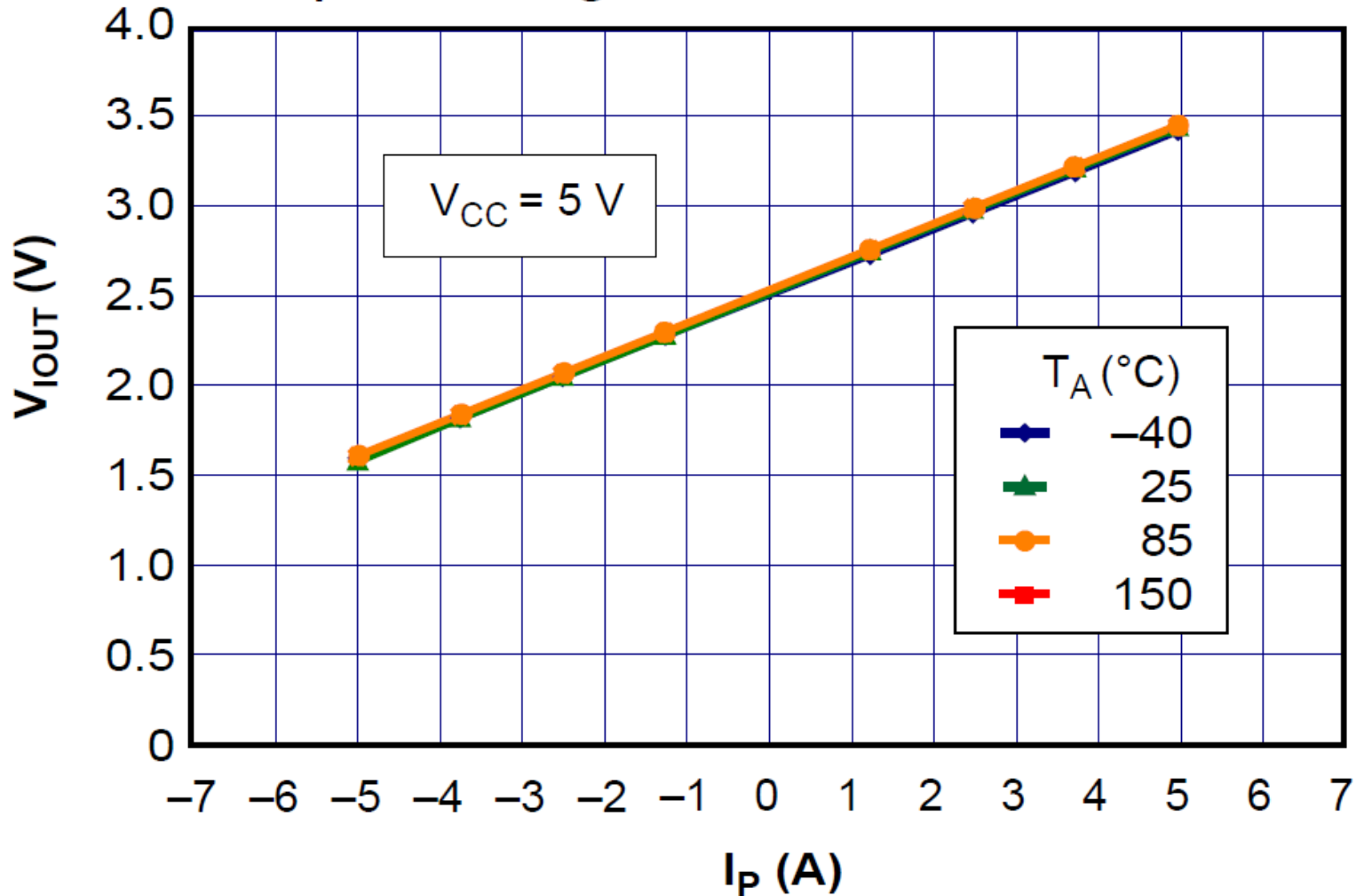
Output Voltage versus Sensed Current

Accuracy at 0 A and at Full-Scale Current

$$V_{IOUT(Q)} = 2.5 \text{ V.}$$



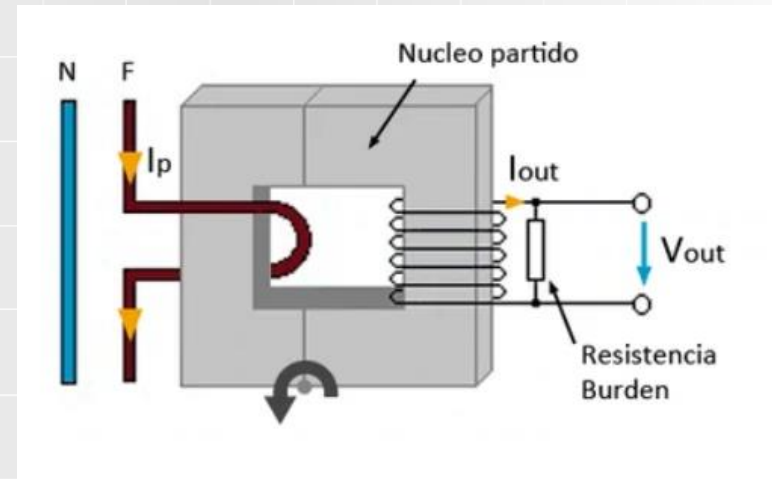
Output Voltage versus Sensed Current



Układy pomiarowe – pomiar prądu AC

Czujniki pomiaru prądu przemiennego w sposób nieinwazyjny - przekładnik prądowy:

- SCT-013-000 – zjawisko indukcji na pojedynczym przewodzie

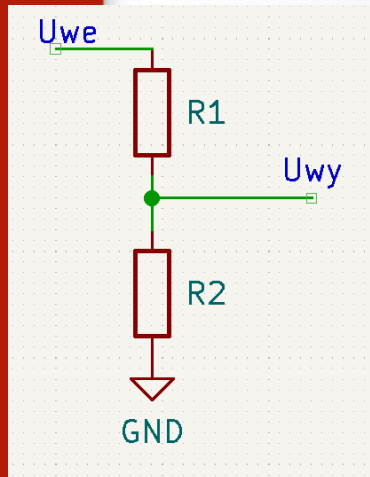


pomiar 0-100A - > wyjście 0-50mA

Układy pomiarowe – pomiar temperatury

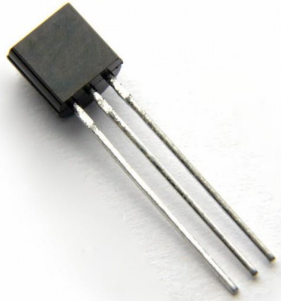
Termistor - rezystor półprzewodnikowy o rezystancji silnie zależnej od temperatury:

- NTC – o ujemnym współczynniku temperaturowym (ang. negative temperature coefficient) – wzrost temperatury powoduje zmniejszanie się rezystancji
- PTC – (pozystor) o dodatnim współczynniku temperaturowym (ang. positive temperature coefficient), wzrost temperatury powoduje wzrost rezystancji

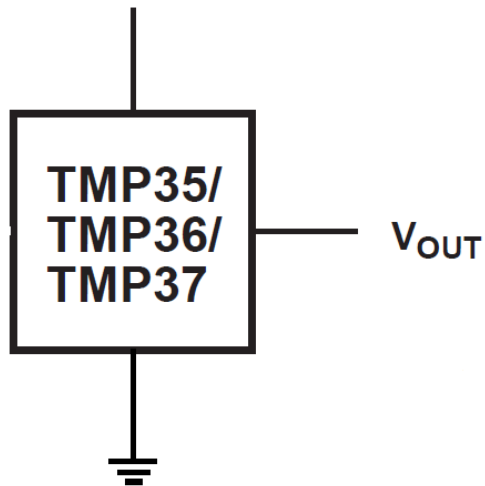


Analogowy czujnik temperatury

TMP36GT9Z - Czujnik temperatury TO92



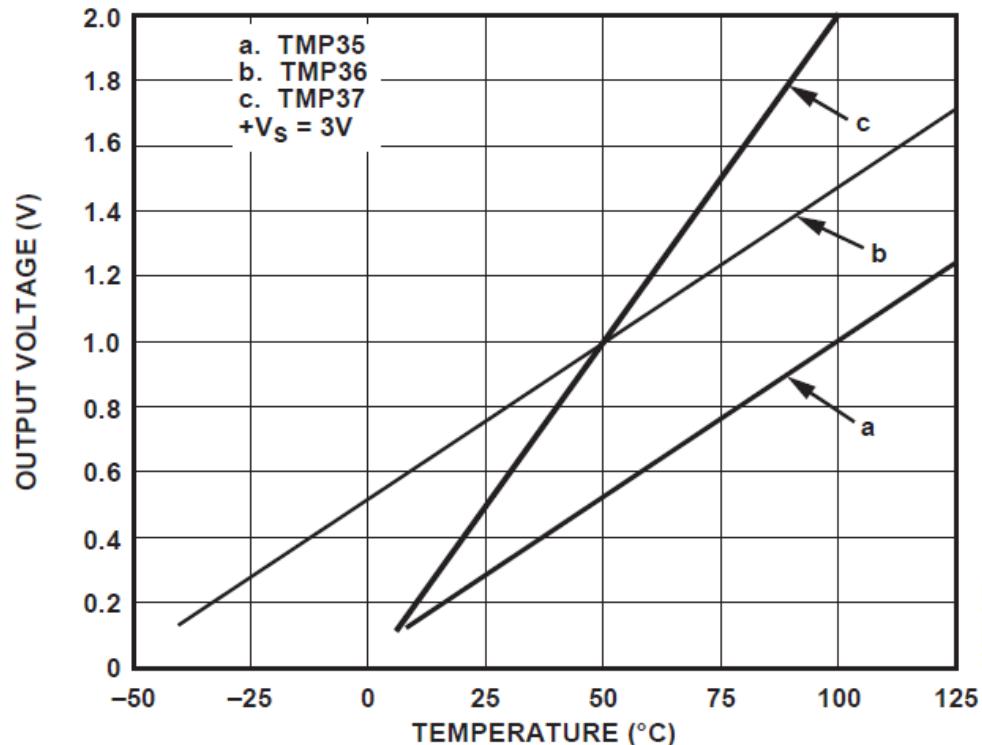
$+V_S$ (2.7V TO 5.5V)



Wyjście analogowe

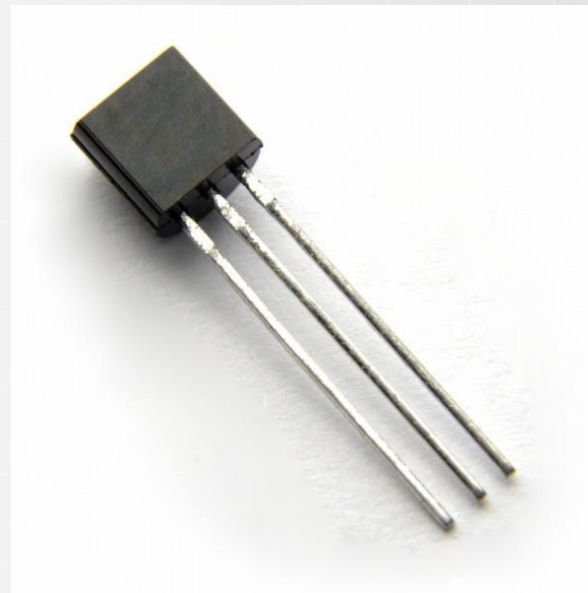
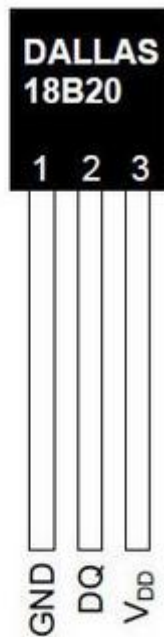
Dokładność: $\pm 0.5^\circ\text{C}$

Zakres: -40°C to $+125^\circ\text{C}$

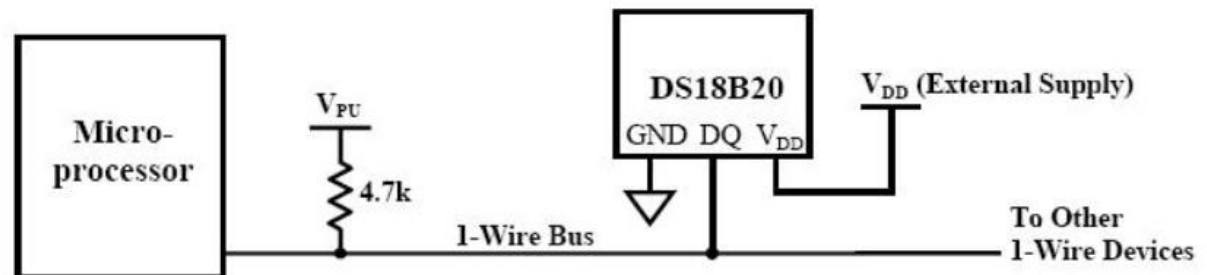


Cyfrowy czujnik temperatury

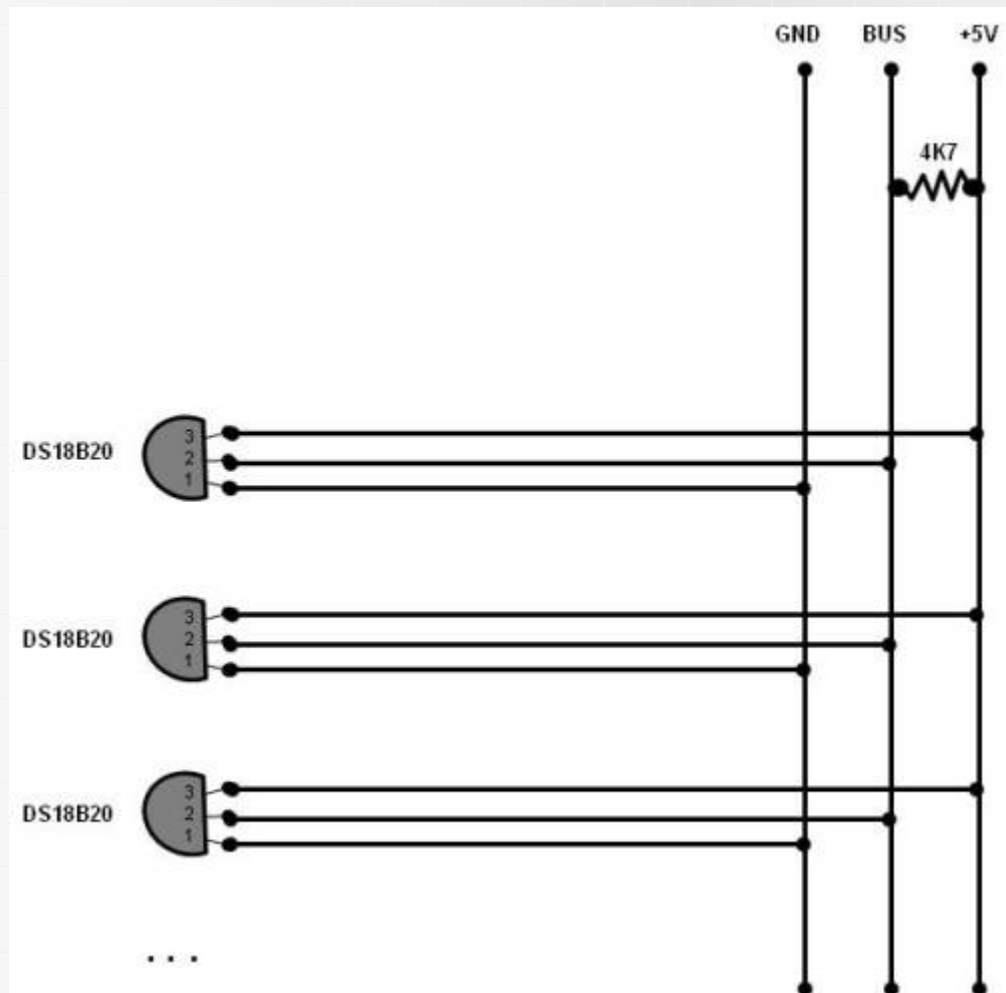
DS18B20 - Czujnik temperatury TO92



Komunikacja 1-Wire
Dokładność: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
Zakres: -10°C to $+85^{\circ}\text{C}$



Cyfrowy czujnik temperatury DS18B20 – wiele czujników



RD-623 WINSEN - Pirometr

Pomiar temperatury – podczerwień

- pomiar bezkontaktowy
- duży zakres pomiarowy, wysokie temperatury
- termowizja



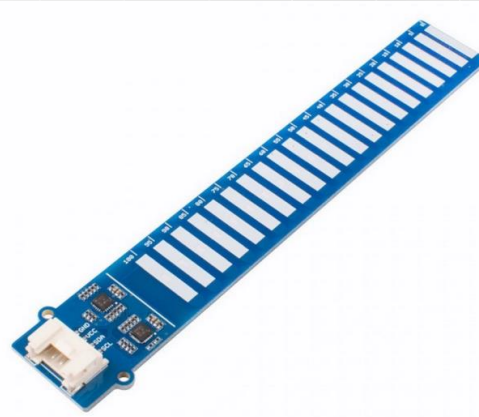
Układy pomiarowe – pomiar wilgotności gleby

Pojemnościowy

Wykrywanie pojemnościowe, zmiana wilgotności gleby powoduje zmianę mierzonej pojemności

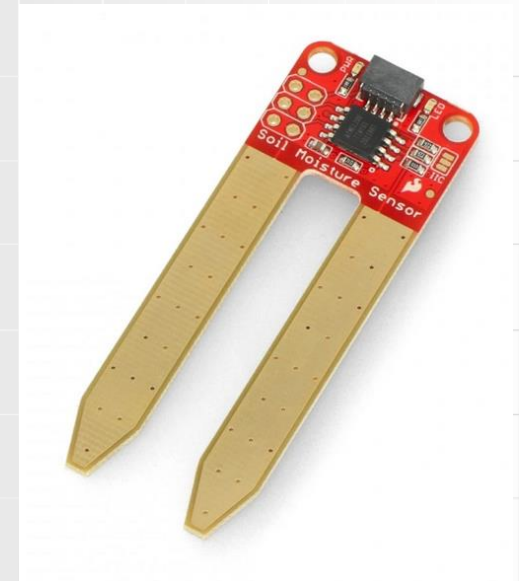


Poziom wody pojemnościowy



Rezystancyjny

Im więcej wody znajduje się w glebie, tym lepsza będzie przewodność między sondami, co skutkuje mniejszym oporem



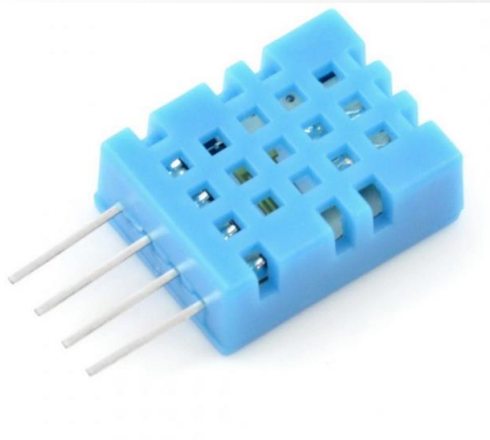
Układy pomiarowe – pomiar wilgotności

DTH11:

Temperatura: od - 20 °C do +60 °C

Dokładność: 2 °C

Wilgotność: od 5 % do 95 % RH

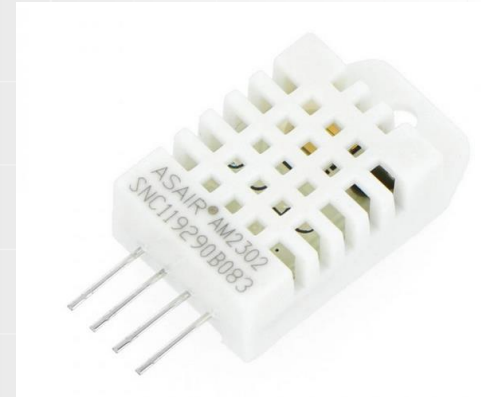


DTH22:

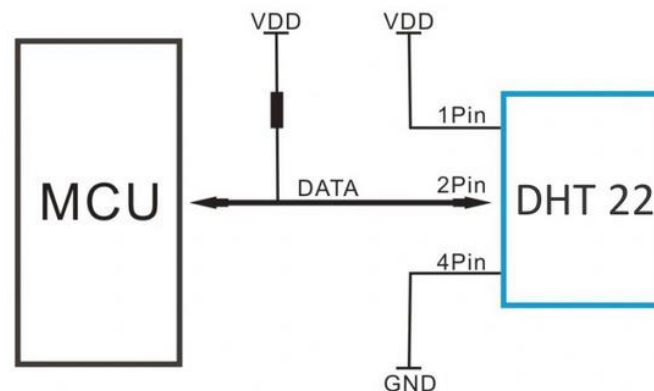
Temperatura: od - 40 °C do +80 °C

Dokładność: 0.5 °C

Wilgotność: od 0 % do 100 % RH

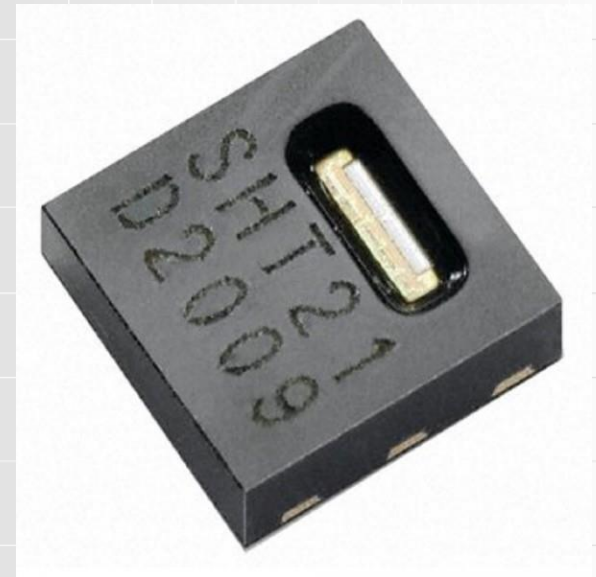


*RH - Wilgotność względna wyrażana w procentach. Jest to stosunek rzeczywistej wilgoci w powietrzu do maksymalnej jej ilości, którą może utrzymać powietrze w danej temperaturze.



SHT21 czujnik wilgotności i temperatury

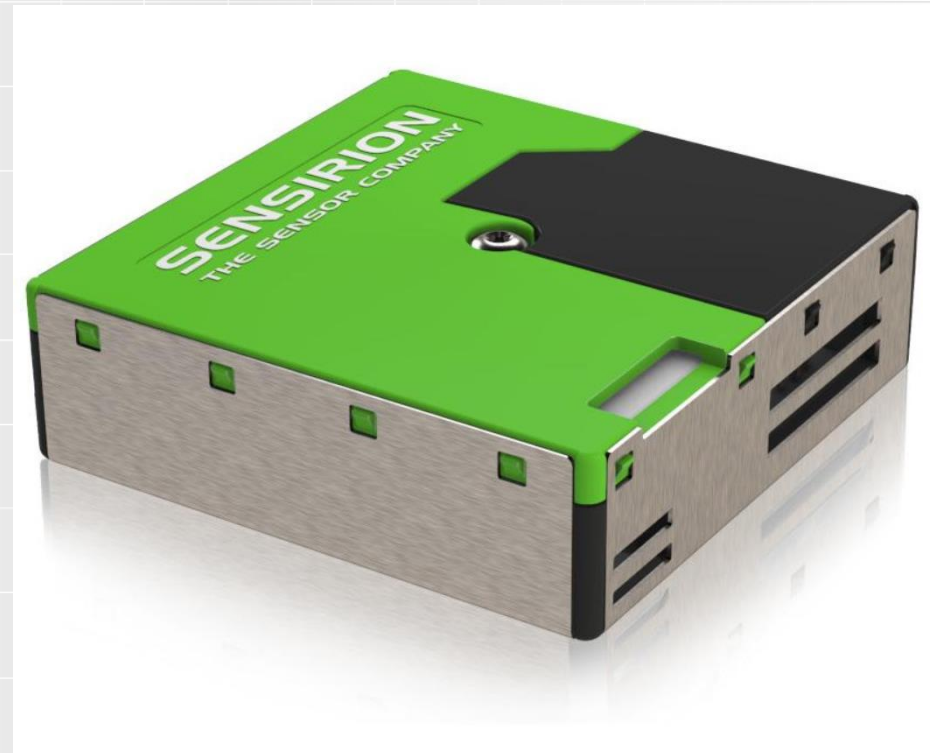
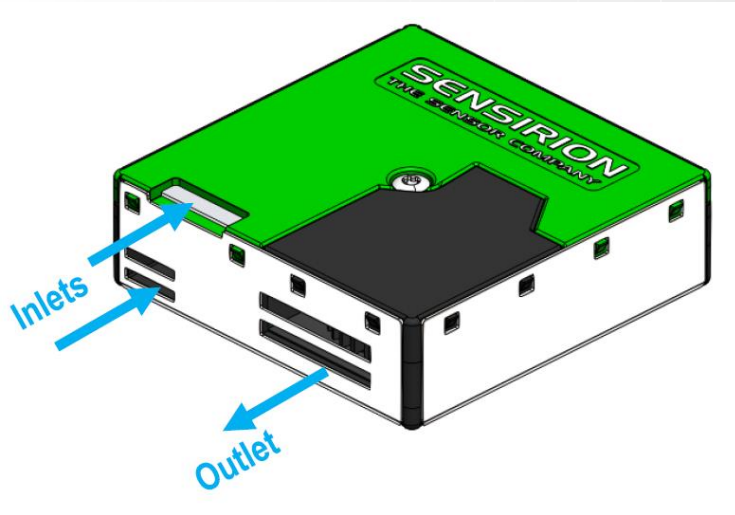
- Temperatura: od - 40 °C do +125 °C
- Dokładność: 0.3 °C
- Wilgotność: od 0 % do 100 % RH
- Interfejs: I2C
- Rozmiar: 3x3mm



Układy pomiarowe – cząsteczek stałych

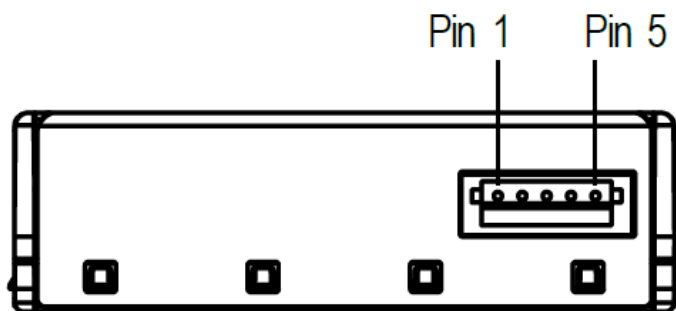
SPS30 czujnik pomiaru cząstek stałych PM1.0, PM2.5, PM4, PM10

- Temperatura pracy: od - 10 °C do +60 °C
- Interfejs: UART/I2C



Układy pomiarowe – cząsteczek stałych

SPS30 czujnik pomiaru cząstek stałych PM1.0, PM2.5, PM4, PM10

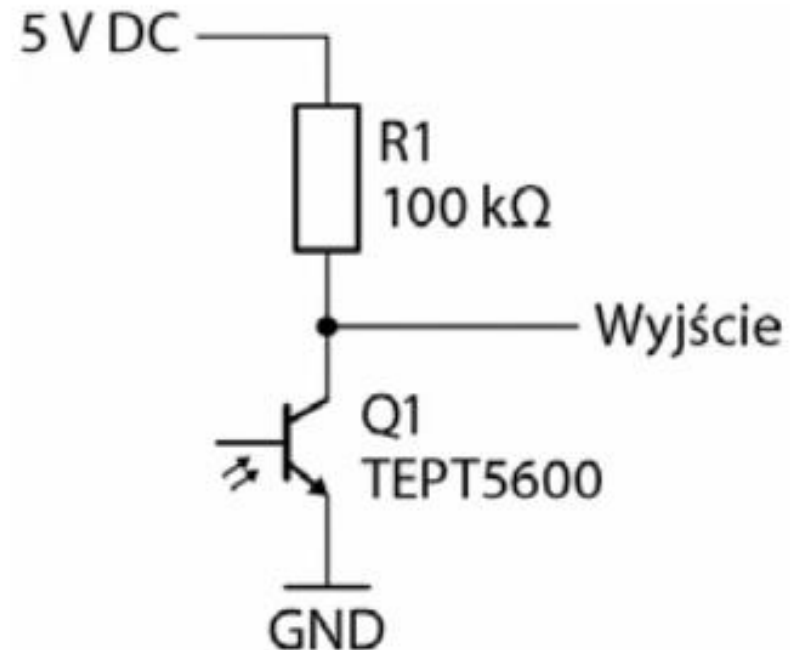


Pin	Name	Description	Comments
1	VDD	Supply voltage	5V ± 10%
2	RX	UART: Receiving pin for communication	TTL 5V and LVTTTL 3.3V compatible
	SDA	I ² C: Serial data input / output	
3	TX	UART: Transmitting pin for communication	TTL 5V and LVTTTL 3.3V compatible
	SCL	I ² C: Serial clock input	
4	SEL	Interface select	Leave floating to select UART
			Pull to GND to select I ² C
5	GND	Ground	Housing on GND

Układy pomiarowe – pomiar jasności

Fotorezystor, fototranzystor:

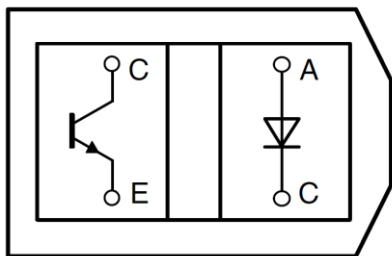
- pomiar światła
- wykrywanie dzień/noc
- bariera optyczna



Układy pomiarowe – pomiar jasności

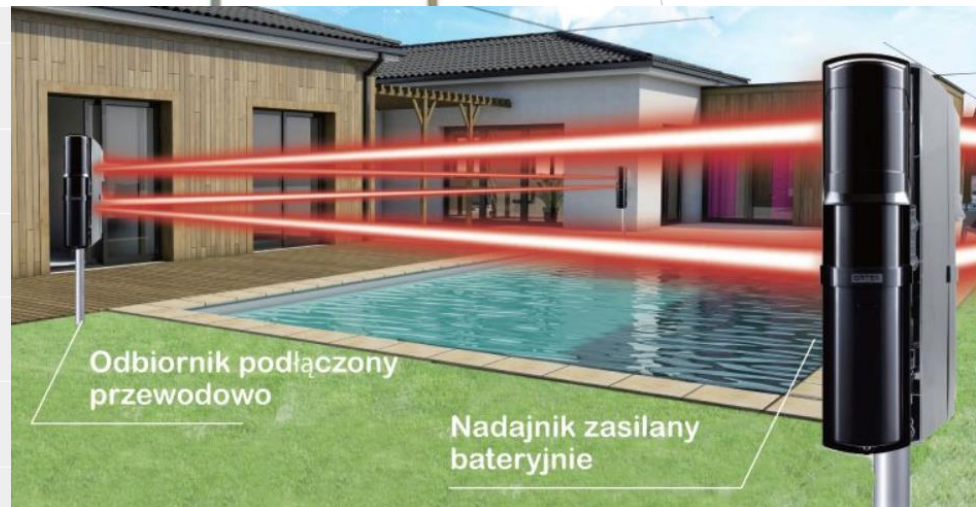
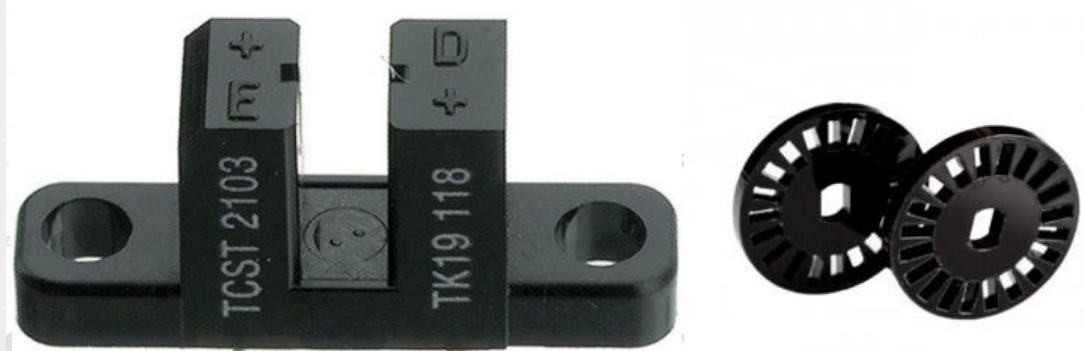
TCRT5000 Czujnik odbiciowy

- wykrywanie linii
- wykrywanie przedmiotów
- pomiar odległości



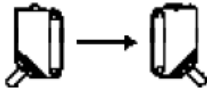
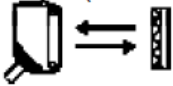
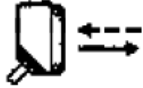
TCST2103 Transoptor szczelinowy

- bariera optyczna
- enkoder optyczny



Bariera podczerwieni

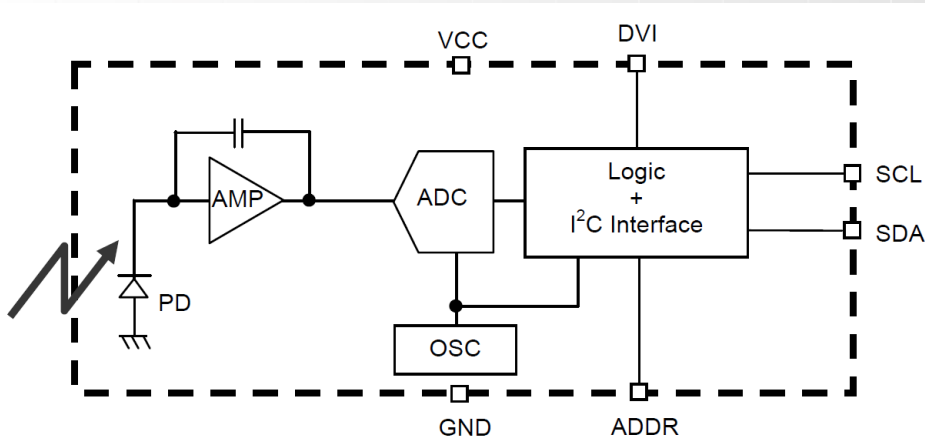


Sensing method	Light source	Appearance	Connection method	Sensing distance
Through-beam	IR		Pre-wired	15 m
			Connector	
Polarized retroreflective	RED	(See Note 1.) 	Pre-wired	100 mm to 4 m 100 mm to 3 m (See Note 2.)
			Connector	
Diffuse reflective	IR		Pre-wired	5 to 100 mm (wide view)
			Connector	
			Pre-wired	1 m
			Connector	

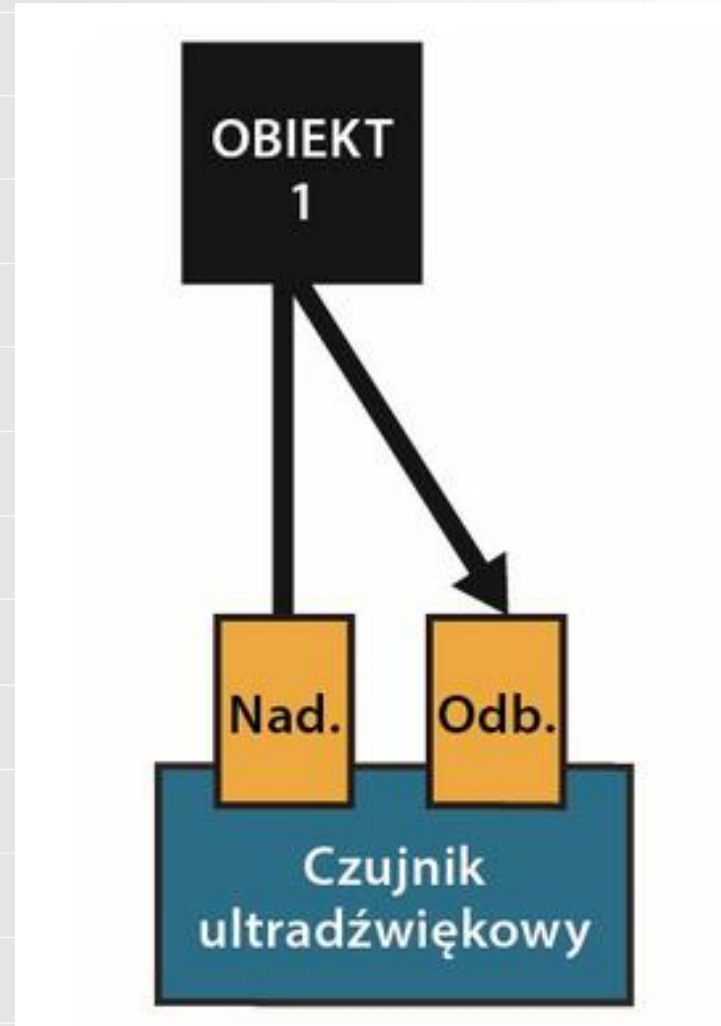
Układy pomiarowe – pomiar jasności

BH1750 - luxometr, luksomierz:

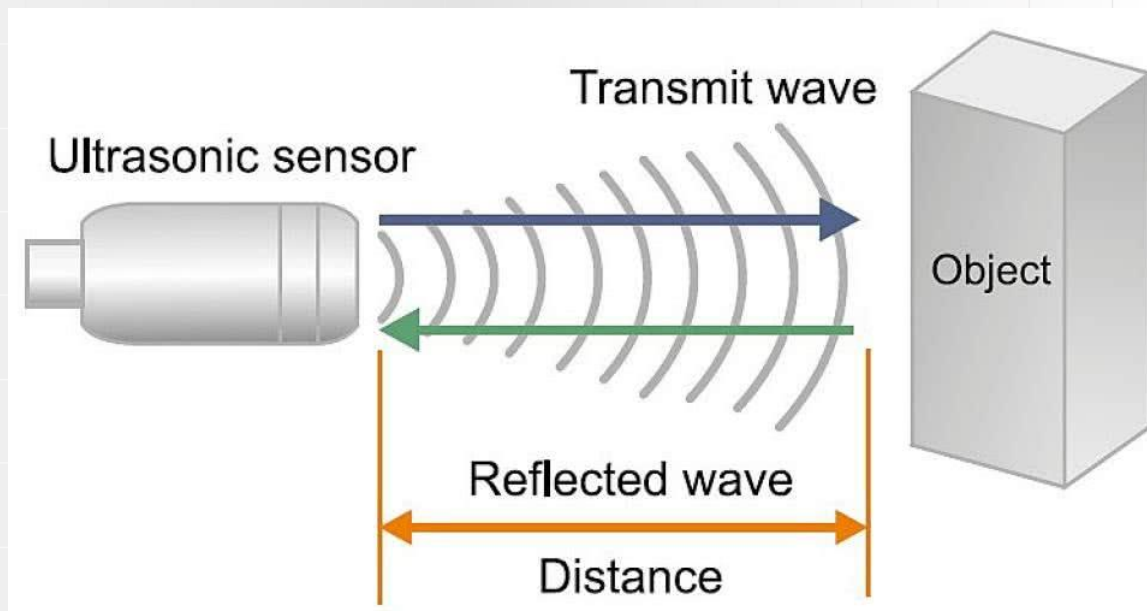
- Pomiar: 1 - 65535 lx
- Interfejs: I2C



Czujniki ultradźwiękowe



Czujniki ultradźwiękowe



$$\text{odległość} = \frac{v * t}{2}$$

v – prędkość dźwięku $340 \left[\frac{m}{s} \right]$

t – czas [s]

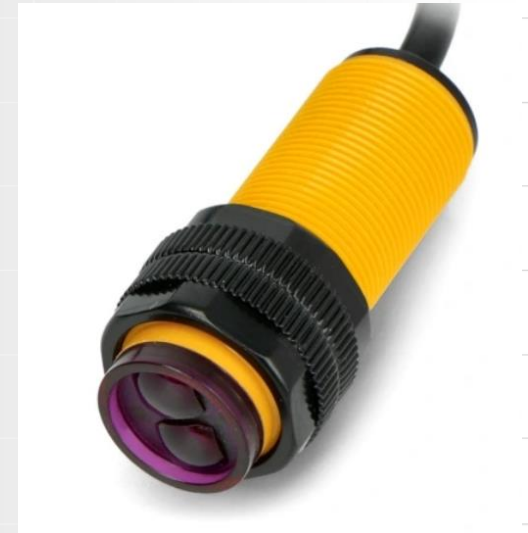
Zadanie:

$t=1\text{ms}$

odległość=?

Czujniki podczerwieni

- Sharp GP2Y0A02
- VL6180X
- E18-D80NK 5-80cm



Czujniki laserowe:

- duży zasięg pomiaru
- duża dokładność



Lidar – skanery laserowe



Czujniki indukcyjne, pojemnościowe

- małe odległości
- sygnał 1/0



Czujniki magnetyczne, kontraktron

- małe odległości
- sygnał 1/0
- systemy alarmowe



Układy pomiarowe – pomiar przyśpieszenia

Czujniki MEMS - Układy MEMS to połączenie mikroczujników, mikroprzetworników, mikroelektroniki i mikromechaniki, a wszystko to funkcjonujące w ramach jednej krzemowej struktury.

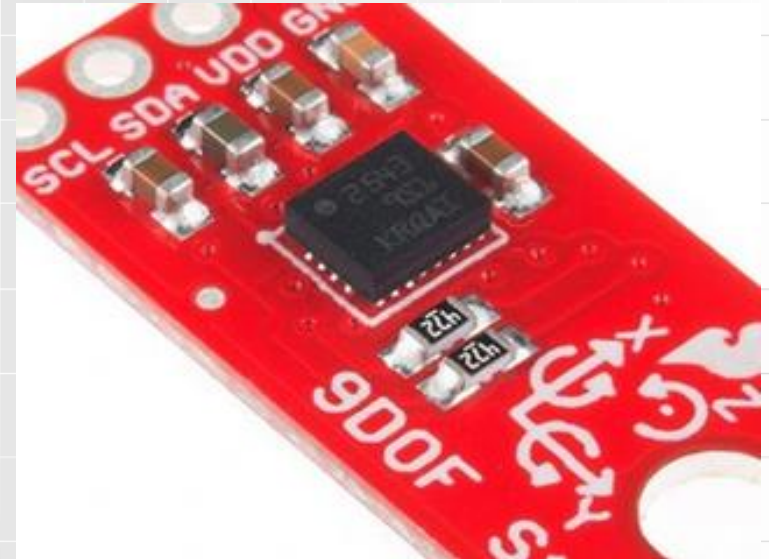
MPU6050:

- pomiar przyśpieszenia w 3 osiach
- pomiar prędkości obrotowej w 3 osiach
- pomiar temperatury



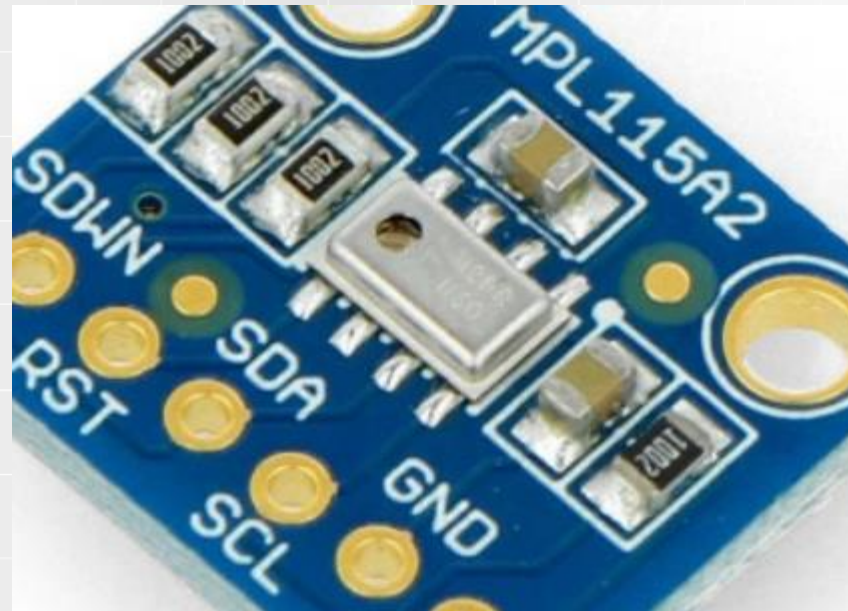
LSM9DS1 :

- pomiar przyśpieszenia w 3 osiach
- pomiar prędkości obrotowej w 3 osiach
- pomiar pola magnetycznego w 3 osiach
- pomiar temperatury



MPL115A2 :

- pomiar ciśnienia / wysokości
- pomiar temperatury

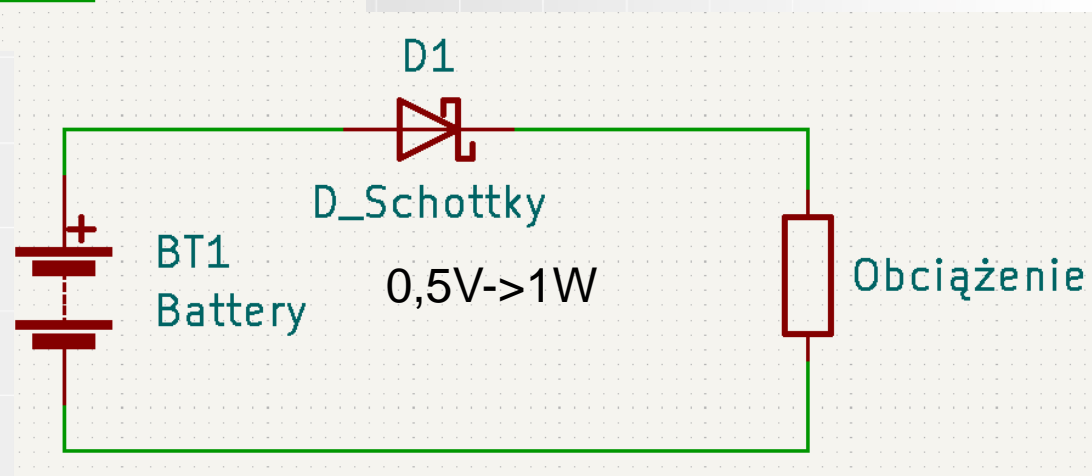
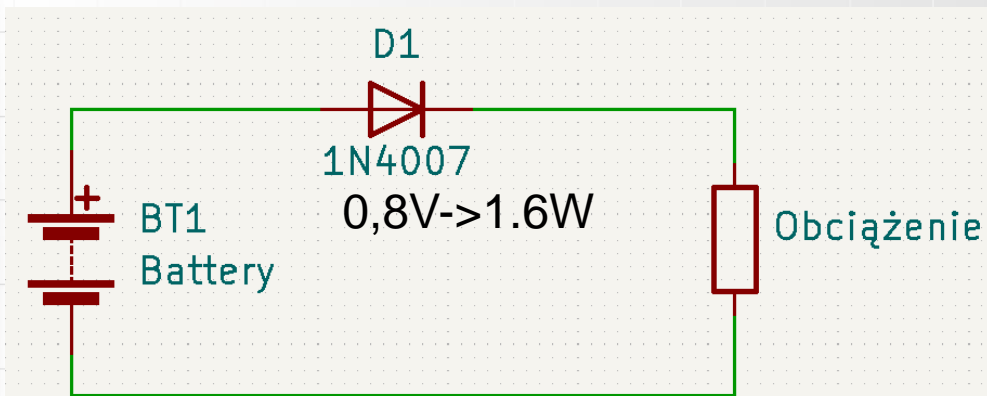




Zabezpieczenie układu

Przed odwrotną polaryzacją

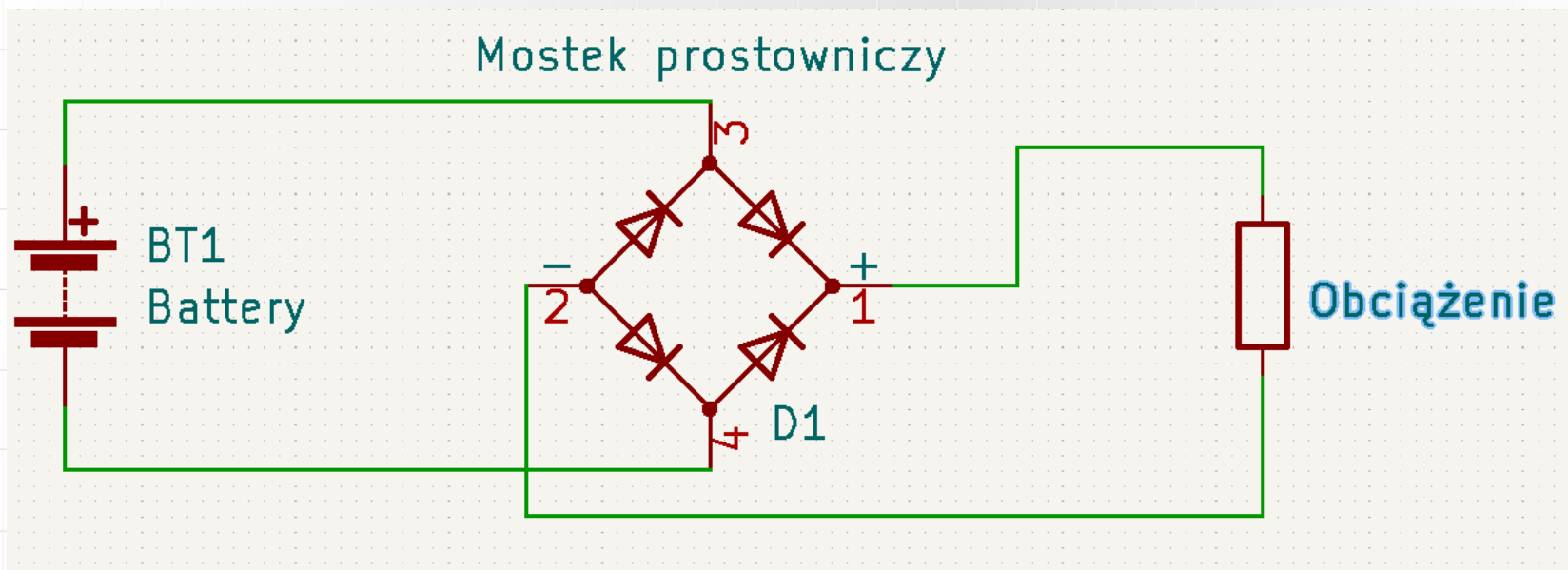
- Dioda prostownicza, dioda schottky



Zabezpieczenie układu

Przed odwrotną polaryzacją

- Mostek prostowniczy (mostek Graetza)

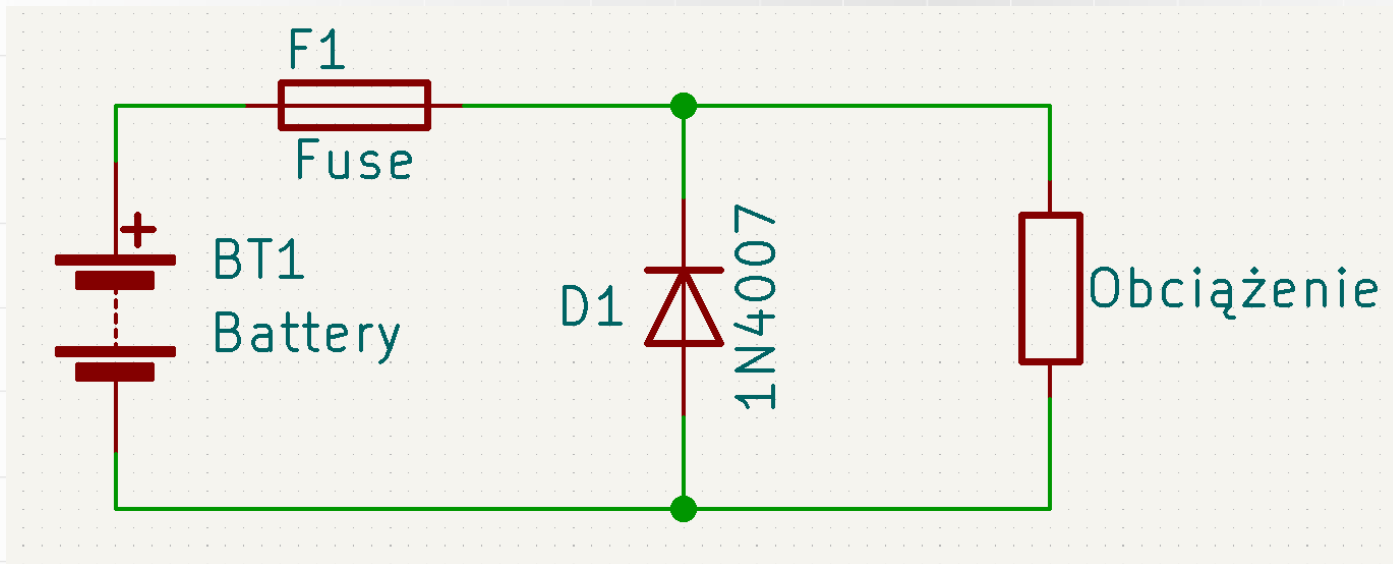


1.6V->3.2W

Zabezpieczenie układu

Przed odwrotną polaryzacją

- Dioda prostownicza + bezpiecznik

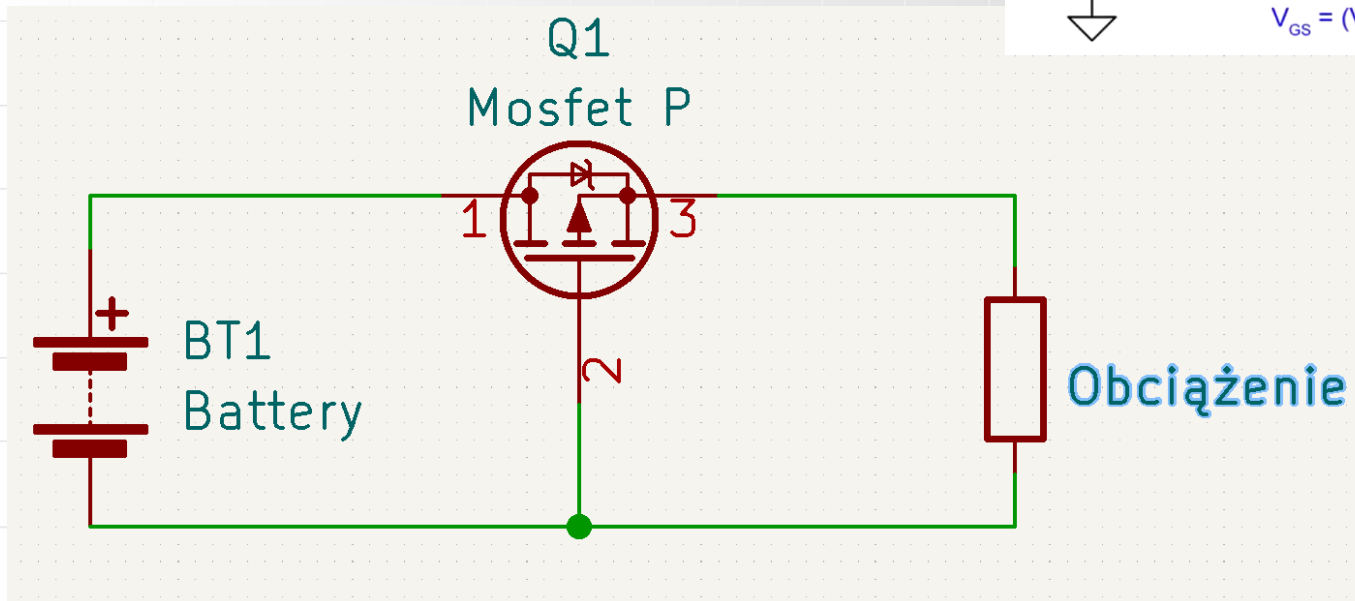
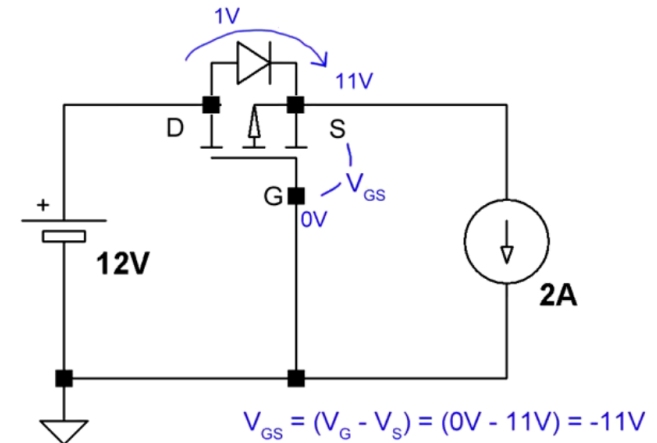


Ile razy zadziała układ?

Zabezpieczenie układu

Przed odwrotną polaryzacją

- Tranzystor mosfet P



0,025R->0,05V->0,1W



Kolokwium