

**Ryszard Studański**

Akademia Marynarki Wojennej  
Wydział Mechaniczno-Elektryczny, Instytut Elektrotechniki i Automatyki Okrętowej  
81-103 Gdynia, ul. J. Śmidowicza 69  
e-mail: R.Studanski@amw.gdynia.pl

**Józef Zawadzki, Radosław Wąs**

Marynarka Wojenna RP

**STANOWISKO LABORATORYJNE  
DO SZEROKOPASMOWEJ ANALIZY  
SYGNAŁÓW RADIOKOMUNIKACYJNYCH**

**STRESZCZENIE**

W artykule przedstawiono możliwości stanowiska laboratoryjnego zapewniającego rejestrację sygnałów w paśmie do 20 MHz. Opisano zastosowane procedury przetwarzania. Zwrócono uwagę na efektywność przetwarzania w dziedzinie częstotliwości. Ponadto opisano zastosowanie stanowiska do wykrywania sygnałów DS SS o widmowej gęstości mocy poniżej tła szumu.

Słowa kluczowe:

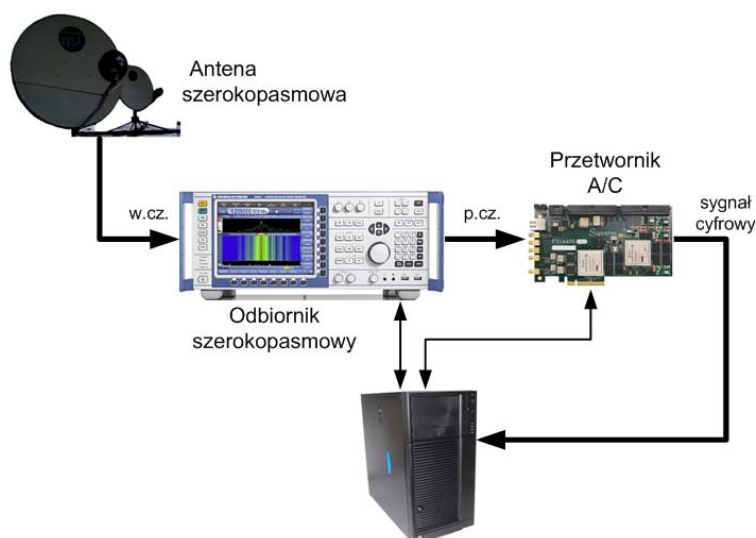
cyfrowe przetwarzanie sygnałów, odbiór szerokopasmowy, wykrywanie sygnałów.

**WSTĘP**

Nieustanny postęp technologiczny w obszarze podzespołów elektronicznych powoduje, że możliwe jest cyfrowe przetwarzanie sygnałów o coraz wyższych częstotliwościach obejmujących coraz szersze pasmo. Pozwala to na nowe podejście do technik odbiorczych i w znacznym stopniu wyeliminowanie skomplikowanych, często niewydolnych, analogowych sposobów przetwarzania sygnałów. Cyfrowe przetwarzanie sygnałów rejestrowanych w szerokim paśmie jest szczególnie interesujące dla potrzeb analizy sygnałów radiokomunikacyjnych. Przykładem takiego rozwiązania jest prezentowane stanowisko laboratoryjne zapewniające analizę sygnałów zarejestrowanych w szerokim paśmie.

## OPIS STANOWISKA

Podstawowy schemat blokowy zestawu odbiorczego rejestratora zaprezentowano na rysunku 1. Sygnał wysokiej częstotliwości z wyjścia antenowego jest dostarczany na wejście odbiornika szerokopasmowego. Odbiornik ten pełni jedynie funkcję mieszacza, sprowadzając sygnał w.cz. do pasma pośrednich częstotliwości, tak by można było odebrany sygnał przetworzyć do postaci cyfrowej, a następnie przekazywany jest do komputera, gdzie realizowane jest właściwe przetwarzanie.



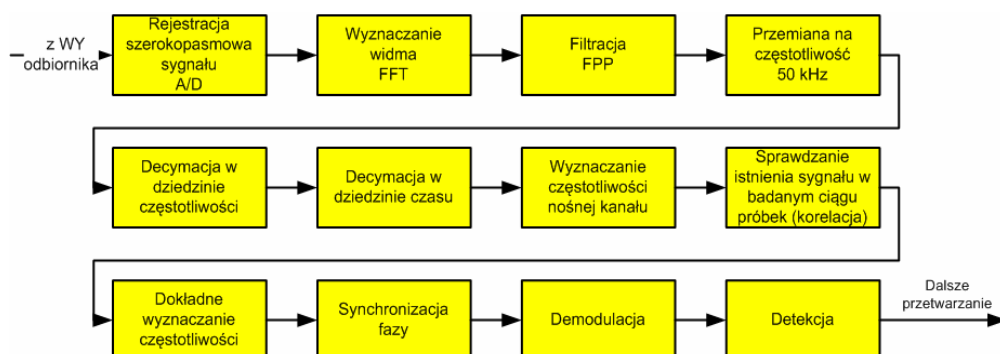
Rys. 1. Schemat blokowy zestawu odbiorczego

*Źródło: opracowanie własne.*

W omawianym rejestratorze komputer nadzoruje pracę karty akwizycji danych (przetwornika A/C) oraz odbiornika szerokopasmowego, a ponadto realizuje przetwarzanie sygnałów oraz ich zapis w pamięci trwałej dla potrzeb ewentualnej późniejszej analizy.

Zaprezentowany na rysunku 2. schemat przetwarzania jest dostosowany do odbioru sygnałów jednego z satelitarnych systemów radiokomunikacyjnych. W systemie tym zastosowano modulację OQPSK, a szerokość pasma kanału jest równa 10 kHz. Omawiany rejestrator pozwala na jednoczesną analizę sygnałów w paśmie do 20 MHz. Dla takiej szerokości pasma karta akwizycji danych próbkuje sygnały z częstotliwością 50 MHz. Aby odczytać informacje przesyłane w pojedynczym kanale częstotliwościowym, należy odfiltrować pożądaną kanał, a następnie sprowadzić go

do niższych częstotliwości. W rejestratorze przyjęto, że operacje synchronizacyjne przeprowadzane są na sygnale o częstotliwości 50 kHz. Wówczas można zmniejszyć liczbę próbek tego sygnału 64-krotnie. Dopiero wówczas uruchamiane są procedury synchronizacyjne.



Rys. 2. Schemat blokowy przetwarzania sygnału

Źródło: opracowanie własne.

Pierwszym etapem synchronizacji sygnału jest wstępne określenie jego częstotliwości. Częstotliwość ta jest niezbędna do wytworzenia sygnału wzorcowego używanego w bloku synchronizacji symbolowej i ramkowej. Częstotliwość sygnału wzorcowego musi być zbliżona do częstotliwości sygnału odbieranego, aby synchronizacja ramkowa i symbolowa, realizowana poprzez korelację wzajemną wzorca i sygnału odbieranego (blok korelacyjny), była efektywna. Gdy znany jest takt symbolowy i ramkowy, można przeprowadzić dokładną synchronizację częstotliwości i fazy. Po zgromadzeniu wszystkich informacji o sygnale odbieranym można go zdemodulować. Przez dalsze przetwarzanie należy rozumieć ewentualne dekodowanie kanałowe, deszyfrację, dekodowanie źródłowe — procedury niezbędne do wyodrębnienia informacji ze zdemodulowanego sygnału, a związane ściśle z rozpatrywanym system radiokomunikacyjnym.

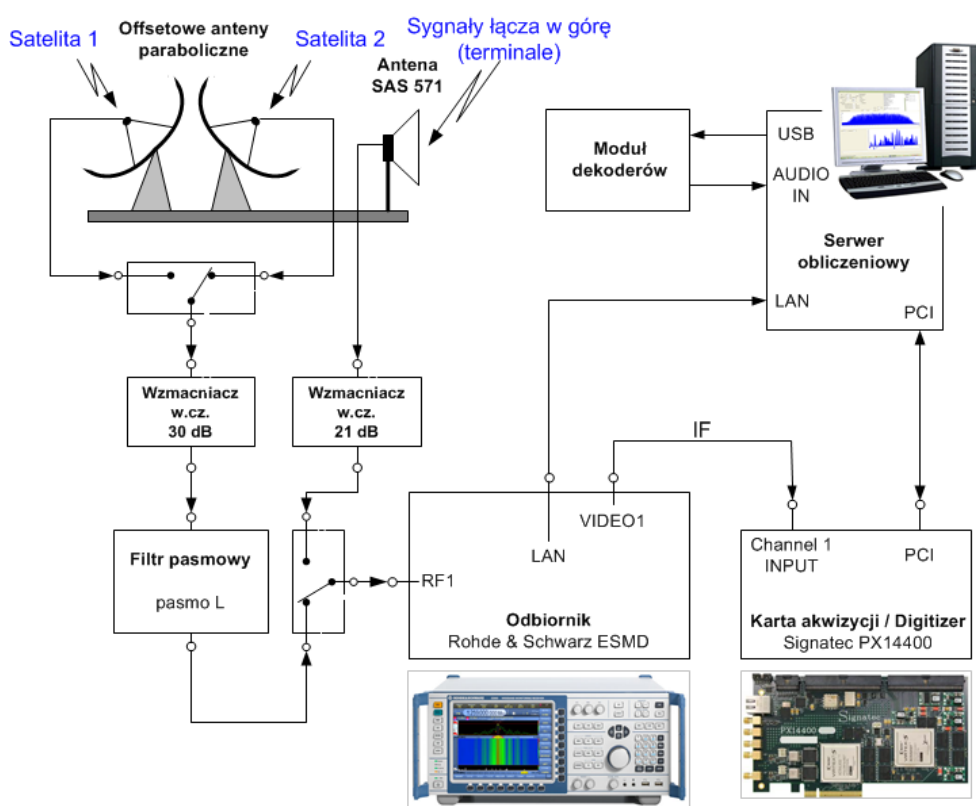
Stanowisko do szerokopasmowej rejestracji sygnałów składa się z podstawowych czterech elementów:

- zestawu anten;
- odbiornika szerokopasmowego;
- 14-bitowego przetwornika A/C;
- komputera będącego faktycznym rejestratorem sygnałów.

Na rysunku 3. pokazano schemat stanowiska do analizy i rejestracji sygnałów satelitarnych. Prezentowany rejestrator dysponuje trzema antenami odbiorczymi:

- paraboliczną z promiennikiem pasywnym;
- paraboliczną z promiennikiem aktywnym;
- tubową SAS 571.

Ponieważ podczas testów rejestratora rozpatrywano jeden z satelitarnych systemów komunikacyjnych, anteny paraboliczne służą jedynie do akwizycji sygnałów w łączy w dół tego systemu i są skierowane na dwa różne satelity, natomiast antena tubowa jest stosowana do odbioru sygnałów w łączy w górę. Sygnały z wyjść antenowych są dostarczane na wejście odbiornika poprzez wzmacniacze niskoszumne. W przypadku sygnałów w łączy w dół zastosowano dodatkowo filtr pasma L (w paśmie tym pracuje analizowany system).



Rys. 3. Schemat stanowiska do analizy sygnałów systemów satelitarnych

Źródło: opracowanie własne.

W sytuacji gdy serwer obliczeniowy zostanie wyposażony w oprogramowanie pozwalające dekodować i deszyfrować zapisywane transmisje, można dołączyć do niego dekodery niezbędne do odtwarzania sygnałów mowy czy też transmisji faksowych.

## **OPROGRAMOWANIE REJESTRATORA SZEROKOPASMOWEGO**

Jak wspomniano we wstępie, najważniejszym elementem radia programowalnego jest część programowa. Przygotowane oprogramowanie umożliwia sterowanie:

- kartą akwizycji w zakresie wyboru częstotliwości próbkowania;
- odbiornikiem co do wyboru:
  - częstotliwości środkowej sygnałów wejściowych,
  - szerokości pasma, w którym odbierane są sygnały,
  - częstotliwości środkowej na wyjściu odbiornika (p.cz.).

W celu weryfikacji omawianego szerokopasmowego rejestratora badania przeprowadzono, analizując sygnały radiokomunikacyjne satelitarnego systemu komunikacyjnego.

Po uruchomieniu aplikacji i włączeniu analizy sygnałów są one automatycznie rejestrowane w pamięci komputera. W aplikacji przewidziane są pola w interfejsie użytkownika, w których zawarte są informacje systemowe rozsyłane w kanałach rozsiewczych. Dane te są odczytywane w czasie rzeczywistym. W badaniach sprawdzono możliwość jednoczesnego odbioru wielu kanałów komunikacyjnych. System przetwarzania oparto na pracy wielowątkowej. Każdy kanał analizowano w osobnym wątku. Analiza poprawności odbioru była przeprowadzana na podstawie znanych, niezaszyfrowanych i powtarzanych w każdej ramce preambuł. Prezentowany zestaw zapewniał jednoczesny odbiór, bez wprowadzania opóźnień, do ośmiu kanałów.

Aplikacja udostępnia również tryb archiwalny, w którym użytkownik wskazuje wcześniej zapisany plik do analizy.

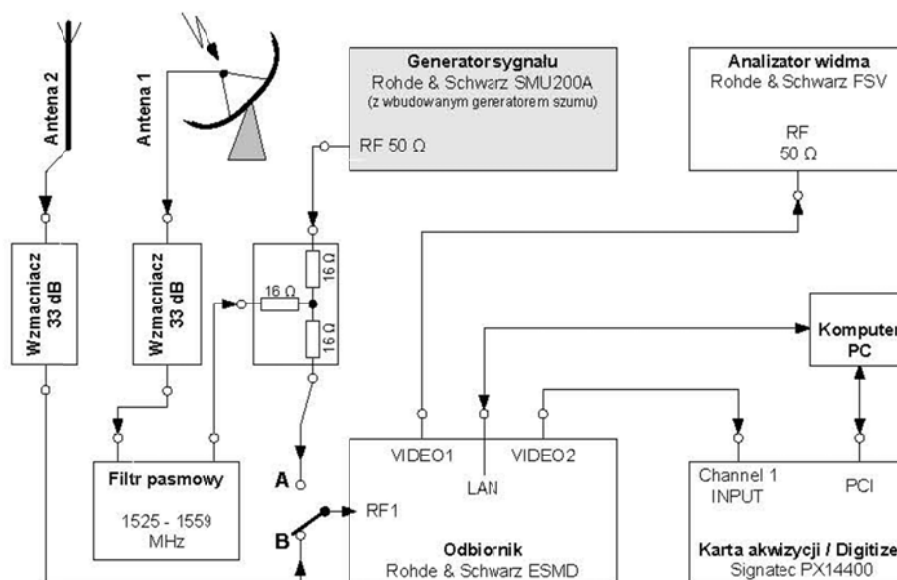
Funkcjonalność takiej aplikacji można dowolnie rozbudowywać o udostępnienie użytkownikowi wyboru analizy poszczególnych, wybranych przez niego kanałów lub też kanałów według rodzajów transmisji (faks, mowa, dane — zależnie od rodzajów transmisji udostępnianych przez dany system radiokomunikacyjny).

Przygotowane oprogramowanie dowodzi, że jednoczesna rejestracja wielu kanałów częstotliwościowych jest możliwa. Dzięki takiej metodzie rejestracji sygnałów nie traci się informacji transmitowanych w nieanalizowanych kanałach.

## PRZETWARZANIE DLA POTRZEB WYKRYWANIA SYGNAŁÓW SZEROKOPASMOWYCH DS SS

Na stanowisku przeznaczonym do badań laboratoryjnych z użyciem szerokopasmowych sygnałów fizycznych prowadzonych w warunkach oddziaływania rzeczywistych sygnałów radiokomunikacyjnych zastosowano następujące urządzenia:

- odbiornik szerokopasmowy;
- wektorowy generator sygnałów z wbudowanym generatorem szumu;
- analizator widma;
- kartę akwizycji (przetwornik A/C);
- sumator sygnału;
- antenę dookólną do pracy w zakresie 0,3–10 GHz;
- satelitarną antenę do pracy w paśmie L;
- filtr pasmowy 1525–1559 MHz;
- komputer.



Rys. 4. Schemat blokowy stanowiska laboratoryjnego do badań wykrywania sygnałów DS SS w warunkach oddziaływania sygnałów rzeczywistych

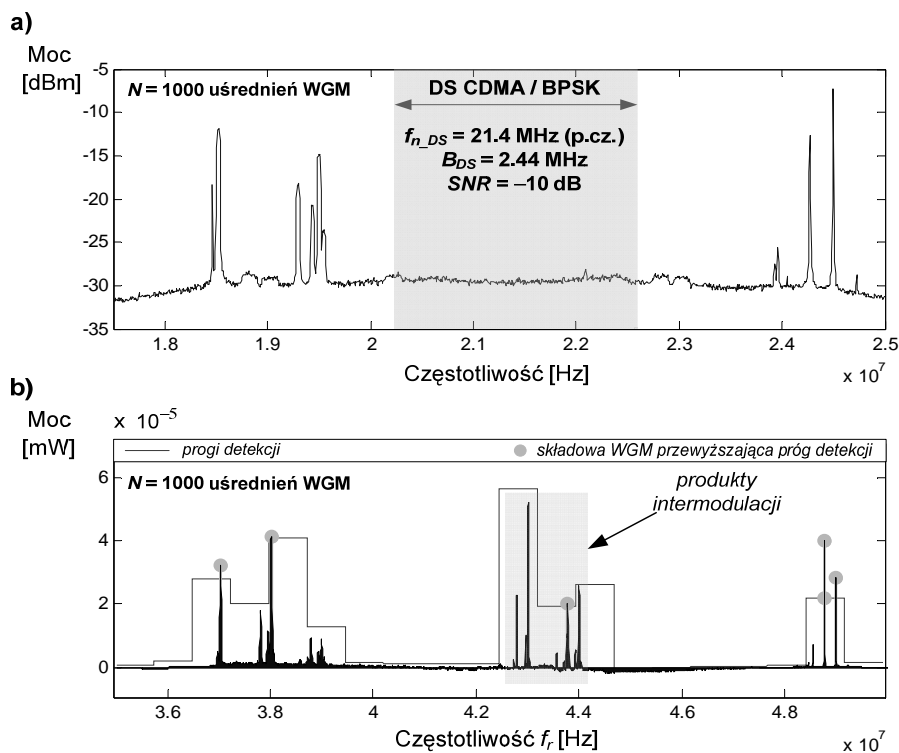
Źródło: opracowanie własne.

Konfiguracja urządzeń zapewniła przeprowadzenie eksperymentu, którego celem było wykrycie transmisji szerokopasmowej DS SS z modulacją BPSK o ujemnej wartości SNR, realizowanej w sąsiedztwie rzeczywistych i względnie silnych sygnałów wąskopasmowych stanowiących zakłócenie dla algorytmów detekcji (przełącznik wejścia RF1 w odbiorniku ustawiony w pozycji A — rys. 4.).

### **DETEKCJA SYGNAŁÓW DS SS Z ELIMINACJĄ SYGNAŁÓW WĄSKOPASMOWYCH**

Eksperyment wykonano w celu wykrycia transmisji szerokopasmowej DS SS z modulacją BPSK o ujemnej wartości SNR, realizowanej w sąsiedztwie rzeczywistych i względnie silnych sygnałów wąskopasmowych stanowiących zakłócenie dla algorytmów detekcji. Zaprezentowano wyniki dla procedur realizowanych w dwóch przypadkach, tj. przy nieaktywnym oraz aktywnym bloku wykrywania i eliminacji sygnałów wąskopasmowych. Doświadczenie przeprowadzono w układzie pomiarowym, którego schemat przedstawiono na rysunku 4. (przełącznik wejścia RF1 w odbiorniku ustawiony w pozycji A).

Celem eksperymentu było sprawdzenie możliwości wykrycia sygnału DS SS z modulacją BPSK w obecności sygnałów rzeczywistych. Jako tło wykorzystano sygnały satelitarne odbierane w zakresie częstotliwości od 1525 MHz do 1560 MHz, natomiast sygnał DS SS z modulacją BPSK zapewniał generator. Zakres częstotliwościowy pasma do badań dobrano w taki sposób, by w sąsiedztwie poszukiwanego sygnału występowały względnie silne zakłócenia wąskopasmowe. Wartości stosunku maksymalnego poziomu mocy nośnej do poziomu szumu dla sygnałów „zakłócających” zawierały się w przedziale od 10 do 20 dB (rys. 5a). Parametry generowanego sygnału DS SS dobrano w taki sposób, by na wejściu karty akwizycji uzyskać ujemny stosunek mocy poszukiwanego sygnału do mocy szumu wynoszący  $SNR = -10$  dB. Zakres częstotliwości objęty występowaniem transmisji szerokopasmowej z bezpośrednim rozpraszaniem widma zaznaczono na rysunku 5a oraz 6a w postaci zacieniowanego pola ( $B_{DS} = 2,44$  MHz,  $f_n = 21,4$  MHz na p.cz.). Wyniki doświadczenia w postaci charakterystyk widma gęstości mocy sygnałów analizowanego pasma oraz WGM dla próbek sygnału podniesionych do kwadratu (w zakresie dwukrotnie większych częstotliwości) przedstawiono na rysunkach 5. i 6. W prezentowanych charakterystykach widmowych zastosowano FFT o rozmiarze  $N = 2^{14}$ .



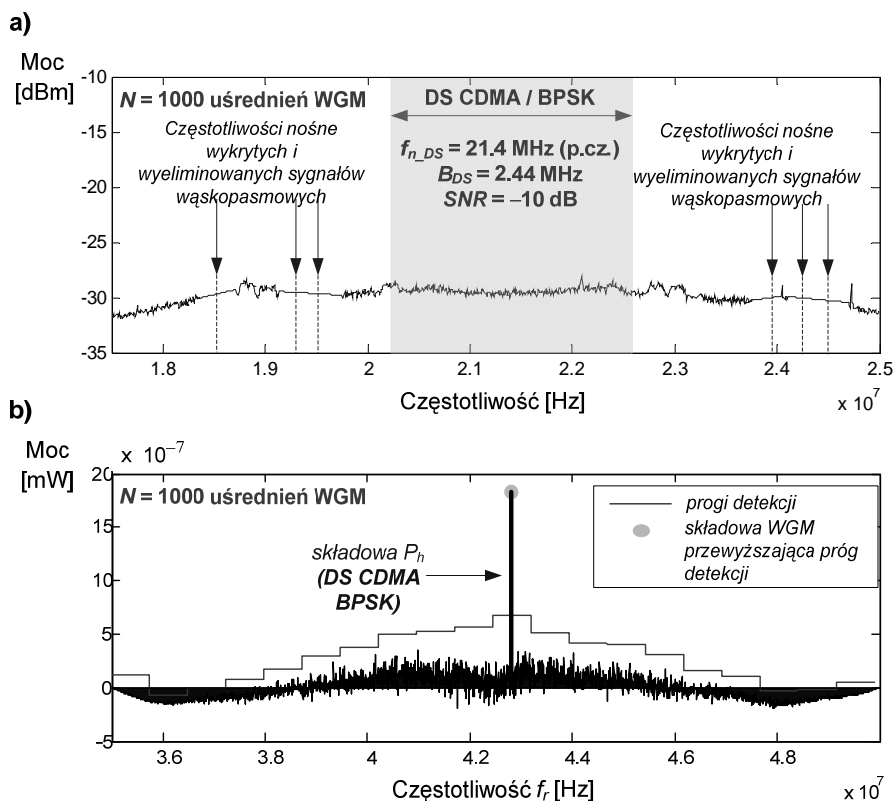
Rys. 5. Przykładowe WGM sygnału na wyjściu karty akwizycji (a) oraz wynik wykrywania transmisji DS SS przy braku procedur eliminacji sygnałów wąskopasmowych (b)

Źródło: opracowanie własne.

Analizując uzyskane wyniki, można stwierdzić, że w przypadku gdy sygnały wąskopasmowe nie były poddawane eliminacji (rys. 5b), warunek detekcji został spełniony dla sześciu składowych widma. Jak łatwo zauważyć, żadna ze składowych przewyższających próg detekcji nie pochodzi od poszukiwanego sygnału DS SS ukrytego w szumie. Ponadto w środkowej części pasma analizy pojawiły się niepożądane „falszywe” składowe jako produkty intermodulacji, powstające w wyniku podniesienia próbek sygnału do potęgi drugiej. Podsumowując przeprowadzone doświadczenia, można stwierdzić, że proces detekcji został zakłócony poprzez sygnały wąskopasmowe, a uzyskane wyniki dają mylne wyobrażenie o istnieniu w analizowanym paśmie sygnałów szerokopasmowych DS SS o ujemnych wartościach SNR.



Wobec powyższego procedury detekcji zostały powtórzone na tym samym ciągu próbek, ale tym razem z uaktywnionym blokiem wykrywania i eliminacji sygnałów wąskopasmowych. W wyniku zastosowania odpowiednich procedur wykryto i wyeliminowano sześć sygnałów wąskopasmowych. Wówczas uzyskano WGM, którego postać w zakresie pasma analizy zaprezentowano na rysunku 6a. Tak przygotowany sygnał przetworzono zgodnie z algorytmem wykrywania transmisji DS SS z modulacją BPSK metodą analizy widma próbek podniesionych w dziedzinie czasu do potęgi drugiej, a uzyskany wynik w formie graficznej, wraz z zaznaczonymi progami detekcji, przedstawiono na rysunku 6b.



Rys. 6. WGM sygnału z rys. 5a po przeprowadzeniu eliminacji sygnałów wąskopasmowych (a) oraz wynik realizacji procedur wykrywania transmisji DS SS z modulacją BPSK (b)

Źródło: opracowanie własne.

W przeprowadzonym doświadczeniu częstotliwość środkowa w.cz. dla obwodów wejściowych odbiornika odpowiadała częstotliwości nośnej wygenerowanego sygnału z widmem rozproszonym, co w konsekwencji powinno skutkować pojawieniem się składowej  $P_h$  (harmoniczna pochodząca od poszukiwanego sygnału DS SS) na częstotliwości 42,8 MHz, a więc dokładnie dwukrotnie wyższej od nośnej p.cz. wynoszącej 21,4 MHz.

Analizując uzyskane wyniki (rys. 6b), można przyjąć, że w obserwowanym przypadku detekcja składowej  $P_h$  nastąpiła bezbłędnie, a częstotliwość fali nośnej (w paśmie p.cz.) wykrytego sygnału DS SS określona została jako 21, 401 978 MHz, co przy rozdzielczości widma  $f_{WGM} = 6,103$  kHz (wynikającej z rozmiaru zastosowanej FFT) jest wynikiem odbiegającym od rzeczywistej częstotliwości wygenerowanego sygnału o 1,978 kHz, czyli poniżej rozróżnialności częstotliwościowej wyznaczonego WGM.

## PODSUMOWANIE

Aktualne oprogramowanie stanowiska umożliwia rejestrację i analizę sygnałów wybranych standardów geostacjonarnego satelitarnego systemu łączności Inmarsat i wykrywanie sygnałów DS SS o gęstości widmowej mocy mniejszej od szumu termicznego. Przeprowadzone badania wskazują na zasadność szerokopasmowej rejestracji sygnałów dla potrzeb ich analizy.

Zaproponowane rozwiązanie jest zdecydowanie prostszym i tańszym od rozwiązań stosujących analizę dla każdego z kanałów w oddzielnych torach odbiorczych. Przetwarzanie sygnałów w dziedzinie częstotliwości, takie jak filtracja, przemiana, synchronizacja, zapewnia odbiór kanałów w czasie rzeczywistym. Ponadto uniwersalność stanowiska pozwala na prowadzenie analizy w dowolnym paśmie częstotliwości (ograniczenia stanowią zakres częstotliwości systemu antenowego oraz przestrajania odbiornika) i dla dowolnych standardów radiokomunikacyjnych (po ich programowej implementacji).

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Burel G., *Detection of Spread Spectrum Transmissions Using Fluctuations of Correlation Estimators*, IEEE Int. Symp. on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, Hawaii 2000.
- [2] Jażdżewski R., *Median Filter Application for the Detection of Direct Sequence Spread Spectrum Signals in the Presence of Narrowband Interferences*, Regional Conference on Military Communication and Information Systems, Zegrze 2001.
- [3] Katulski R. J., Studanska A., Stefanski J., Studanski R., Was R., *Influence of Narrowband Interferences on DS CDMA Signals Detection*, Proceedings of the 18th International Conference, September 2008, Wilno — Litwa, Vilnius ‘Technika’ 2008, pp. 57–62.
- [4] Luc A., Vosicki V, Janicek M., *Transmission and Detection of DS SS Signal Under Noise*, Regional Conference on Military Communication and Information Systems, Zegrze 2000.
- [5] Studański R., Brewka M., Studańska A., Wąs R., *Cyfrowy odbiór sygnałów systemu Inmarsat*, XVII International Scientific and Technical Conference ‘The role of navigation in support of human activity’, Gdynia 2010.
- [6] Studański R., Wąs R., *Detekcja sygnałów DS CDMA metodą sumowania widma*, V Międzynarodowa Konferencja „Perspektywy i rozwój systemów ratownictwa, bezpieczeństwa i obronności w XXI wieku”, Gdańsk 2005.
- [7] Studański R., Wąs R., *Wykrywanie sygnałów DS SS dla potrzeb morskich systemów analiz radiowych*, Krajowa Konferencja Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji, Poznań 2006, s. 360–363.

## LABORATORY STAND FOR ANALYSIS RADIOCOMMUNICATION SIGNALS

### ABSTRACT

A laboratory stand for wideband analysis radiocommunication signals is presented in the paper. The stand is designed for signals acquisition in wide spectrum and research a field of digital signal processing. Procedures used for simultaneous acquiring many frequency channels in selected

wide band are described. The method of detection of direct sequence spread spectrum signals (DS SS) which power spectral density is lower than noise is also discussed. Executed research were performed with signals locally generated and with signals from real radio communication systems.

Keywords:

digital signal processing, wideband receiving of signals, signals detection.