

# Sensory w Aplikacjach Wbudowanych

## Sensory

## Podstawowe informacje

### W-1

---

Piotr Wiśniowski

Instytut Elektroniki AGH

[piotr.wisniowski@agh.edu.pl](mailto:piotr.wisniowski@agh.edu.pl)

**W-1 Sensory-podstawowe informacje**

**W-2 Sensory magnetyczne**

**W-3 Sensory magnetorezystancyjne**

**W-4 Aplikacje sensorów magnetycznych**

**W-5 Aplikacje sensorów magnetorezystancyjnych**

**Poznanie i zrozumienie roli sensorów  
w systemach wbudowanych oraz ich  
klasyfikacji, charakterystyk i parametrów**

## 1. Sensory w Systemach Wbudowanych

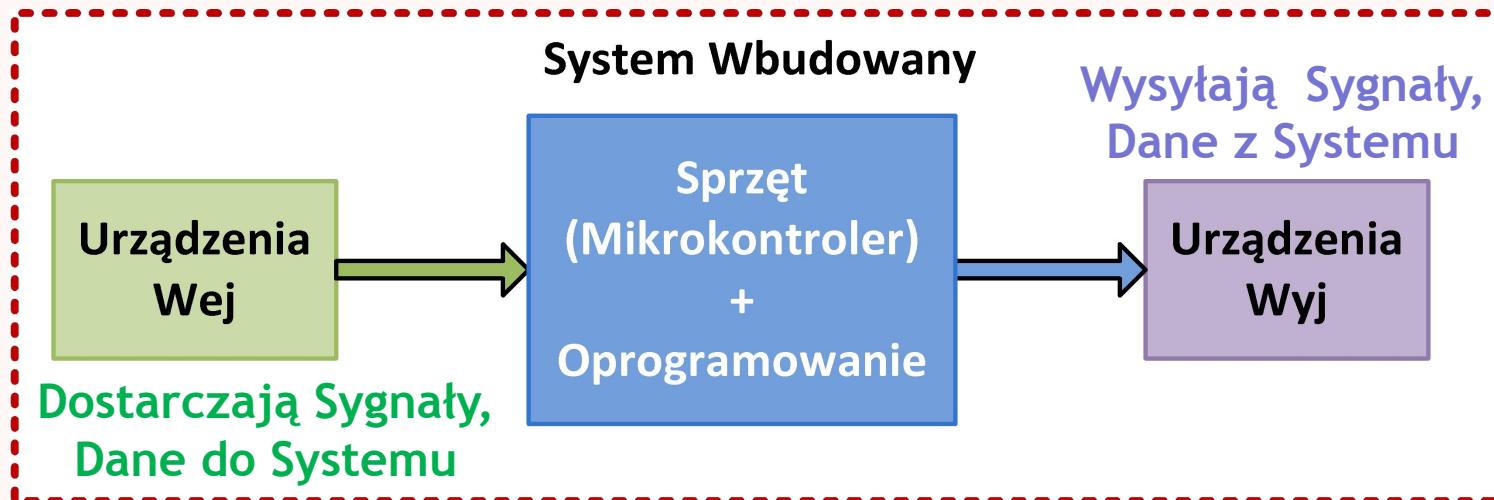
- > Systemy wbudowane
- > Sensory-urządzenia wejściowe

## 2. Sensory

- > Pojęcia, klasyfikacje
- > Charakterystyki, parametry

## System wbudowany

System komputerowy, który stanowi część większego systemu posiadający dedykowaną funkcjonalność i nie jest przeznaczony do niezależnego programowania



System zaprojektowany do wykonywania specjalizowanych zadań w ramach większego urządzenia

**Urządzenia**

Wej

**Czujnik**

**Klawiatura**

**Mysz**

.....

**Sprzęt**

**Mikroprocesor**

**Peryferia**

**Urządzenia**  
**Wyj**

**LCD**

**Aktuator**

.....

## Wspólne cechy systemów wbudowanych

- > Specjalizowane przeznaczenie
- > Ograniczone zasoby
- > Zintegrowane z urządzeniem
- > Zoptymalizowane oprogramowanie i sprzęt
- > Reakcja w czasie rzeczywistym
- > Interakcja z otoczeniem
- > Trudna aktualizacja

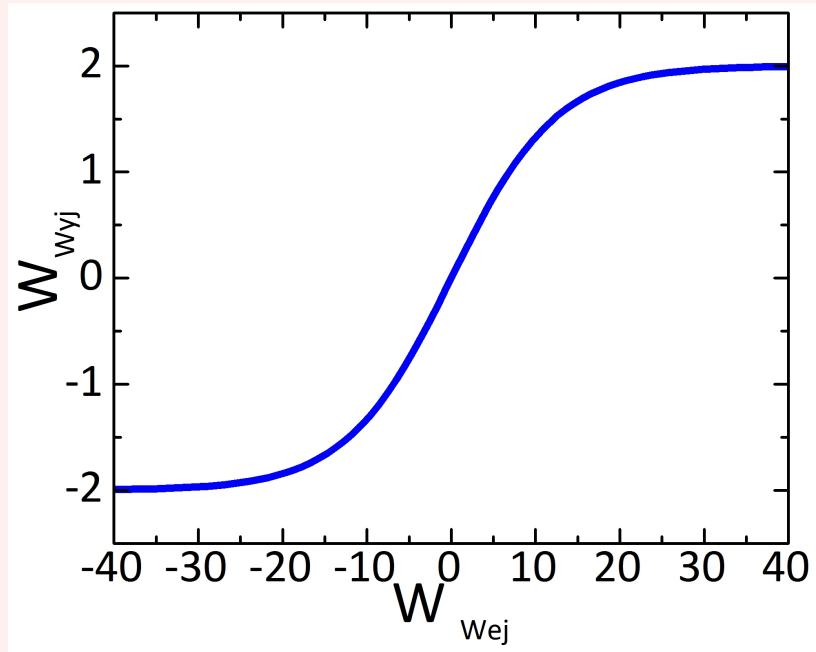
## Urządzenia Wejściowe-Sensory

Analogowe

Cyfrowe

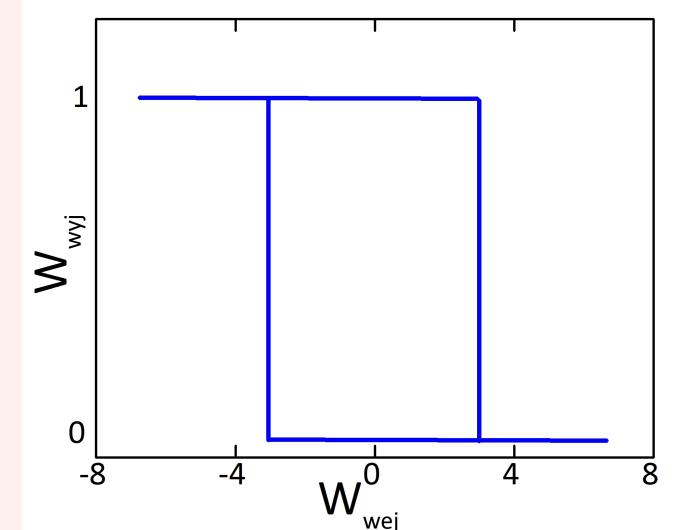
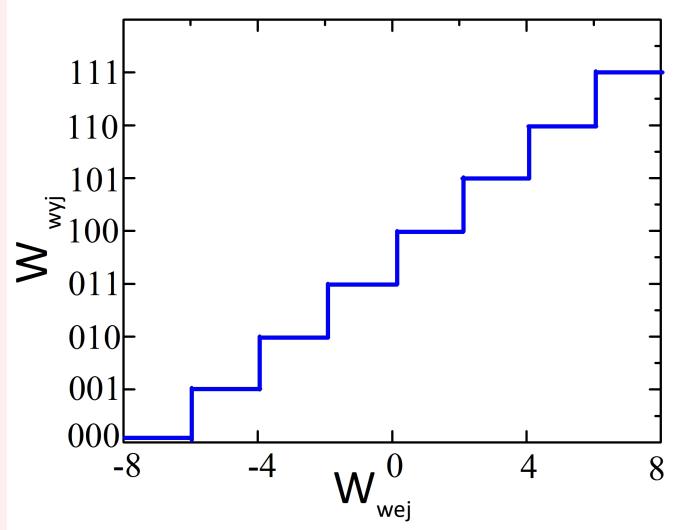
Pseudo-Cyfrowe

## Sensory Analogowe-Charakterystyka przetwarzania



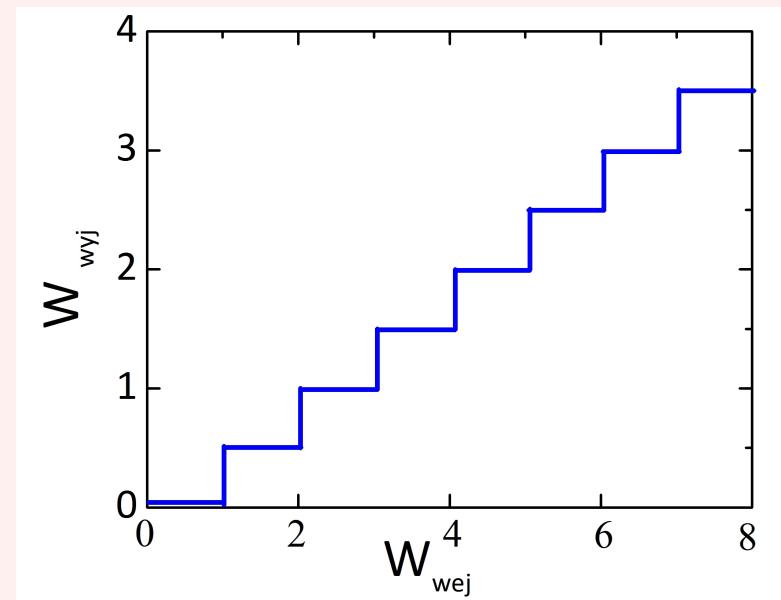
Wytwarzają ciągły sygnał wyjściowy ( $W_{wyj}$ ), który jest zasadniczo proporcjonalny do mierzonej wielkości wejściowej ( $W_{wej}$ )

## Sensory Cyfrowe-Charakterystyka przetwarzania



**Wytwarzają dyskretny sygnał wyjściowy ( $W_{wyj}$ ), który jest cyfrową reprezentacją wielkości wejściowej ( $W_{wej}$ )**

## Sensory Pseudo-Cyfrowe-Charakterystyka przetwarzania



Wytwarzają dyskretny sygnał wyjściowy ( $W_{wyj}$ ), który nie jest cyfrową reprezentacją wielkości wejściowej ( $W_{wej}$ )

## Sensory Analogowe

### Wielkość wyjściowa

- ▶ Napięcie
- ▶ Prąd
- ▶ Rezystancja
- ▶ Pojemność
- ▶ Ładunek
- ▶ Indukcyjność

## Sensory Cyfrowe

### Wielkość wyjściowa-protokół

- ▶ SPI
- ▶ I<sup>2</sup>C
- ▶ Microwire
- ▶ 1-wire
- ▶ UART

## Sensory Pseudo-Cyfrowe

### Wielkość wyjściowa-zmienny parametr

- ▶ Poziom
- ▶ Częstotliwość
- ▶ Okres
- ▶ Wypełnienie
- ▶ Przesunięcie fazowe
- ▶ Liczba impulsów
- ▶ Modulacja szerokości impulsu

1. Czym różni się system wbudowany od komputera osobistego?
2. Czy telefon komórkowy to system wbudowany? Dlaczego tak/nie?
3. Jakie są główne zalety i wady sensorów analogowych w porównaniu do cyfrowych?
4. W jakich przypadkach zastosowanie sensora analogowego może być bardziej korzystne niż sensora cyfrowego?
5. Które sensory analogowe czy cyfrowe wykazują większe szумy?

## 1. Sensory w Systemach Wbudowanych

- > Systemy wbudowane
- > Sensory-urządzenia wejściowe

## 2. Sensory

- > Pojęcia, klasyfikacje
- > Charakterystyki, parametry

## | 2. Sensory | Pojęcia

**Przetwornik** (transducer) element, który przekształca energię z jednej postaci w inną

**Czujnik** (sensor) to przetwornik, który czynnik pobudzający przetwarza na sygnał elektryczny

**Aktuator/Urządzenie wykonawcze** (actuator), urządzenie zdolne do wykonania fizycznego działania

## Sensors (Czujnik) vs Transducer (Przetwornik)

Określenia używane są zamiennie (synonimy)

**Każdy czujnik jest przetwornikiem**

**Nie każdy przetwornik jest czujnikiem**

### Zasady przetwarzania

#### **Generujące (Aktywne)**

generują sygnał elektryczny w wyniku działania czynnika pobudzającego i nie potrzebują dodatkowego źródła zasilania

termopara, fotodioda, piezoelement

#### **Modulujące (Pasywne)**

wymagają zewnętrznego zasilania do działania

sensor rezystancyjne, sensory magnetorezystancyjne

### Typ pomiaru

#### Absolutny

detekuje czynnik pobudzający w odniesieniu do absolutnej skali fizycznej

termistor - rezystancja jest bezpośrednio związana z absolutną temperaturą

#### Względny

generuje sygnał w odniesieniu do innego

termopara-generuje napięcie której jest funkcją różnicy temperatur w złączu przewodów

### Wielkości mierzonej

- ▶ **Akustyczne** (*amplituda fali, faza, polaryzacja*)
- ▶ **Biologiczne** (biomasa: elementy, koncentracje, stany)
- ▶ **Chemiczne** (związki elementy, koncentracja)
- ▶ **Elektryczne** (ładunek, natężenie prądu, napięcie, pole elektryczne, przewodność, przenikalność elektryczna)
- ▶ **Magnetyczne** (pole magnetyczne: amplituda, faza, strumień magnetyczny, przenikalność magnetyczna)
- ▶ **Optyczne** (amplituda, faza, polaryzacja, widmo, prędkość)
- ▶ **Mechaniczne** (położenie, prędkość, przyspieszenie, siła, naprężenie, masa, gęstość, przepływ, sztywność, lepkość)
- ▶ **Radiacyjne** (rodzaj, energia, natężenie)
- ▶ **Termiczne** (temperatura, ciepło właściwe, przewodnictwo)

### Formy/Typy sygnału wyjściowego

#### Analogowe

wytwarzają ciągły sygnał wyjściowy, który jest zasadniczo proporcjonalny do mierzonej wielkości

#### Cyfrowe

wytwarzają dyskretne cyfrowe sygnały wyjściowe, które są cyfrową reprezentacją mierzonej wielkości

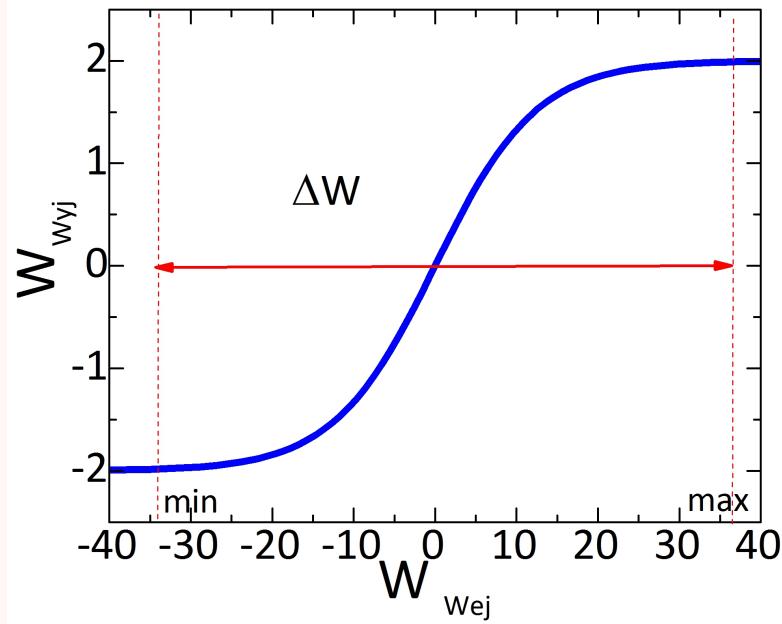
#### Pseudo-cyfrowe

wytwarzają dyskretne cyfrowe sygnały wyjściowe, które nie są cyfrową reprezentacją mierzonej wielkości

## | 2. Sensory | Charakterystyki, parametry

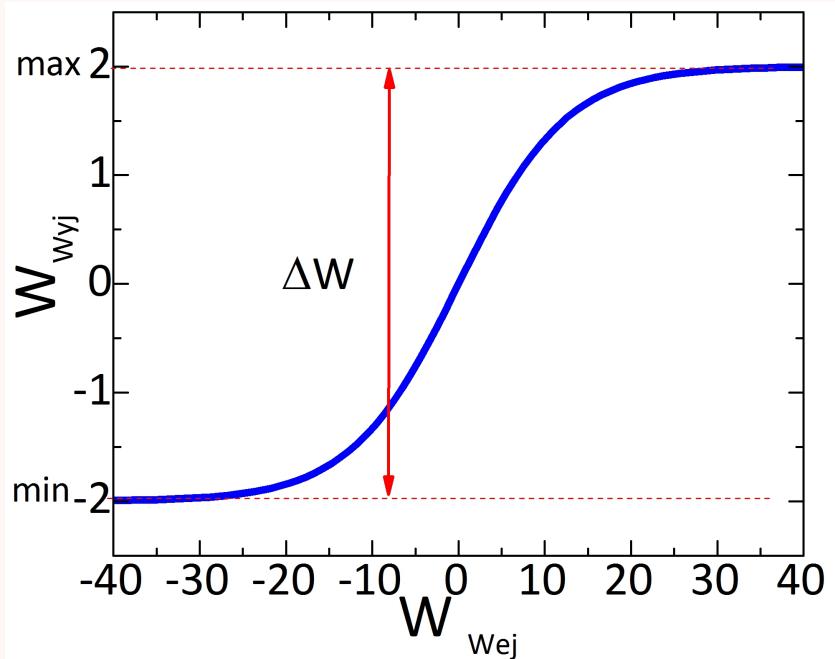
- ▶ Zakres pomiarowy
- ▶ Zakres dynamiczny
- ▶ Czułość
- ▶ Rozdzielczość
- ▶ Nieliniowość
- ▶ Histereza
- ▶ Napięcie zerowe (offset)
- ▶ Detekcyjność
- ▶ Poziom szumów/Charakterystyka szumowa
- ▶ Pasmo 3dB
- ▶ Odpowiedz czasowa

## Zakres pomiarowy



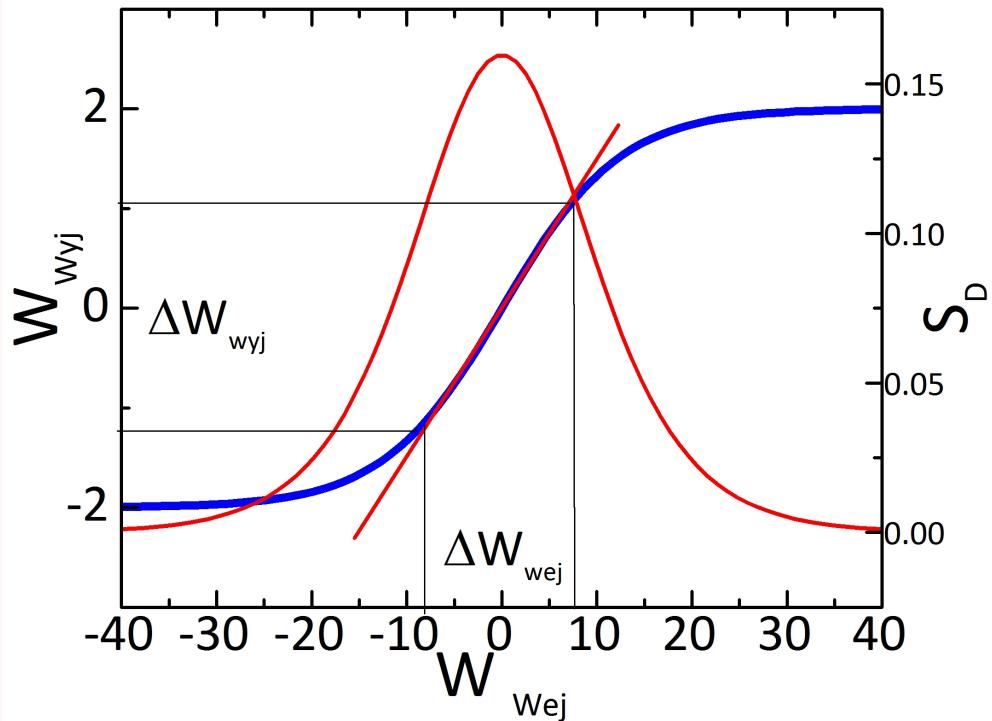
Maksymalna ( $W_{\text{wej}-\text{max}}$ ) i minimalna ( $W_{\text{wej}-\text{min}}$ ) wartość wielkości wejściowej dla której na wyjściu uzyskuje się zmianę sygnału

## Zakres dynamiczny



Różnica ( $\Delta W$ ) między maksymalną ( $W_{\text{wyj-max}}$ ) i minimalną ( $W_{\text{wyj-min}}$ ) wartością wyjściową

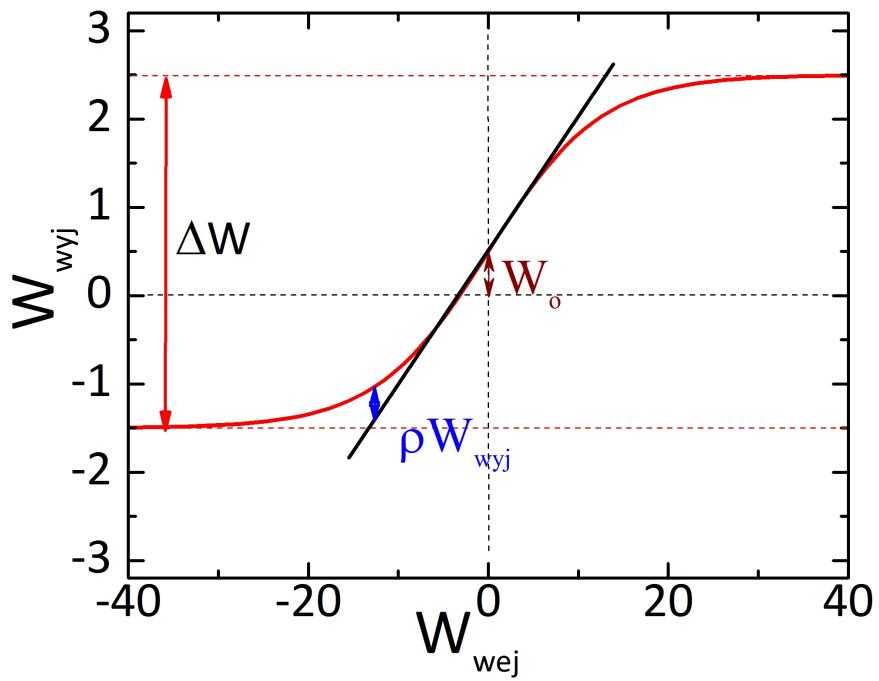
# Czułość



$$S_R = \frac{\Delta W_{wyj}}{\Delta W_{wej}}$$

$$S_D = \frac{dW_{wyj}}{dW_{wej}}$$

## Nieliniowość (%FS), Offset



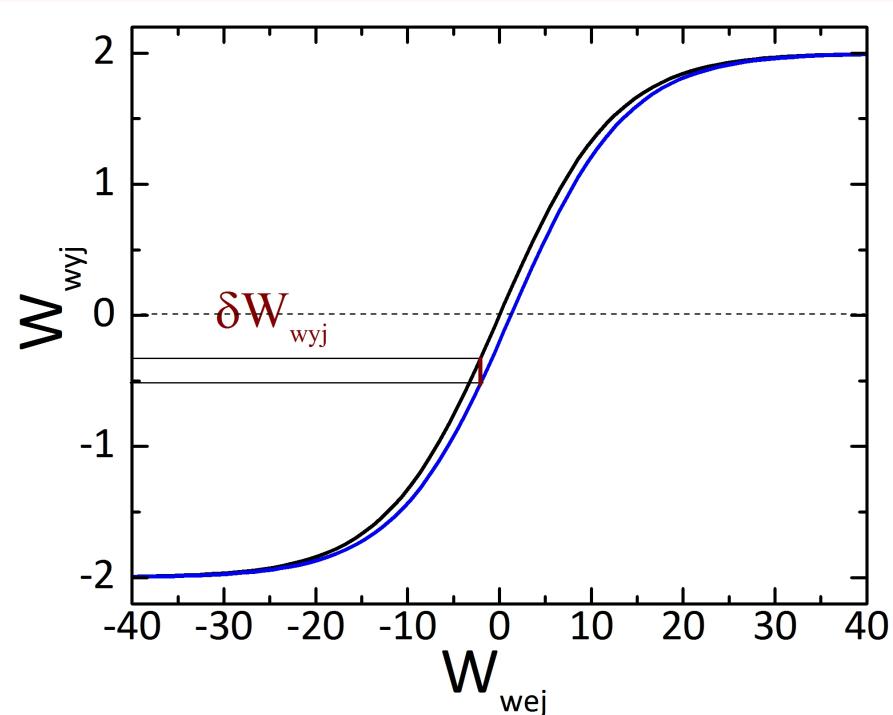
**Nieliniowość: NL (% FS)**

$$NL(\%FS) = \frac{\rho W_{\text{wyj}}}{\Delta W} \cdot 100$$

**Offset:  $W_0$**

$$W_0 = W_{\text{wyj}}(W_{\text{wej}} = 0)$$

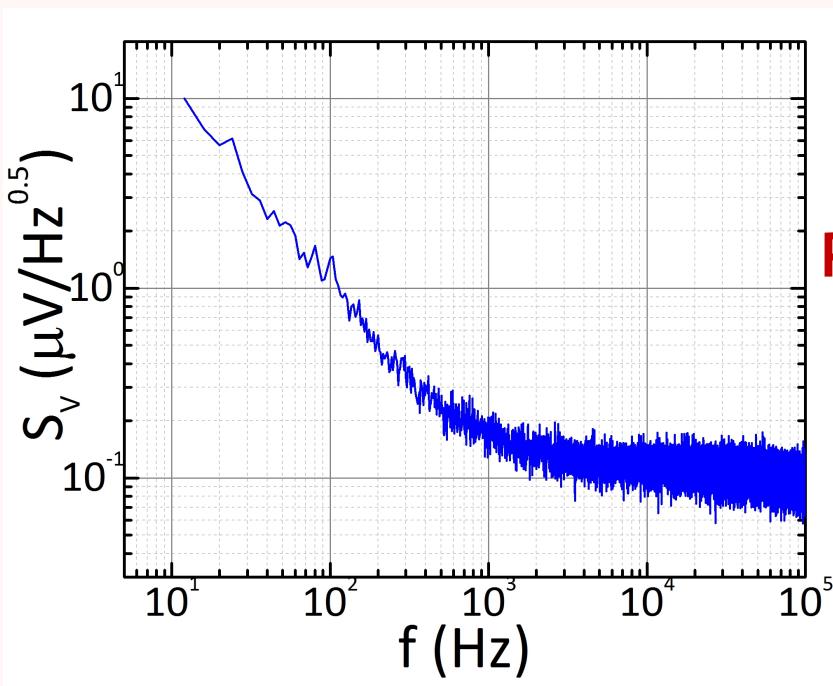
## Histereza



**Histereza: HS (% FS)**

$$HS(\%FS) = \frac{\delta W_{wyj}}{\Delta W} \cdot 100$$

## Charakterystyka szumowa/Poziom szumów



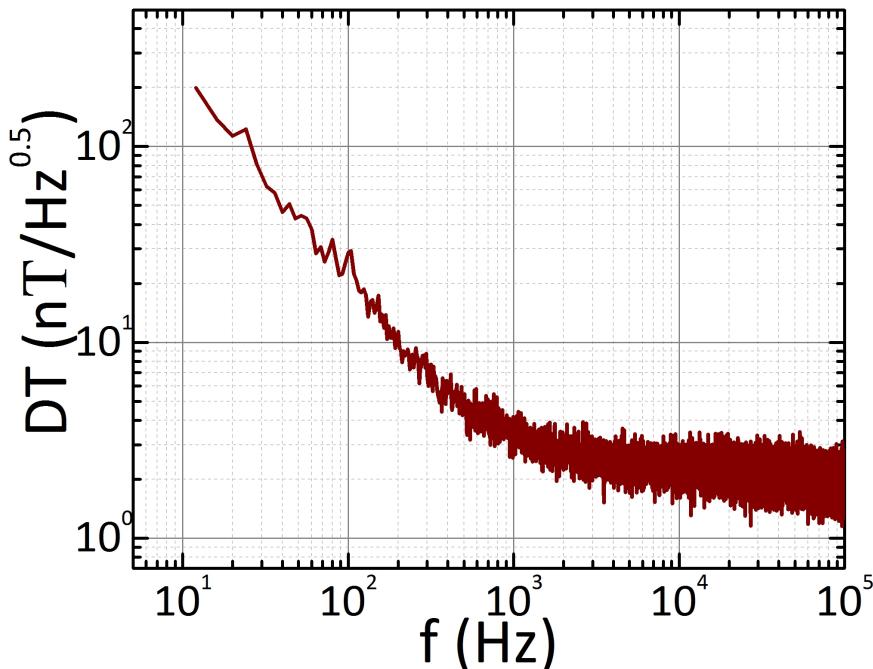
Widmowa gęstość szumów  $S_V(f)$

Poziom szumów w pasmie  $\Delta f$  ,  $U_{sz}(\Delta f)$

$$U_{sz}(\Delta f) = S_V \cdot \sqrt{\Delta f}$$

# Stosunek Sygnału do Szumu/Detekcyjność

## Stosunek Sygnału do Szumu (SNR)



$$SNR = \frac{U_{wyj}}{U_{sz}}$$

## Detekcyjność (DT)

$$SNR = 1 = DT$$

## Rozdzielczość

Najmniejsza wykrywalna przyrostowa zmiana wielkości wejściowej, jaką można wykryć w sygnale wyjściowym

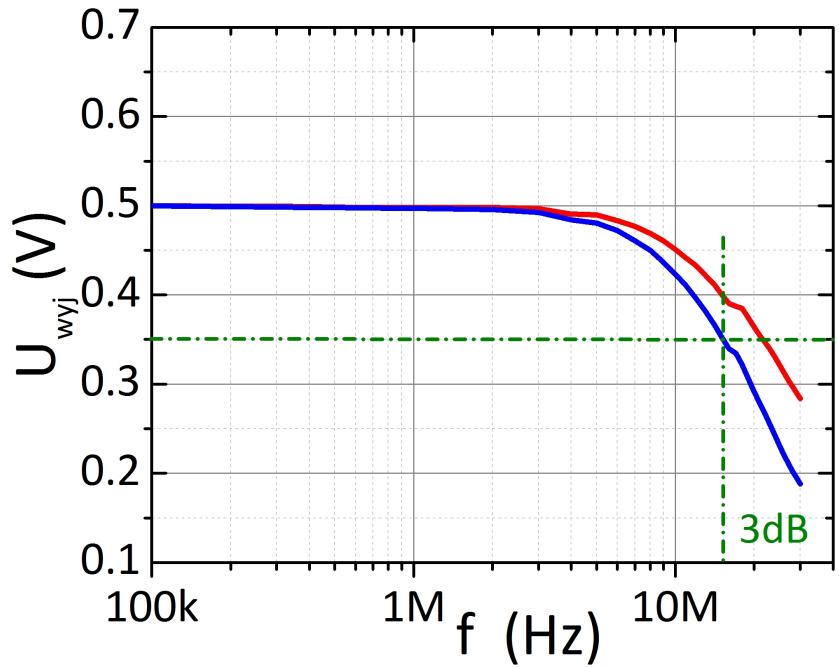
## Dokładność

Stopień zgodności zmierzonej wartości z rzeczywistą wartością wielkości mierzonej

## Precyzja

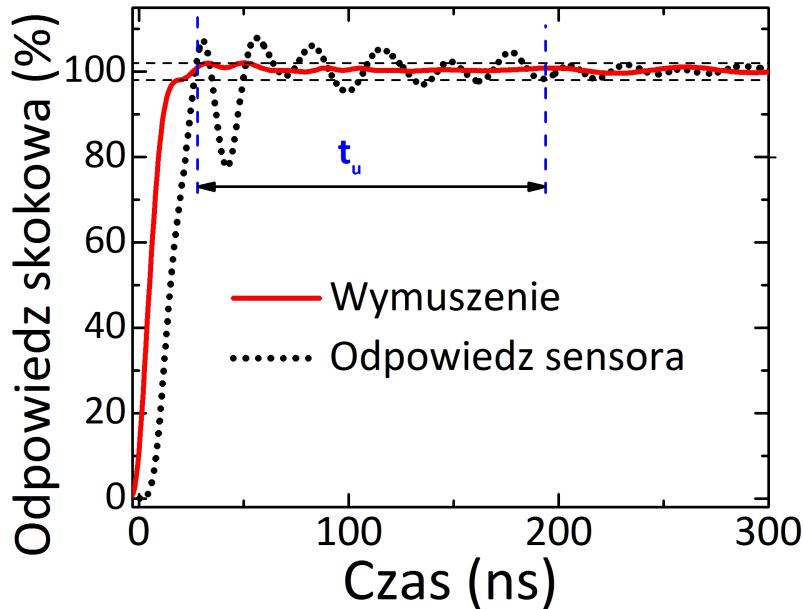
Stopień powtarzalności wyników pomiarów  
(Jak bardzo wyniki różnych pomiarów tej samej wielkości są do siebie zbliżone)

## Charakterystyka częstotliwościowa

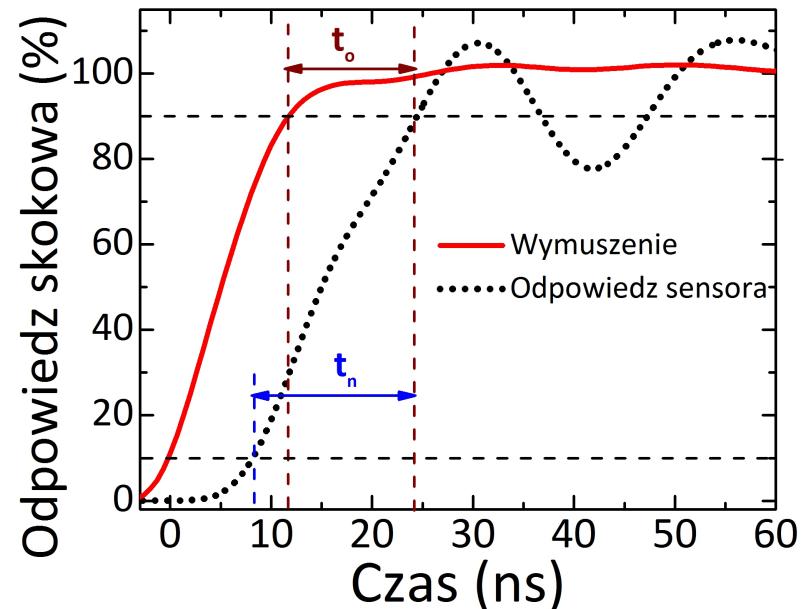


Częstotliwość /Pasmo 3dB ( $f_{3dB}$ )

## Odpowiedź czasowa



$t_u$ -czas ustalenia



$t_n$ -czas narastania  
 $t_o$  -czas odpowiedzi

### | 3. Pytania zadania |

1. Czym skutkuje pomiar poza zakresem pomiarowym sensora?
2. Wyjaśnij różnice między zakresem dynamiczny a zakresem pomiarowym sensora?
3. Jak rozdzielcość wpływa na dokładność pomiaru?
4. Czy jest możliwe korygowanie nieliniowość sensora?
5. Jak można zminimalizować efekty histerezy w sensorach?
6. Jakie właściwości sensora wpływają na jego detekcyjność?
7. Jakie mogą być konsekwencje, jeśli pasmo 3 dB sensora jest zbyt wąskie w określonej aplikacji?

### | 3. Pytania zadania |

Zad. 1

Bipolarny czujnik prądu ( $I$ ) zasilany napięciem  $+/-5\text{ V}$ , którego charakterystykę przetwarzania opisuje zależność

$V(I)=10(\text{mV}/\text{mA})I+5\text{mV}$ , wykazuje:

- nasycenie dla prądu  $+/- 50\text{ mA}$ ,
- nieliniowość maksymalną  $1\text{ mV}$ ,

Dla czujnika wyznaczyć:

- 1) wartość czułości w  $(\text{mV}/\text{mA}/\text{V})$
- 2) zakres zmiany napięcia wyjściowego w  $(\text{mV})$  dla  $V(-I)$  i  $V(+I)$
- 3) nieliniowość w  $(\% \text{ FS})$

### | 3. Pytania zadania |

1. Co oznacza czułość czujnika prądu i jak ją wyznaczyć?

Czułość opisuje, jak bardzo zmienia się napięcie wyjściowe czujnika w odpowiedzi na zmianę prądu wejściowego. Jest wyrażona w jednostkach mV/mA.

2. Jaki jest zakres zmian napięcia wyjściowego dla maksymalnych wartości prądu wejściowego (-50 mA i +50 mA)?

Zakres napięcia wyjściowego określa wartości  $V(-I)$  i  $V(+I)$  dla skrajnych prądów czujnika.

3. Co oznacza nieliniowość czujnika i jak ją wyznaczyć w % FS?

Nieliniowość to największe odchylenie napięcia wyjściowego od idealnej charakterystyki liniowej, wyrażone jako procent pełnej skali (FS - Full Scale, czyli zakres pomiarowy).

Dziękuję za uwagę