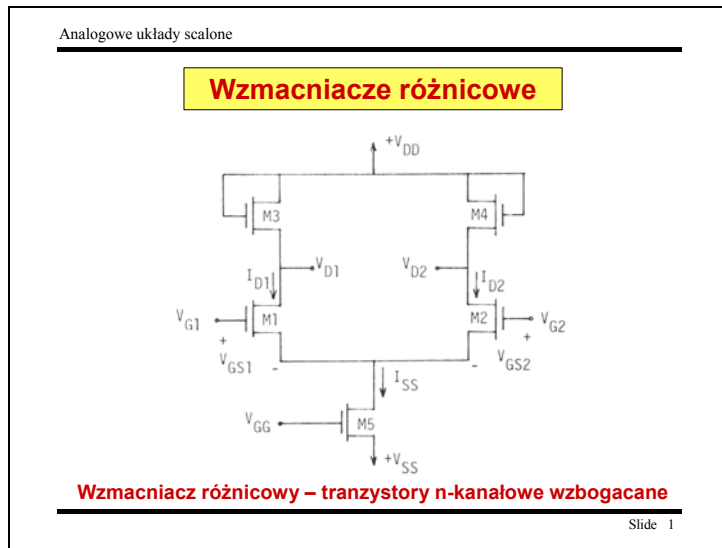
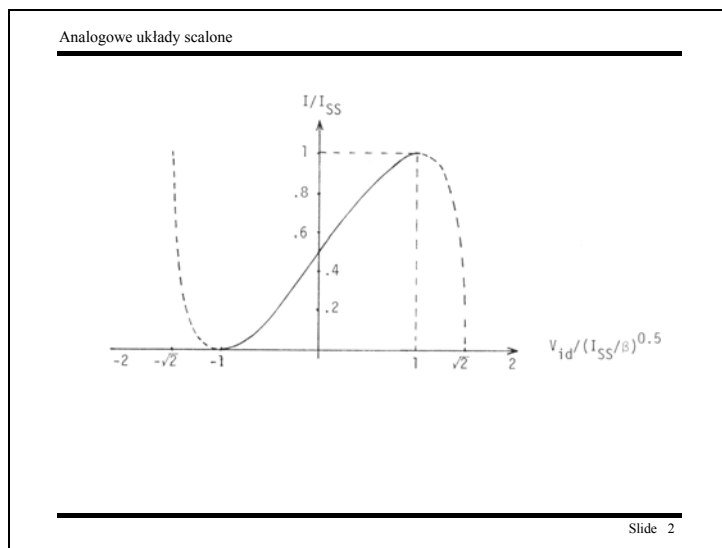


Slajd 1



Slajd 2



Slajd 3

Analogowe układy scalone

Wzmacniacz różnicowy – schemat zastępczy dla sygnałów różnicowych

Wzmacniacz różnicowy – schemat zastępczy dla sygnałów wspólnych

Slide 3

Slajd 4

Analogowe układy scalone

Slide 4

Slajd 5

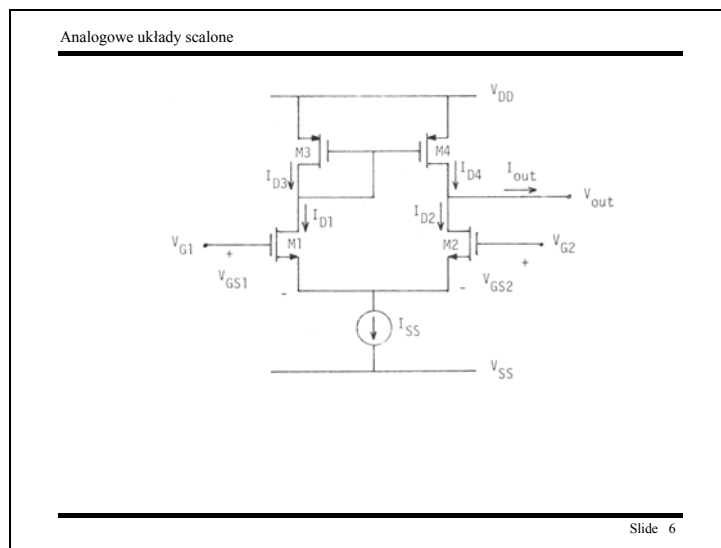
Analogowe układy scalone

Wzmocnienie dla składowej różnicowej

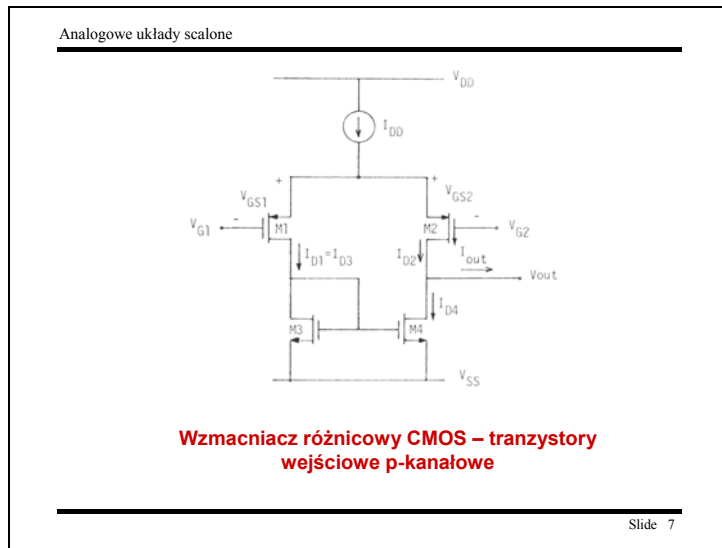
$$\frac{v_{d1} - v_{d2}}{v_{id}} = -\frac{g_{m1}}{(1 + \eta_3)g_{m3}} = -\sqrt{\frac{W_1/L_1}{W_3/L_3}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\gamma}{2\sqrt{\Phi + V_{d1} - V_{BB}}}}$$

Slide 5

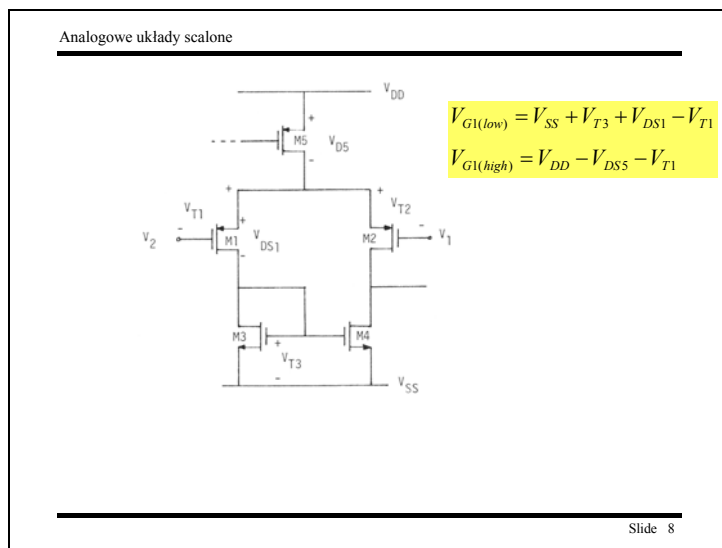
Slajd 6



Slajd 7



Slajd 8



Slajd 9

Analogowe układy scalone

$C_M = C_{gs3} + C_{gs4}$

$slew\ rate = I_{SS} / C_{out}$

Wzmacniacz różnicowy CMOS – pojemności pasożytnicze

Slide 9

Slajd 10

Analogowe układy scalone

Układ kompensacji

Układ polaryzacji

Wzmacniacz różnicowy

Stopień pośredni

Stopień wyjściowy

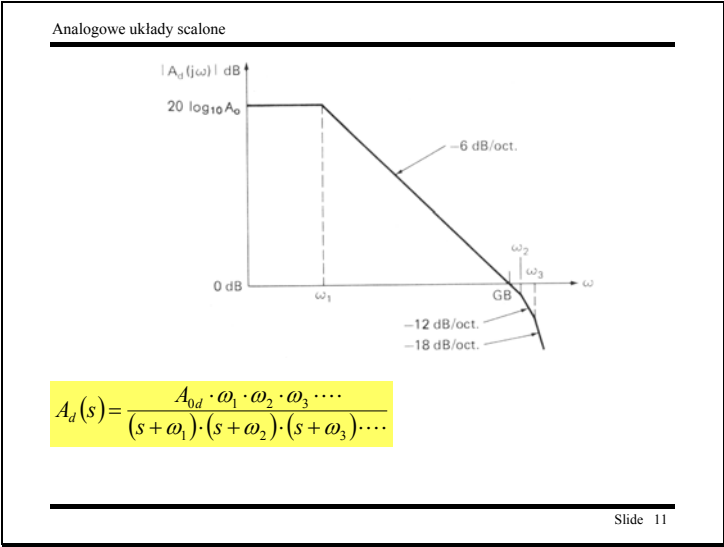
U1

U2

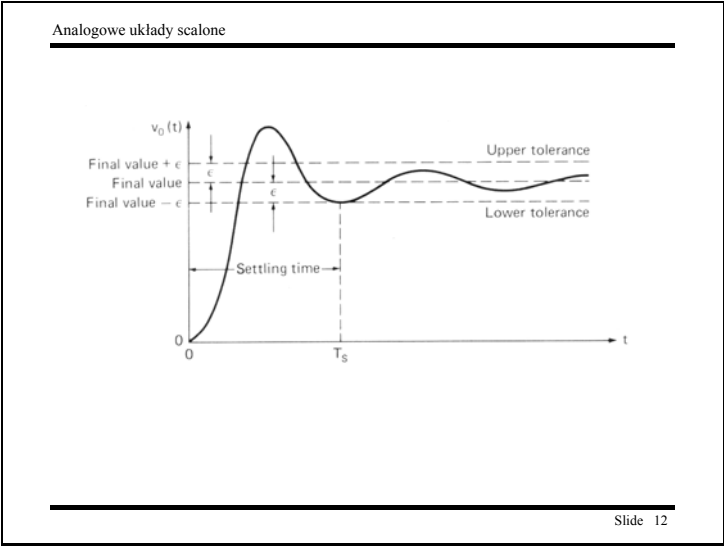
Uwy

Slide 10

Slajd 11



Slajd 12



Slajd 13

Analogowe układy scalone

Moat bottom = ABCD
 Moat sidewall = AB EF + BC FG + DC GH + ADEH

Pojemności pasożytnicze

Slide 13

Slajd 14

Analogowe układy scalone

(a.)

(b.)

Slide 14

Slajd 15

Analogowe układy scalone

$C_c = 0$

$$p_1 = -\frac{1}{R_1 C_1} \quad p_2 = -\frac{1}{R_2 C_2}$$

$C_c \neq 0$

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{g_{m1} g_{m2} R_1 R_2 (1 - s C_c / g_{m2})}{1 + s [R_1 (C_1 + C_2) + R_2 (C_2 + C_c) + g_{m2} R_1 R_2 C_c] + s^2 R_1 R_2 [C_1 C_2 + C_c (C_1 + C_2)]}$$

$$p_1 \cong -\frac{1}{g_{m2} R_1 R_2 C_c} \quad p_2 \cong -\frac{g_{m2} C_c}{C_1 C_2 + C_2 C_c + C_c C_1} \quad z = \frac{g_{m2}}{C_c}$$

Slide 15

Slajd 16

Analogowe układy scalone

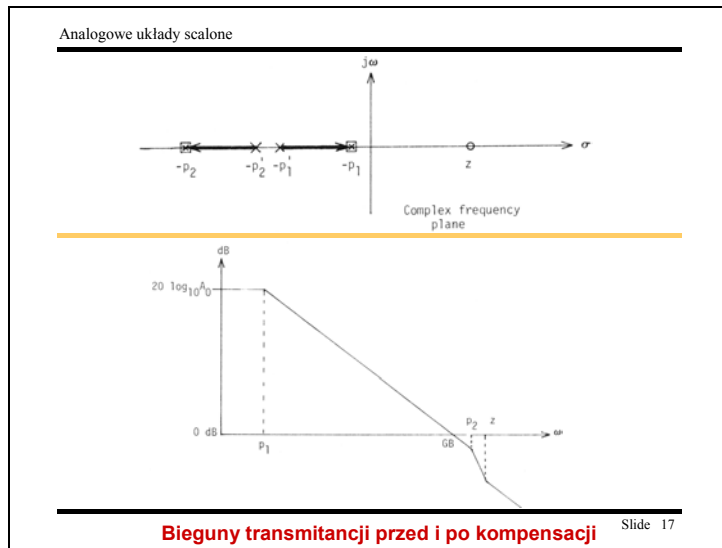
$$GB = A_0 \cdot p_1 \cong (g_{m1} R_1 g_{m2} R_2) / (g_{m2} R_1 R_2 C_c) = g_{m1} / C_c$$

$$z / GB = g_{m2} / g_{m1}$$

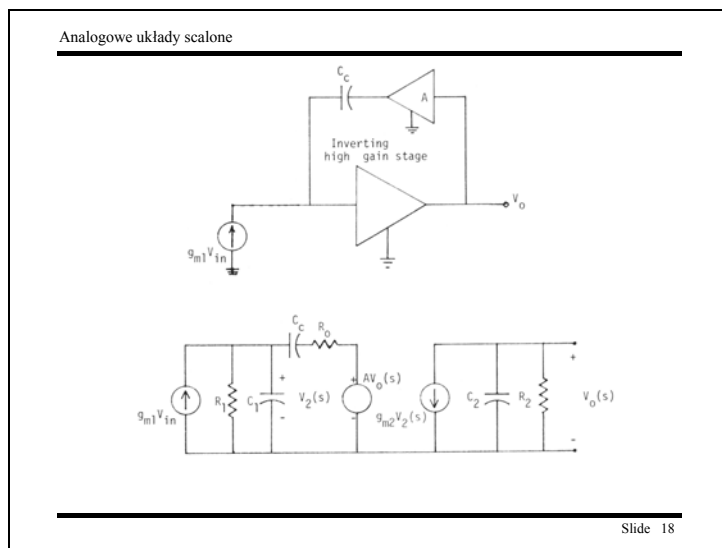
Aby $z > GB \rightarrow g_{m2} > g_{m1}$

Slide 16

Slajd 17



Slajd 18



Slajd 19

Analogowe układy scalone

Modyfikacja kompensacji Millera (z rezystorem)

Slide 19

Slajd 20

Analogowe układy scalone

Input stage: Differential-to-single-ended conversion and level shifter: Second stage:

Slide 20

Slajd 25

Analogowe układy scalone

Bilans prądów w analizie małosygnałowej

Dla węzła X:

$$i_1 + i_f = g_{m1} v_1 \rightarrow i_{d(M1)} \Rightarrow g_{m1(2)} v_1 = i_1 + i_f$$

Dla węzła Y:

$$g_{m2} v_1 + g_{m3} v_2 + C_{\text{int}} \frac{dv_2}{dt} = i_2$$

Dla węzła Z:

$$g_{m4} v_2 = -i_f \Rightarrow v_2 = \frac{-i_f}{g_{m4(3)}}$$

Slide 25

Slajd 26

Analogowe układy scalone

$$I_1(s) + I_f(s) + (g_{m3} + sC_{\text{int}}) \cdot (-I_f(s)/g_{m3}) = I_2(s)$$

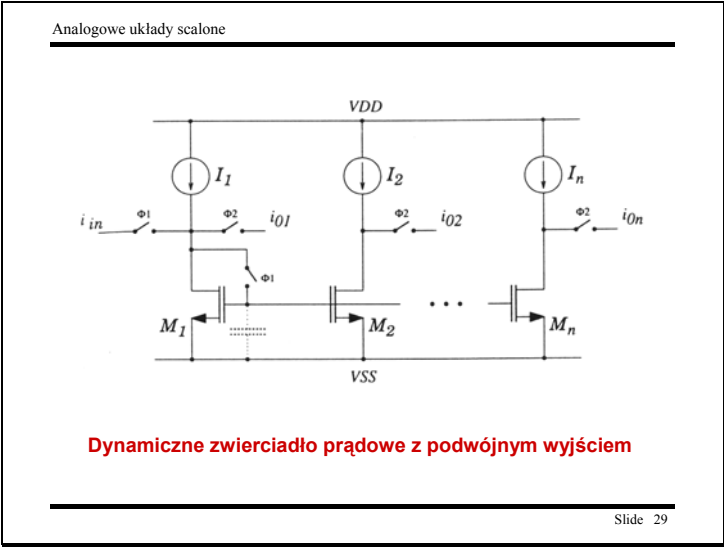
$$I_f(s) = (g_{m3}/sC_{\text{int}}) \cdot (I_1(s) - I_2(s))$$

$$I_{\text{out}}(s) = K \cdot I_f(s)$$

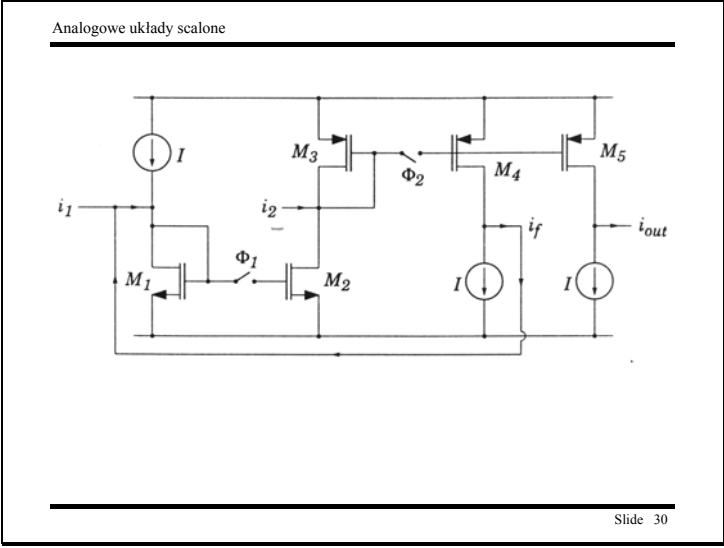
$$I_{\text{out}}(s) = K \cdot (g_{m3}/sC_{\text{int}}) \cdot (I_1(s) - I_2(s))$$

Slide 26

Slajd 29



Slajd 30



Slajd 31

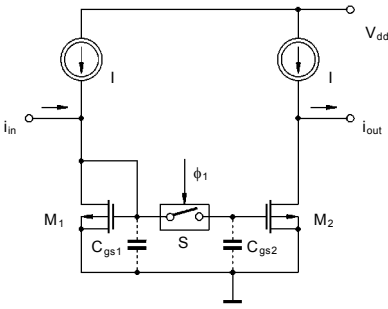
Analogowe układy scalone

$$i_f = (i_f + i_1) \cdot z^{-1} - i_2 \cdot z^{-\frac{1}{2}}$$
$$i_f = \frac{i_1 \cdot z^{-1} - i_2 \cdot z^{-\frac{1}{2}}}{1 - z^{-1}}$$
$$i_{out} = K \cdot i_f = K \cdot \frac{i_1 \cdot z^{-1} - i_2 \cdot z^{-\frac{1}{2}}}{1 - z^{-1}}$$

Slide 31

Slajd 32

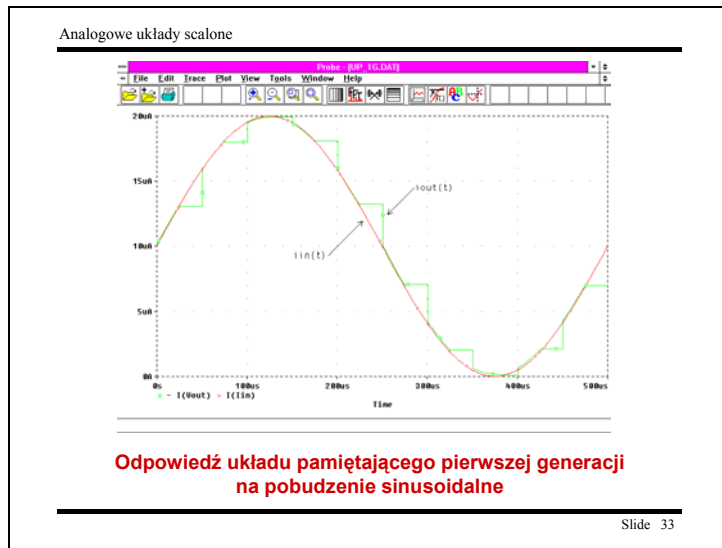
Analogowe układy scalone



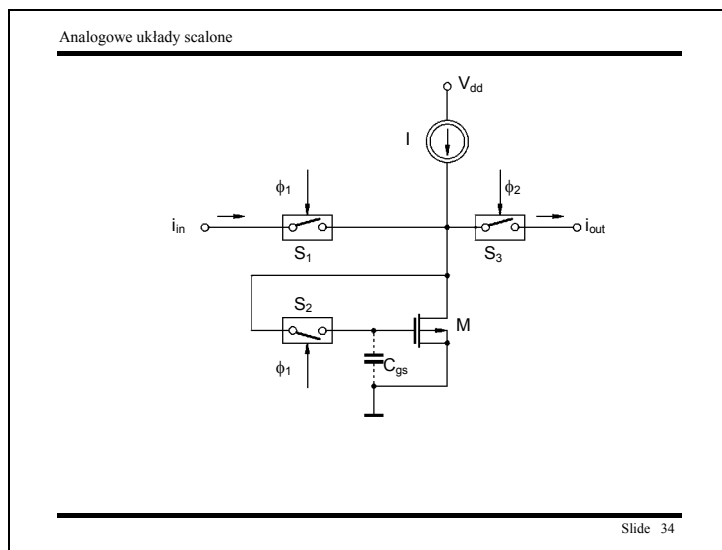
Układ pamiętający pierwszej generacji

Slide 32

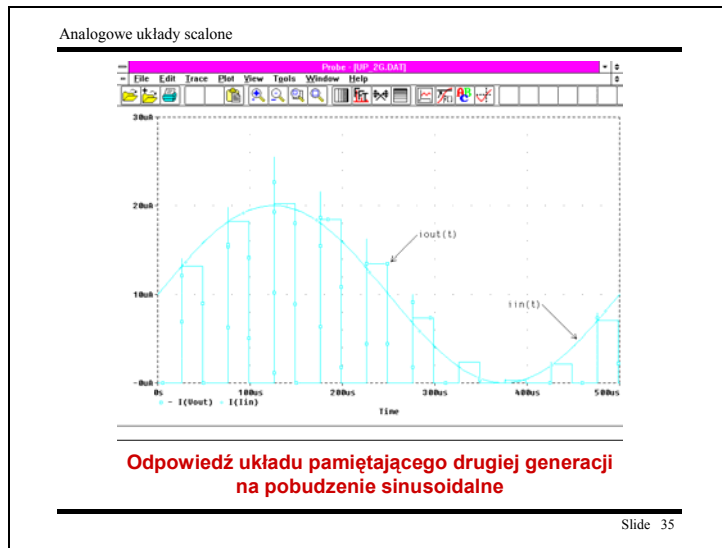
Slajd 33



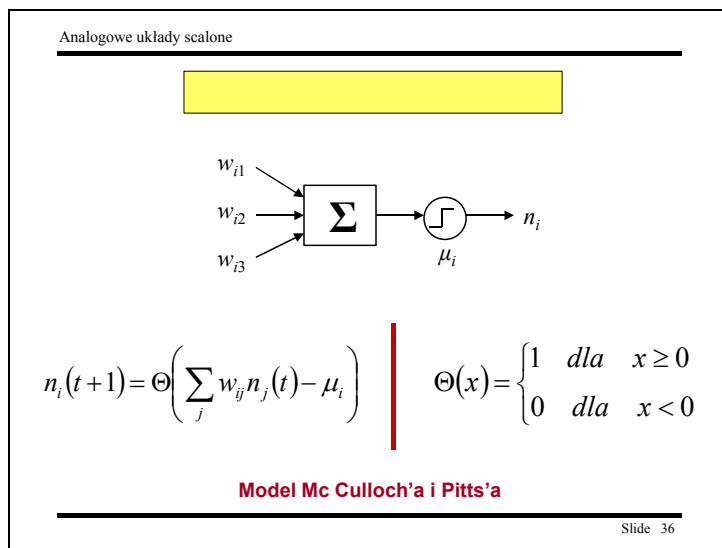
Slajd 34



Slajd 35



Slajd 36



Slajd 37

Analogowe układy scalone

$$n_i = g \left(\sum_j w_{ij} n_j - \mu_i \right)$$

neurony \longleftrightarrow jednostki
synapsy \longleftrightarrow połączenia

Slide 37

Slajd 38

Analogowe układy scalone

WY

WE

Perceptron dwuwarstwowy

Slide 38

Slajd 39

Analogowe układy scalone

PAMIĘĆ ASOCJACYJNA

ξ_i^μ	μ -ty wzorzec
$\mu = 1, 2, \dots, p$	liczba wzorców
ζ_i	nowy wzorzec
$i = 1, 2, \dots, N$	liczba neuronów (jednostek)
$n_i = \zeta_i$	konfiguracja początkowa sieci
$w_{ij} = ?$	
$n_i \Rightarrow \zeta_i^{\mu_0}$	μ_0 oznacza najbliższy ze zbioru p wzorców

Slide 39

Slajd 40

Analogowe układy scalone

Wyznaczanie odległości Hamminga:

$$\sum_i [\xi_i^\mu \cdot (1 - \zeta_i) + (1 - \xi_i^\mu) \cdot \zeta_i]$$

Schemat działania pamięci asocjacyjnej

Slide 40

Slajd 41

Analogowe układy scalone

MODEL HOPFIELDA PAMIĘCI ASOCJACYJNEJ

Notacja:
zapłon $+1$
stan spoczynku -1 } S_i

Konwersja $S_i \iff n_i$ $S_i = 2 n_i - 1$

$S_i = \text{sgn}\left(\sum_j w_{ij} S_j - \Theta_i\right)$

gdzie $\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{dla } x \geq 0 \\ -1 & \text{dla } x < 0 \end{cases}$

Slide 41

Slajd 42

Analogowe układy scalone

$S_i = \text{sgn}\left(\sum_j w_{ij} S_j\right)$

Slide 42

Slajd 43

Analogowe układy scalone

I. Jeden wzorzec ξ_i

Warunek stabilności: $\text{sgn}\left(\sum_j w_{ij} \cdot \xi_j\right) = \xi_i$ dla każdego i

$w_{ij} \sim \xi_i \cdot \xi_j$ $w_{ij} = \frac{1}{N} \xi_i \cdot \xi_j$ **(3)**

Slide 43

Slajd 44

Analogowe układy scalone

$$h_i = \sum_j w_{ij} S_j$$

Slide 44

Slajd 45

Analogowe układy scalone

II. Zbiór wielu wzorców

$$w_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{\mu=1}^p \xi_i^\mu \cdot \xi_j^\mu \quad (4)$$

Warunek stabilności wzorca ξ_i^v

$$\text{sgn}(h_i^v) = \xi_i^v \quad \text{dla każdego } i \quad (5)$$

Slide 45

Slajd 46

Analogowe układy scalone

$$h_i^v = \sum_j w_{ij} \cdot \xi_j^v = \frac{1}{N} \sum_j \sum_{\mu} \xi_i^\mu \cdot \xi_j^\mu \cdot \xi_j^v$$

$\mu = v$


$$\mu = v \quad \frac{1}{N} \sum_j \xi_i^v \cdot \underbrace{\xi_j^v \cdot \xi_j^v}_{=1} = \frac{1}{N} \cdot N \cdot \xi_i^v = \xi_i^v$$

Slide 46

Slajd 47

Analogowe układy scalone

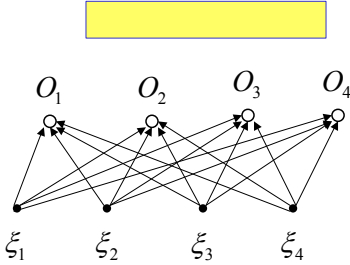
$$h_i^v = \xi_i^v + \frac{1}{N} \sum_j \sum_{\mu \neq \mu} \xi_i^\mu \cdot \xi_j^\mu \cdot \xi_j^v$$



Slide 47

Slajd 48

Analogowe układy scalone



$$O_i = g(h_i) = g\left(\sum_k w_{ik} \cdot \xi_k\right)$$

Slide 48

Slajd 49

Analogowe układy scalone

Opuszczamy progi:

$$\xi_0 = -1 \quad w_{i0} = \theta_i$$
$$O_i = g\left(\sum_{k=0}^N w_{ik} \cdot \xi_k\right) = g\left(\sum_{k=1}^N w_{ik} \cdot \xi_k - \theta_i\right)$$

$$O_i^\mu = \zeta_i^\mu \quad (\text{pożądane}) \quad \Big| \quad \mu = 1, 2, \dots, p$$
$$O_i^\mu = g(h_i^\mu) = g\left(\sum_k w_{ik} \cdot \xi_k^\mu\right)$$

Slide 49

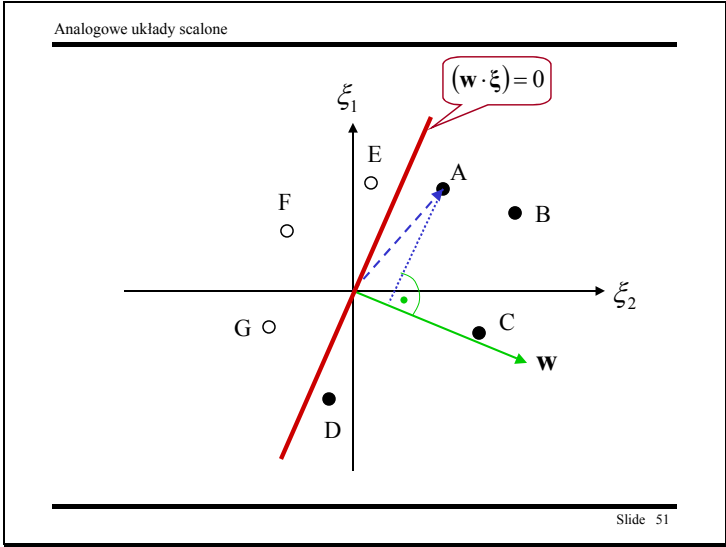
Slajd 50

Analogowe układy scalone

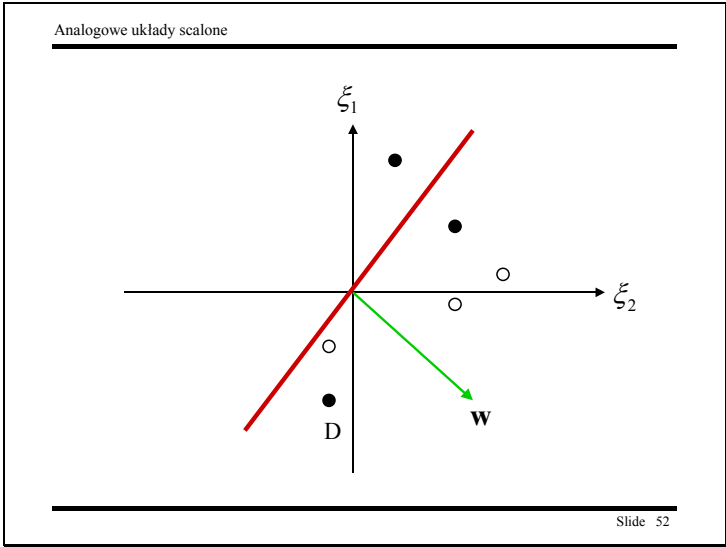
$$g(h) = \text{sgn}(h)$$
$$\mathbf{w} = (w_1 \ w_2 \ \dots \ w_N)$$
$$\xi_k^\mu \Rightarrow \xi^\mu$$
$$\text{sgn}(\mathbf{w} \cdot \xi^\mu) = \zeta^\mu$$

Slide 50

Slajd 51



Slajd 52



Slajd 53

Analogowe układy scalone

**Problem jest liniowo separowalny, jeżeli można znaleźć płaszczyznę w przestrzeni ξ rozdzielając wzorce $\xi^\mu = 1$ od wzorców $\xi^\mu = -1$.
Jeżeli mamy kilka jednostek wyjściowych, znajdujemy takie płaszczyzny dla każdego wyjścia.**

Slide 53

Slajd 54

Analogowe układy scalone

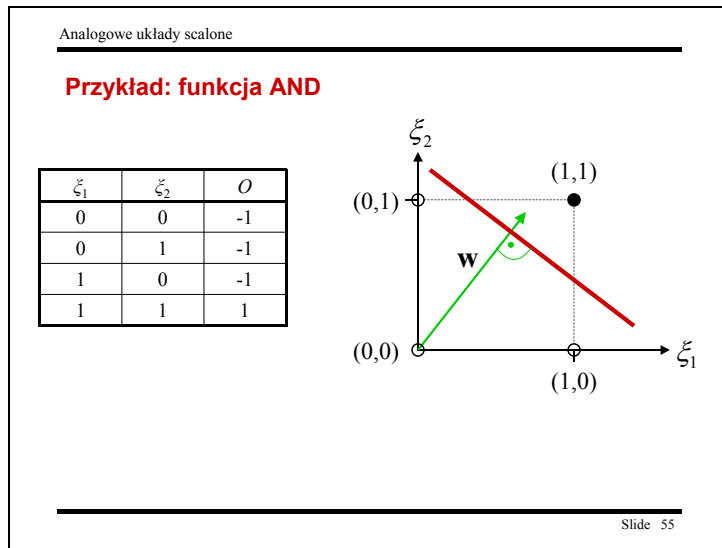
$$O_i = \operatorname{sgn}\left(\sum_{k>0} w_{ik} \cdot \xi_k - w_{i0}\right) \quad O = \operatorname{sgn}(\mathbf{w} \cdot \boldsymbol{\xi} - w_0)$$

Obszary N -wymiarowej przestrzeni wejść $(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N)$ przyjmujące na wyjściu O wartości ± 1 , są odseparowane od siebie przez $(N-1)$ -wymiarową hiperpłaszczyznę:

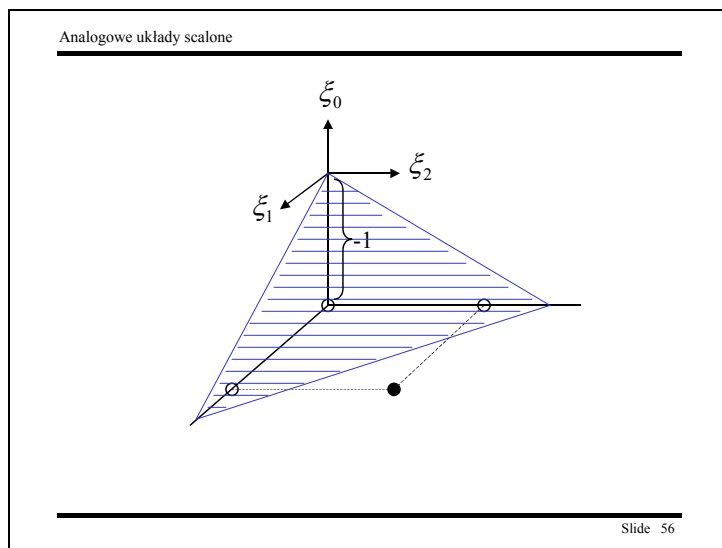
$$\mathbf{w} \cdot \boldsymbol{\xi} = w_0$$

Slide 54

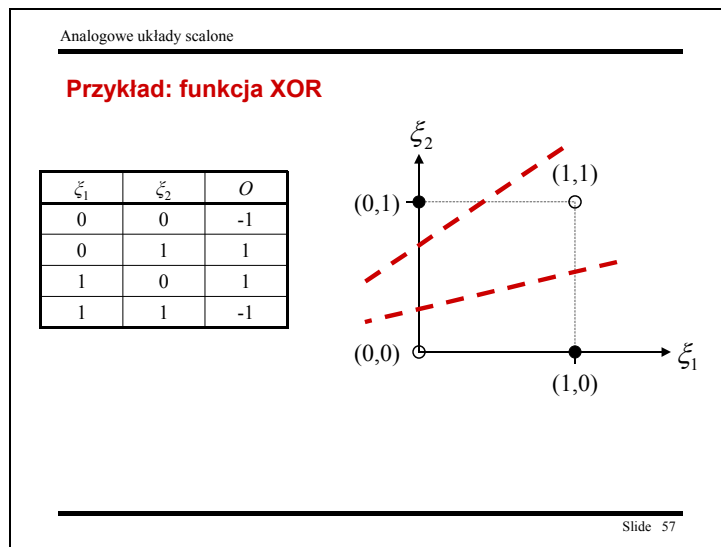
Slajd 55



Slajd 56



Slajd 57



Slajd 58

Analogowe układy scalone

Zał. Problem jest linowo separowalny.
Wprowadzamy kolejno wzorce i sprawdzamy czy:

$$O_i^\mu = \zeta_i^\mu$$

$$w_{ik}^{nowa} = w_{ik}^{stara} + \Delta w_{ik}$$

$$\Delta w_{ik} = \begin{cases} 2\eta \cdot \zeta_i^\mu \cdot \zeta_k^\mu & \text{dla } \zeta_i^\mu \neq O_i^\mu \\ 0 & \text{dla } \zeta_i^\mu = O_i^\mu \end{cases} \quad (1)$$

Slide 58

Slajd 59

Analogowe układy scalone

lub: $\Delta w_{ik} = \eta \cdot (1 - \zeta_i^\mu O_i^\mu) \zeta_i^\mu \cdot \xi_k^\mu$ (2)

lub: $\Delta w_{ik} = \eta \cdot (\zeta_i^\mu - O_i^\mu) \cdot \xi_k^\mu$ (3)

Uwzględnienie marginesu błędu

$\zeta_i^\mu \cdot h_i^\mu = \zeta_i^\mu \sum_k w_{ik} \cdot \xi_{ik}^\mu > N \cdot K$ (4)

Slide 59

Slajd 60

Analogowe układy scalone

$\Delta w_{ik} = \eta \cdot \Theta \cdot (NK - \zeta_i^\mu h_i^\mu) \zeta_i^\mu \cdot \xi_k^\mu$ (5)

$\Theta = 1$

$\zeta_i^\mu \cdot h_i^\mu \leq N \cdot K$

Slide 60

Slajd 61

Analogowe układy scalone

Hiperpłaszczyzny separujące

$\text{sgn}(\mathbf{w} \cdot \boldsymbol{\xi}^\mu) = \zeta^\mu$ dla każdego μ (a)

Definiujemy nową wielkość:

$$x_k^\mu = \zeta^\mu \cdot \xi_k^\mu \quad \Rightarrow \quad \mathbf{x}^\mu = \zeta^\mu \cdot \boldsymbol{\xi}^\mu$$

Warunek (a) można zatem zapisać:

$$(\mathbf{w} \cdot \mathbf{x}^\mu) > 0 \quad \text{dla każdego } \mu \quad \text{(b)}$$

Slide 61

Slajd 62

Analogowe układy scalone

$(\mathbf{w} \cdot \mathbf{x}^\mu) > NK$

$d < NK/|\mathbf{w}|$

Slide 62

Slajd 63

Analogowe układy scalone

Regułę uczenia (5) dla jednego wyjścia można zatem zapisać w postaci:

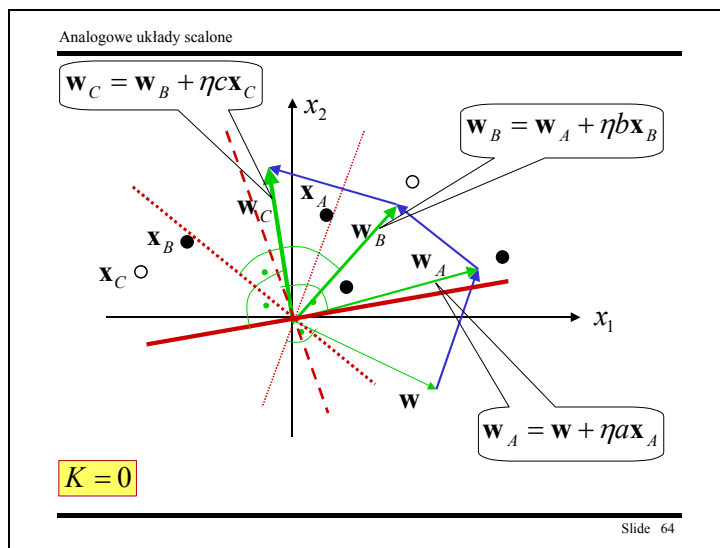
$$\Delta \mathbf{w} = \eta \cdot \Theta \cdot (NK - \mathbf{w} \cdot \mathbf{x}^\mu) \mathbf{x}^\mu$$

ponieważ:

$$\zeta_i^\mu h_i^\mu = \zeta^\mu h^\mu = \zeta^\mu \sum_k w_k \zeta_k^\mu = \sum_k w_k x_k^\mu = \mathbf{w} \cdot \mathbf{x}^\mu$$

Slide 63

Slajd 64



Slajd 65

Analogowe układy scalone

Stopnie trudności uczenia

$D(\mathbf{w}) = \frac{1}{|\mathbf{w}|} \min_{\mu} (\mathbf{w} \cdot \mathbf{x}^{\mu})$

Slide 65

Slajd 66

Analogowe układy scalone

$D_{\max} = \max_{\mathbf{w}} D(\mathbf{w})$

Slide 66

Slajd 67

Analogowe układy scalone

Jednostki liniowe

$g(h)$ - funkcja ciągła i różniczkowalna

$E(\mathbf{w})$ - funkcja kosztów

$\mathbf{w} = \{w_{ik}\}$ - wagi i-tego neuronu

Slide 67

Slajd 68

Analogowe układy scalone

$g(h) = h$

$O_i^\mu = \sum_k w_{ik} \xi_k^\mu$

$O_i^\mu = \zeta_i^\mu \quad \zeta_i^\mu = \sum_k w_{ik} \xi_k^\mu$

Slide 68

Slajd 69

Analogowe układy scalone

Dla sieci liniowej można obliczyć zbiór wag analitycznie metodą pseudoinwersji:

$$w_{ik} = \frac{1}{N} \sum_{\mu\nu} \zeta_i^\mu (\mathbf{Q}^{-1})_{\mu\nu} \zeta_k^\nu \quad (6)$$
$$Q_{\mu\nu} = \frac{1}{N} \sum_k \zeta_k^\mu \zeta_k^\nu$$

Zatem macierz Q jest macierzą części wspólnych wzorców wejściowych

Slide 69

Slajd 70

Analogowe układy scalone

$$a_1 \zeta_k^1 + a_2 \zeta_k^2 + \dots + a_p \zeta_k^p = 0$$

Slide 70

Slajd 71

Analogowe układy scalone

Jeżeli $p \leq N$, to zbiór p wzorców może (ale nie musi) być liniowo niezależny.

Jeżeli $p < N$ to $\xi_k^1, \xi_k^2, \dots, \xi_k^p$ rozpinają tylko podprzestrzeń wzorców w przestrzeni wejściowej i wówczas równanie (6) ma wiele rozwiązań.

Slide 71

Slajd 72

Analogowe układy scalone

(6)

$$\sum_k \xi_k^\mu \xi_k^* = 0$$
$$w_{ik}' = w_{ik} + a_i \xi_k^*$$

Slide 72

Slajd 73

Analogowe układy scalone

Uczenie metodą spadku gradientu

Definiujemy funkcję kosztu

$$E(\mathbf{w}) = \frac{1}{2} \sum_{i\mu} (\zeta_i^\mu - O_i^\mu)^2 = \frac{1}{2} \sum_{i\mu} \left(\zeta_i^\mu - \sum_k w_{ik} \zeta_k^\mu \right)^2$$

$w_{ik} \rightarrow \Delta w_{ik} \sim \nabla E$

$$\Delta w_{ik} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ik}} = \eta \sum_{\mu} (\zeta_i^\mu - O_i^\mu) \zeta_k^\mu$$

Slide 73

Slajd 74

Analogowe układy scalone

ζ_k^μ

$$\Delta w_{ik} = \eta (\zeta_i^\mu - O_i^\mu) \zeta_k^\mu \quad (7)$$

$$\Delta w_{ik} = \eta \delta_i^\mu \zeta_k^\mu$$
$$\delta_i^\mu = \zeta_i^\mu - O_i^\mu$$

Slide 74

Slajd 75

Analogowe układy scalone

Jednostki nieliniowe

$$E(\mathbf{w}) = \frac{1}{2} \sum_{i\mu} (\zeta_i^\mu - O_i^\mu)^2 = \frac{1}{2} \sum_{i\mu} \left(\zeta_i^\mu - g \left(\sum_k w_{ik} \zeta_k^\mu \right) \right)^2$$

$$\Delta w_{ik} = \eta \delta_i^\mu \zeta_k^\mu$$
$$\delta_i^\mu = \zeta_i^\mu - O_i^\mu g'(h_i^\mu)$$

Slide 75

Slajd 76

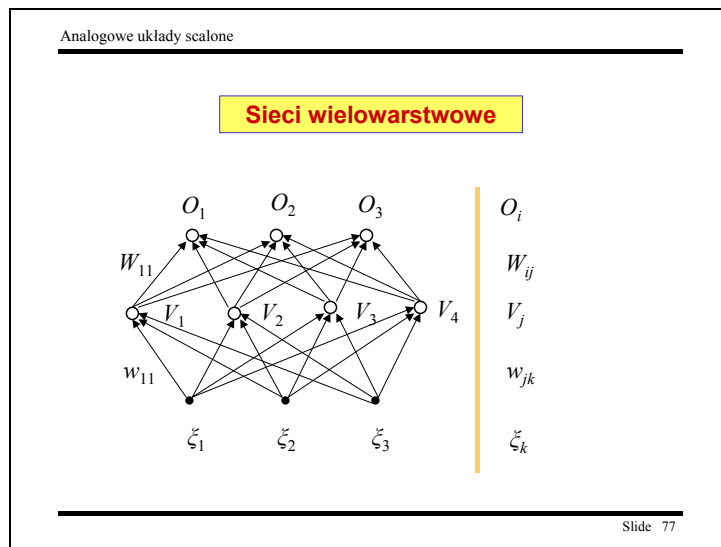
Analogowe układy scalone

$$g(h) = \tanh(h)$$
$$g'(h) = [\tanh(\beta h)]' = \beta (1 - g^2)$$

$$g(h) = f_\beta(h) = [1 + \exp(-2\beta h)]^{-1}$$
$$g'(h) = f_\beta'(h) = 2\beta g(1 - g)$$

Slide 76

Slajd 77



Slajd 78

Analogowe układy scalone

$$\xi_k^\mu \Rightarrow \mu = 1, 2, \dots, p \quad k = 1, 2, \dots, N$$

$$h_j^\mu = \sum_k w_{jk} \xi_k^\mu$$

$$V_j^\mu = g(h_j^\mu) = g\left(\sum_k w_{jk} \xi_k^\mu\right)$$

Slide 78

Slajd 79

Analogowe układy scalone

Zatem i -ta jednostka wyjściowa otrzymuje z warstwy pośredniej sygnał:

$$h_i^\mu = \sum_j W_{ij} V_j^\mu = \sum_j W_{ij} g \left(\sum_k w_{jk} \xi_k^\mu \right)$$

i wytwarza sygnał wyjściowy:

$$O_i^\mu = g(h_i^\mu) = g \left(\sum_j W_{ij} \cdot g \left(\sum_k w_{jk} \xi_k^\mu \right) \right)$$

Czyli mamy „wyjście” w funkcji wag i „wejścia”

Slide 79

Slajd 80

Analogowe układy scalone

$$E(\mathbf{w}) = \frac{1}{2} \sum_{i\mu} (\zeta_i^\mu - O_i^\mu)^2$$

↓

$$E(\mathbf{w}) = \frac{1}{2} \sum_{i\mu} \left[\zeta_i^\mu - g \left(\sum_j W_{ij} \cdot g \left(\sum_k w_{jk} \xi_k^\mu \right) \right) \right]^2$$

$$\Delta W_{ij} = -\eta \frac{\partial E}{\partial W_{ij}} = \eta \sum_{\mu} (\zeta_i^\mu - O_i^\mu) \cdot g'(h_i^\mu) V_j^\mu = \eta \sum_{\mu} \delta_i^\mu V_j^\mu$$

$$\delta_i^\mu = g'(h_i^\mu) \cdot (\zeta_i^\mu - O_i^\mu)$$

Slide 80

Slajd 81

Analogowe układy scalone

$$\Delta w_{jk} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{jk}} = -\eta \frac{\partial E}{\partial V_j^\mu} \cdot \frac{\partial V_j^\mu}{\partial w_{jk}} =$$

$$= \eta \sum_{\mu i} (\zeta_i^\mu - O_i^\mu) g'(h_i^\mu) \cdot W_{ij} g'(h_j^\mu) \zeta_k^\mu =$$

$$= \eta \sum_{\mu i} \delta_i^\mu W_{ij} g'(h_j^\mu) \zeta_k^\mu = \eta \sum_{\mu} \delta_j^\mu \zeta_k^\mu$$

gdzie

$$\delta_j^\mu = g'(h_j^\mu) \sum_i W_{ij} \delta_i^\mu$$

Slide 81

Slajd 82

Analogowe układy scalone

$$\Delta w_{pq} = \eta \sum_{\text{wzorzec}} \delta_{\text{wyjscie}} \cdot V_{\text{wejscie}}$$

Slide 82

