

Michał Strzelecki
Jacek Kowalski
Instytut Elektroniki
Politechnika Łódzka
ul. Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź

Model układowy CMOS oscylatora do segmentacji obrazów

Słowa kluczowe: sieć oscylatorów, segmentacja obrazów

STRESZCZENIE

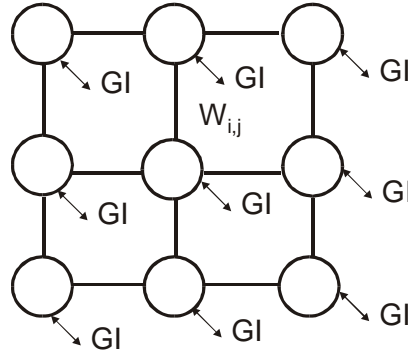
W pracy przedstawiono projekt układu oscylatora, który może stanowić fragment sieci oscylatorów wykorzystywanej do segmentacji obrazów. Realizacja układowa takiej sieci prowadzi do dużo szybszej segmentacji w porównaniu do symulacji komputerowych. Omówiono metodę segmentacji z wykorzystaniem sieci synchronicznych oscylatorów. Zaproponowano nowy model matematyczny oscylatora oraz jego model układowy CMOS. Pokazano wyniki symulacji obydwu modeli. Przedstawiono przykład segmentacji obrazu binarnego, wykorzystując sieć zbudowaną z wykorzystaniem zaproponowanego modelu matematycznego oscylatora.

1. WPROWADZENIE

Segmentacja obrazu jest jednym z ważniejszych etapów jego przetwarzania, mającym zastosowanie w wielu dziedzinach analizy i rozpoznawania obrazów. Segmentacja polega na podziale analizowanego obrazu na rozłączne fragmenty, zgodnie z określonym kryterium jednorodności. Mimo burzliwego rozwoju różnych metod segmentacji, problem ten ciągle stanowi wyzwanie dla dużej grupy badaczy poszukujących nowych rozwiązań w tej dziedzinie.

Jedną z ciekawszych metod segmentacji jest metoda wykorzystująca teorię chwilowej korelacji [5], która próbuje opisać zjawiska zachodzące w ludzkim mózgu podczas analizy obrazu. Według tej teorii, dla obserwowanego obrazu następuje ekstrakcja cech, następnie cechy te pobudzają komórki nerwowe mózgu. Jeżeli obszar obrazu jest jednorodny, kolejne komórki nerwowe ulegają aktywacji poprzez lokalne sprzężenia, tworząc mapę analizowanych obszarów. Na granicy jednorodnych obszarów następuje zanik impulsu pobudzającego i dalsze komórki nie są pobudzane. Po pewnym czasie komórki przestają być aktywne a cały proces powtarza się dla innego jednorodnego obszaru. W ten sposób powstają mapy, odwzorowujące jednorodne obszary w analizowanym obrazie. Wykorzystując tą teorię, dla celów segmentacji Wang [1,5] zaproponował sieć połączonych oscylatorów, gdzie każdy oscylator odpowiadałby jednemu punktowi obrazu (rys. 1). Siła połączeń pomiędzy sąsiednimi oscylatorami sieci (wagi W_{ij} na rys. 1) zależy od podobieństwa otaczających ich obszarów – przez podobieństwo rozumie się tu jednorodność z punktu widzenia ludzkiego układu wzrokowego. Oscylatory należące do jednorodnego obszaru poprzez lokalną propagację sygnału są jednocześnie pobudzone, zaś pozostałe oscylatory pozostają nieaktywne – zatem powstaje obraz analizowanego obszaru (obiektu). Proces ten powtarza się

kolejno dla wszystkich jednorodnych obszarów w obrazie zapewniając w konsekwencji jego segmentację. Zadaniem układu globalnego inhibitora (GI) jest zapewnienie desynchronizacji pomiędzy grupami oscylatorów reprezentujących poszczególne obiekty. Sieć oscylatorów daje dobre wyniki segmentacji wybranej klasy obrazów biomedycznych [3] oraz obrazów zawierających tekstury [4,5].



Rys. 1. Sieć oscylatorów o wymiarach 3×3. Każdy oscylator, poza brzegowymi jest połączony z czterema sąsiadami za pomocą wag W_{ij} oraz z układem globalnego inhibitora GI.

Jedną z zalet opisanej metody segmentacji jest możliwość realizacji sieci oscylatorów w postaci układu scalonego, co zapewniłoby dużo szybszą analizę obrazu w porównaniu z symulacjami komputerowymi. Celem tego artykułu jest przedstawienie projektu układu pojedynczego oscylatora sieci, jego symulacji za pomocą programu SPICE oraz wyników symulacji sieci zbudowanej z wykorzystaniem matematycznego modelu tego oscylatora.

2. NOWY MODEL OBWODOWY I MATEMATYCZNY OSCYLATORA

Oscylatory sieci zaproponowanej przez Wanga [1,5] są opisane za pomocą układu równań różniczkowych:

$$\frac{dx}{dt} = 3x - x^3 + 2 - y + I_{inp} \quad (1)$$

$$\frac{dy}{dt} = \varepsilon \left[\gamma \left(1 + \tanh\left(\frac{x}{\beta}\right) \right) - y \right] \quad (2)$$

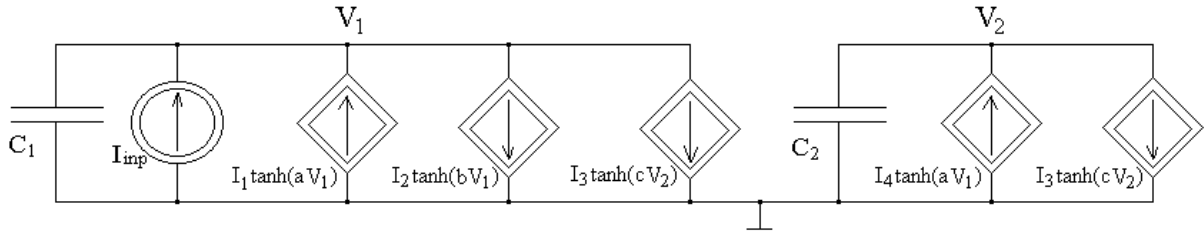
gdzie $x(t)$ jest zmienną pobudzającą, $y(t)$ – zmienną hamującą, zaś ε , γ , β są stałymi parametrami. I_{inp} jest całkowitym zewnętrznym pobudzeniem sieci, w najprostszym przypadku zależnym od jasności danego punktu obrazu.

Z uwagi na sposób realizacji z zastosowaniem wzmacniaczy transkonduktancyjnych OTA proponuje się następujący model matematyczny oscylatora:

$$C_1 \frac{dV_1}{dt} = I_1 \tanh(aV_1) - I_2 \tanh(bV_1) - I_3 \tanh(cV_2) + I_{inp} \quad (3)$$

$$C_2 \frac{dV_2}{dt} = I_4 \tanh(aV_1) - I_3 \tanh(cV_2) \quad (4)$$

Schemat obwodowy nowego modelu oscylatora przedstawia rys. 2. Na drodze symulacji komputerowych modelu opisanego równaniami (3), (4) dobrano następujące wartości jego parametrów: $I_1=6\mu\text{A}$, $I_2=10\mu\text{A}$, $I_3=10\mu\text{A}$, $I_4=4\mu\text{A}$, $a=4.36$, $b=1.69$, $c=1.1$, $C_1=50\text{fF}$, $C_2=1\text{pF}$. Używając modelu tranzystora MOS Level 1 z parametrem LAMBDA = 0 oraz pomijając



Rys. 2. Model obwodowy oscylatora

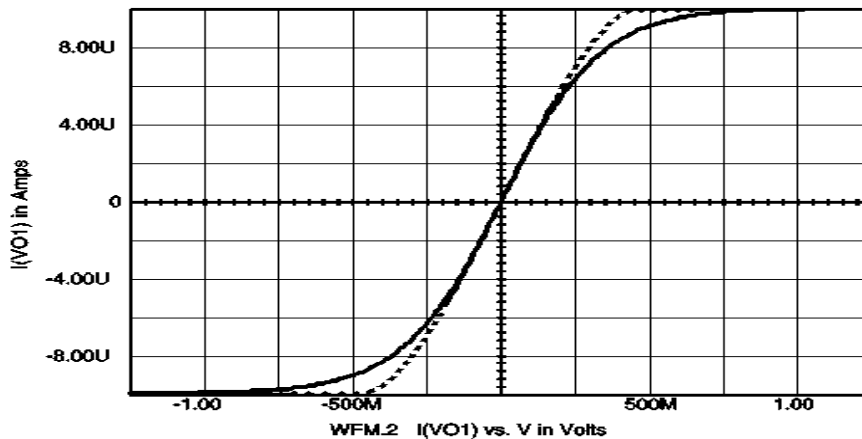
oddziaływanie napięcia podłoża, wzór określający charakterystykę przejściową wzmacniacza OTA ma następującą postać [2]:

$$I_o = \begin{cases} I_{sat} & \text{dla } V_r \geq \sigma \\ \beta_r V_r \sqrt{\frac{I_{sat}}{\beta_r} - \frac{1}{4} V_r^2} & \text{dla } -\sigma < V_r < \sigma \\ -I_{sat} & \text{dla } V_r \leq -\sigma \end{cases} \quad (5)$$

gdzie V_r jest napięciem różnicowym wzmacniacza OTA, β_r jest współczynnikiem transkonduktancji tranzystorów pary różnicowej, zaś I_{sat} prądem nasycenia wzmacniacza OTA. Charakterystykę opisaną wzorem (5) można aproksymować następującą zależnością:

$$I_o = I_{sat} \tanh\left(\sqrt{\frac{\beta_r}{I_{sat}}} V_r\right) \quad (6)$$

Aproksymacja funkcji (6) za pomocą funkcji (5) graficznie jest przedstawiona na rys. 3.

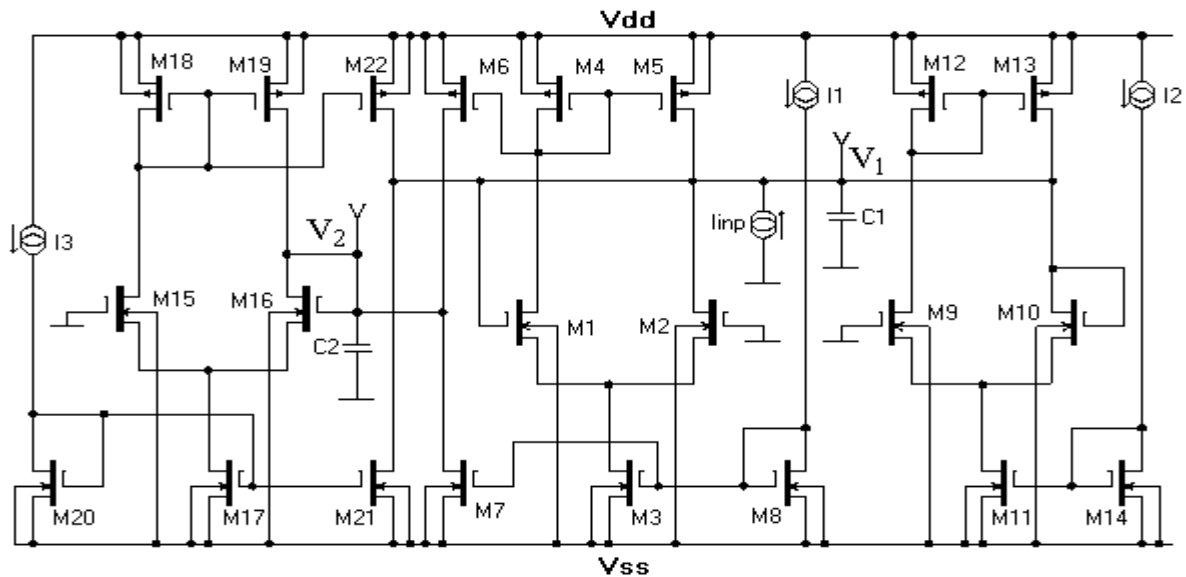


Rys. 3. Aproksymacja funkcji (6)-linia ciągła za pomocą funkcji (5)-linia przerywana

3. MODEL UKŁADOWY CMOS OSCYLATORA

Posługując się modelem obwodowym oscylatora z rys. 2 opracowano jego strukturę układową CMOS. Schemat ideowy oscylatora przedstawia rys. 4. Tranzystory M1-M5, M8 realizują funkcję $I_1 \tanh(aV_1)$, tranzystory M6,M7 realizują funkcję $I_4 \tanh(aV_1)$, tranzystory M9-M14 funkcję $I_2 \tanh(bV_1)$, zaś M15-22 funkcje $I_3 \tanh(cV_2)$.

Korzystając z dobranych parametrów modelu oscylatora (3), (4) oraz aproksymacji opisaną wzorem (6) i wykorzystując nominalne wartości parametrów technologii CMOS MIETEC 2.4 μm obliczono wymiary tranzystorów par różnicowych wzmacniaczy OTA jak to przedstawia tablica 1. Wymiary pozostałych tranzystorów MOS zwierciadeł prądowych w układzie oscylatora dobrano tak, aby pracowały stale w zakresie nasycenia dla pełnej dynamiki napięć oscylacji. Wymiary pozostałych tranzystorów zawiera tablica 2.



Rys. 4. Schemat ideowy oscylatora

Tabl. 1. Wymiary tranzystorów par różnicowych układu CMOS oscylatora

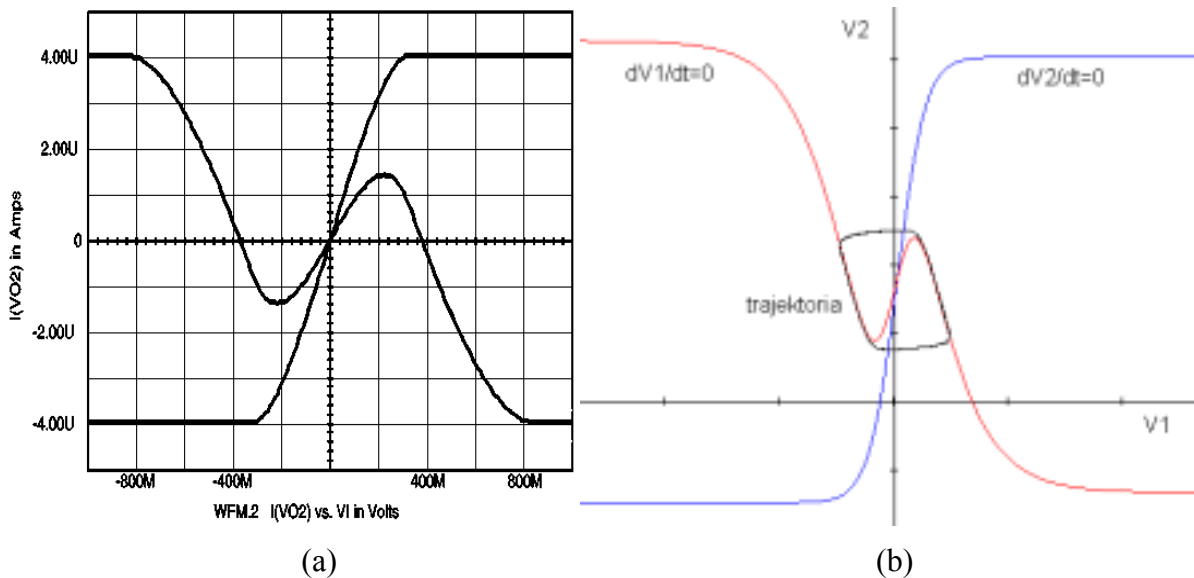
	M1, M2	M9, M10	M15, M16
W[μm]	6	3	3
L[μm]	3	6	15.7

Tabl. 2. Wymiary pozostałych tranzystorów układu CMOS oscylatora

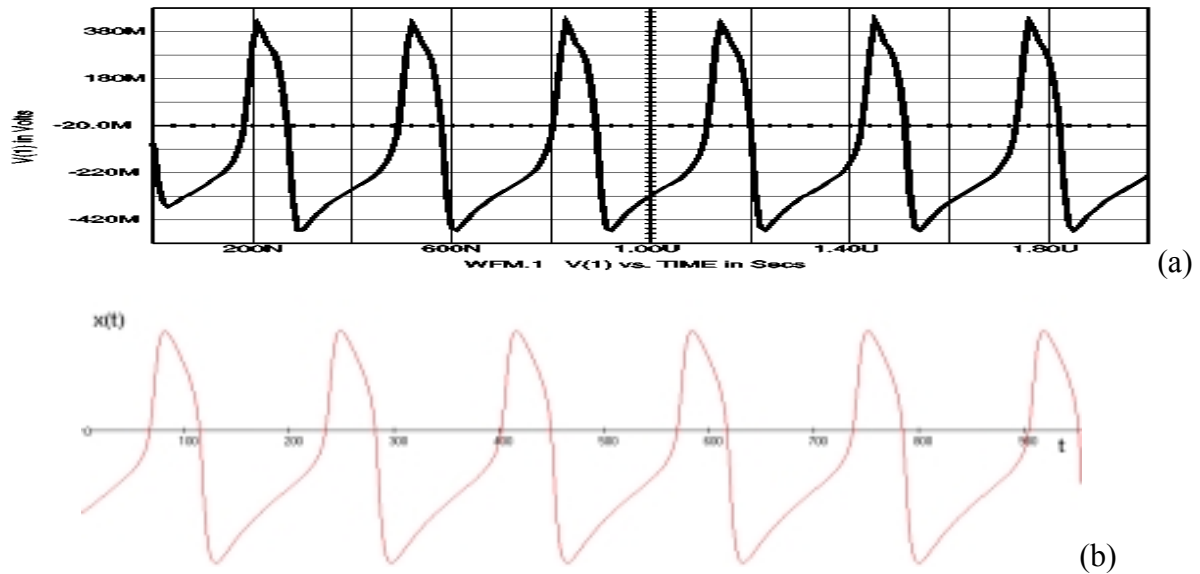
	M3-5, M8, M11-14, M17-21	M6	M7	M22
W[μm]	3	4	3	6
L[μm]	3	3	4.5	3

4. SYMULACJA UKŁADU CMOS OSCYLATORA

Wyniki symulacji programem SPICE3/ICAP4 zaproponowanej realizacji CMOS funkcji $I_1 \tanh(aV_1) - I_2 \tanh(bV_1)$ na tle funkcji $I_4 \tanh(aV_1)$ przedstawia rys. 5a.



Rys. 5. Wyniki symulacji funkcji $I_1 \tanh(aV_1) - I_2 \tanh(bV_1)$ na tle funkcji $I_4 \tanh(aV_1)$: realizacji CMOS w programie SPICE (a) oraz modelu matematycznego wraz z przykładową trajekcją oscylatora (b).



Rys. 6. Przebieg sygnału wyjściowego oscylatora $V_1(t)$ dla $I_{inp} = -1.5 \mu A$. Wynik symulacji układu za pomocą programu SPICE (a) oraz za pomocą modelu matematycznego (b)

Rezultaty symulacji pracy oscylatora dla $I_{inp} = -1.5 \mu A$ przedstawia rys. 6a.

5. SYMULACJA SIECI OSCYLATORÓW

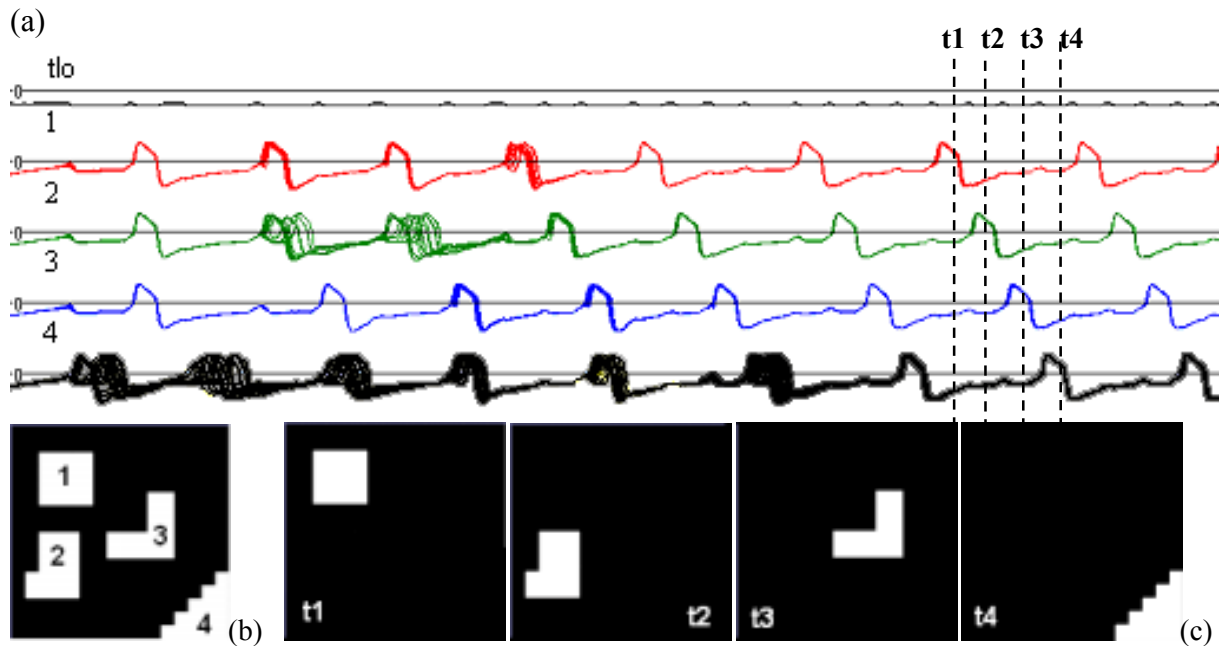
W celu sprawdzenia poprawności działania modelu oscylatora opisanego równaniami (3),(4) dokonano symulacji komputerowej sieci składającej się z 256 oscylatorów (16×16). Wykres przedstawiający trajektorię pojedynczego oscylatora pokazano na rys. 5b wraz z przebiegiem funkcji $dV_1/dt=0$ i $dV_2/dt=0$, zaś wykres przebiegu czasowego $x(t)$ na rys. 6b.

Całkowite zewnętrzne pobudzenie każdego oscylatora i opisane jest wzorem (7):

$$I_{inp}^i = I^i + \sum_{j=1}^4 W_{ij} Hev(x_j) - W_z z \quad Hev(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 1 & t \geq 0 \end{cases} \quad (7)$$

gdzie I^i oznacza jasność punktu obrazu związanego z danym oscylatorem, W_{ij} są wagami pomiędzy oscylatorem i oraz jego czterema sąsiadami, z jest zmienną określającą stan globalnego inhibitora (GI). z jest równe 1, gdy co najmniej jeden oscylator sieci jest aktywny, tzn. jego sygnał wyjściowy $x(t) > 0$, w przeciwnym razie $z=0$, W_z jest stałą wagą związaną z GI. Rolą GI jest blokowanie możliwości pobudzenia innych oscylatorów, poza tymi, które reprezentują jeden obiekt. Zmniejszanie wartości zewnętrznego pobudzenia I_{inp} powoduje obniżanie się wykresu funkcji $dV_1/dt=0$ na rys. 5b. W chwili, gdy jej lewe lokalne minimum przetnie wykres funkcji $dV_2/dt=0$, oscylacje ustaną. Zatem, poprzez odpowiedni dobór wag W_{ij} i W_z można sterować warunkami generacji oscylatorów sieci, zapewniając ich odpowiednią synchronizację i desynchronizację.

Przykład segmentacji z wykorzystaniem takiej sieci dla obrazu binarnego o wymiarach 16×16 pokazano na rys. 7. Rys. 7a pokazuje przebiegi wyjściowe grup oscylatorów przypisanych do poszczególnych obiektów obrazu oraz tła. Po pewnym czasie widać, że w takich grupach następuje synchronizacja drgań, zaś poszczególne grupy oscylują z przesunięciem fazy względem siebie. Zatem dla wybranych chwil czasowych t_1 , t_2 , t_3 i t_4 można, na podstawie obserwacji przebiegów wyjściowych oscylatorów, jednoznacznie wydzielić cztery obiekty występujące w obrazie, co prowadzi do jego kompletnej segmentacji (rys. 7c).



Rys. 7. Przebiegi wyjściowe oscylatorów (a) dla przykładowego obrazu binarnego (b). Obrazy wyjść oscylatorów sieci obserwowane w chwilach t_1 , t_2 , t_3 oraz t_4 , zawierające wydzielone obiekty analizowanego obrazu (c).

6. WNIOSKI

Symulacja układowa modelu oscylatora jest pierwszym krokiem do budowy sieci, którą będzie można wykorzystać do segmentacji wybranej klasy obrazów. Dalszym krokiem będzie symulacja układowa takiej sieci oraz jej testowanie dla przykładowych obrazów. Kolejnym zagadnieniem jest problem pojemności takiej sieci, określanej jako jej zdolność do segmentacji określonej liczby obiektów obrazu. W chwili obecnej sieć zawierająca oscylatory CMOS jest zdolna do rozróżnienia czterech obiektów. Taka liczba może nie być wystarczająca w zastosowaniach praktycznych. Zwiększenie pojemności sieci jest możliwe poprzez zwiększenie nachylenia funkcji $dV_2/dt=0$ z rys. 5, co wymaga modyfikacji modelu oscylatora. Zagadnienie to stanowi obecnie przedmiot dalszych badań.

BIBLIOGRAFIA

- [1] E. Cemeli, D. Wang, „Texture Segmentation Using Gaussian-Markov Random Fields and Neural Oscillator Networks”, IEEE Trans. on Neural Networks, vol. 12, March 2001, pp. 394-404.
- [2] J. Kowalski, T. Kacprzak, „Analiza i projektowanie sieci neuronowych komórkowych realizowanych w technice układowej wzmacniaczy transkonduktancyjnych jedno- i wielowejściowych”, Kwartalnik Elektroniki i Telekomunikacji, Tom 47, Zeszyt 1, pp. 87 – 119, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
- [3] M. Strzelecki, „Image Segmentation Based on Network of Synchronised Oscillators”, Proc. of Interational Conference on Signals and Electronic Systems, 18-21 September 2001, Lodz, Poland, pp. 105-110
- [4] M. Strzelecki, „Segmentation of Textured Images using Network of Synchronised Oscillators”, Proc. of IEEE Signal Processing 2001, 12 October 2001, Poznań, Poland, pp. 105-108.
- [5] D. Wang, D. Ternan, „Image segmentation based on oscillatory correlation”, Neural Computation, vol. 9, 1997, pp. 805-836.