

## Przetwornik obwiedni sygnałów wielkiej częstotliwości zmodulowanych amplitudowo

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki badań dwóch prototypowych wersji przetwornika obwiedni. Układy zostały skonstruowane w oparciu o dostępne układy scalone. Przetwornik obwiedni stanowi jeden z podstawowych elementów konstruowanego na Wydziale Elektroniki WAT miernika wysokomocowych impulsów elektromagnetycznych. Jego podstawą rolą jest demodulacja sygnału AM dla częstotliwości nośnej do 12 GHz. Zastosowanie tego układu umożliwia pomiar amplitudy sygnału o częstotliwości znacznie przekraczającej pasmo układu rejestrującego.

**Abstract.** The paper discusses the research results regarding a prototype version of an envelope converter. The systems were designed based on available integrated circuits. An envelope converter is one of the basic components of a high-power electric pulse meter under construction at the Faculty of Electronics of the Military University of Technology (WAT). Its basic task is the demodulation of the AM signal for a carrier frequency up to 12 GHz. The application of this system enables measuring the amplitude of a signal with the frequency significantly exceeded the recording system band. (*Envelope converter for amplitude-modulated high-frequency signals*)

**Słowa kluczowe:** przetwornik obwiedni, detektor obwiedni, demodulator AM

**Keywords:** envelope converter, envelope detector AM demodulator

### Wstęp

W ramach realizacji zadania „Opracowanie koncepcji budowy przenośnego miernika wysokomocowych pól elektromagnetycznych” (PSOB/16-062/2014/WAT/P) w projekcie „Metody i sposoby ochrony przed impulsami HPM” (DOB-1-3/1/PS/2014) konstruowany jest miernik wysokomocowych impulsów HPM[1,2,3]. Jednym z podstawowych podzespołów tego przyrządu jest przetwornik obwiedni. Zasadniczą rolą tego układu jest możliwość pomiaru amplitudy rejestrowanego sygnału o częstotliwości większej niż górna częstotliwość pasma układu rejestrującego.

Konstruowany w ramach pracy detektor powinien spełniać szereg wymagań podyktowanych zarówno warunkami pomiarów, jak i koniecznością współpracy z pozostałymi podzespołami konstruowanego miernika[4,5]. Wyszczególnić możemy tu m.in.:

- pracę w paśmie do 12 GHz,
- impedancję wejściową i wyjściową wynoszącą 50  $\Omega$ ,
- zakres dynamiki nie mniejszy niż 45 dBm,
- dolny próg działania (czułość stytna) nie większy niż -35 dBm,
- zakres zmian sygnału wyjściowego, który powinien być dopasowany do zakresu wejściowego układu rejestrującego, tzn. od -1 V do 1 V,

Na rynku występuje szereg detektorów pracujących w paśmie do 18 GHz zbudowanych na diodzie Schottkyego zero bias (nie wymagających napięcia polaryzacji wstępnej)[6,7]. Detektory takie mają jednak nieliniową charakterystykę prądowo napięciową, w związku z tym zmierzone wielkości muszą być poddane procesowi linearyzacji. Ponadto w takich układach wartość rezystancji obciążenia bardzo wpływa na wartość napięcia wyjściowego oraz na czasy narastania i opadania. Atrakcyjnym rozwiązaniem może okazać się wykorzystanie układów scalonych dedykowanych do demodulacji sygnałów zmodulowanych amplitudowo[8,9,10].

### Badania

W pracy zaprezentowano wyniki pomiarów dwóch wersji prototypowego przetwornika obwiedni zbudowanych w oparciu o dostępne układy scalone. Pomiarów zostały wykonane z wykorzystaniem następujących przyrządów:

- generatora sygnału modulującego SMB 100A firmy Rohde & Schwarz,
- generatora wysokiej częstotliwości SMF 100A firmy Rohde & Schwarz,

- oscyloskopu DPO7404 firmy Tektronix oraz digitizera ADQ7DC firmy Teledyne SP Devices.

Widok stanowiska pomiarowego zaprezentowano na rysunku 1.

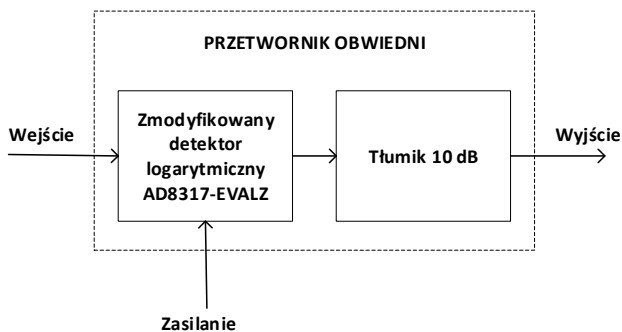


Rys. 1. Stanowisko pomiarowe dedykowane do badań przetwornika obwiedni

Podczas badań rejestrowano odpowiedź układu na wymuszenie sygnałem wielkiej częstotliwości zmodulowanym amplitudowo. Wyznaczono charakterystykę przetwarzania tj. zależność amplitudy sygnału wyjściowego w funkcji poziomu sygnału wejściowego. Pomiarów przeprowadzono dla wybranych częstotliwości sygnału modulowanego. Sygnałem modulującym był przebieg impulsowy natomiast modulowanym przebieg harmoniczny. Na podstawie tej charakterystyki wyznaczony został zakres dynamiczny pracy przetwornika obwiedni. Wykonano także pomiary charakterystyki częstotliwościowej czyli zależności amplitudy sygnału wyjściowego w funkcji częstotliwości sygnału modulowanego przy stałym poziomie generowanej mocy.

### Przetwornik obwiedni- pierwsza wersja

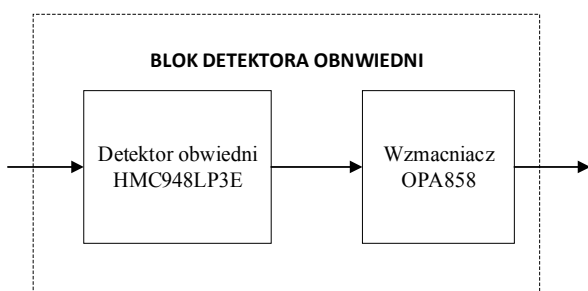
Pierwszą wersję przetwornika obwiedni zbudowano w oparciu o pakiet ewaluacyjny demodulującego wzmacniacza logarytmicznego AD8317 [8], charakteryzujący się zakresem dynamicznym na poziomie 55 dB i pasmem od 1 GHz do 10 GHz, czasem narastania 10 ns i czasem opadania 6 ns. Na potrzeby projektu układ został zmodyfikowany. W celu zapewnienia odpowiedniego poziomu sygnału wyjściowego zastosowano także tłumik 10 dB firmy HUBER+SUHNER. Schemat blokowy pierwszej wersji przetwornika obwiedni przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat blokowy pierwszej wersji przetwornika obwiedni

### Przetwornik obwiedni- druga wersja

Druga wersja detektora obwiedni została wykonana w oparciu o zmodyfikowany pakiet demodulującego wzmacniacza logarytmicznego HMC948LP3E, charakteryzującego się pasmem przenoszenia od 1 GHz do 23 GHz, zakresem dynamicznym 54 dB, czasem narastania 5 ns i czasem opadania 7 ns. Niestety układ ten może być obciążony rezystancją nie mniejszą niż 1 kΩ [9]. W związku z tym wykorzystano dodatkowy układ OPA858 [10] zapewniający dopasowanie impedancyjne. Jest to szerokopasmowy wzmacniacz stabilnie pracujący dla wzmocnienia 7 V/V. Jednak pomiary wykazały, że przy takim wzmocnieniu generowany jest wysoki poziom szumów powodujący ograniczenie czułości stycznej do -32 dBm. Wykorzystanie symulatora Tina firmy Texas Instruments oraz dokonanie modyfikacji w układzie ze wzmacniaczem operacyjnym pozwoliło uzyskać stabilną pracę przy wzmocnieniu 2 V/V. Schemat blokowy drugiej wersji przetwornika obwiedni przedstawiono na rysunku 3.



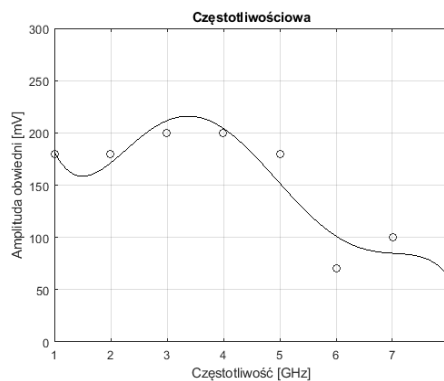
Rys. 3. Schemat blokowy drugiej wersji przetwornika obwiedni

### Wyniki pomiarów

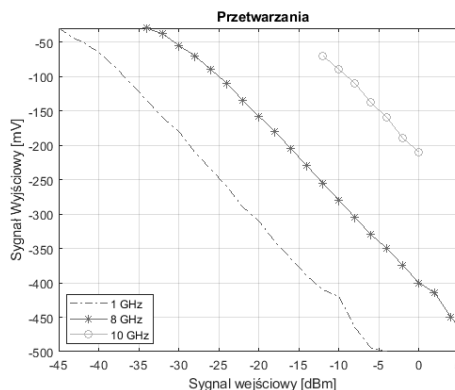
Na rysunku 4 przedstawiono charakterystykę częstotliwościową pierwszej wersji detektora dla wymuszenia sinusoidalnego przy stałym poziomie sygnału z generatora wynoszącym -30 dBm.

Na rysunku 5 przedstawiono charakterystykę przetwarzania czyli zależność amplitudy sygnału wyjściowego w zależności od poziomu sygnału wejściowego.

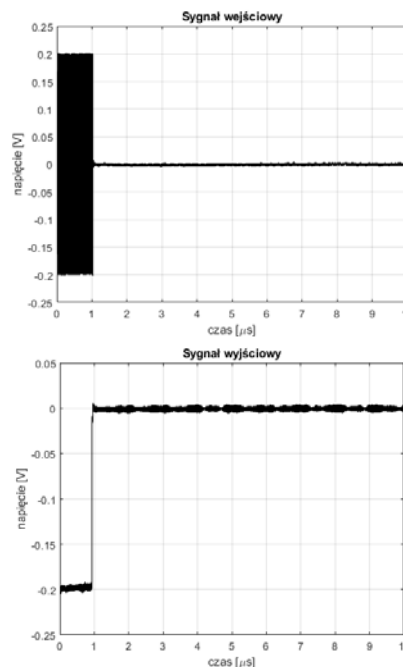
Na rysunku 6 przedstawiono przykładowy przebieg czasowy na wejściu i wyjściu pierwszej wersji przetwornika obwiedni.



Rys. 4. Charakterystyka częstotliwościowa pierwszej wersji detektora



Rys. 5. Charakterystyka przetwarzania pierwszej wersji detektora

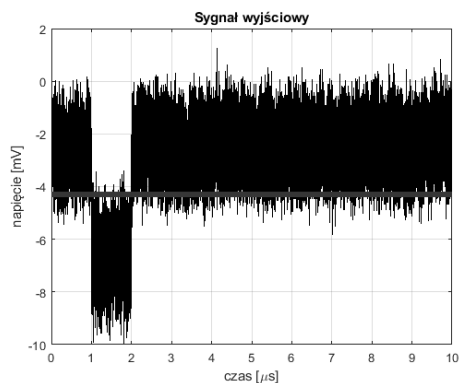


Rys. 6. Przykładowy przebieg czasowy wejściowy i wyjściowy pierwszej wersji przetwornika obwiedni

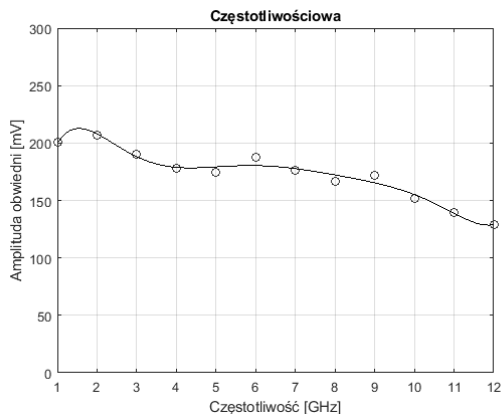
Na rysunku 7 przedstawiono przykładowy przebieg czasowy podczas pomiaru czułości stycznej pierwszej wersji przetwornika obwiedni.

Na rysunku 8 przedstawiono charakterystykę częstotliwościową drugiej wersji detektora dla wymuszenia sinusoidalnego przy stałym poziomie sygnału z generatora wynoszącym -20 dBm.

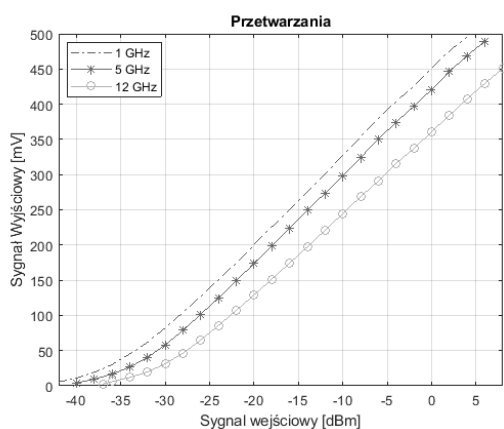
Na rysunku 9 przedstawiono charakterystykę przetwarzania drugiej wersji detektora.



Rys. 7. Przykładowy przebieg czasowy podczas pomiaru czułości stycznej pierwszej wersji przetwornika obwiedni

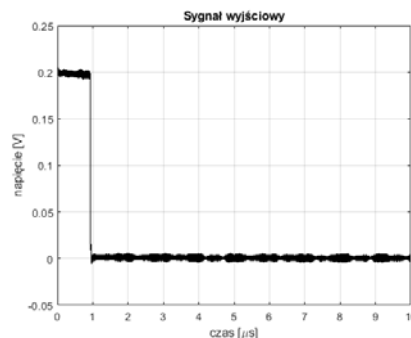
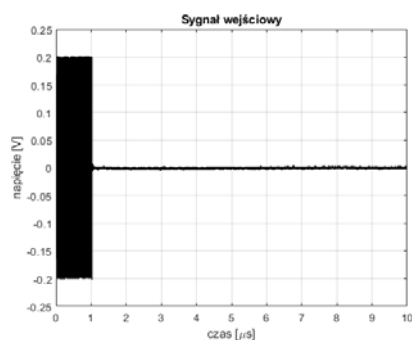


Rys. 8. Charakterystyka częstotliwościowa drugiej wersji detektora



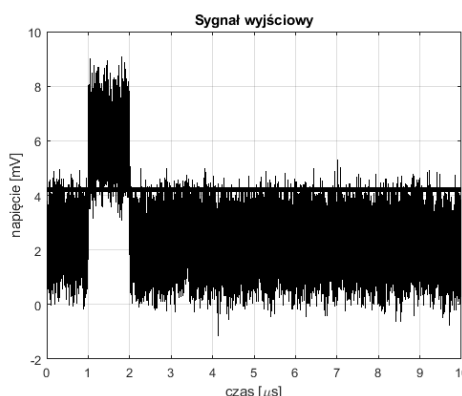
Rys. 9. Charakterystyka przetwarzania drugiej wersji detektora

Na rysunku 10 przedstawiono przykładowy przebieg czasowy na wejściu i wyjściu drugiej wersji przetwornika obwiedni.



Rys. 10. Przykładowy przebieg czasowy wejściowy i wyjściowy drugiej wersji przetwornika obwiedni

Na rysunku 11 przedstawiono przykładowy przebieg czasowy podczas pomiaru czułości stycznej dla drugiej wersji detektora.



Rys. 11. Przykładowy przebieg czasowy podczas pomiaru czułości stycznej drugiej wersji przetwornika obwiedni

### Podsumowanie

Pierwsza wersja przetwornika obwiedni charakteryzuje się poprawną pracą w zakresie częstotliwości od 1 GHz do 8 GHz. Powyżej tej częstotliwości następuje znaczne tłumienie sygnału a tym samym zmniejszenie dynamiki układu. Dla częstotliwości 1GHz zakres dynamiki wynosił 50 dBm, natomiast dla częstotliwości 8 GHz zakres dynamiki wynosił zaledwie 13 dBm. Dolny próg zadziałania był natomiast nie większy niż -12 dBm. W związku z tym nie spełnia on podstawowych wymagań stawianych w projekcie i nie może zostać wykorzystany jako element konstruowanego miernika HPM. Możemy również zauważyć, że sygnał na wyjściu jest proporcjonalny do amplitudy części ujemnej sygnału.

Druga wersja detektora cechuje się poprawną pracą w przedziale częstotliwości od 1 GHz do 12 GHz. Zakres dynamiczny dla badanych częstotliwości (1 GHz, 5 GHz i 12 GHz) wynosił nie mniej niż 45 dBm. Dolny próg zadziałania był natomiast nie większy niż -37 dBm. Takie parametry umożliwiają zastosowania go w mierniku HPM.

Wyniki badań przedstawione w artykule są efektem realizacji projektu DOB-1-3/1/PS/2014 „Metody i sposoby ochrony przed impulsami HPM”, w ramach którego realizowane jest zadanie „Opracowanie koncepcji budowy przenośnego miernika wysokomocowych pól elektromagnetycznych” (PSOB/16-062/2014/WAT/P).

### Autorzy:

dr hab. inż. Marek Kuchta, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Systemów Elektronicznych, ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: marek.kuchta@wat.edu.pl;  
mgr inż. Rafał Białek, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Systemów Elektronicznych, ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: rafal.bialek@wat.edu.pl.

#### LITERATURA

- [1] Bendord J., Swegle J.A., Schamiloglu E., *High Power Microwaves*, Taylor&Francis, New York 2007, ISBN 0-7503-0706-4,
- [2] R. Białek, M. Kuchta, R. Kubacki, *Metody pomiaru wysokomocowych impulsów elektromagnetycznych HPEM*, Przegląd Elektrotechniczny, nr 1, 2017,
- [3] Kuchta M., Kubacki R., Nowosielski L., Dras M., Wierny K., Namiotko R., Standardy bezpieczeństwa dla urządzeń teleinformatycznych zabezpieczające przed terroryzmem elektromagnetycznym, *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 12, 2012
- [4] M. Wiśnios, J. Paś, *The assessment of exploitation process of power for access control system*, International Conference of Energy Environment and Material Systems, 2017
- [5] R. Białek, M. Wiśnios, M. Kuchta, K. Jadczak, *Studying fibre-optic link used to transmission an analogue signals*, Przegląd Elektrotechniczny 12/2019, ss. 266-269
- [6] Hrobak M., *Zero Bias Schottky Power Detectors*, In: Critical mm-Wave Components for Synthetic Automatic Test Systems. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2015
- [7] A. Rogalski, *Terahertz detectors and focal plane arrays*, Elektronika : konstrukcje, technologie, zastosowania, ss. 93-108 Vol. 51, nr 4, 2010,
- [8] Nota katalogowa układu AD8317 firmy Analog Devices,
- [9] Nota katalogowa układu HMC948LP3E firmy Analog Devices,
- [10] Nota katalogowa układu OPA858 firmy Texas Instruments.