

doi:10.15199/48.2015.03.24

## Generator sygnałów złożonych dla potrzeb badań systemów namierzania

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono koncepcję generatora sygnałów złożonych dla potrzeb badań układów namierzania źródeł sygnałów mikrofalowych stosowanych w rakietach przeciwradiolokacyjnych (ang. ARM) oraz systemów walki elektronicznej, pracujących w dolnych pasmach mikrofalowych L i C. Część sprzętowa generatora oparta została na wektorowym generatorze NI PXIe-5673, natomiast postać generowanych sygnałów kształtowana jest przez część programową, zaimplementowaną w graficznym środowisku programistycznym LabVIEW.

**Abstract.** A concept of the complex signal generator for the investigation of the direction finding systems of the microwave emitters has been presented in the paper. Such kind of sets are used in ARM seekers and other electronic warfare systems, working in the lower microwave bands. The hardware part of the system was based on the vector signal generator NI PXIe-5673, whereas the mode and shape of generated signals are controlled by the software part of system, which is implemented in the LabVIEW environment (**The complex signals generator for the purposes of the direction finding systems investigations**).

**Słowa kluczowe:** układy namierzania, generatory sygnałów radarowych, modulacja LFM, sygnały FMCW.

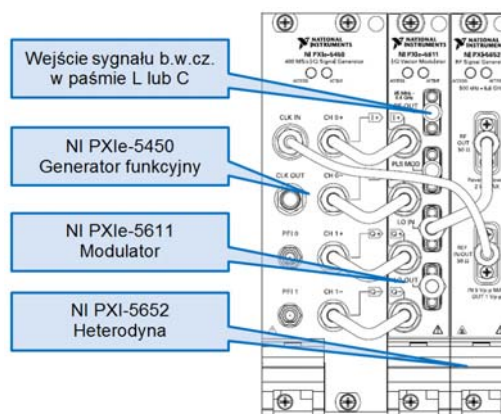
**Keywords:** direction finding systems, radar signals generator, LFM modulation, FMCW signals.

### Wstęp

Ostatnie i trwające obecnie konflikty zbrojne pokazują jak wielkie znaczenie na współczesnym polu walki ma rozpoznanie elektroniczne. Informacja zdobyta tą drogą daje możliwość identyfikacji i określenia położenia źródła promieniowania elektromagnetycznego, a w tym radarów przeciwnika [1,2]. Wypracowaną w ten sposób przewagę można wykorzystywać zarówno do działań defensywnych, powodując np. wystrzelenie flar lub dipoli, mających wprowadzić w błąd nieprzyjaciela (systemy klasy RWR) lub działań ofensywnych naprowadzając samoloty, pociski raketowe lub artylerię na zlokalizowany obiekt (systemy klasy ESM oraz ELINT) [3]. Przykładem takiego ofensywnego systemu są pasywne głowice samonaprowadzające pocisków przeciwradiolokacyjnych ARM [4]. Prezentowane rozwiązanie generatora sygnałów złożonych zrealizowane zostało w ramach badań nad systemem ochrony radarów, pracujących w dolnych pasmach mikrofalowych (pasmo L i C), przed tego typu zagrożeniem. Koncepcja systemu ochrony radaru oparta została w tym przypadku na rozmieszczeniu określonej konfiguracji dodatkowych źródeł promieniowania tzw. imitatorów lub pułapek radiolokacyjnych [5]. W związku z tym zaistniała konieczność opracowania stanowisk do generacji sygnałów radarowych, niezbędnych na etapie badań eksperymentalnych nad systemem ochrony. Ze względu na swoje przeznaczenie stanowisko musiało charakteryzować się z jednej strony dużą elastycznością w zakresie możliwości generowania sygnałów złożonych, a z drugiej strony musiało spełniać wymagania w zakresie precyzji odpowiadającej współczesnym sygnałom radarowym [6]. W wyniku przeprowadzonej analizy zdecydowano, że najlepiej obie te funkcje spełnić będzie generator wektorowy NI PXIe-5673 ze wsparciem programowym w środowisku LabVIEW firmy National Instruments [7,8,9].

### Struktura generatora sygnałów złożonych

Zasadniczy element części sprzętowej generatora stanowi zbudowany w standardzie PXI generator wektorowy NI PXIe 5673 firmy National Instruments. Generator ten składa się z trzech odrębnych urządzeń: generatora funkcyjnego NI PXIe-5450, modulatora NI PXI-5611 oraz heterodyny NI PXI-5652, połączonych za pośrednictwem wspólnej platformy nośnej NI PXIe-1082 oraz ich paneli czołowych, w sposób przedstawiony na rysunku 1.



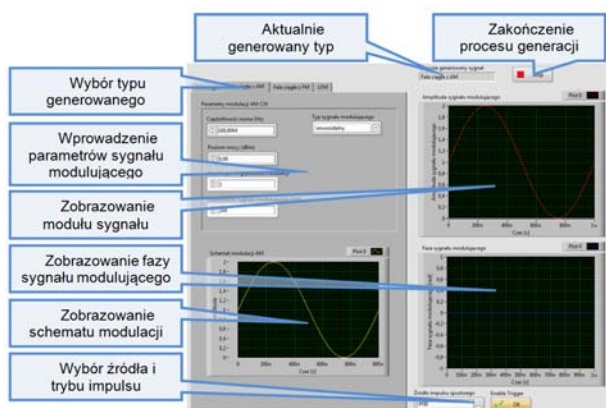
Rys. 1. Panel czołowy generatora sygnałów NI PXIe-5673 [10]

Wszystkie trzy urządzenia sterowane są przez umieszczoną w platformie nośnej jednostkę centralną, przy wykorzystaniu graficznego środowiska programistycznego LabVIEW. Środowisko to jest dostarczane i wskazywane przez firmę National Instruments, jako najbardziej odpowiednie do sterowania tego typu urządzeniami. Zastosowana platforma nośna NI PXIe-1082 wyposażona jest w osiem wyspecjalizowanych złączy do sterowania urządzeniami w standardzie PXI. Widok generatora wektorowego NI PXIe-5673, umieszczonego w platformie nośnej NI PXIe-1082, przedstawiony został na rysunku 2.



Rys. 2. Widok generatora wektorowego NI PXIe-5673

Stanowisko do generacji sygnałów wyposażone zostało w zaimplementowaną w środowisku LabVIEW dedykowaną aplikację wyposażoną w wyspecjalizowany interfejs użytkownika, który umożliwi generację sygnałów złożonych dla potrzeb badań systemów namierzania. Widok tego interfejsu wraz z opisem dostępnych funkcji przedstawiony został na rysunku 3. Na przedstawionym panelu sterowania w pierwszej kolejności dokonuje się wyboru generowanego sygnału. Na obecnym etapie na stanowisku zaimplementowane zostały trzy typy sygnałów złożonych: AMCW, FMCW oraz LFM [6]. Ostatni z wymienionych wyżej typów odpowiada typowemu radarowemu sygnałowi sondującemu. Na stanowisku nie zaimplementowano bardziej złożonych typów potencjalnych sygnałów sondujących, ponieważ w pierwszym etapie badań eksperymentalnych systemu ochrony założono podstawowy wariant sygnału sondującego. Dodatkowe warianty sygnałów złożonych będą zaimplementowane w kolejnych wersjach oprogramowania.



Rys. 3. Opis interfejsu użytkownika stanowiska do generacji sygnałów złożonych

Po wyborze określonego typu generowanego sygnału ustawiane są jego parametry. Zestaw wprowadzanych parametrów jest charakterystyczny dla wybranego typu modulacji oraz kształtu sygnału modulującego. Do wyboru jest sygnał modulujący o kształcie: sinusoidalnym, prostokątnym, trójkątnym i piłokształtnym. Dodatkową opcją dla sygnału impulsowego jest możliwość generacji pojedynczego impulsu lub ciągu impulsów. Poszczególne schematy modulacji oraz moduł i faza sygnału modulującego zobrazowane są w dziedzinie czasu na odpowiednich wykresach. Poprzez interfejs użytkownika istnieje również możliwość przerywania procesu generacji oraz ustawienia parametrów impulsu spustowego. Wszystkie te parametry służą do kształtowania generowanego sygnału oraz ustalenia trybu jego generacji.

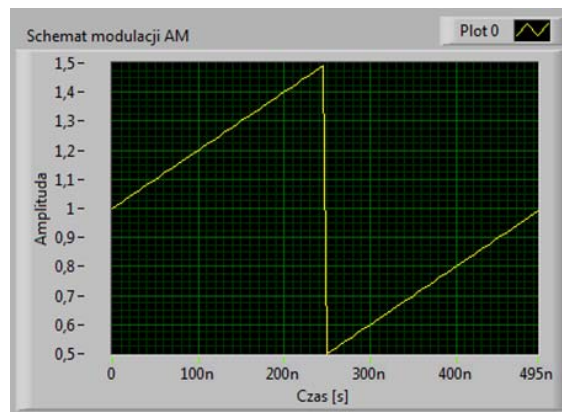
### Wyniki testów generatora dla różnych wariantów sygnałów złożonych

Widok stanowiska do testowania generatora sygnałów złożonych dla potrzeb badań systemu ochrony radaru przy użyciu pułapek radiolokacyjnych i głowicy namierzania rakiety przeciwradiolokacyjnej przedstawiono na rysunku 4.

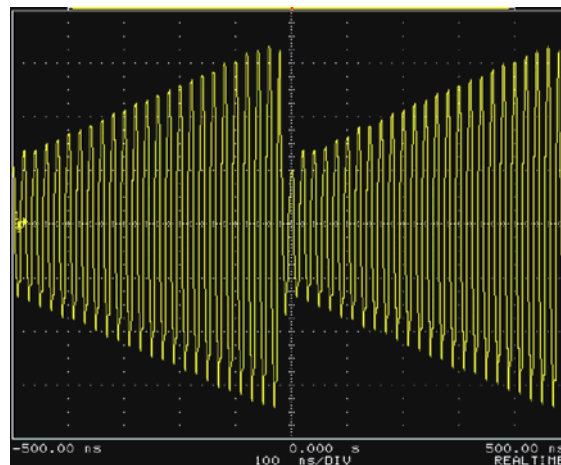
Pierwszym typem sygnałów złożonych analizowanym na stanowisku laboratoryjnym był sygnał ciągły z modulacją amplitudy. Na rysunkach 5 i 6 przedstawione zostały schemat modulacji oraz wyniki testów dla piłokształtnego sygnału modulującego. W analizowanym przypadku przyjęto częstotliwość sygnału modulującego równą 2 MHz oraz współczynnik głębokości modulacji równy 0,5. Ze względu na potrzeby przejrzystego zobrazowania na oscyloskopie, częstotliwość nośną ustalono na 100 MHz.



Rys. 4. Stanowisko do testowania generatora sygnałów złożonych

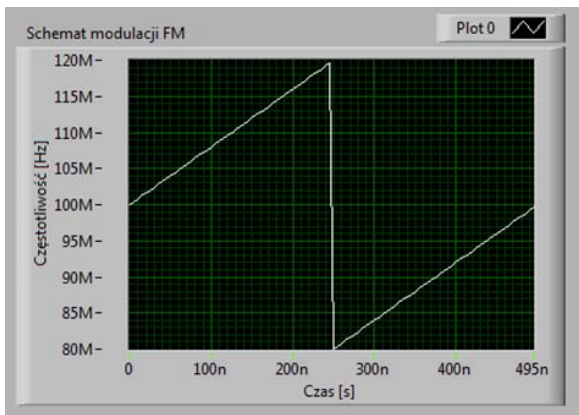


Rys. 5. Zobrazowanie schematu modulacji amplitudowej

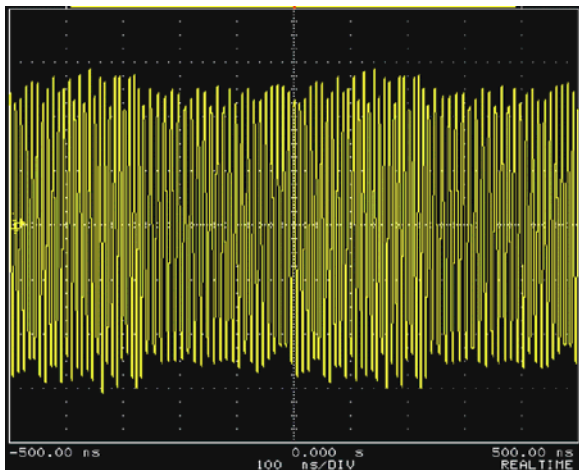


Rys. 6. Oscylogram analizowanego sygnału AM

Kolejna analiza przeprowadzona została dla sygnałów ciągłych z modulacją częstotliwości. Typowe sygnały wykorzystywane w technice radarowej mają piłokształtny sygnał modulujący. Zbudowany generator daje możliwość również zastosowania modulacji sygnałem prostokątnym, trójkątnym i sinusoidalnym. Na rysunkach 7 i 8 przedstawione zostały schematy modulacji oraz wyniki testów dla modulacji sygnałem piłokształtnym. W prezentowanym przypadku ustawiono taką samą częstotliwość nośną oraz częstotliwość sygnału modulującego, jak dla modulacji amplitudowej. Natomiast dewiacja częstotliwości równa była 20 MHz.

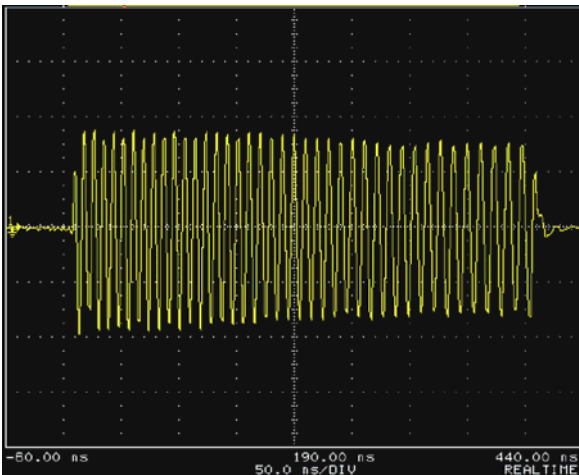


Rys. 7. Zobrazowanie schematu modułacji częstotliwości

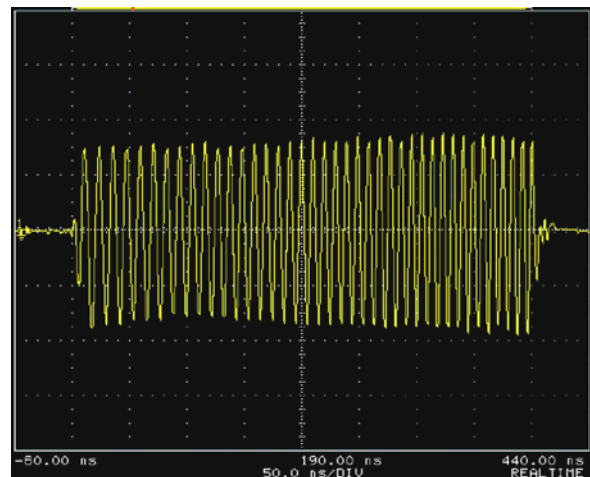


Rys. 8. Oscylogram analizowanego sygnału FM

Ostatnim typem sygnałów złożonych analizowanych w ramach badań możliwości generatora były najbardziej typowe dla systemów radarowych sygnały impulsowe z liniową modulacją częstotliwości. Zaprojektowane urządzenie daje możliwość generacji zarówno sygnałów z rosnącą, jak również z malejącą częstotliwością. Ponadto istnieje możliwość generowania pojedynczego impulsu lub ciągu impulsów o określonym okresie powtarzania. Na rysunkach 9 i 10 przedstawione zostały wyniki testów sygnału impulsowego z rosnącą i malejącą częstotliwością wewnętrzną. Czas trwania impulsu w obydwu przypadkach wynosił 400 ns, a dewiacja częstotliwości wynosiła 20 MHz.

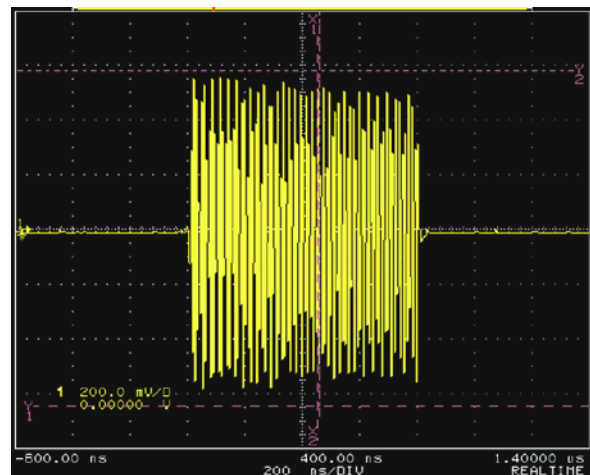


Rys. 9. Oscylogram analizowanego sygnału z malejącą LFM

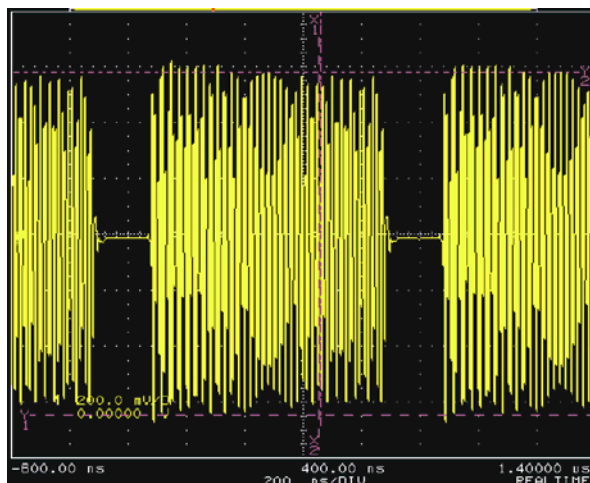


Rys. 10. Oscylogram analizowanego sygnału z rosnącą LFM

Na rysunku 11 i 12 natomiast przedstawione zostały przykłady generacji pojedynczego impulsu i ciągu impulsów, o czasie trwania 800 ns i okresie powtarzania 1μs. Częstotliwość nośna sygnału podobnie jak w poprzednich przypadkach równa była 100 MHz.



Rys. 11. Oscylogram pojedynczego impulsu z modulacją LFM



Rys. 12. Oscylogram ciągu impulsów z modulacją LFM

We wszystkich prezentowanych przypadkach generator wyzwalany był programowo bez dodatkowego sygnału spustowego. Zaprojektowane urządzenie daje szerokie możliwości w tym zakresie. Generator może być wyzwalany zarówno przez zewnętrzne urządzenie, jak również



programowo poprzez określony algorytm, co stanowi bardzo przydatną funkcjonalność w przypadku badań złożonych systemów.

### Podsumowanie

Przedstawione stanowisko do generacji sygnałów złożonych daje możliwość wytworzenia bardzo różnych konfiguracji sygnałowych systemu ochrony stacji radiolokacyjnej oraz szerszego wykorzystania go do badań nad innymi systemami rozpoznania elektronicznego. Z jednej strony nowoczesna platforma sprzętowa oparta na standardzie PXI, w postaci generatora wektorowego 5673, pozwala w sposób precyzyjny i stabilny generować sygnały złożone w paśmie od 85 MHz do 6,6 GHz. Z drugiej strony w pełni kompatybilne z platformą sprzętową graficzne środowisko programistyczne LabVIEW umożliwia pełną kontrolę tego procesu. Kontrola ta przejawia się na kilku płaszczyznach. Pierwszą z nich jest możliwość tworzenia bardzo różnych schematów modulacji dla sygnałów złożonych. W procesie tym istnieje możliwość wykorzystania szeregu wbudowanych procedur, obejmujących najczęściej stosowane rodzaje modulacji. W pracy przedstawiono trzy rodzaje modulacji: amplitudową i częstotliwością sygnału ciągłego oraz liniową modulację częstotliwości sygnału impulsowego. Drugą płaszczyzną kontroli nad procesem generacji jest możliwość programowego wyzwalania procesu generacji oraz wprowadzania kontrolowanego czasu opóźnienia. Własność ta jest bardzo istotna w perspektywie wykorzystania opracowanego generatora do badania efektywności działania systemu ochrony stacji radiolokacyjnej przy użyciu pułapek radiolokacyjnych.

Kolejną płaszczyzną wyróżniającą przyjęte rozwiązanie jest możliwość szybkiego projektowania interfejsu użytkownika. Dzięki temu opracowane stanowisko, poza atrybutami czysto technicznymi, jest bardzo przyjazne dla użytkownika.

*Praca naukowa współfinansowana przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w latach 2012-2015 jako Projekt Rozwojowy Nr 0 ROB 0029 02.*

### LITERATURA

- [1] Rutkowski A., Namierzanie źródeł sygnałów mikrofalowych metodą amplitudową za pomocą układu z ośmioma antenami kierunkowymi, *Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania*, 54 (2013), nr.2, 75-79
- [2] Kawalec A., Wajszczyk B., Nowy algorytm estymacji pozycji źródła emisji elektromagnetycznej, *Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej*, 55 (2006), nr.1, 5-23
- [3] Karwowski A., Miłosz J., Orłowski P., Rozpoznanie elektroniczne. Rozwój, techniki i technologie. *Elektronika. - konstrukcje, technologie, zastosowania*. Nr 2/2010. str. 57-64
- [4] A. Kawalec i inni, Analiza rozwiązań rakiet ARM cz.1 opracowanie WAT w ramach PBR 15-194/2012/WAT „Mobilna, trójwspółrzędna stacja radiolokacyjna dalekiego zasięgu pracująca w pasmie S” Warszawa 2013.
- [5] A. Kawalec. i inni, Opracowanie wstępnego projektu technicznego demonstratora cz.1 opracowanie WAT w ramach PBR 15-194/2012/WAT „Mobilna, trójwspółrzędna stacja radiolokacyjna dalekiego zasięgu pracująca w pasmie S” Warszawa 2014.
- [6] Levanon N., Mozeson E., Radar Signals, *Wiley-IEEE Press*, ISBN: 978-0-471-47378-7, July 2004,
- [7] Tłaczała W., LabVIEW™ - zintegrowane środowisko programowe, cz. 2, *Przegląd Elektrotechniczny*, 81(2005), nr. 2, 15-20
- [8] Bitter R., Mohiuddin T., Nawrocki M., LabVIEW. Advanced programming techniques, CRC Press, 2007.
- [9] Martinek R., Zidek J., Tomala K., BER Measurement in Software Defined Radio Systems, *Przegląd Elektrotechniczny*, 89 (2013), nr. 2b, 205-210
- [10] [www.ni.com](http://www.ni.com);

---

**Autorzy:** dr inż. Mirosław Czyżewski, *Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Radioelektroniki, ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: [mczyzewski@wat.edu.pl](mailto:mczyzewski@wat.edu.pl)*; dr inż. Adam Konrad Rutkowski, *Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Radioelektroniki, ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: [arutkowski@wat.edu.pl](mailto:arutkowski@wat.edu.pl)*; prof. dr hab. inż. Adam Kawalec, *Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Radioelektroniki, ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: [akawalec@wat.edu.pl](mailto:akawalec@wat.edu.pl)*; dr inż. Adam Słowik, *Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Radioelektroniki, ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: [aslowik@wat.edu.pl](mailto:aslowik@wat.edu.pl)*;