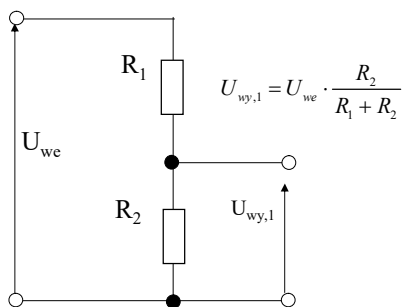

Dzielniki i wzmacniacze z dynamicznym dopasowaniem rezystorów

- 1. Wstęp. Technologia DEM**
- 2. Dzielniki rezystancyjne z technologią DEM**
- 3. Zasada rezystancyjnego dynamicznego sprzężenia zwrotnego. Wzmacniacze z technologią DEM**

1. Wstęp. Zasada technologii DEM

- Dynamic Element Matching

Dynamiczne dopasowanie elementów

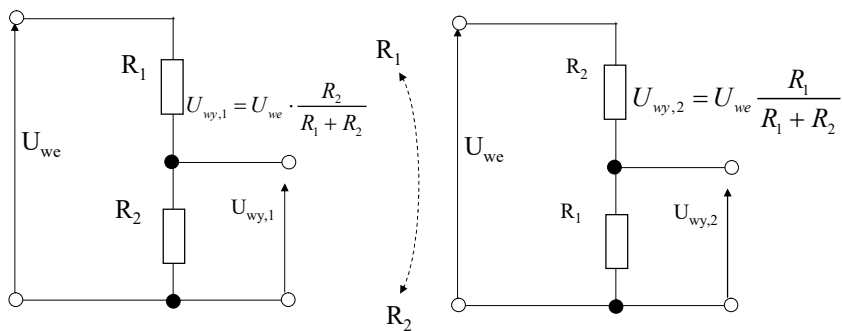


3

1. Wstęp. Zasada technologii DEM

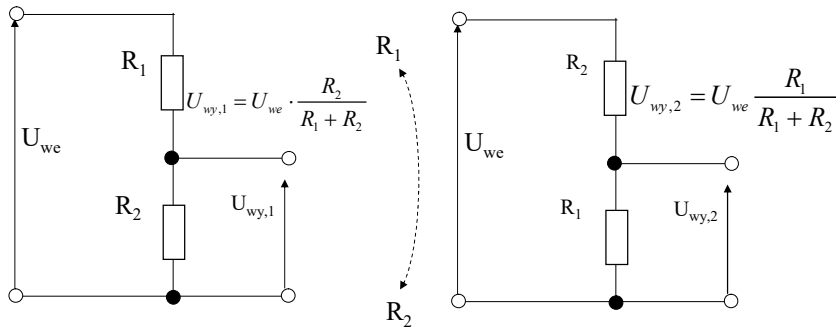
• Dynamiczne dopasowanie elementów

Dzielnik napięcia rezystancyjny



4

1. Wstęp. Zasada technologii DEM Dzielnik napięcia rezystancyjny



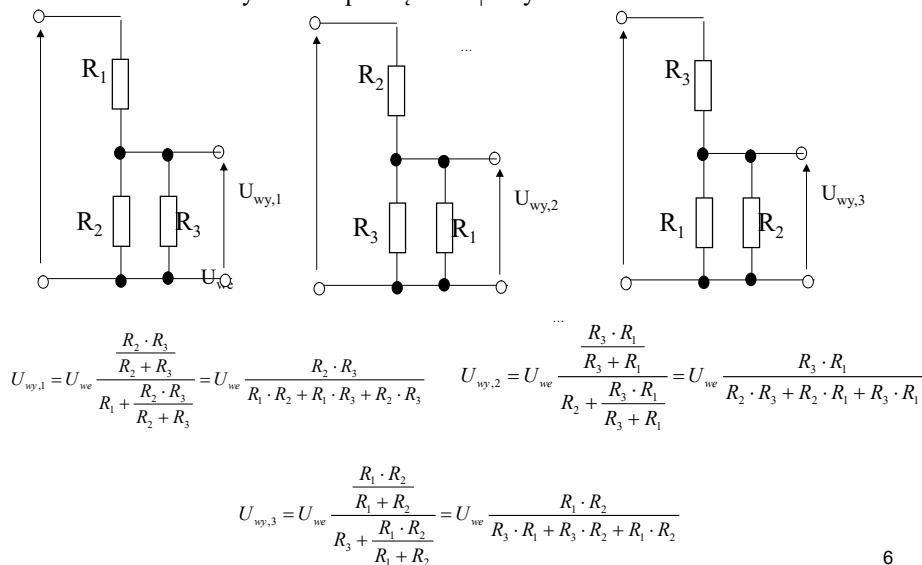
$$U_{wy, sr} = \frac{U_{wy,1} + U_{wy,2}}{2} = \frac{U_{we} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + U_{we} \frac{R_1}{R_1 + R_2}}{2} = \frac{U_{we}}{2}$$

Niezależnie od rezystancji rezystorów!

5

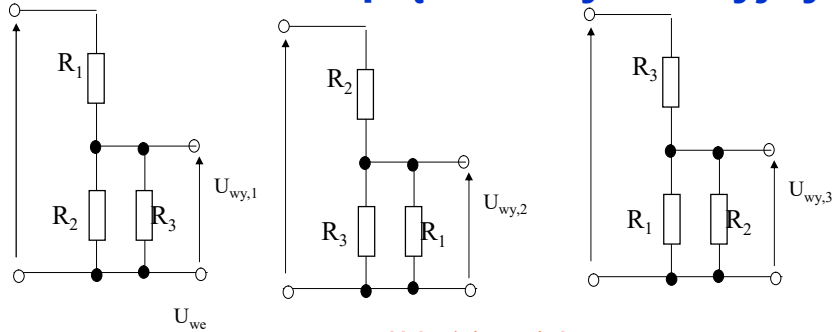
2. Dzielnik napięcia rezystancyjny

Cykliczne przełączenie rezystorów



6

2. Dzielnik napięcia rezystancyjny



Wartość średnia napięcie

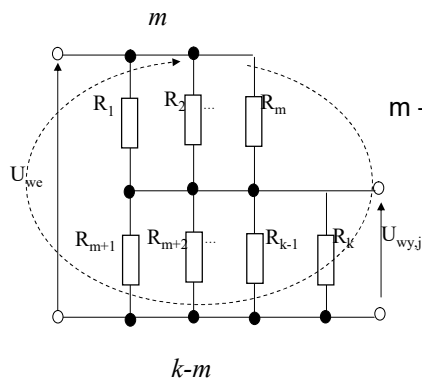
$$U_{wy,1} = U_{we} \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3} \quad U_{wy,2} = U_{we} \frac{R_3 \cdot R_1}{R_2 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_1 + R_3 \cdot R_1} \quad U_{wy,3} = U_{we} \frac{R_1 \cdot R_2}{R_3 \cdot R_1 + R_3 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_2}$$

$$U_{wy} = \frac{U_{wy,1} + U_{wy,2} + U_{wy,3}}{3} = \frac{1}{3} \left[U_{we} \frac{R_2 \cdot R_3 + R_3 \cdot R_1 + R_1 \cdot R_2}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3} \right] = \frac{U_{we}}{3}$$

7

2. Dzielnik napięcia rezystancyjny

Cykliczne przełączenie rezystorów



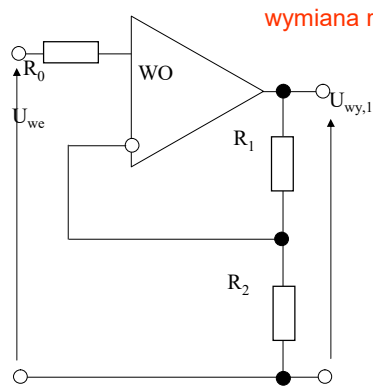
$$U_{wy,sr} = U_{we} \frac{m}{k}$$

m – liczba rezystorów w górnej gałęzi

k – sumaryczna liczba rezystorów

8

3. Zasada rezystancyjnego dynamicznego sprzężenia zwrotnego. Wzmacniacz

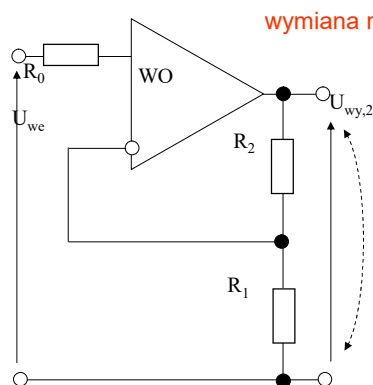


$$K_1 = \frac{U_{wy,1}}{U_{we}} = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

$$R_{1,nom} = R_{2,nom} = R_{nom} \quad K_{nom} = 2$$

9

3. Zasada rezystancyjnego dynamicznego sprzężenia zwrotnego. Wzmacniacz

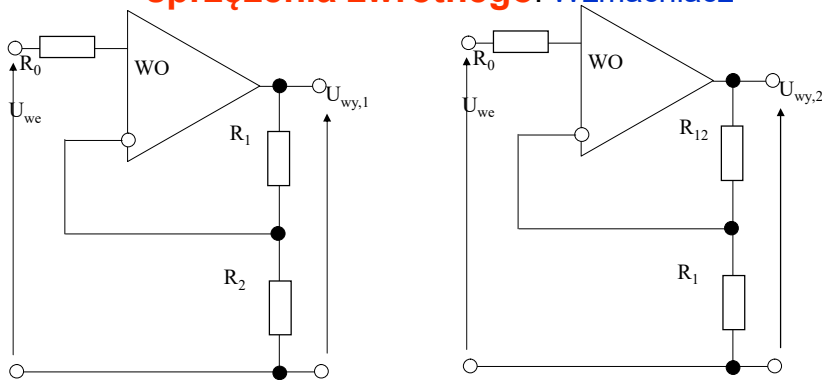


$$K_2 = \frac{U_{wy,2}}{U_{we}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$R_{1,nom} = R_{2,nom} = R_{nom} \quad K_{nom} = 2$$

10

Zasada rezystancyjnego dynamicznego sprzężenia zwrotnego. Wzmacniacz



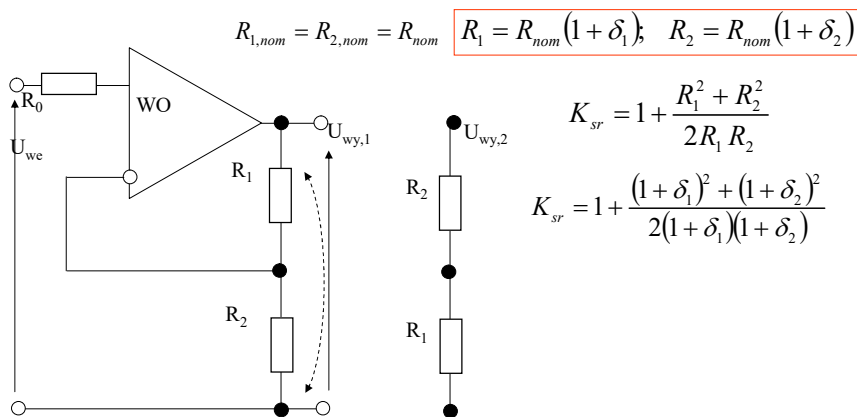
$$K_{sr} = \frac{K_1 + K_2}{2} = 1 + \frac{\frac{R_1 + R_2}{R_2} + \frac{R_2}{R_1}}{2} = 1 + \frac{R_1^2 + R_2^2}{2R_1 \cdot R_2}$$

$$R_{1,nom} = R_{2,nom} = R_{nom}$$

$$K_{nom} = 2$$

11

3. Zasada rezystancyjnego dynamicznego sprzężenia zwrotnego. Wzmacniacz



$$R_{1,nom} = R_{2,nom} = R_{nom} \quad R_1 = R_{nom}(1 + \delta_1); \quad R_2 = R_{nom}(1 + \delta_2)$$

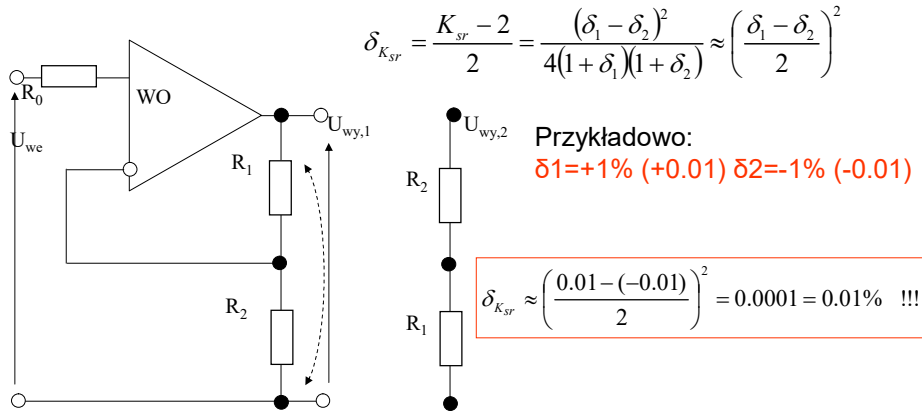
$$K_{sr} = 1 + \frac{R_1^2 + R_2^2}{2R_1 R_2}$$

$$K_{sr} = 1 + \frac{(1 + \delta_1)^2 + (1 + \delta_2)^2}{2(1 + \delta_1)(1 + \delta_2)}$$

$$\delta_{K_{sr}} = \frac{K_{sr} - 2}{2} = \frac{(\delta_1 - \delta_2)^2}{4(1 + \delta_1)(1 + \delta_2)} \approx \left(\frac{\delta_1 - \delta_2}{2} \right)^2$$

12

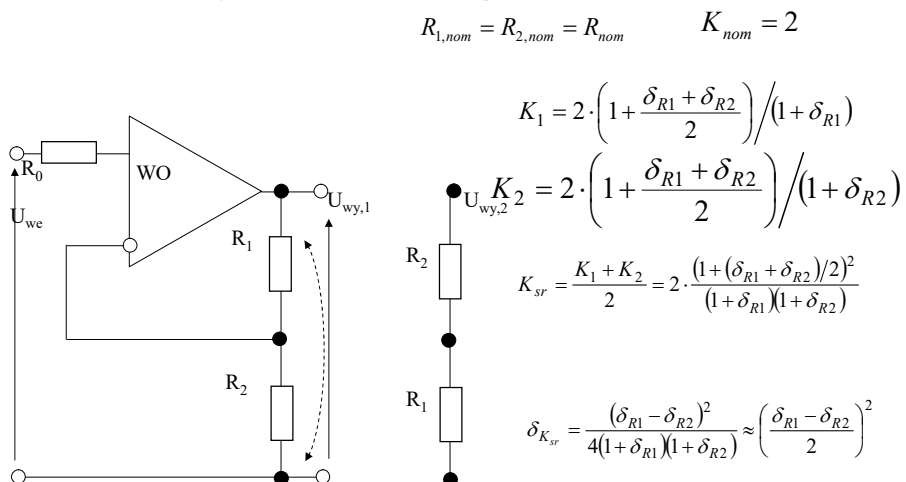
3. Zasada rezystancyjnego dynamicznego sprzężenia zwrotnego. Wzmacniacz



Rezystory jednocentowe, a współczynnik wzmocnienia ma 0,01%!!

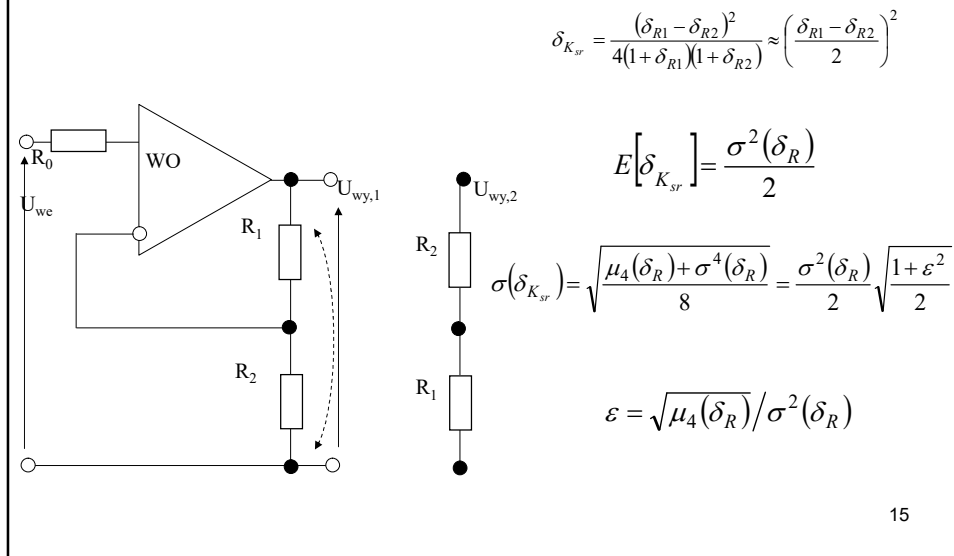
13

3. Zasada rezystancyjnego dynamicznego sprzężenia zwrotnego. Wzmacniacz

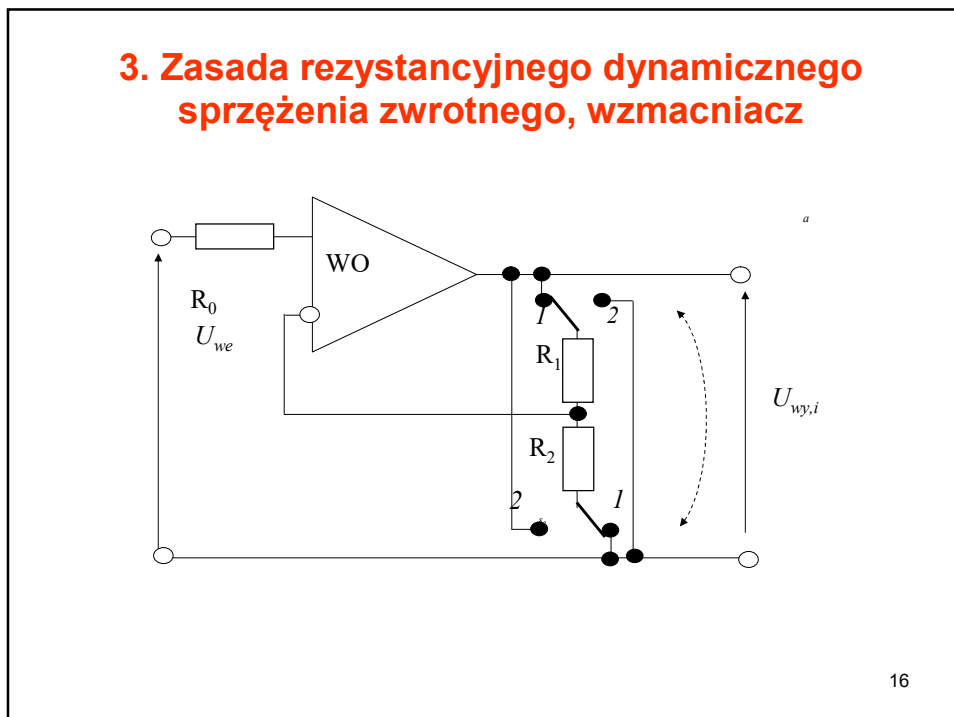


14

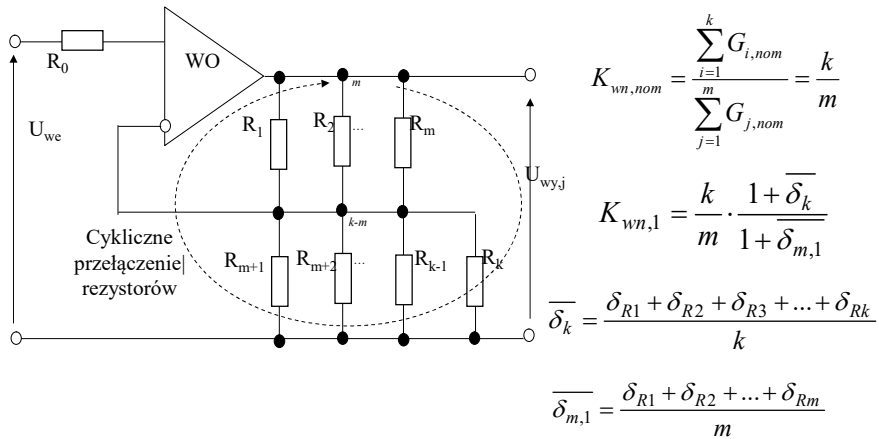
3. Zasada rezystancyjnego dynamicznego sprzężenia zwrotnego, wzmacniacz



3. Zasada rezystancyjnego dynamicznego sprzężenia zwrotnego, wzmacniacz

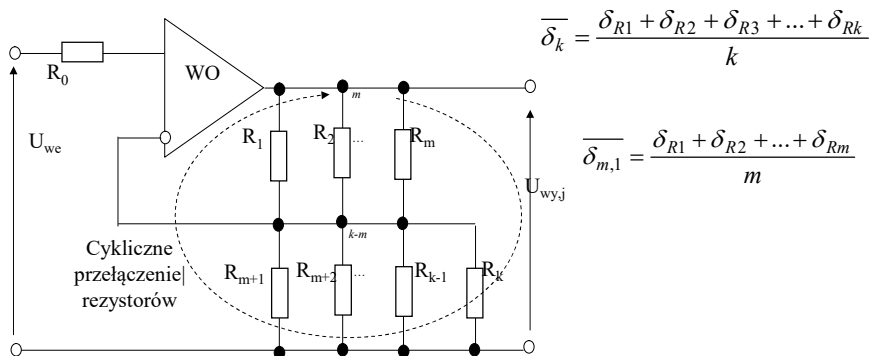


3.1. WZMACNIACZ NIEODWRACAJĄCY



17

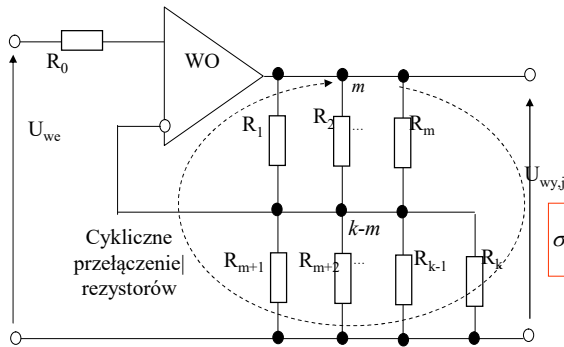
3.1. WZMACNIACZ NIEODWRACAJĄCY



$$\delta_{K_{wn,sr}} \approx \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k (\overline{\delta_{m,j}})^2 - (\overline{\delta_k})^2 = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \delta_{\text{mod}(j+i-1,k)} \right)^2 - \left(\frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \delta_j \right)^2$$

18

3.1. WZMACNIACZ NIEODWRACAJĄCY



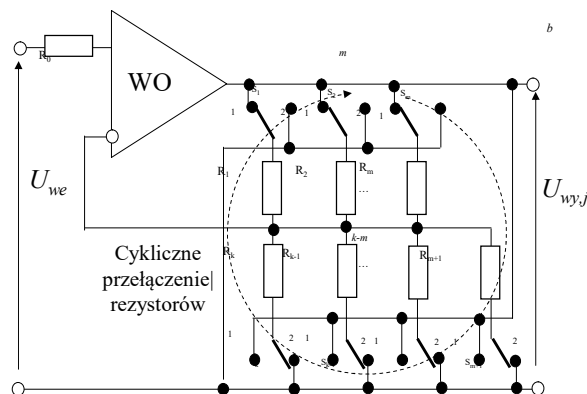
$$E[\delta_{K_{wn, sr}}] = \sigma^2(\delta_R) \frac{k-m}{k m}$$

$$\sigma(\delta_{K_{wn, sr}}) = \frac{\sigma^2(\delta_R)}{\sqrt{k}} \frac{k-m}{k m} \sqrt{\varepsilon^2 + Q(k, m)}$$

$$Q(k, m) = \frac{k^2(4 - 1/m)(m - 2) + 6km(3 - m) - 9m^2}{3(k - m)^2}$$

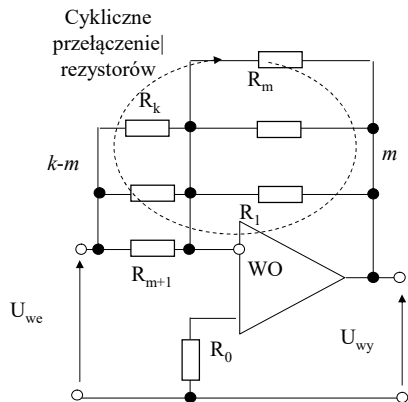
19

3.1. WZMACNIACZ NIEODWRACAJĄCY



20

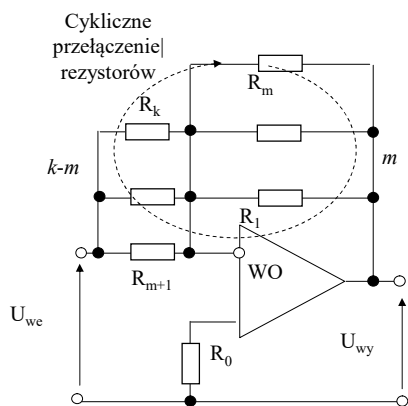
3.2. WZMACNIACZ ODWRACAJĄCY



$$K_{nom} = \frac{k - m}{m}$$

21

3.2. WZMACNIACZ ODWRACAJĄCY

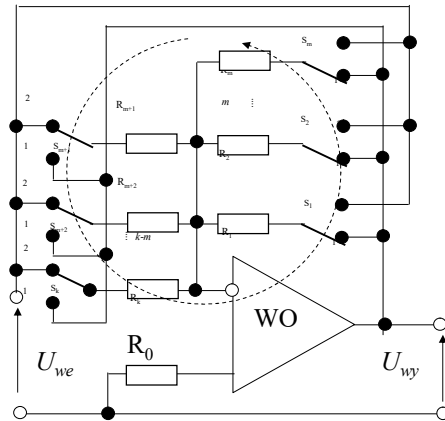


$$E[\delta_{K_{wo, sr}}] = \frac{\sigma^2(\delta_R)}{m}$$

$$\sigma(\delta_{K_{wo, sr}}) = \frac{\sigma^2(\delta_R)}{m\sqrt{k}} \sqrt{\varepsilon^2 + Q(k, m)}$$

22

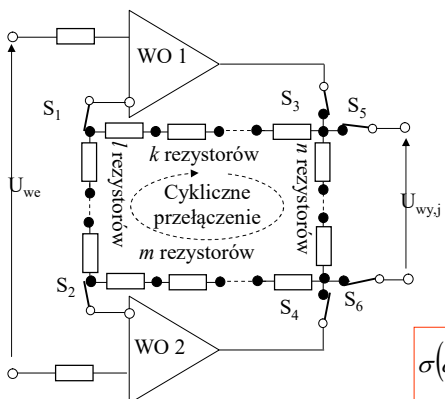
3.2. WZMACNIACZ ODWRACAJĄCY



Cykliczne przełączenie rezystorów

23

3.3. WZMACNIACZ RÓŻNICOWY



$$K_{wi,nom} = (N - n)/l$$

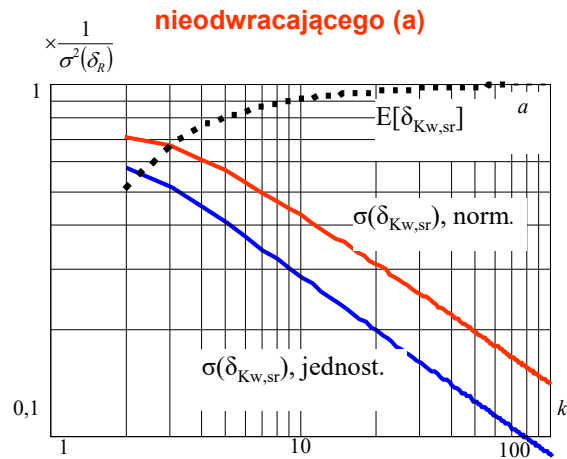
$$E[\delta_{K_{wi,SR}}] = \sigma^2(\delta_R) \frac{N - l - n}{(N - n)l}$$

$$\sigma(\delta_{K_{wi,SR}}) = \frac{\sigma^2(\delta_R) N - l - n}{\sqrt{N} (N - n)l} \sqrt{\varepsilon^2 + \frac{Q_{WI}(N, n, l)}{(N - n)^2 l^2}}$$

24

4. Charakterystyki błędów

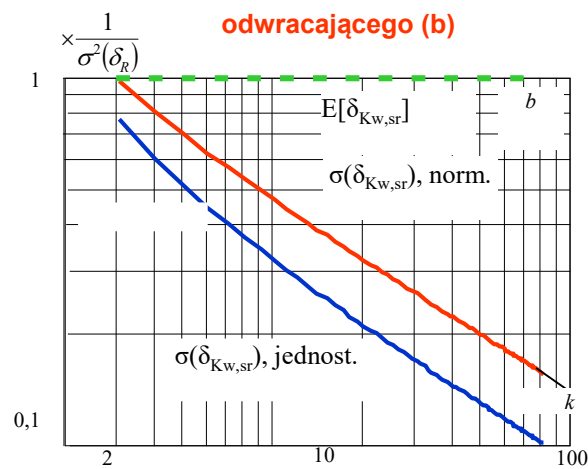
Zależności wartości oczekiwanych i standardowych odchyłeń względnego błędu wartości średniej współczynnika wzmocnienia wzmacniacza:



25

4. Skuteczność korekcji

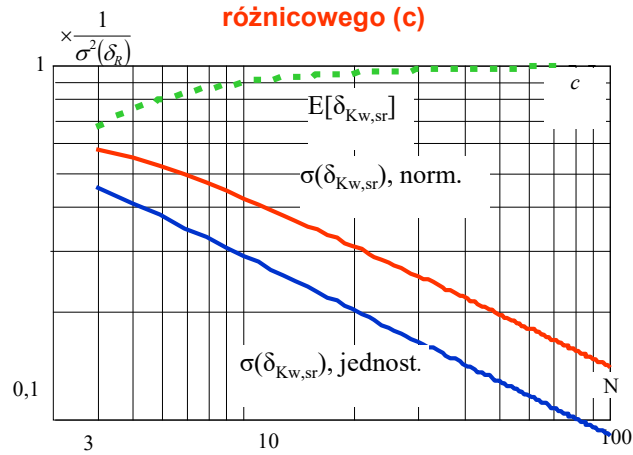
Zależności wartości oczekiwanych i standardowych odchyłeń względnego błędu wartości średniej współczynnika wzmocnienia wzmacniacza:



26

4. Skuteczność korekcji

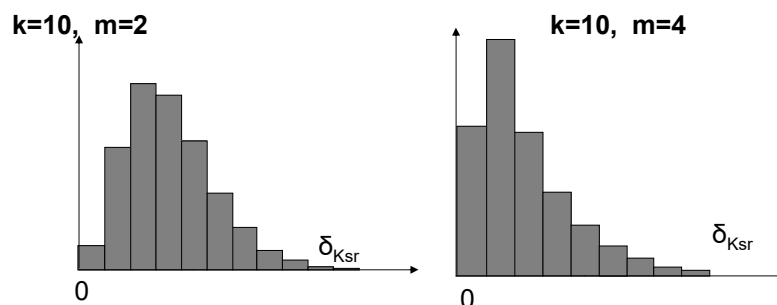
Zależności wartości oczekiwanych i standardowych odchyłeń względnego błędu wartości średniej współczynnika wzmacnienia różnicowego (c):



27

4. Skuteczność korekcji

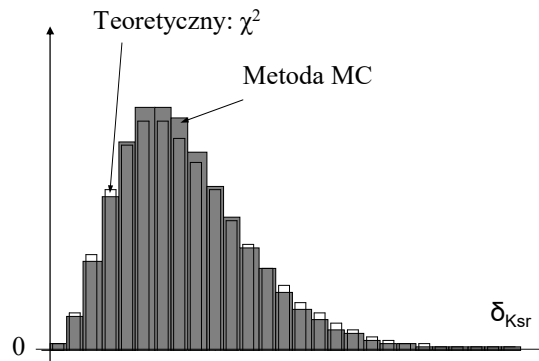
Histogramy względnego błędu wartości średniej współczynnika wzmacnienia



28

4. Skuteczność korekcji

Histogram względnego błędu wartości średniej współczynnika wzmocnienia: $k=10$, $m=1$



29

PODSUMOWANIE

- 1) Wartości oczekiwane i standardowe odchylenia względnego błędu współczynnika wzmocnienia są proporcjonalne do kwadratu względnego standardowego odchylenia rezystancji rezystorów sprzężenia zwrotnego, to jest są drugiego rzędu małości.
- 2) Wartości oczekiwane względnego błędu wartości średniej współczynnika wzmocnienia **zawsze są dodatnie**.
- Błąd ten charakteryzuje się obciążeniem i nawet przy nieograniczonym wzroście ogólnej liczby rezystorów (k) nie dąży do zera.
- 3) Rozkład prawdopodobieństwa względnego błędu wartości średniej współczynnika wzmocnienia **nie jest symetryczny** i w pierwszym przybliżeniu ma kształt rozkładu X^2 .

30

PODSUMOWANIE

- 4) Standardowe odchylenia względnego błędu współczynnika wzmocnienia wszystkich wzmacniaczy zmniejszają się proporcjonalnie do pierwiastka z liczby rezystorów k , dlatego zmniejszają się ze wzrostem współczynnika wzmocnienia.
- 5) Jeśli w sprzężeniu zwrotnym wykorzystano rezystory o standardowym odchyleniu $0,1\%$, to teoretyczna wartość niepewności wartości średniej współczynników wzmocnienia nie przekroczy rzędu $2 \div 3 \text{ ppm}$ przy stosunkowo małych wartościach współczynnika wzmocnienia i rzędu $1,2 \text{ ppm}$ przy dużych wartościach współczynnika wzmocnienia.