

Wzmacniacz niskoszumny z tranzystorem GaN PoHEMT na pasmo L

Streszczenie. W celu zbadania możliwości realizacji stopni wejściowych odbiorników mikrofalowych z wykorzystaniem technologii azotkowej skonstruowano wzmacniacz niskoszumny (LNA) z tranzystorem GaN HEMT wytworzony w projekcie PoHEMT. Zbudowany wzmacniacz stanowi także element weryfikacji opracowanej technologii GaN HEMT. W referacie opisano metodę modelowania szumowego tranzystora GaN HEMT oraz przedstawiono etapy projektowania wzmacniacza LNA na pasmo 1,1÷1,3 GHz.

Abstract. In this paper the development of the L-band low noise amplifier with GaN HEMT manufactured by consortium PoHEMT is described. The application of GaN HEMTs in the input stages of radar T/R modules is very important issue, because the robust of the receivers may be increased as well as the limiters can be eliminated. This LNA is also a verification element of PoHEMT. (L-band LNA Amplifier with GaN PoHEMT).

Słowa kluczowe: wzmacniacz niskoszumny, mikrofałe, GaN, HEMT, tranzystor, modelowanie, układy aktywne.

Keywords: LNA, amplifier, microwaves, GaN, HEMT, transistor, modeling, active devices.

Wprowadzenie

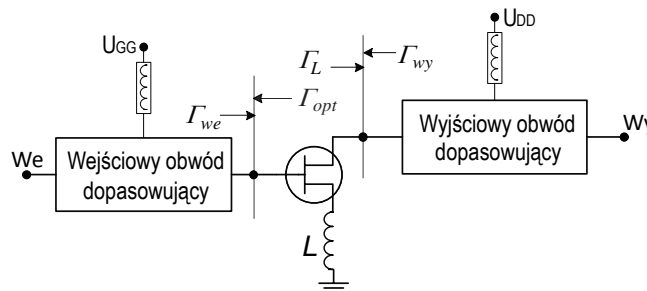
Przedmiotem projektu PoHEMT jest opracowanie demonstratora technologii mikrofalowych tranzystorów mocy GaN HEMT na monokrystalicznym podłożu GaN firmy Ammono z przeznaczeniem dla systemów radiolokacyjnych. Pomimo, że celem projektu PoHEMT jest wykonanie tranzystora o mocy wyjściowej 12 W w pasmie S, zdecydowano się skonstruować wzmacniacz niskoszumny (LNA) przy użyciu struktury GaN HEMT wytworzonej w/w projekcie. Zastosowanie tranzystorów GaN HEMT do budowy stopni wejściowych odbiorników radiolokacyjnych ma głęboki sens, ponieważ prowadzi do istotnego zwiększenia odporności układów odbiorczych na wszelkiego rodzaju zakłócenia głównie intencjonalne, a także umożliwi, w większości aplikacji, wyeliminowanie ograniczników np. w modułach N/O w systemach rozproszonych. Drugim powodem realizacji wzmacniacza jest weryfikacja parametrów struktur GaN PoHEMT w realnych układach. W projekcie stopnia LNA wykorzystano elementy zmodyfikowanej procedury szczegółowo opisanej w [1], której ideę zilustrowano w zarysie na rysunku 1 i opisano zależnościami (1)÷(3). Projektowanie wzmacniacza niskoszumnego sprowadza się do zrealizowania we wrotach wejściowych tranzystora admitancji obciążenia Y_{opt} optymalnej dla uzyskania minimalnej wartości współczynnika szumów F_{MIN} . W efekcie taki układ może być w ogólności silnie niedopasowany na wejściu (1). Modyfikacja procedury opisanej w [1], polega na dodaniu do obwodu źródła (rys. 1) cewki L jako elementu szeregowo-prądowego sprzężenia zwrotnego. W ten sposób można zbliżyć warunki: dopasowania energetycznego i ze względu na minimum szumów (2), i zmniejszyć poziom niedopasowania na wejściu tranzystora. Dodatkowo spełnienie warunku małosygnałowego dopasowania na wyjściu tranzystora pozwala na uzyskanie maksymalnej wartości wzmocnienia G_{AS} dla minimalnego współczynnika szumów F_{MIN} . Dla zapewnienia stabilności wzmacniacza LNA ewentualne obwody stratne dodawane są do obwodu wyjściowego, ponieważ wejściowy obwód dopasowujący musi być bezstratny w zadanym pasmie częstotliwości.

$$(1) \quad \Gamma_{opt} \neq \Gamma_{we}^*$$

$$(2) \quad \Gamma_S = \Gamma_{opt} \Rightarrow F = F_{MIN} \wedge \Gamma_{wy} = \Gamma_L^* \Rightarrow G_{LNA} = G_{AS}$$

$$(3) \quad F = F_{MIN} + \frac{R_N}{Y_o} \left| Y_S - Y_{opt} \right|^2$$

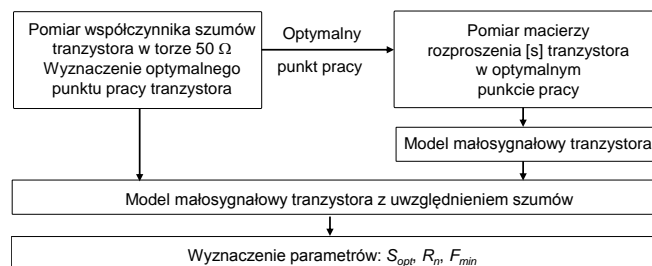
gdzie: Γ_{opp} , Y_{opt} – optymalny współczynnik odbicia/admitancja źródła, R_N – rezystancja szumowa, Y_o – admitancja odniesienia, Γ_{opt} , Y_S – zrealizowany współczynnik odbicia/admitancja źródła, F_{MIN} – minimalny współczynnik szumów tranzystora, F – współczynnik szumów wzmacniacza, G_{LNA} – wzmocnienie układu, G_{AS} – maksymalne wzmocnienie układu w przypadku zapewnienia optymalnej impedancji źródła.



Rys. 1. Schemat blokowy wzmacniacza niskoszumnego

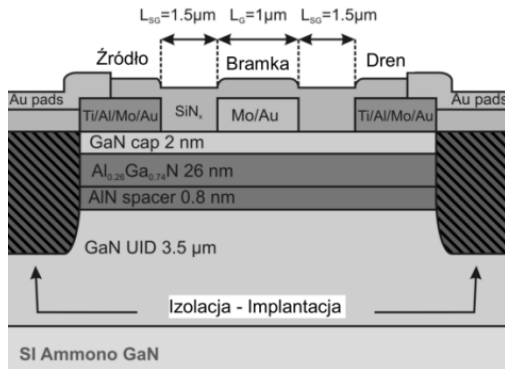
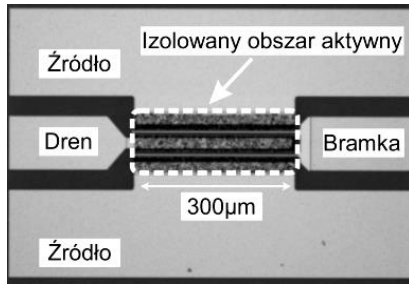
Model szumowy tranzystora GaN HEMT

Dla zaprojektowania wzmacniacza LNA niezbędna jest znajomość parametrów szumowych tranzystora Γ_{opp} , R_N , F_{MIN} oraz parametrów małosygnałowych np. w postaci macierzy rozproszenia [s], podanych w optymalnym punkcie pracy dla uzyskania minimalnego współczynnika szumów. Dla określenia wymienionych parametrów tranzystora zaproponowano procedurę, którą zaprezentowano na rysunku 2.



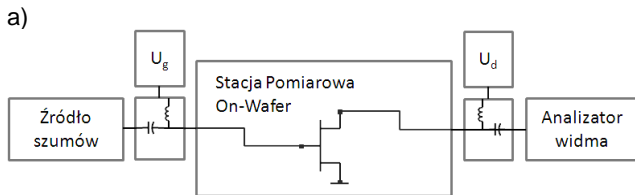
Rys. 2. Algorytm wyznaczania parametrów szumowych tranzystora

Do budowy wzmacniacza LNA wybrano tranzystor o symbolu T10 z płytki testowej oznaczonej HX1425B z heterostrukturą wytworzoną na monokrystalicznym podłożu Ammono GaN, którego zdjęcie i zarys przekroju poprzecznego pokazano na rysunku 3.

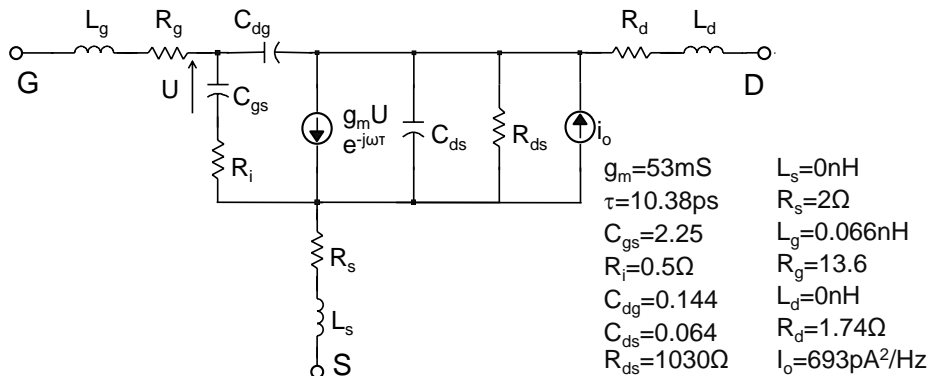


Rys. 3. Topologia i przekrój poprzeczny tranzystora T10

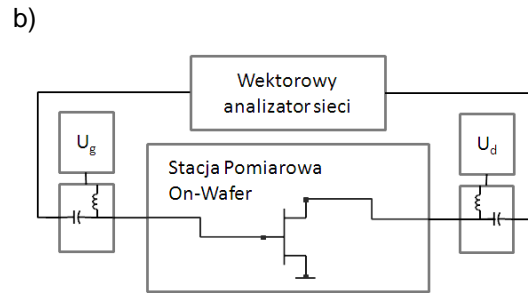
Współczynnik szumów tranzystora T10 włączonego do toru o impedancji charakterystycznej 50Ω zmierzono w układzie z rysunku 4a, a macierz rozproszenia [s] w układzie z rysunku 4b. Do pomiarów wykorzystano źródło szumów N4002A, analizator widma E4407B, wektorowy analizator sieci N5242A (Keysight Tech.) oraz stację do pomiarów ostrzowych M150 (Cascade Microtech). Podczas pomiarów szumowych określono optymalny punkt pracy dla uzyskania minimalnego współczynnika szumów.



Rys. 6. Model małosygnałowy tranzystora GaN HEMT T10

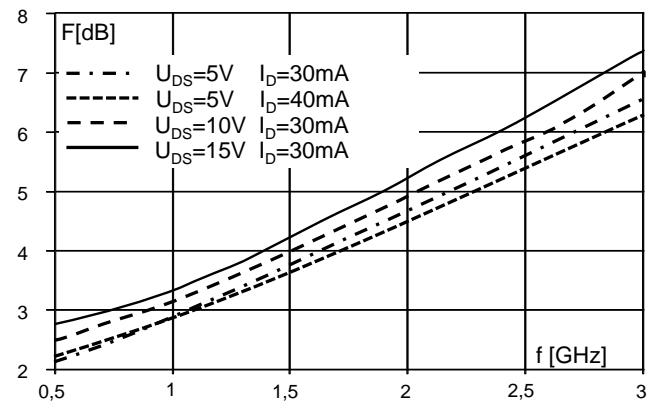


Rys. 6. Model małosygnałowy tranzystora GaN HEMT T10



Rys. 4. Schemat układu pomiarowego współczynnika szumów (a) oraz parametrów [s] tranzystora

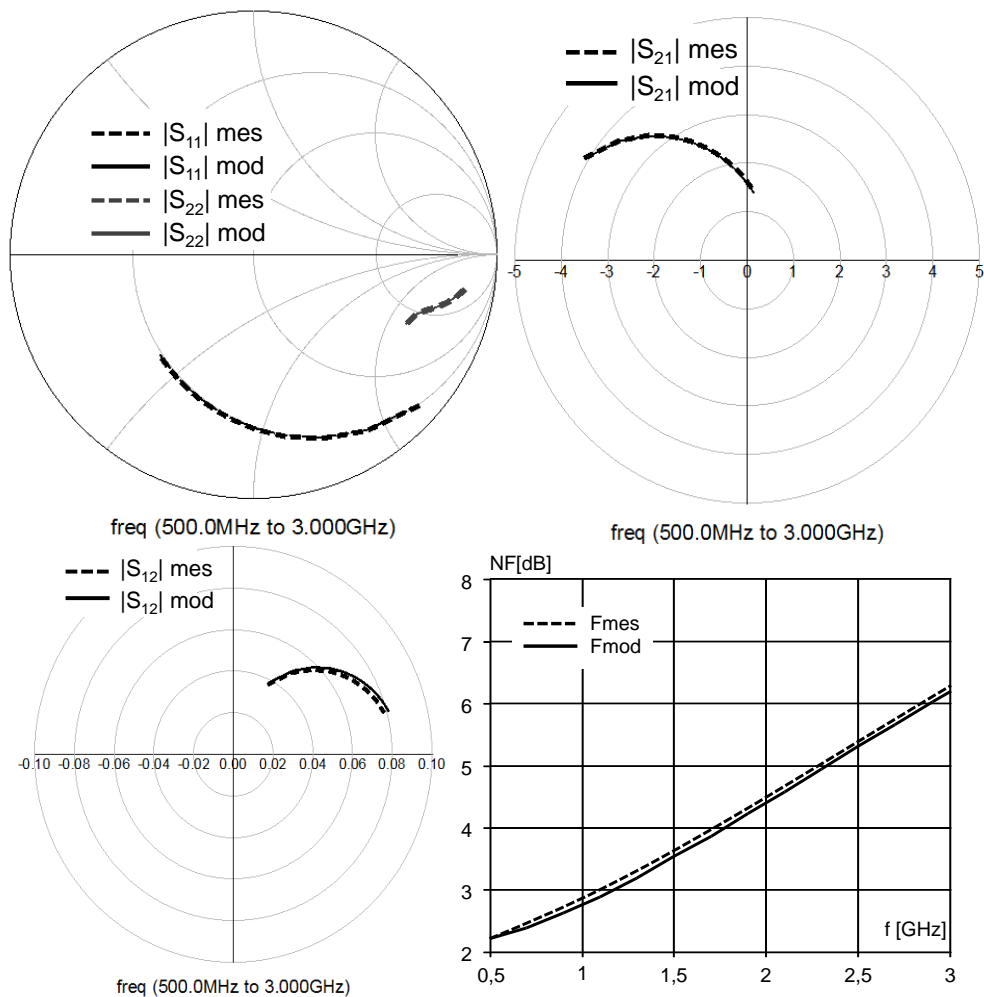
Wyniki pomiarów współczynnika szumów F tranzystora T10 w torze o impedancji 50Ω dla 4 punktów pracy pokazano na rysunku 5. Optymalny punkt pracy wynosi: $U_{DS} = 5 \text{ V}$, $I_D = 40 \text{ mA}$.



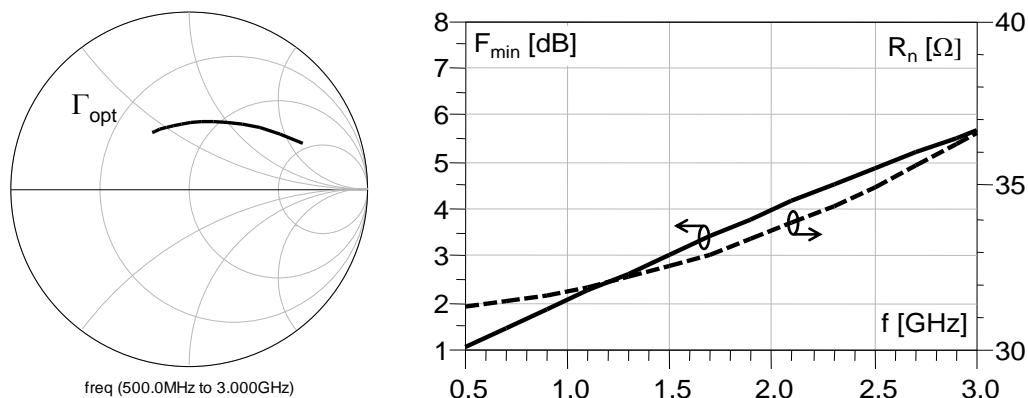
Rys. 5. Wyniki pomiarów współczynnika szumów F dla różnych punktów pracy

Do opracowania modelu szumowego tranzystora T10 zastosowano metodę Gupta'y [2, 3]. Dla ekstrakcji parametrów modelu tranzystora wykorzystano procedurę dopasowywania charakterystyk częstotliwościowych do zmierzonych [1]. Obliczenia przeprowadzono w środowisku ADS (*Advance Design System*). Model małosygnałowy tranzystora T10 z wartościami elementów schematu zastępczego przedstawiono na rysunku 6. Wyniki symulacji i pomiarów wyrazów macierzy [s] oraz współczynnika szumów F tranzystora w punkcie pracy $U_{DS} = 5 \text{ V}$, $I_D = 40 \text{ mA}$ włączonego w tor 50Ω porównano na rysunku 7.

Wyznaczone parametry szumowe tranzystora T10 Γ_{opt} , F_{min} i R_n pokazano na rysunku 8.



Rys. 7. Wyniki symulacji i pomiarów macierzy [s] i współczynnika szumów F tranzystora włączonego w tor o impedancji 50Ω



Rys. 8. Wyznaczone parametry szumowe tranzystora T10 Γ_{opt} , F_{min} i R_n

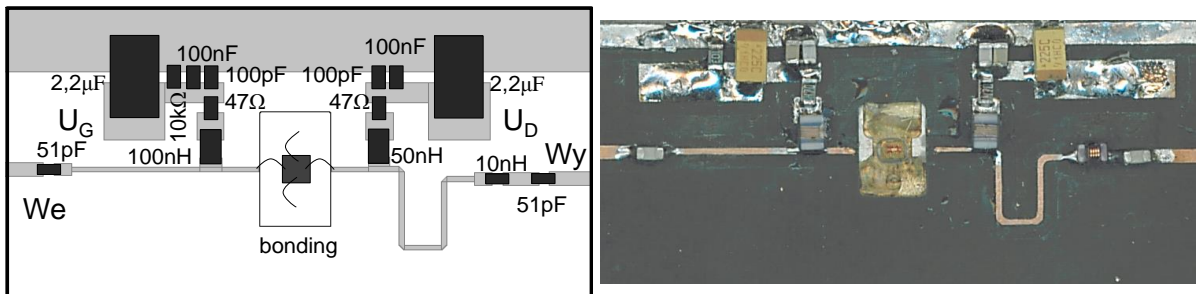
Projekt wzmacniacza LNA

Wzmacniacz LNA zaprojektowano na pasmo 1,1÷1,3 GHz w środowisku ADS, zgodnie z metodyką opisaną we wprowadzeniu. Układ zrealizowano w technice NLP na podłożu ROGES RT5880 ($h = 0,254 \text{ mm}$ i $t = 17 \mu\text{m}$). Schemat montażowy oraz fotografię wykonanego wzmacniacza przedstawiono na rysunku 9.

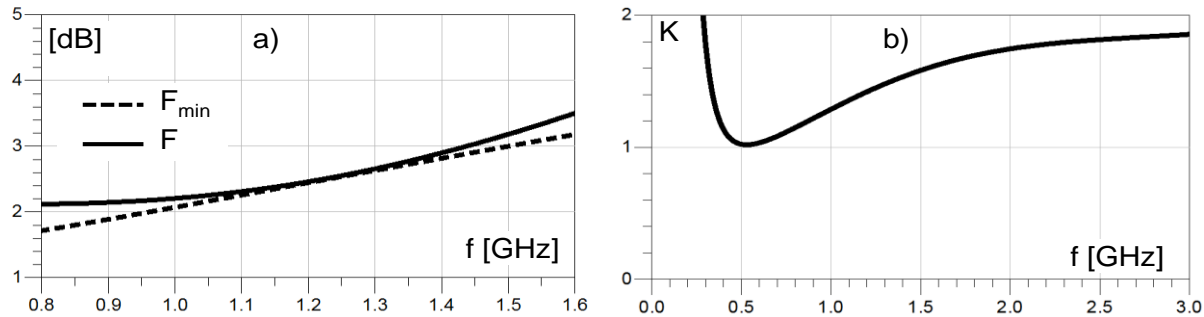
Przebiegi współczynnika szumów: uzyskanego F i minimalnego F_{MIN} oraz współczynnika stabilności K stopnia LNA w szerokim zakresie częstotliwości zobrazowano odpowiednio na rysunkach 10 a i b.

Pomiary wzmacniacza LNA

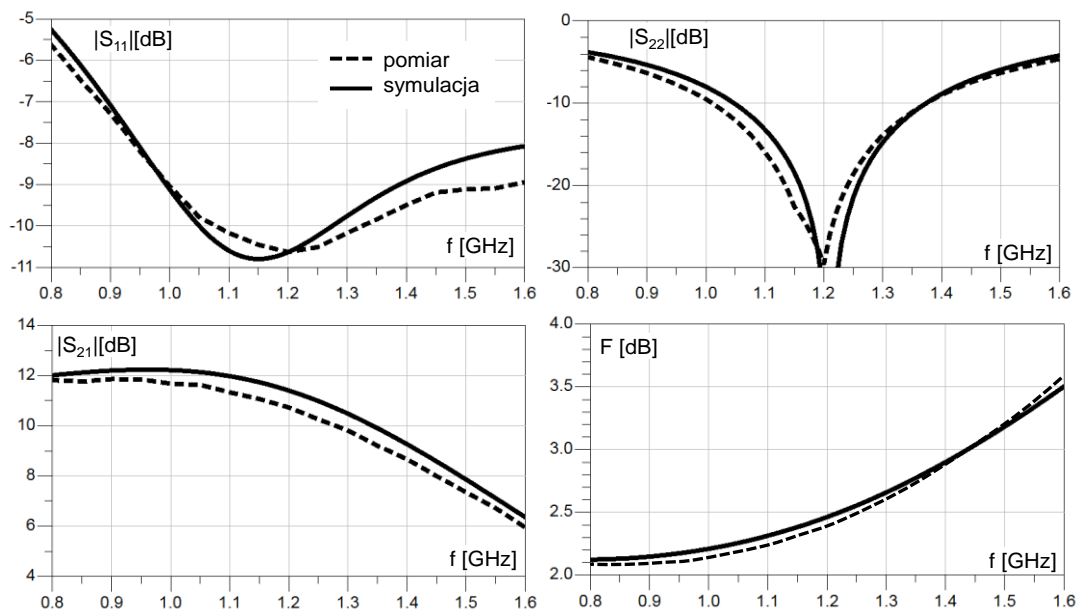
Pomiary macierzy [s] wzmacniacza LNA przeprowadzono przy pomocy analizatora sieci HP8720C, a współczynnik szumów zmierzono za pomocą źródła szumów N4002A i analizatora widma E4407B. Symulowane i zmierzone parametry wzmacniacza LNA z tranzystorem T10 porównano na rysunku 11. Wpływ punktu pracy tranzystora na poziom współczynnika szumów F dla częstotliwości $f = 1,2 \text{ GHz}$ pokazano na rysunku 12.



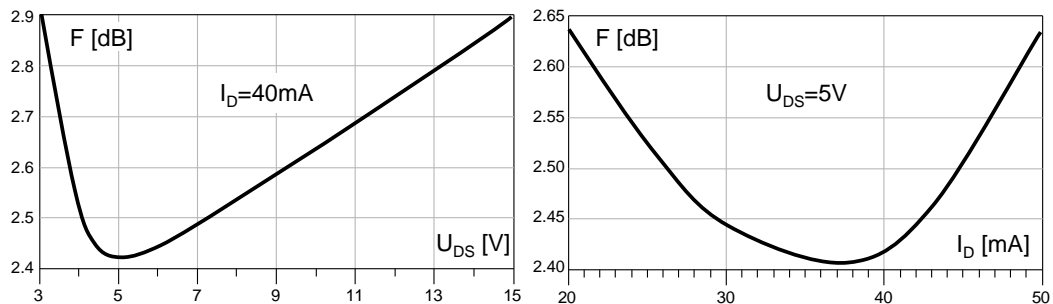
Rys. 9. Schemat montażowy oraz fotografia wykonanego wzmacniacza LNA



Rys. 10. Wynik obliczeń współczynnika szumów: uzyskanego F i minimalnego F_{MIN} (a) oraz współczynnika stabilności K (b) wzmacniacza LNA



Rys. 11. Zmierzone i symulowane parametry wzmacniacza LNA z tranzystorem T10



Rys. 12. Wpływ punktu pracy tranzystora na poziom współczynnika szumów wzmacniacza F dla $f = 1,2$ GHz

Wnioski

Uzyskano bardzo dużą zgodność obliczeń i pomiarów wszystkich parametrów wzmacniacza LNA. Dlatego można stwierdzić, że zaproponowana procedura wyznaczania modelu szumowego tranzystora i parametrów szumowych niezbędnych do projektowania wzmacniaczy LNA jest prawidłowa. Uzyskano założone parametry układu, tj. współczynnik szumów $F < 2,5$ dB i wzmocnienie $|S_{21}| > 11$ dB. W celu uzyskania lepszych parametrów konieczne jest zmodyfikowanie konstrukcji tranzystora przede wszystkim zmniejszenie rezystancji bramki R_g tranzystora.

Praca naukowa finansowana w ramach projektu PBS1/A3/1/2012 PolHEMT przez NCBiR.

LITERATURA

[1] Gryglewski, Wojtasiak W., Morawski T., Szyki fazowane z zasilaniem rozproszonym, rozdział 4 w monografii pod edycją

- W. Zieniutycz, Współczesne technologie radarowe. Anteny o sterowanej wiązce w technice radarowej, WKŁ 2012, 189-224
- [2] Gupta M. and Greiling P., Microwave Noise Characterization of GaAs MESFET's: Determination of Extrinsic Noise Parameters, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 36, No. 4, April 1988, 745-751
- [3] Golio J.M., *Microwave MESFETs and HEMTs*, Boston: Artech House, 1991

Autorzy: dr inż. Daniel Gryglewski, Politechnika Warszawska, Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych, ul. Nowowiejska 15/19, 00-665 Warszawa, E-mail: D.Gryglewski@ire.pw.edu.pl; mgr inż. Marcin Góralczyk, Politechnika Warszawska, Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych, ul. Nowowiejska 15/19, 00-665 Warszawa, E-mail: marcin-goralczyk@wp.pl; inż. Szymon Sokół, Politechnika Warszawska, Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych, ul. Nowowiejska 15/19, 00-665 Warszawa.