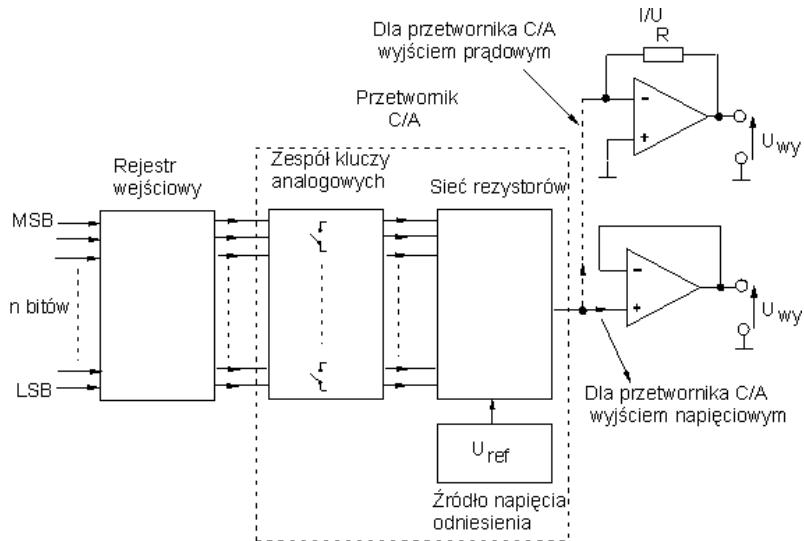


# PRZETWORNIKI C/A

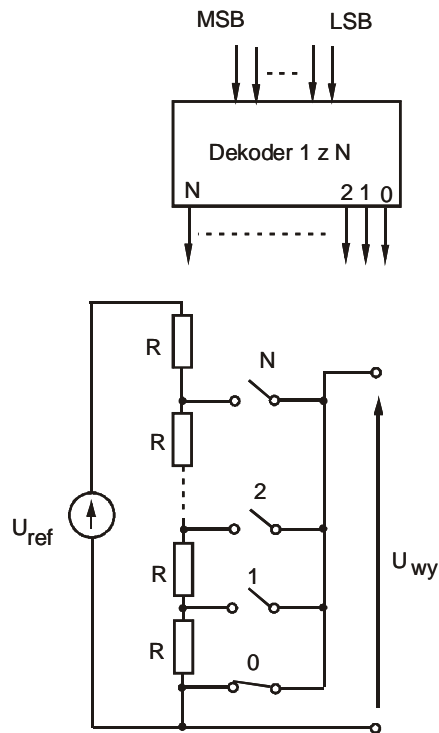
## 1. STRUKTURA PRZETWORNIKA C/A



## 2. PRZETWORNIKI C/A NAPIĘCIOWE

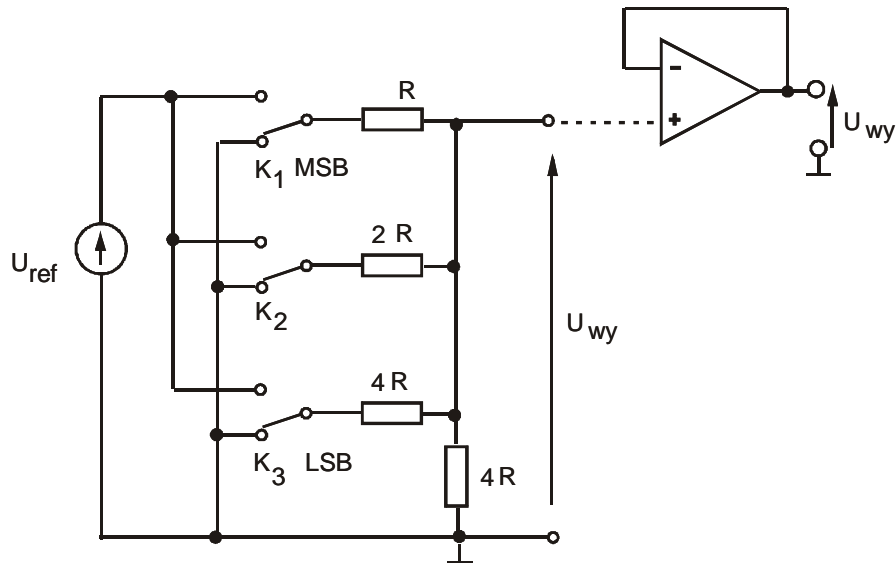
### 2.1. PRZETWORNIKI NAPIĘCIOWE Z DZIELNIKIEM NAPIĘCIOWYM I WYJŚCIEM NAPIĘCIOWYM

#### 2.1.1. Przetwornik C/A z drabinką równoległą

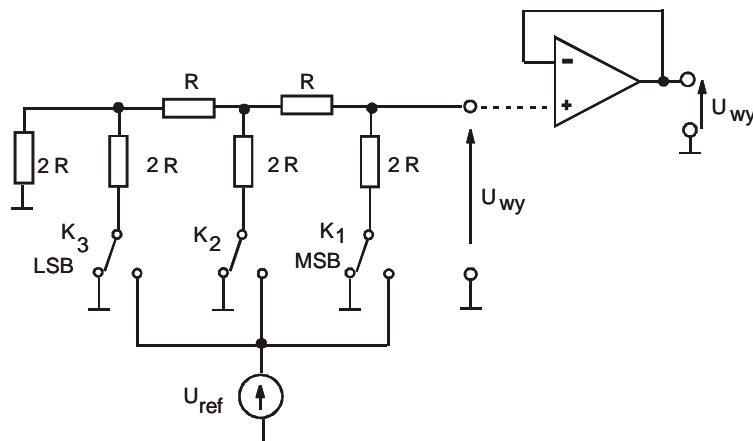


Ustawienia przełączników dla sytuacji, gdy  
binarny sygnał wejściowy ma na wszystkich  
pozycjach stan logiczny "0"

### 2.2.2. Przetwornik C/A z drabinką wagową



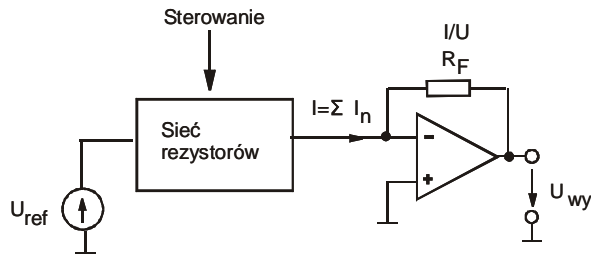
### 2.2.3. Przetwornik C/A z drabinką R-2R



Zalety:

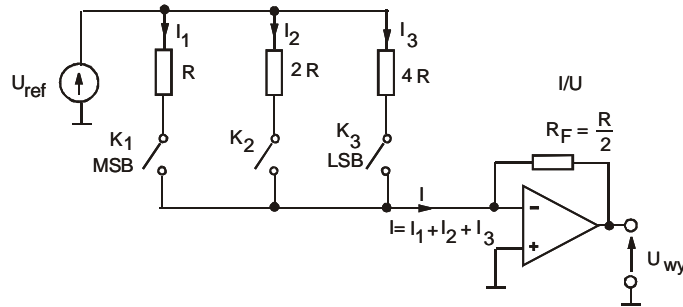
- zastosowano tylko dwie wartości rezystorów w drabince:  $R$  oraz  $2R$ , dzięki czemu łatwo można wykonać je w technologii układów scalonych (rezystor  $2R$  wykonuje się jako szeregowe połączenie  $R$  i  $R$ )
- Na parametry przetwarzania (zakres, rozdzielczość, błąd przetwarzania) ma wpływ jedynie dokładność zachowania stosunku wartości pary  $2R$  i  $R$ , a nie konkretne wartości – a więc dwa układy przetworników mogą mieć zupełnie inne wartości  $R$  np. w jednym  $R=10,00\text{ k}\Omega$ , a w drugim  $R=10,50\text{ k}\Omega$ , ale jeśli spełniony jest żądany stosunek  $R2/R1 = 2$ , to obydwa przetworniki mają identyczne parametry przetwarzania. Właściwość ta jest bardzo korzystna dla technologii układów scalonych, gdyż wykonanie identycznych wartości rezystancji w jednej strukturze jest łatwe, ale wykonanie rezystorów o identycznych wartościach w kilku różnych egzemplarzach jest kłopotliwe
- $R_{wy} = R = \text{const}$  i nie zależy od zadanego słowa kodowego, a zatem układ może współpracować bezpośrednio z rezystancją obciążenia  $R_0 = \text{const}$  bez konieczności stosowania wtórnika. Użytkownik może dobrać wartość rezystancji  $R_0$ , aby uzyskać pożądany zakres przetwarzania. W praktyce z oczywistych względów zalecane jest zastosowanie wtórnika lub wzmacniacza. Wspomniana właściwość dotycząca  $R_{wy}$  jest korzystna również dla współpracy wzmacniacza z drabinką R-2R, gdyż napięcie niezrównoważenia spowodowane wpływem prądów polaryzujących ma stałą wartość i wtedy łatwo je można skompensować za pomocą elementów służących do zerowania wzmacniacza

## 2.2. Przetworniki C/A z sumowaniem prądów



Rys. Schemat ogólny przetwornika C/A z sumowaniem prądów

### a) Wersja uproszczona



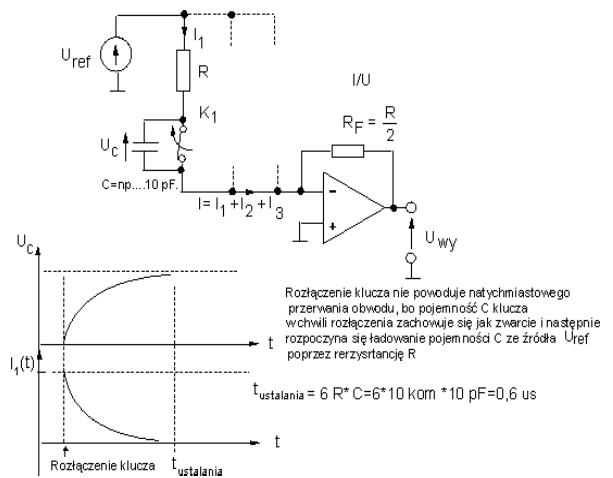
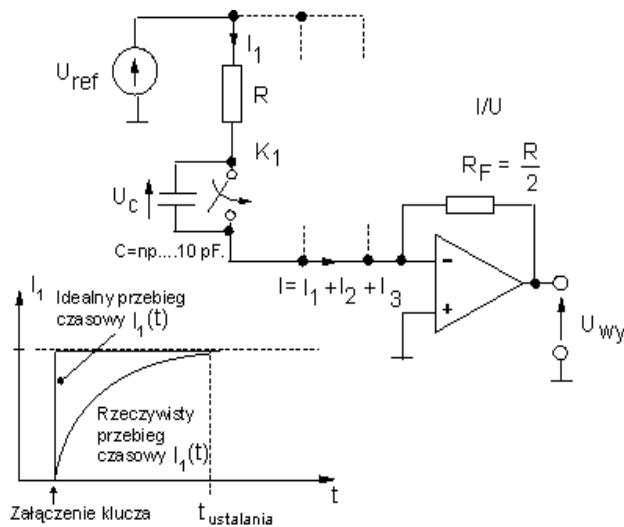
$$U_{wy} = -I \cdot R_F = -I \cdot \frac{R}{2}$$

$$U_{wy} = -(I_1 + I_2 + I_3) \cdot \frac{R}{2} = -\left(\frac{U_{ref}}{R} \cdot k_1 + \frac{U_{ref}}{2R} \cdot k_2 + \frac{U_{ref}}{4R} \cdot k_3\right) \cdot \frac{R}{2} =$$

$$= -U_{ref} \left(\frac{1}{2} \cdot k_1 + \frac{1}{4} \cdot k_2 + \frac{1}{8} \cdot k_3\right) = -U_{ref} \cdot N_2$$

Wady:

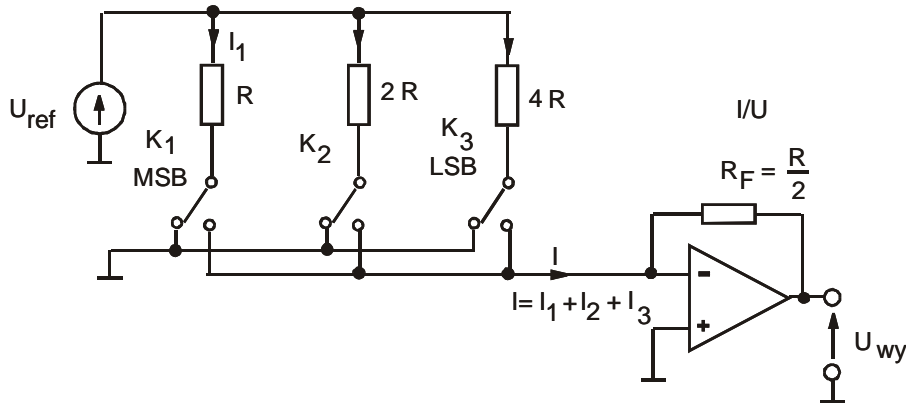
- W wyniku przeładowywania pojemności pasozytniczych kluczy zmniejsza się prędkość działania przetwornika



$$t_{ustalania} = 6 R_{on} C = 6 \cdot 10 \text{ om} \cdot 10 \text{ pF} = 0,6 \text{ ns}$$

- q Przy założeniu różnych kombinacji kluczy rezystancja wejściowa przetwornika „widziana” przez  $U_{ref}$  ulega zmianom. W konsekwencji źródło  $U_{ref}$  obciążane jest prądami o znacznie różniących się wartościach

### b) wersja udoskonalona



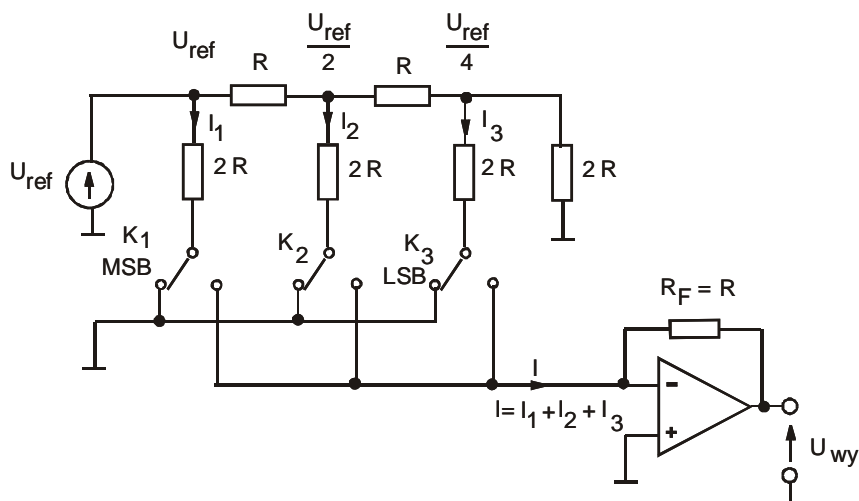
#### Zalety:

- Eliminacja problemu przeładowywania pojemności klucza – obydwie okładki kondensatora mają identyczny potencjał masy niezależnie od położenia klucza
- Rezystory wagowe mają znacznie różniące się wartości rezystancji, przy czym dla najbardziej znaczącego bitu wartość rezystancji jest duża (nawet rzędu kilku  $M\Omega$ ). Stanowi to istotny problem wykonawczy dla realizacji przetwornika w technologii układów scalonych

#### Wady:

- $U_{ref}$  „widzi” różne wartości  $R_{we}$  w zależności od zadanego słowa cyfrowego sygnału wejściowego. Źródło referencyjne obciążone jest różnymi wartościami prądów, a więc wymagana jest pomijalnie mała wartość rezystancji wewnętrznej tego źródła.

### c) Przetwornik C/A z sumowaniem prądów z drabinką R-2R



#### Zalety:

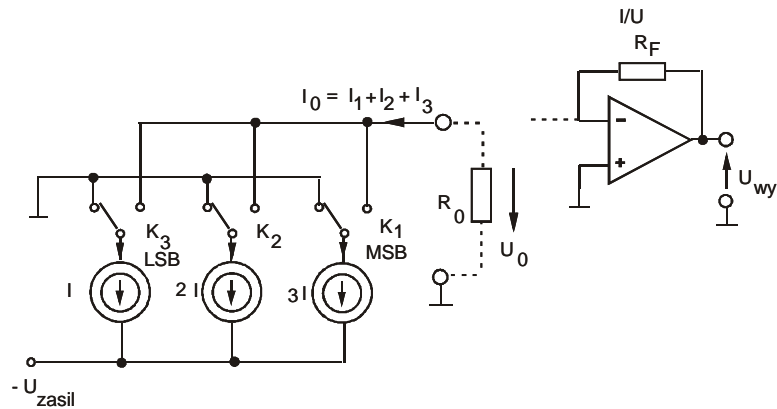
- Zastosowanie tylko dwóch wartości rezystorów R i 2R – korzystne ze względu na wymagania technologii układów scalonych
- $U_{ref}$  „widzi”  $R_{we} = R$

#### Wada

- :Wartość  $R_{wy}$  drabinki zależy od wartości słowa kodowego

## 2.3. Przetwornik C/A z przełączaniem prądów ze źródeł prądowych wartościach wagowych

### Układ i zasada działania



$$I_0 = 2^n \cdot I \cdot (k_1 \cdot \frac{1}{2} + k_2 \cdot \frac{1}{2^2} + \dots + k_n \cdot \frac{1}{2^n})$$

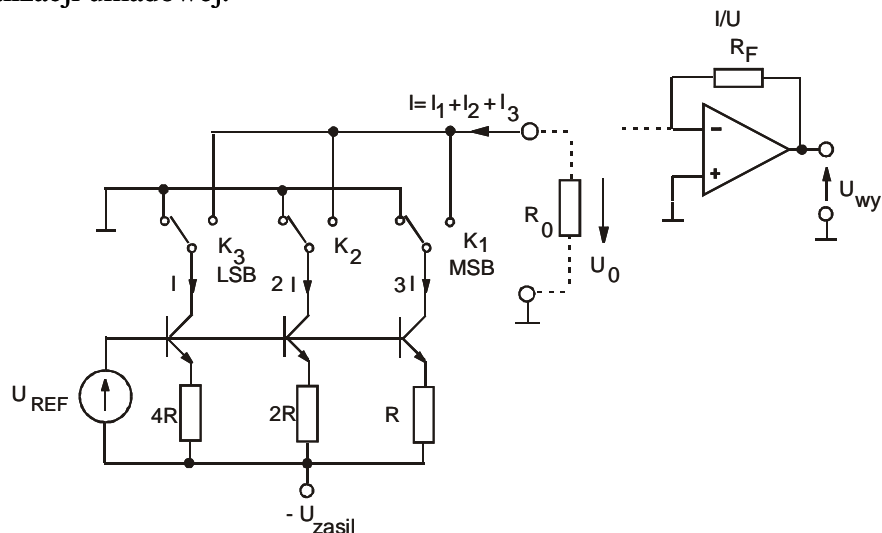
Na przykład dla 3-bitowego przetwornika C/A

$$I_0 = 2^3 \cdot I \cdot (k_1 \cdot \frac{1}{2} + k_2 \cdot \frac{1}{2^2} + k_3 \cdot \frac{1}{2^3})$$

### Właściwości

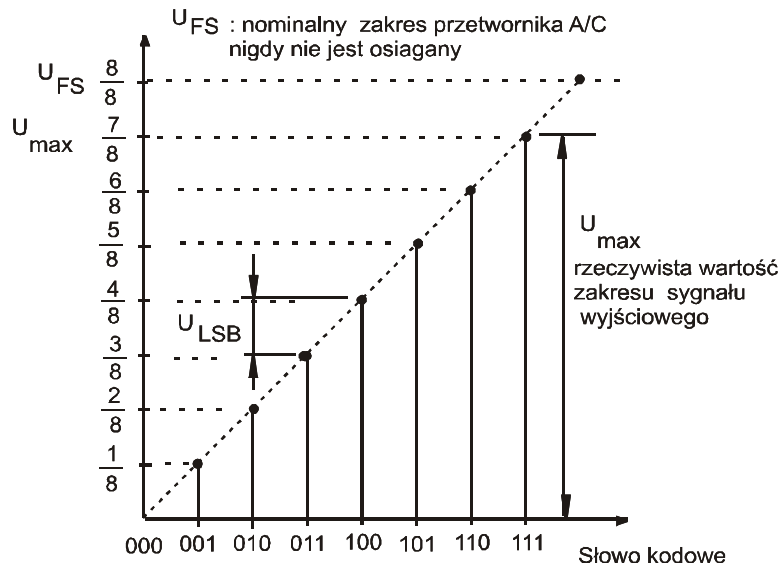
- Przetwornik może być obciążony bezpośrednio rezystancją  $R_0$ , gdyż wartość tej rezystancji nie oddziałuje na prąd  $I_0$  w przewodzie zbiorczym, wpływa jedynie na zakres napięciowy przetwornika, a zatem istnieją rygorystyczne wymagania odnośnie stałości wartości  $R_0$ .
- Zastosowanie przetwornika I/U zapewnia separację obciążenia od przetwornika, przy czym o zmianie zakresu decyduje dobór wartości rezystora  $R_F$ . Takie rozwiązanie jest najczęściej stosowane w praktyce...

Przykład realizacji układowej:



## PARAMETRY PRZETWORNIKÓW C/A

### 1. Zakres, napięcie maksymalne sygnału wyjściowego, rozdzielczość



Rys. Charakterystyka przejściowa przetwornika C/A

a) Zakres przetwarzania  $U_{FS}$  (inna nazwa: napięcie pełnej skali) przetwornika C/A (pełna skala – full scale)

Napięcie pełnej skali nigdy nie jest osiągnięte przez sygnał wyjściowy.

W wielu rozwiązaniach konstrukcyjnych :

$$U_{FS} = U_{ref}$$

b) maksymalne napięcie wyjściowe  $U_{max}$

$$U_{max} = U_{FS} - U_{LSB}$$

gdzie:

$U_{LSB}$  - krok kwantowania (rozdzielczość napięciowa przetwornika) Często oznaczany jest także jako LSB.

$$U_{max} = \frac{2^{n-1}}{2^n} \cdot U_{FS}$$

Przykład:

Przetwornik C/A 3 – bitowy.  $U_{ref} = 5V$ . Oblicz  $U_{max}$

$$U_{max} = \frac{2^{3-1}}{2^3} \cdot 5 = 4,375 \text{ V}$$

c) Rozdzielczość - sposoby wyznaczenia:

- W jednostkach napięcia (symbol  $U_{LSB}$ , lub  $LSB$ )

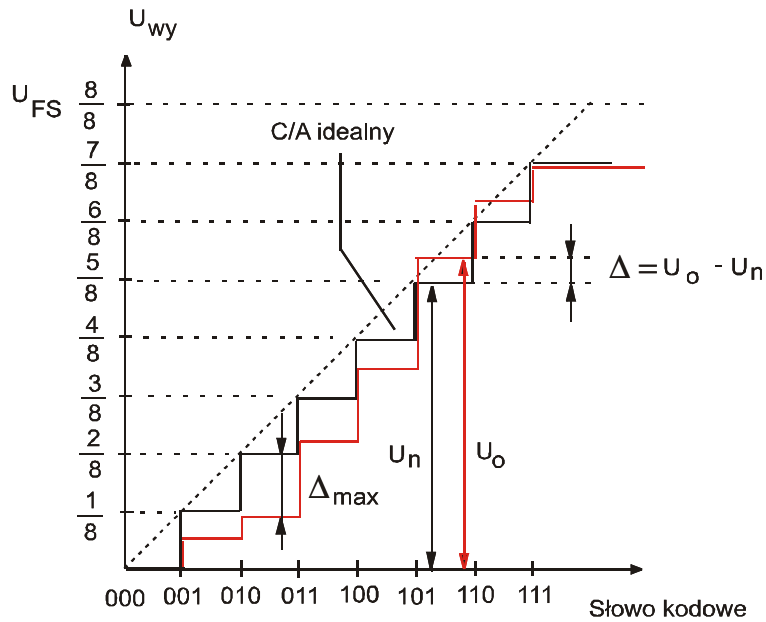
$$U_{LSB} = \frac{U_{FS}}{2^n} \text{ mV}$$

- W jednostkach bezwymiarowych

$$\text{Rozdzielczość} = \frac{1}{2^n} \text{ lub w procentach: Rozdzielczość} = \frac{1}{2^n} \cdot 100 \%$$

## 2. Dokładność bezwzględna i względna (inna nazwa: błąd podstawowy bezwzględny i względny)

### a) Dokładność bezwzględna (symbol $\Delta_{max}$ )



Definicja:

Dokładność bezwzględna (symbol  $\Delta_{max}$ ) jest to maksymalna różnica między rzeczywistą wartością wyjściowego  $U_o$  sygnału przetwornika C/A, a oczekiwaną  $U_n$  (dla idealnego przetwornika C/A) przy zmianie wartości słowa wejściowego w pełnym zakresie.

$$\Delta_i = U_o - U_n$$

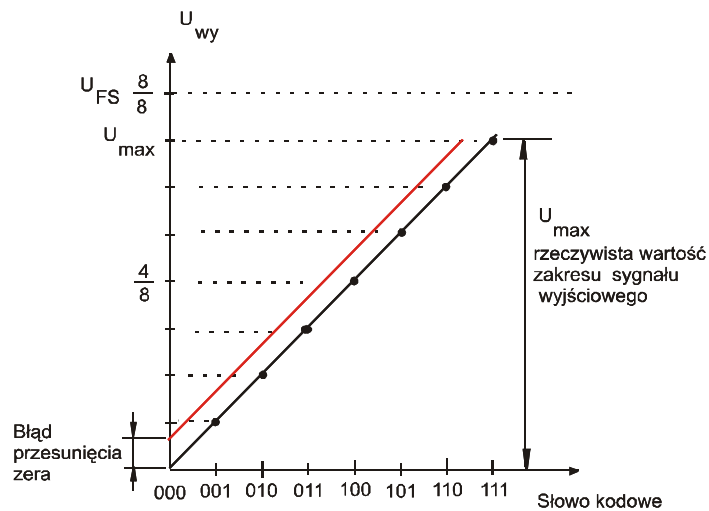
Gdzie:  $\Delta_i$  – błąd bezwzględny dla i-tego słowa wejściowego

$$\Delta_{max} = \max \Delta_i$$

### b) Dokładność względna

$$d = \frac{\Delta_{max}}{U_{FS}}$$

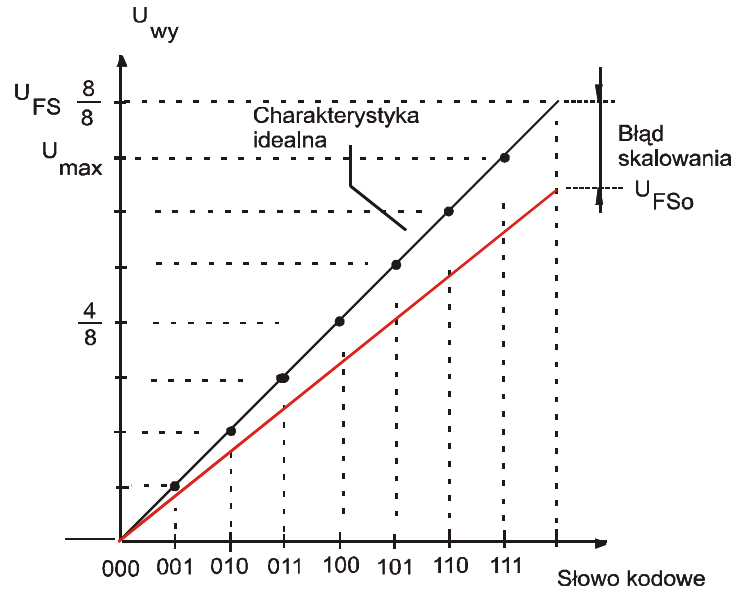
## 3. Błąd przesunięcia zera



Definicja:

Błąd przesunięcia zera jest to różnica między napięciem wyjściowym dla minimalnej wartości słowa kodowego (np. w BCD: 0000...0) i napięciem o zerowej wartości. Definiuje się również jako % zakresu przetwornika

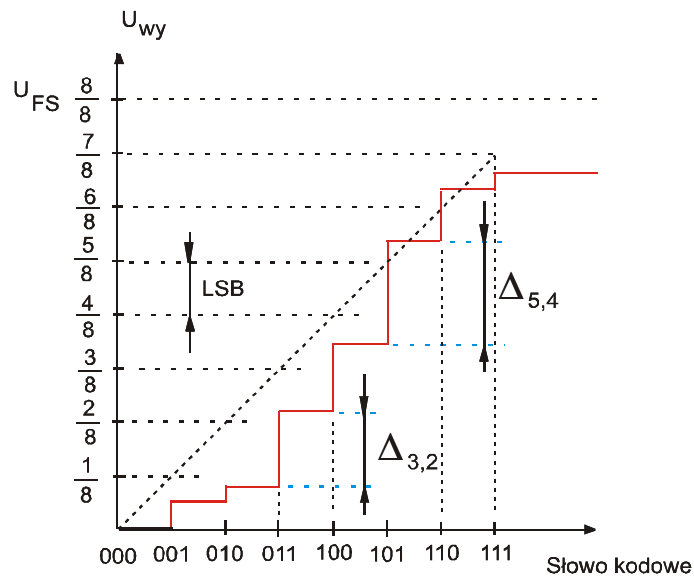
#### 4. Błąd wzmocnienia (skalowania)



Definicja:

$$d_K = \frac{U_{FS0} - U_{FS}}{U_{FS}}$$

#### 5. Błąd nieliniowości różniczkowej



Błąd nieliniowości różniczkowej dla sąsiednich słów kodowych:

$$\Delta_{nr} = |\Delta_{i+1,i} - \text{LSB}|$$



Wymagane jest, aby maksymalna wartość błędu nieliniowości różniczkowej nie przekraczała 1/2 LSB:

$$\Delta_{n_{\max}} \leq \frac{1}{2} LSB$$

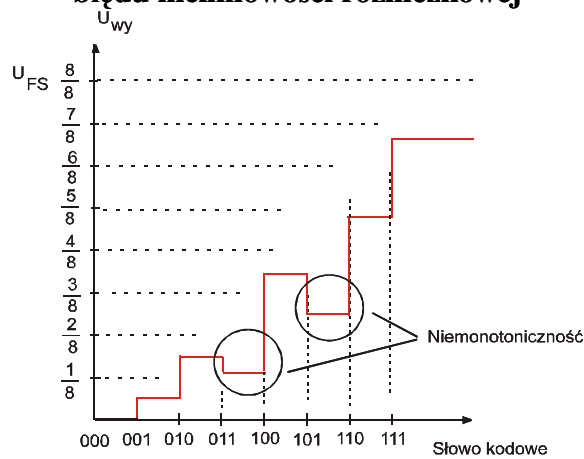
$$|\Delta_{i+1,i} - LSB|_{\max} \leq \frac{1}{2} LSB$$

gdzie:

- $i$  - wartość w systemie dziesiętnym słowa kodowego,  $i = 0, 1, 2, \dots, n$
- $\Delta_{i+1,i}$  - różnica napięcia wyjściowego odpowiadająca dwóm sąsiednim słowom kodowym
- LSB - rozdzielczość idealnego przetwornika C/A

$$LSB = \frac{U_{FS}}{n}$$

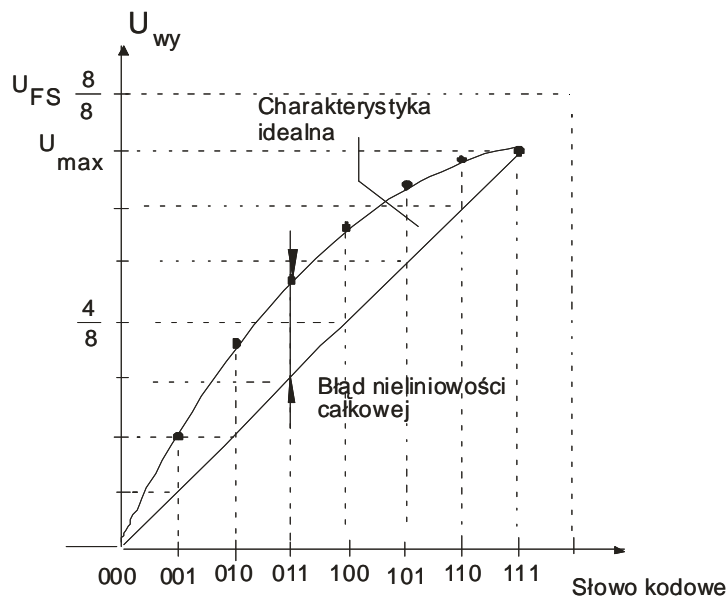
**Niemonotoniczność – jako konsekwencja zbyt dużej wartości błędu nieliniowości różniczkowej**



## 6. Błąd nieliniowości całkowej

Definicja: największe odchylenie rzeczywistej charakterystyki od linii prostej.

Przed operacją wyznaczenia błędu nieliniowości całkowej należy wyeliminować błąd Wzmocnienia i błąd przesunięcia zera wykorzystując do tego celu dostępne elementy regulacyjne w obwodzie wzmacniacza



Zalecane jest, aby:

$$\Delta_{\max} \leq \frac{1}{2} LSB$$

### Korekcja zera i korekcja wzmocnienia przetwornika C/A dla przetwornika C/A z wyjściem prądowym

