

Anna DOMAŃSKA

POLITECHNIKA POZNAŃSKA, WYDZIAŁ ELEKTRONIKI I TELEKOMUNIKACJI

Ditherowa metoda linearyzacji charakterystyki statycznej przetwornika

Dr hab. inż. Anna DOMAŃSKA

Ukończyła studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej w 1979 r. i na Wydziale Mat-Fiz-Chem Uniwersytetu Wrocławskiego w 1984 r. W 1987 r. uzyskała stopień doktora n.t. a w 1996 r. stopień doktora habilitowanego n.t., obydwie na Wydziale Elektrycznym PP. Główne zainteresowania naukowe dotyczą systemów pomiarowych z cyfrowym algorytmem pomiaru oraz teorii i zastosowań konwersji a-c z sygnałem ditherowym. Jest członkiem Komitetu Metodologii i Aparatury Naukowej PAN.



e-mail: domanska@et.put.poznan.pl

Streszczenie

Charakterystyki rzeczywistych przetworników cechują się w mniejszym lub większym stopniu nieliniowością. Ze względu na opisujący je model matematyczny, mogą to być charakterystyki z nieliniowością gładką lub nieliniowością z nieciągłościami. Przedstawiono zagadnienie linearyzacji charakterystyki przetwornika o nieliniowości z nieciągłościami, występującej w rejonie małych wartości czyli ze strefą nieczułości, nową metodą wykorzystującą sygnał ditherowy. Pokazano możliwości metody - likwidowanie nieciągłości w sygnale wyjściowym w zakresie małych wartości, możliwość przetwarzania sygnałów wejściowych o wartościach leżących wewnątrz strefy nieczułości.

Słowa kluczowe: nieliniowość, strefa nieczułości, dither.

Dither method for linearization of static converter characteristic

Abstract

The characteristics of actual converters are – to smaller or larger extent – nonlinear. With respect to a mathematical model describing the characteristics, they can be characteristics with smooth nonlinearity or nonlinearity with discontinuities. The author presented the problem of linearization of the characteristic of converter with nonlinearity with discontinuity that appears in the small value area, i.e. with insensitivity area, applying a new method utilizing the dither signal. The potential of the method was shown: removal of discontinuities in output signal in the range of small values, capability to process input signals with values inside the insensitivity area.

Keywords: nonlinearity, insensitivity area, dither.

1. Wstęp

Pożądaną cechą przetworników, w tym czujników, jest liniowość charakterystyki we-wy. Charakterystyki rzeczywistych przetworników cechują się w mniejszym lub większym stopniu nieliniowością. Jeśli jej wartość ma nieakceptowany wpływ na dokładność pomiaru, charakterystyki linearyzują się. Występowanie nieliniowości oznacza, że czułość w zakresie pomiaru jest zmienna. Dokładność pomiaru jest więc także zmienna, zależnie od wartości mierzonej [1].

Nieliniowość może występować w całym zakresie wartości wejściowych lub tylko w pewnych podzakresach (dla małych lub średnich lub dużych wartości). Charakterystyki z nieliniowościami, ze względu na opisujący je model matematyczny, mogą być dwojakiego rodzaju: z nieliniowością gładką lub nieliniowością z nieciągłościami (strefa nieczułości, nasycenie, histereza). Nieliniowości mogą być zredukowane metodami układowymi lub programowymi.

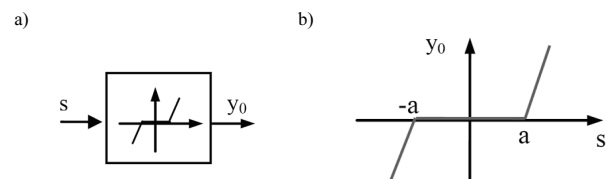
W artykule przedstawiono zagadnienie linearyzacji charakterystyki przetwornika o nieliniowości z nieciągłościami, występującej w rejonie małych wartości (charakterystyka ze strefą nieczułości). W ogólności jest to zadanie niełatwe z powodu rodzaju nieliniowości i lokalności linearyzacji. Zastosowano metodę, wykorzy-

stującą technikę dodawanego szumu, w której wykorzystuje się sygnał ditherowy. Pokazano od czego zależy jakość linearyzacji tą metodą.

Ponieważ stosowalność metody w ogólności nie zależy od zasady działania przetwornika/czujnika czy też technologii ich wykonania, rozważania można przedstawić odwołując się do modelu matematycznego opisującego tego typu charakterystykę statyczną.

2. Linearyzacja charakterystyki ze strefą nieczułości metodą z sygnałem ditherowym

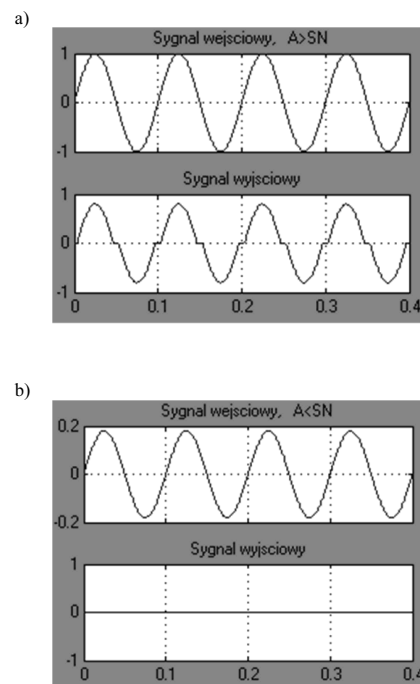
Przetwornik o charakterystyce ze strefą nieczułości (SN) umożliwia przetwarzanie tych wartości sygnałów, które nie przekraczają zakresu strefy. Oznaczenia i charakterystykę takiego przetwornika przedstawiono na rys. 1. Model matematyczny opisujący przetwarzanie ma postać opisaną zależnością (1).



Rys. 1. Przetwornik o charakterystyce ze strefą nieczułości: a) symbol, b) charakterystyka we – wy

Fig. 1. Converter with characteristic with insensitivity area: a) symbol, b) input - output characteristic

$$y_0 = \begin{cases} k \cdot (s - a), & s > a \\ 0, & |s| \leq a \\ k \cdot (s + a), & s < -a \end{cases} \quad (1)$$



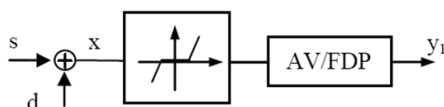
Rys. 2. Sygnal wejściowy i wyjściowy przetwornika, $-0,2 \leq SN \leq 0,2$, a) $A=1$, b) $A=0,18$

Fig. 2. Input and output signal of converter, $-0,2 \leq SN \leq 0,2$, a) $A=1$, b) $A=0,18$

W następnym, w sygnale wyjściowym przetwornika pojawiają się nieciągłości w rejonie małych wartości lub sygnał wyjściowy w ogóle się nie pojawi jeśli wartości sygnału wejściowego są mniejsze niż zakres strefy nieczułości. Obie sytuacje zilustrowano na rys. 2. W rozważanym przypadku $k=1$, $a=0,2$.

Pojawienie się nieciągłości w sygnale wyjściowym jest tożsame ze zmianą („wzbogaceniem”) widma sygnału pierwotnego czyli z jego nieliniowym zniekształceniem. Z kolei niemożność przetwarzania sygnałów o małych wartościach jest ograniczeniem, które zmusza do stosowania rozwiązań najczęściej związanych ze znaczną rozbudową toru pomiarowego.

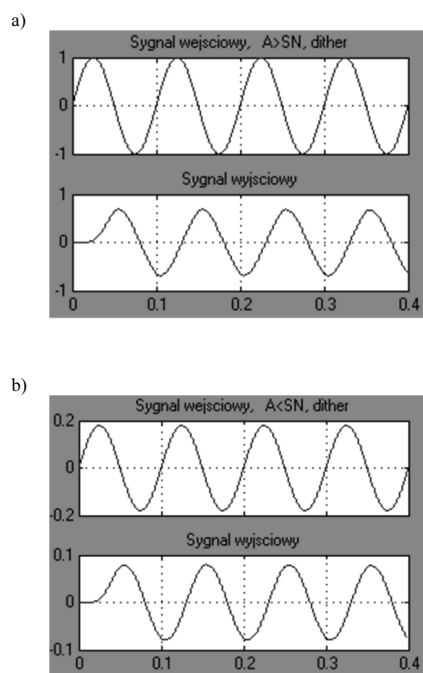
Linearyzacja charakterystyki metodą z sygnałem ditherowym polega na dodaniu do sygnału wejściowego przetwornika dodatkowego sygnału (ditheru), łącznym ich przetworzeniu a następnie uśrednieniu/filtracji wyniku [2, 3]. Ideę takiej linearyzacji schematycznie przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Linearyzacja charakterystyki przetwornika metodą z sygnałem ditherowym

Fig. 3. Linearization of converter characteristic with dither signal

Zastosowanie powyższej metody likwiduje nieciągłości w sygnale wyjściowym a także umożliwia przetwarzanie sygnałów wejściowych, których wartości nie przekraczają strefy nieczułości. Oba przypadki zilustrowano na rys. 4.



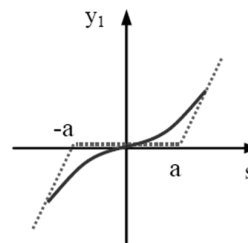
Rys. 4. Sygnał wejściowy i wyjściowy przetwornika z ditherem, $-0,2 \leq SN \leq 0,2$,

a) $A=1$, b) $A=0,18$

Fig. 4. Input and output signal of converter with dither, $-0,2 \leq SN \leq 0,2$,

a) $A=1$, b) $A=0,18$

Różnice między przetwarzaniem w układach z rys. 1 i z rys. 3 można zaobserwować porównując ze sobą odpowiednie pary przebiegów: rys. 2a z rys. 4a oraz rys. 2b z rys. 4b. W układzie z rys. 3, w wyniku zastosowania sygnału ditherowego, osiąga się efekt równoważny przetwarzaniu w przetworniku o charakterystyce y_1 , przedstawionej na rys. 5.



Rys. 5. Charakterystyka przetwornika z ditherem

Fig. 5. Characteristic of converter with dither

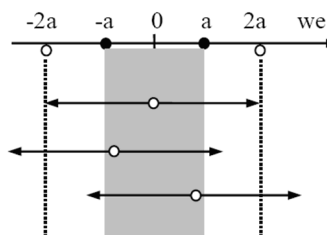
3. Wybór sygnału ditherowego

Zadaniem dodatkowego sygnału ditherowego jest „wyniesienie” wartości sygnału pierwotnego leżących w strefie nieczułości poza tę strefę. Teoretycznie każdy sygnał okresowy (sinus, trójkąt, prostokąt) o odpowiednim zakresie wartości i odpowiedniej częstotliwości (znacząco większej od częstotliwości sygnału głównego) lub szum o odpowiedniej wariancji, dobierane do rozmiaru strefy nieczułości, mogą spełniać rolę ditheru. Praktycznie prawie zawsze jest to jednak szum o prostokątnej lub gaussowskiej funkcji gęstości prawdopodobieństwa z następujących powodów:

- ze względu na ekstremalnie złożoną strukturę, w obwodzie sygnału uziemiennego takim ditherem najlepiej zachowuje się kształt sygnału pierwotnego,
- ze względu na wiele możliwości późniejszej eliminacji szumu (uśrednianie, filtracja, filtracja samoistna) [1].

► Przedstawiane rozważania odnoszą się do przypadku zastosowania ditheru będącego szumem białym o zerowej wartości średniej i o prostokątnej oraz gaussowskiej funkcji gęstości prawdopodobieństwa.

Jeśli przetwornik ma symetryczną charakterystykę, to zakres zmian ditheru powinien być co najmniej dwukrotnie większy niż zakres strefy nieczułości, czyli $|D| \geq 2 \cdot SN = 2a$.



Rys. 6. Rozpiętość ditheru umożliwiającą odwzorowanie zmian sygnału wejściowego wewnątrz SN

Fig. 6. Dither span enabling projection of change of input signal inside SN

Dodanie do pierwotnego sygnału wejściowego (s), którego wartości leżą częściowo lub w całości wewnątrz strefy nieczułości (por. rys. 6), ditheru (d) o rozpiętości D powoduje, że te wartości sygnału wejściowego przetwornika ($s \pm d$) zaczynają „wystawać” poza tę strefę w stopniu zależnym od położenia wartości sygnału pierwotnego wewnątrz strefy. Dzięki temu na wyjściu przetwornika pojawia się sygnał. Składa się on ze składnika losowego pochodzącego od ditheru i składowej wolnozmiennnej pochodzącej od sygnału pierwotnego. W wyniku uśredniania/filtracji sygnału wyjściowego, składnik losowy jest eliminowany a otrzymywany rezultat jest równoważny przetworzeniu sygnału pierwotnego w przetworniku o charakterystyce y_1 z rys. 5.

Jeśli wszystkie wartości sygnału wejściowego ($s \pm d$) zawierają się w zakresie liniowej części charakterystyki przetwornika, otrzymywany rezultat jest taki sam jak w przypadku przetwarzania sygnału (s) w przetworniku bez stosowania metody. Linearyzacja ma bowiem charakter „lokalny”.

4. Układ eliminacji składnika losowego

Zadaniem układu AV/FDP jest eliminacja składnika losowego z sygnału wyjściowego przetwornika. Może to być układ realizujący uśrednianie (AV) lub klasyczny filtr dolnoprzepustowy (FDP). Jeśli dither byłby sygnałem pasmowym o zakresie częstotliwości ułożonym poza pasmem przetwornika, wówczas eliminacja zachodzi w wyniku filtracji samoistnej, rolę układu eliminującego spełnia sam przetwornik.

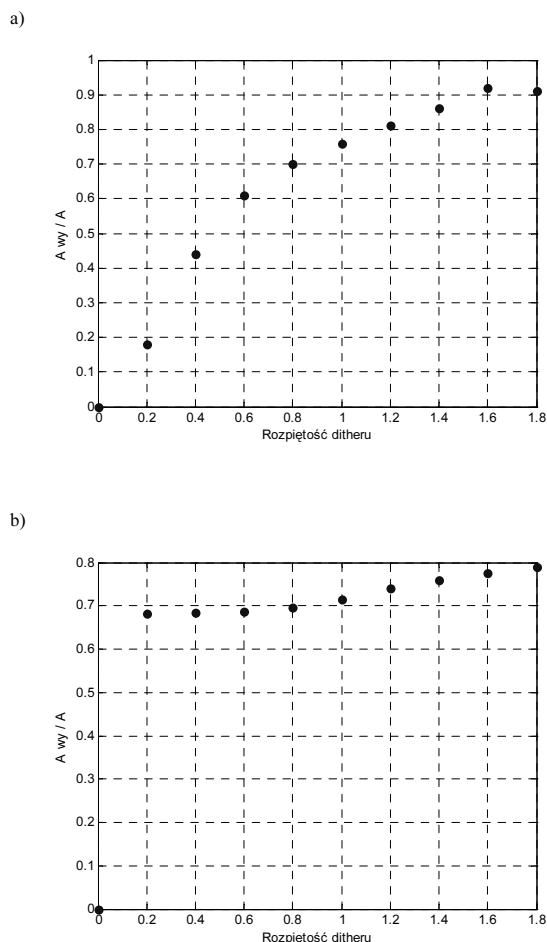
Operacja eliminacji może być realizowana metodą analogową lub cyfrową, w zależności od postaci i dalszego przeznaczenia sygnału z przetwornika.

► W przedstawianych rozważaniach zastosowano analogowy filtr dolnoprzepustowy Bessela. Jest to typ filtru, w którym osiąga się najlepszą liniowość charakterystyki fazowej w stosunku do pozostałych typów filtrów tego samego rzędu.

5. Dokładność przetwornika z ditherem

Linearyzacja charakterystyki metodą z sygnałem ditherowym wymaga dodania do przetwornika dwóch elementów: generatora ditheru i układu AV/FDP.

Od generatora wymaga się aby zapewniał sygnał cechujący się stałością parametrów. W przypadku generacji ditheru szumowego istotne jest zapewnienie zerowej wartości średniej i stałości tej wartości.



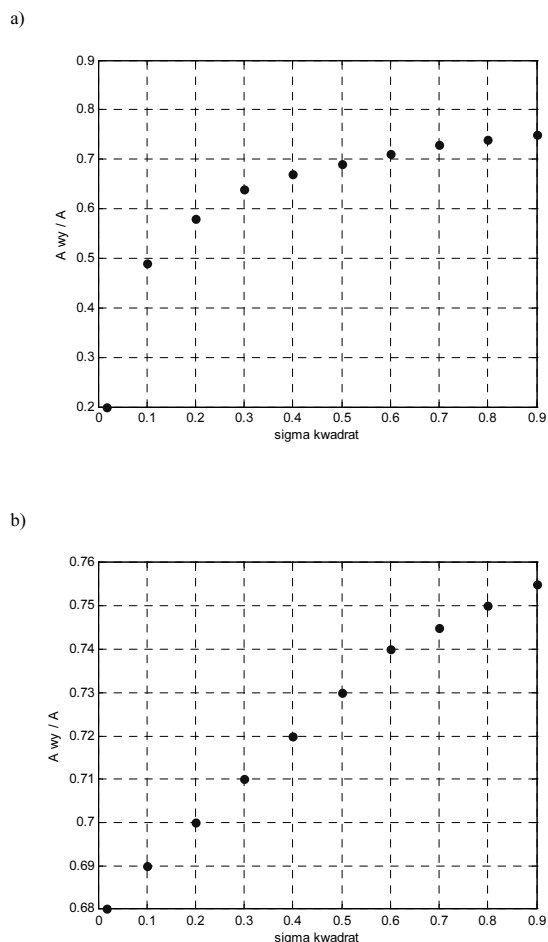
Rys. 7. Stopień redukcji amplitudy sygnału wyjściowego przetwornika z ditherem o prostokątnej funkcji gęstości prawdopodobieństwa a) $A=0,18$, b) $A=1$
Fig. 7. Reduction degree of output signal amplitude of converter with rectangular probability density function dither a) $A=0,18$, b) $A=1$

Uśrednianie lub filtracja to operacje liniowe. Układ AV/FDP wprowadza błąd amplitudy i błąd fazy. Wpływ układu na redukcję amplitudy można zaobserwować porównując sygnały wyjściowe -

na rys. 2a (bez układu) i 4a (z układem). Wpływ układu na przesunięcie fazowe można zaobserwować porównując sygnał wejściowy i wyjściowy na rys. 4a lub na rys. 4b. Sam przetwornik nie wprowadza przesunięcia fazowego, por. sygnał wejściowy i wyjściowy na rys. 2a.

Bez stosowania metody linearyzacji, stopień redukcji wartości sygnału wejściowego (A_{wy}/A) nie przekraczających strefy nieczułości jest nieskończony a wartości przypadających na liniową część charakterystyki zależy od współczynnika kierunkowego prostej (k) (por. rys. 1) i jest stały.

Po zastosowaniu metody linearyzacji, stopień redukcji wartości sygnału zależy od „rozpiętości”/wariancji sygnału ditherowego i wartości sygnału pierwotnego. Zależność tę, dla ditheru o prostokątnej funkcji gęstości prawdopodobieństwa, przedstawiono na rys. 7a) dla wejściowego sygnału sinusoidalnego o amplitudzie $A=0,18 < 0,2=SN$ czyli nie przekraczającej zakresu strefy nieczułości i na rys. 7b) dla wejściowego sygnału sinusoidalnego o amplitudzie $A=1 > 0,2=SN$. Dla ditheru o gaussowskiej funkcji gęstości prawdopodobieństwa przedstawiono je odpowiednio na rys. 8a i 8b.



Rys. 8. Stopień redukcji amplitudy sygnału wyjściowego przetwornika z ditherem o gaussowskiej funkcji gęstości prawdopodobieństwa a) $A=0,18$, b) $A=1$
Fig. 8. Reduction degree of output signal amplitude of converter with Gaussian probability density function dither a) $A=0,18$, b) $A=1$

Zarówno w przypadku ditheru o prostokątnej jak i gaussowskiej funkcji gęstości prawdopodobieństwa, dla amplitud sygnału wejściowego porównywalnych z szerokością strefy nieczułości, stopień redukcji staje się skończony (co było celem zastosowania metody) lecz silnie zależy od rozpiętości lub odpowiednio wariancji ditheru (rys. 7a i 8a).

Natomiast dla amplitud sygnału wejściowego wielokrotnie przekraczających szerokość strefy nieczułości, stopień redukcji zależy od rodzaju funkcji gęstości prawdopodobieństwa i jest prawie stały dla prostokąta (rys. 7b) i zmienny dla Gaussa (rys. 8b).

Dobierając rozpiętość/wariancję ditheru można modyfikować charakterystykę statyczną dla przetwarzanych wartości wejściowych pierwotnie należących do strefy nieczułości.

6. Podsumowanie

Zastosowanie przetwarzania z sygnałem ditherowym linearyzuje przetwornik o charakterystyce ze strefą nieczułości. Skutecznie likwiduje ono nieciągłości w sygnale wyjściowym, powstałe z powodu istnienia strefy czyli likwiduje zniekształcenia nieliniowe sygnału przetwarzanego. Umożliwia także przetwarzanie sygnałów o wartościach całkowicie zawierających się w strefie, które w przetworniku bez zastosowania metody nie byłyby możliwe.

Skutki uboczne zastosowania metody to:

- redukcja zakresu dynamicznego przetwornika - sygnał wejściowy+dither muszą się mieścić w zakresie przetwarzania, co ogranicza dopuszczalny zakres zmian wartości samego sygnału wejściowego (zapas na dither),

- redukcja amplitudy i przesunięcie fazowe sygnału przetworzonego, z powodu odpowiednio błędu wzmocnienia i błędu fazy układu AV/FDP. Jeśli zastosowane jest uśrednianie (AV) to wydłuża się czas przetwarzania.

Odmiennosć metody polega na tym, iż w celu osiągnięcia efektu linearyzacji przetwarzania, oddziałuje się na sygnał wejściowy celowo dokonując jego uzmiennienia.

Stosowność metody nie zależy od zasady działania przetwornika/czujnika czy też technologii ich wykonania.

7. Literatura

- [1] Zakrzewski J.: Czujniki i przetworniki pomiarowe, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2004.
- [2] Zames G., Shneydor N.: Dither in nonlinear systems, IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 21, No. 5, 1976.
- [3] Kester W.: ADC input noise: the good, the bad, and the ugly, Analog Dialogue, Vol. 44, No. 2, 2006.

Artykuł recenzowany

INFORMACJE

Studia Podyplomowe

Wydział Elektryczny Politechniki Śląskiej w Gliwicach, Instytut Metrologii, Elektroniki i Automatyki ogłasza nabór na Dwusemestralne Zaoczne Studia Podyplomowe

Systemy Pomiarowe i Sterowniki Programowalne (SPSP)

Cel Studiów

Celem studiów jest przekazanie wiedzy teoretycznej i umiejętności praktycznych w zakresie: projektowania, wdrażania i utrzymania ruchu systemów automatyki, programowania sterowników PLC oraz systemów nadrzędnych (SCADA), projektowania, programowania i eksploatacji automatycznych systemów pomiarowych w laboratoriach badawczych i przemysłowych, metod opracowania danych w systemach zapewnienia jakości procesów przemysłowych.

Profil uczestnika studiów

Studia przeznaczone są dla pracowników o różnych specjalnościach, z wyższym wykształceniem o kierunku elektrycznym, elektronicznym, informatycznym lub pokrewnym, zajmujących się organizacją pomiarów w laboratoriach badawczych i przemysłowych lub eksploatacją oraz modernizacją systemów sterowania. Ich ukończenie pozwoli uczestnikom na podwyższenie kwalifikacji niezbędnych do sprawnego opracowywania i wdrażania nowoczesnych systemów. Absolwent Studiów otrzymuje Świadectwo Ukończenia Studiów Podyplomowych w zakresie objętym nazwą studiów.

Studia prowadzone są na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach, w systemie zaocznym w każdą sobotę lub w co drugi weekend (do wyboru) przez dwa semestry. Zajęcia prowadzone są przez nauczycieli akademickich ze stopniem co najmniej doktora oraz przez zaproszonych Gości o uznanym dorobku i autorytecie. Studia obejmują 200 godzin dydaktycznych. Rozpoczęcie Studiów nastąpi po skompletowaniu odpowiedniej liczby kandydatów na dany rodzaj studiów.

Organizator studiów:

Instytut Metrologii, Elektroniki i Automatyki Politechniki Śląskiej, 44-100 Gliwice, ul. Akademicka 10, tel. 032 237 12 41, fax: 032 237 20 34, e-mail: re2@polsl.pl lub agnieszka.skorkowska@polsl.pl, http://imeia.elekt.polsl.pl

Kierownik studiów:

Prof. dr hab. inż. Tadeusz SKUBIS