

ZASTOSOWANIE ALGORYTMU GENETYCZNEGO W CELU WYZNACZENIA WSPÓŁCZYNNIKÓW WZMOCNIENIA WZMACNIACZA WEJŚCIOWEGO REJESTRATORA SYGNAŁÓW

Marek KCIUK¹, Sebastian BARTEL²

Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny, Katedra Mechatroniki
tel.: 32 237 28 03 e-mail: marek.kciuk@polsl.pl¹, sebastian.bartel@polsl.pl²

Streszczenie: W artykule przedstawiono projekt wzmacniacza nieodwracającego o zmiennym współczynniku wzmocnienia dla modułu pięcioletniowego miernika napięcia. Zadaniem wzmacniacza jest dopasowanie zakresu wejściowego urządzenia do wejścia przetwornika analogowo-cyfrowego. Przelączenie zakresu (wzmocnienia) odbywa się poprzez wybór odpowiedniej pary rezystorów odpowiedzialnych za wzmocnienie i podzielenie sygnału. Zestaw rezystorów przelczanych został dobrany za pomocą algorytmu genetycznego zaimplementowanego jako aplikacja napisana w środowisku LabVIEW. Program poszukuje rozwiązania w zadanej puli rezystorów zwanej populacją, poszukując wartości spełniające wszystkie zadane wzmocnienia sygnału.

Słowa kluczowe: algorytm genetyczny, wzmocnienie, wzmacniacz wejściowy, rejestrator sygnałów.

1. WPROWADZENIE

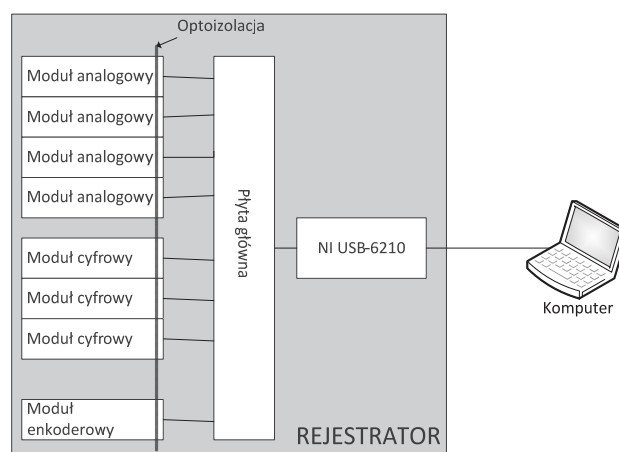
Przyrządy pomiarowe dostępne są w bardzo dużej gamie. Od prostych multimetrów po złożone przyrządy pomiarowe umożliwiające synchroniczny pomiar wielu kanałów sygnałowych. Jednak w specyficznych warunkach wymagane są konstrukcje posiadające ściśle określone parametry zarówno metrologiczne jak i mechaniczne (np. wytrzymałość na wstrząsy).

W przypadku przyrządów o regulowanych zakresach pomiarowych, np. w multimetrach, przelączenie zakresu wiąże się ze zmianą współczynnika wzmocnienia wzmacniacza wejściowego. Wzmacniacz ten odpowiada za dopasowanie sygnału wejściowego do wejścia przetwornika analogowo cyfrowego konwertującego analogowy sygnał na postać cyfrową. Przelczanie może odbywać się ręcznie lub automatycznie.

W pracy przedstawiono koncepcję doboru rezystorów, których układ odpowiada za wzmocnienia wzmacniacza wejściowego. Dobór ten jest realizowany z zastosowaniem metody optymalizacji bazującej na algorytmie genetycznym. Wśród znanych algorytmów optymalizacji inspirowanych biologicznie, takich jak logika rozmyta, algorytmy mrowiskowe czy algorytmy symulowanego wyżarzania [1,2,3] algorytm ten wydał się naturalnym i najłatwiejszym w implementacji dla tego typu zadania [5].

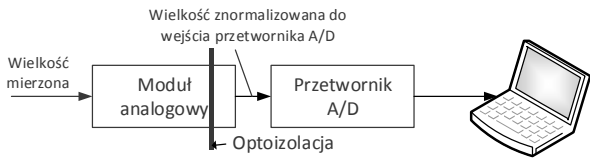
2. BUDOWA REJESTRATORA SYGNAŁÓW

Celem pracy było zaprojektowanie i wykonanie dedykowanego rejestratora przebiegów mieszanych: sygnałów analogowych – napięciowych, cyfrowych i enkoderowych. Wszystkie kanały pomiarowe mają być izolowane względem siebie, aby umożliwić pomiary sygnałów o różnych potencjałach. Struktura rejestratora została przedstawiona na rysunku 1. Głównym urządzeniem zarządzającym pracą rejestratora oraz dokonującym akwizycji sygnałów jest karta akwizycji danych NI USB-6210. Wszystkie moduły mają za zadanie odseparować galwanicznie sygnał oraz dopasować go do wejść karty, w przypadku modułów analogowych wiąże się to z realizacją zmiany zakresów pomiarowych. Rozbieżność zakresów wejściowych jest bardzo duża – największy zakres wynosi 1000V, najmniejszy natomiast 0,3V.



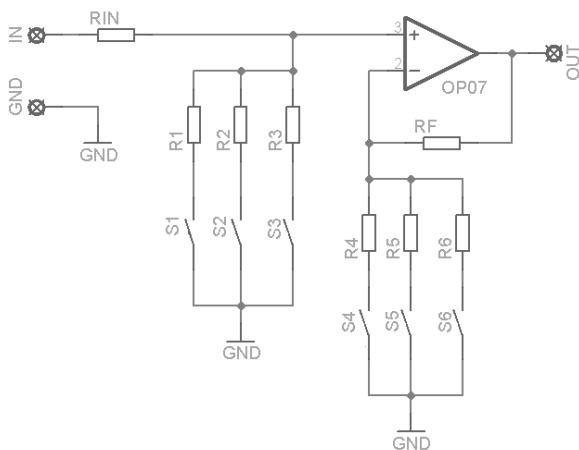
Rys. 1. Schemat blokowy struktury rejestratora

Z punktu widzenia użytkownika najważniejsze znaczenie mają kanały analogowe oraz enkoderowe, kanały cyfrowe są to tzw. znaczniki sygnalizujące zadziałanie zabezpieczenia obwodu elektrycznego. Klasyczna struktura cyfrowego miernika zastosowanego jako moduł analogowy w uproszczony sposób została przedstawiona na rysunku 2.



Rys. 2. Struktura cyfrowego miernika napięcia

Zadaniem przetwornika wejściowego jest zapewnienie dużej impedancji wejściowej miernika na poziomie $1M\Omega$ oraz przeskalowanie sygnału ze zmieniającego zakresu pomiarowego do stałego zakresu przetwornika analogowo-cyfrowego, który wynosi 10V. Struktura wzmacniacza wejściowego została przedstawiona na rysunku 3. Sześć rezystorów R1-R6 realizuje zmianę współczynnika wzmocnienia, a co za tym idzie, zmianę zakresu pomiarowego.



Rys. 3. Uproszczony schemat ideowy wzmacniacza wejściowego [4]

Współczynnik wzmocnienia przedstawionego wzmacniacza wynosi:

$$Wzm = \frac{R_A}{R_{IN} + R_A} \cdot \left(1 + \frac{R_F}{R_B} \right), \quad (1)$$

gdzie:

- R_{IN} – rezystancja wejściowa wzmacniacza,
- R_F – rezystancja sprzężenia zwrotnego,
- R_A – rezystancja odpowiadająca za podzielenie sygnału – rezystor z puli R1-R3,
- R_B – rezystancja odpowiadająca za wzmocnienie sygnału – rezystor z puli R4-R6.

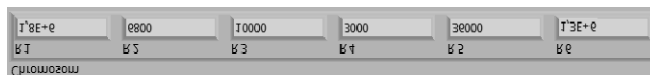
Jako założenie upraszczające przyjęto, że współczynnik wzmocnienia jest ustawiany jednym rezystorem z puli R_A oraz jednym rezystorem z puli R_B . Otrzymano w sumie dziewięć możliwych wzmocnień.

3. ZASTOSOWANIE ALGORYTMU GENETYCZNEGO DO WYZNACZENIA WARTOŚCI REZYSTORÓW

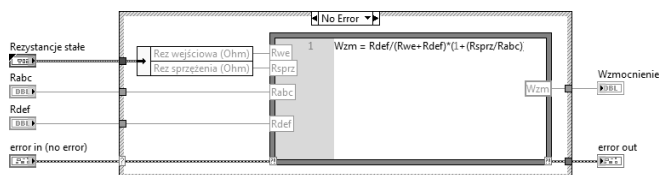
Zadaniem jest znalezienie wartości rezystorów R1-R6 takich, aby pary rezystorów: jeden z grupy R_A a drugi z grupy R_B , realizowały pięć zadanych wzmocnień dopasowujących zakres wejściowy modułu analogowego rejestratora do wejścia karty NI USB-6210.

Pojedynczy chromosom składa się z sześciu wartości rezystancji R1-R6. Funkcja celu określona jest przez współczynnik wzmocnienia przedstawiony równaniem (1). Klasyfikacja chromosomów jest ustalana względem liczby dopasowanych współczynników wzmocnienia. Przy powyższym założeniu istnieje dziewięć wartości współczynnika wzmocnienia, jednak szukanych jest pięć wartości.

Jako populację genów przyjęto zakres rezystancji od $1k\Omega$ do $2M\Omega$ zgodnie z typoszeregiem 1% – E96. Na rysunku 4 przedstawiono widok chromosomu zawierającego sześć wartości rezystancji – genów. Implementację funkcji celu przedstawiono na rysunku 5.



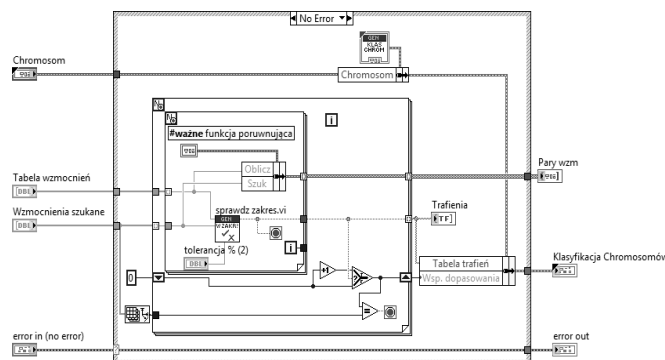
Rys. 4. Widok chromosomu zawierający sześć genów



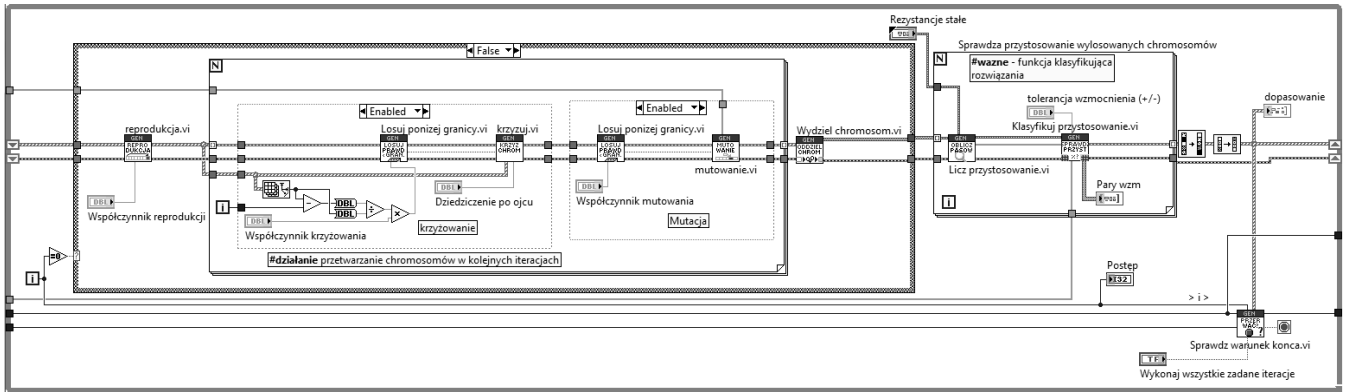
Rys. 5. Implementacja funkcji celu

Funkcja sprawdzająca dopasowanie została przedstawiona na rysunku 6. W trakcie wyszukiwania rozwiązania uwzględniana jest również tolerancja dopasowania liczona jako odchyłka od nominalnej wartości wzmocnienia szukanego o wartość \pm tolerancja wyrażona jako procent wartości szukanego współczynnika wzmocnienia. Sprawdzenie działa w zagnieżdżonej pętli For. W zewnętrznej pętli wybierane są kolejne wzmocnienia zadane (szukane), w wewnętrznej sprawdzane są wszystkie wzmocnienia wynikające z układu rezystancji R1-6. W przypadku spełnienia warunku dopasowania wewnętrzna pętla kończy działanie zwracając wartość True, co powoduje zwiększenie współczynnika dopasowania o 1. W przypadku nie spełnienia warunku dopasowania wewnętrzna pętla kończy działanie po dziewięciu iteracjach zwracając wartość False, co powoduje utrzymanie współczynnika dopasowania na aktualnej wartości. Funkcja została napisana w taki sposób, że możliwe jest znalezienie dowolnej liczby wzmocnień, nie większej jednak niż liczba wzmocnień wynikająca z liczby i układu rezystorów.

Pierwsza populacja chromosomów wyznaczana jest losowo, dalej następuje klasyfikacja chromosomów czyli określenie współczynnika dopasowania. Przyjęto najprostszą



Rys. 6. Funkcja sprawdzająca dopasowanie chromosomu



Rys. 7. Widok kodu głównego programu

lecz intuicyjną metodę – każde dopasowane wzmocnienie zwiększa współczynnik dopasowania o 1, oczekiwaną wartością jest 5 – chromosom w swojej puli 9 wzmocnień zawiera 5 szukanych wartości. Po uszeregowaniu następuje uporządkowanie elementów od najbardziej do najmniej dostosowanych. Klasyfikacja oraz szeregowanie są ostatnim etapem każdej iteracji. W kolejnych iteracjach populacja jest modyfikowana na trzy sposoby: reprodukcja najsilniejszych chromosomów, krzyżowanie oraz mutacja. Na rysunku 7 przedstawiono główną pętlę programu z widokiem iteracji modyfikującej populację chromosomów, natomiast na rysunku 8 przedstawiono widok okna głównego. Rysunek 8 przedstawia dwie zakładki: *Ustawienia* związane z zadawaniem parametrów szukanych oraz *Parametry genetyki* prezentujące ustawienia parametrów związanych z algorytmem genetycznym. Ostatnią operacją jest mutowanie, polega ono na wylosowaniu jednego genu w chromosomie i zastąpieniu go genem o innej wartości z puli. Program kończy swoje działanie po wykonaniu zadanej liczby iteracji lub po znalezieniu pierwszego rozwiązania. Zakończenie działania wynikające z zadanej liczby iteracji zabezpiecza program przed nieskończonym zapętleniem w przypadku nieznaledzenia żadnego rozwiązania i musi być stosowane w zadaniach optymalizacyjnych. W prezentowanym programie rozwiązanie to umożliwia także, w przypadku istnienia wielu rozwiązań, znalezienie więcej niż jednego. Wtedy użytkownik może podjąć decyzję, który chromosom przyjąć do dalszej realizacji uwzględniając czynniki nie ujęte w programie. Istnieje także prawdopodobieństwo, że program kilkakrotnie znajdzie to samo rozwiązanie np. poprzez zmianę układu tych samych wartości rezystancji w chromosomie.

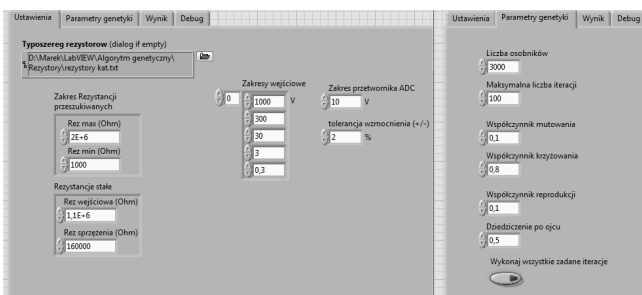
- Reprodukacja polega na powieleniu t ($0 \leq t \leq 1$) najsilniejszych chromosomów oraz zastąpieniu nimi najsłabszych chromosomów w populacji. Ten zabieg ma za zadanie zwiększenie wpływu najsilniejszych chromosomów. W programie przyjęto współczynnik $t=0,1$ czyli 10% najsilniejszych chromosomów zostaje powielonych.

- Krzyżowanie polega na wymieszaniu genów dwóch wybranych chromosomów, operacja wymaga podania dwóch parametrów: prawdopodobieństwa wystąpienia krzyżowania PC ($0 \leq PC \leq 1$) oraz wpływu chromosomów protoplastów na nowo tworzone chromosomy D ($0 \leq D \leq 1$). Parametr PC określa prawdopodobieństwo, czy dany chromosom ma zostać poddany krzyżowaniu. Parametr D natomiast określa prawdopodobieństwo wyboru konkretnego genu z silniejszego chromosomu (nazwanego w programie ojcem). Zaimplementowany algorytm realizuje krzyżowanie wielopunktowe tzn. parametr D jest określany dla każdego genu niezależnie. W programie przyjęto następujące wartości współczynników $PC = 0,8$, $D = 0,5$ czyli prawdopodobieństwo krzyżowania chromosomów wynosi 80% przy takim samym prawdopodobieństwie wyboru konkretnego genu z jednego jak i drugiego chromosomu protoplasty.

- Ostatnim algorytmem jest mutowanie polegające na zmianie jednej losowej wartości genu w chromosomie na inną wylosowaną z puli wartość. Mutowanie ma za zadanie wprowadzenie dodatkowej zmienności w przypadku niebezpieczeństwa utknięcia w ekstremum lokalnym funkcji. W programie przyjęto współczynnik mutowania równy 0,1 czyli 10% prawdopodobieństwo na zmutowanie genu w chromosomie.

4. OCENA DZIAŁANIA ALGORYTMU

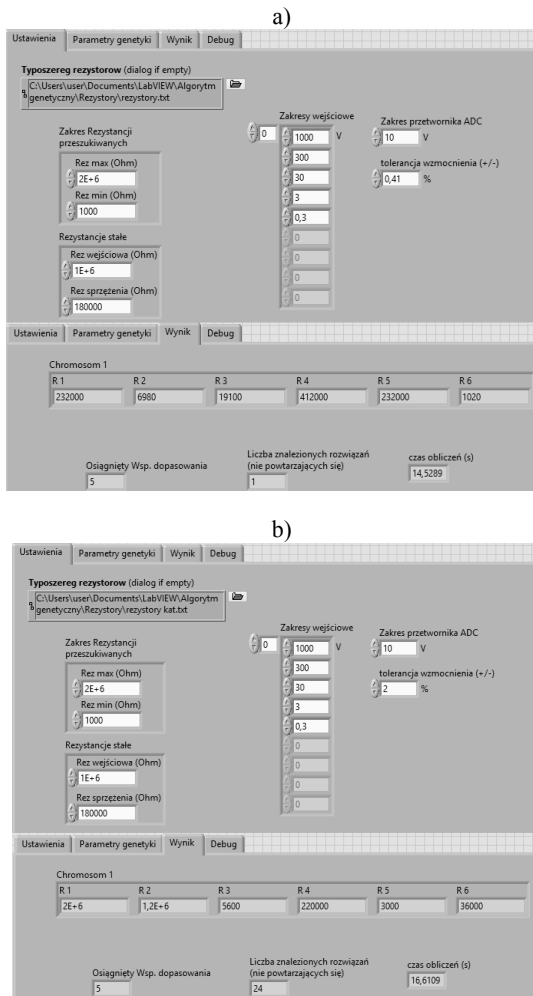
Optymalizację przeprowadzono dla puli rezystorów w przedziale od $1k\Omega$ do $2 M\Omega$ dla typoszeregu E96. Populacja genów wyniosła 318 osobników. Okazało się jednak, że otrzymane wartości znacznie odbiegały od typowych wartości rezystorów łatwo dostępnych w sklepie elektronicznym, co znacznie utrudniało dalszą realizację projektu. Zmodyfikowano pulę rezystorów do wartości dostępnych w lokalnym sklepie elektronicznym. Tym razem populacja genów wyniosła 72 osobniki. Powtórzono proces optymalizacji. W obydwu przypadkach zrealizowano serię obliczeń w której szukano wartości rezystorów, dla których osiągnięto najmniejszą możliwą tolerancję między wzmocnieniem szukanym a dopasowanym. W pierwszym przypadku tolerancja wyniosła 0,41% (dla typoszeregu E96) dalszą poprawę dokładności uniemożliwia format danych



Rys. 8. Widok zakładki ustawień oraz parametrów operacji genetycznych programu głównego

W programie zaimplementowano trzy podstawowe metody operujące na populacji chromosomów.

typu double oraz zapis wartości rezystorów w postaci dwóch znaczących cyfr, natomiast w drugim przypadku (dostępnych wartości rezystancji) osiągnięto tolerancję 2%.



Rys. 9. Prezentacja wyników działania programu dla typoszeregu E96 (a) oraz typoszeregu dostępnego w lokalnym sklepie elektronicznym (b)

Na rysunku 9 przedstawiono znalezione wartości rezystancji dla obydwu przypadków oraz uzyskane dokładności. Liczba osobników nie wpłynęła znacząco na prędkość działania algorytmu. W pierwszym przypadku czas obliczeń wynosił 14 do 15 sekund, w drugim 13 do 14 sekund mimo znacznego zmniejszenia puli genów.

USE OF A GENETIC ALGORITHM TO DETERMINE THE GAIN OF THE INPUT AMPLIFIER OF THE SIGNAL LOGGER

Goal of the paper is to find proper resistance values for input amplifier of voltage measurement module – see fig. 2. The voltage measurement module is a part of a bigger device which is a signal logger presented in fig. 1. The structure of the amplifier is presented in fig. 3. A pairs of resistors set the amplifier gains, the gain factor is given by equation (1). One resistor from R_A group (which contains R_1 - R_3) and one resistor from R_B group (which contains R_4 - R_6) set the gain factor. The variable gain convertes signal from choosen input of the module into ADC converter input. The module need five measurement ranges which have to be converted into ADC input, so five gain factors are needed. The genetic algorithm was employed to find the resistance values. Group of six resistors called genes buid chromosome – fig. 4. The matching function compares nine gains given by pairs of resistors with five desirable gains, each mached gain increases matching factor, expected factor is equal to five. The maching function is presented in fig. 6. The software was implemented in LabVIEW environment. The code is presented in fig. 7, as well as GUI is presented in fig. 8. The software finds the solution in given range of resistor values. In result it try to find all five signal gains. Two series of resistances were taken into account, the first one is E96 (1%) serie with 318 elements, the second one was series available in local electronic shop with 72 elements. The solutions were found in both cases. The results are presented in fig. 9.

Keywords: genetic algorithm, gain, input amplifier, signal logger.

5. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono proces doboru wartości rezystancji dla wzmacniacza wejściowego modułu analogowego rejestratora sygnałów mieszanych. Proces optymalizacji z zastosowaniem algorytmu genetycznego dotyczył znalezienia kompletu sześciu rezystancji nazwanych w nomenklaturze algorytmów genetycznych chromosomem. Na przyjęty w ten sposób chromosom działał algorytm optymalizacyjny. Zastosowanie algorytmu genetycznego dało pożądane rezultaty – znalezione rozwiązanie charakteryzowało się niewielką odchyłką od nominalnej wartości poszukiwanej. Umożliwiło także znalezienie rozwiązania w znacznie ograniczonej puli rezystancji dostępnych w lokalnym sklepie elektronicznym. Rzeczywiste wartości wzmocnienia uzyskane w modułach analogowych rejestratora będą ostatecznie zależne od zastosowanych egzemplarzy rezystorów i wymagać będą indywidualnej kalibracji dla każdego zakresu w każdym module.

W celu uzyskania większej liczby wzmocnień z dostępnego zestawu sześciu rezystorów można wprowadzić dodatkowe zależności przez równoległe łączenie rezystancji w każdej grupie uzyskując do 49 kombinacji wzmocnień. Wymaga to zmiany implementacji funkcji celu uwzględniającej połączenia równoległe.

6. BIBLIOGRAFIA

1. U. Boryczka: Algorytmy optymalizacji mrowiskowej. Wyd. UŚ, Katowice 2006
2. M. Boryczka: Programowanie mrowiskowe w procesie aproksymacji funkcji. Wyd. UŚ, Katowice 2006
3. J. Cytowski: Algorytmy genetyczne. Podstawy i zastosowania. Seria Informatyka. Problemy współczesnej nauki teoria i zastosowania. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1996
4. P. Horowitz, W. Hill: Sztuka Elektroniki. Tom 1. Wyd 8. WKŁ, Warszawa 2006
5. M. Tomera: Zastosowanie algorytmów rojowych do optymalizacji parametrów w modelach układów regulacji. Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej nr 46, XXV Seminarium Zastosowanie Komputerów w Nauce i Technice 2015, Gdańsk 2015