

dr hab. inż. Wojciech Wojtasiak, prof. uczelni  
Politechnika Warszawska,  
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych,  
Instytut Radioelektroniki i Technik Multimedialnych

Warszawa, dnia 04.05.2023 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ  
DLA RADY NAUKOWEJ DYSCYPLINY AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA, ELEKTROTECHNIKA  
I TECHNOLOGIE KOSMICZNE WOJSKOWEJ AKADEMII TECHNICZNEJ

Tytuł rozprawy: **Mikrofalowe oscylatory synchronizowane iniekcyjnie, jako źródła zakłóceń radiolokacyjnych**

Autor rozprawy: **major mgr inż. Dariusz Gibalski**

Promotor rozprawy: **dr. hab. inż. Zenon Szczepaniak, prof. uczelni**

### 1. Tematyka rozprawy – cel, teza i zakres rozprawy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Dariusza Gibalskiego dotyczy bardzo ważnej obecnie problematyki przeciwdziałania urządzeniom radiolokacyjnym. Autor koncentruje się na problemie zakłócania radarów średniego zasięgu operujących w pasmie S z liniową modulacją częstotliwości (chirp), a także CW. Rozwiązanie problemu badawczego doktorant upatruje w opracowaniu nadajnika zakłóceń, którego głównym podzespołem jest analogowy generator mikrofalowy (wolnobieżny) synchronizowany iniekcyjnie sygnałem zakłócanego radaru. Cel pracy został określony prawidłowo, zakres tematyczny jest aktualny, a przedmiot pracy – potrzebny. Autor przyjął jedną tezę rozprawy (cytuje): „*istnieje możliwość zdalnego zakłócania pracy radaru poprzez sygnały generowane przez układ oscylatora mikrofalowego, wykorzystującego zjawisko synchronizacji przez iniekcję sygnałem zakłócanego urządzenia*”. W świetle treści pracy, teza nie jest precyzyjnie zdefiniowana, ponieważ oscylator, chociaż najważniejszy, to jednak jest tylko jednym z elementów nadajnika zakłóceń. Dla udowodnienia postawionej tezy sformułowano pięć szczegółowych zadań badawczych m.in. opracowanie własnego modelu zjawiska synchronizacji przez iniekcję, projekt i wykonanie generatora synchronizowanego przez wstrzykiwanie oraz symulacje i pomiary możliwości zakłócania stacji radiolokacyjnych przez sygnały pochodzące z synchronizowanego iniekcyjnie oscylatora. Wydaje się, że zadanie 4. (symulacje możliwości zakłócania urządzenia....) powinno być jednym z pierwszych. Niezależnie od niewielkich zastrzeżeń, należy uznać, że cel, teza i zakres rozprawy są wystarczająco jasno sformułowane.

### 2. Charakterystyka rozprawy – układ i analiza źródeł

Rozprawa składa się z siedmiu rozdziałów, literatury i dwóch wykazów akronimów i symboli. Wprowadzenie rozpoczyna się prezentacją motywacji Autora dla podjęcia badań nad metodami zakłócania urządzeń radiolokacyjnych ze szczególnym podkreśleniem związku z obszarem badawczym i kompetencjami miejsca swojego zatrudnienia (WITU). Podpunkt ten przypomina przegląd stanu wiedzy, ponieważ zawiera szereg informacji na temat technik zakłócania z licznymi odniesieniami do literatury, a na końcu znajduje się określenie przedmiotu rozprawy. Z tego powodu

p.1.1 jest zbyt długi. W kolejnym podrozdziale (p.1.2, 13 stron), Autor przedstawił stan techniki i analizę literatury w bardzo szerokim zakresie obejmującym rys historyczny wykorzystania fal elektromagnetycznych, opis i klasyfikację metod zakłócania urządzeń radioelektronicznych oraz krytyczną analizę źródeł prezentujących teorię generacji i synchronizacji oscylatorów sygnałem zewnętrznym. Skrócenie opisu historycznego i zamieszczenie pozostałych zagadnień w dwóch oddzielnych podpunktach znacznie zwiększyłoby przejrzystość tego rozdziału. Co więcej część treści dotyczących autorskiego rozwiązania przedmiotu pracy można przenieść do p.1.3 (Cel i teza pracy). W spisie literatury znajduje się 132 pozycje z czego 5 publikacji z udziałem Autora. Wątpliwości może budzić liczba odniesień do źródeł w p.1.1 i p.1.2, która wynosi 132 tj. tyle, ile zawiera cała bibliografia pracy. W większości są to publikacje aktualne i reprezentatywne dla obecnego stanu wiedzy. Przeprowadzona przez Doktoranta analiza dostępnej literatury w znacznym stopniu odpowiada potrzebom dysertacji i w wskutek poprawnego wnioskowania umożliwiła sformułowanie celu pracy. W rozdziale 2. opisano teorię synchronizacji przez iniekcję generatora mikrofalowego z wykorzystaniem transmisyjnych warunków generacji. Rozdział 3 zawiera wyniki analizy możliwości zakłócania pracy radiolokatora przez sygnał oscylatora synchronizowanego sygnałem radarowym wykonaną w środowisku symulacyjnym MATLAB. Zarys projektów trzech oscylatorów synchronizowanych wstrzykiwanym sygnałem zewnętrznym – dwóch złożonych z gotowych elementów (oprócz filtru) i jednego wykonanego w technice NLP – zamieszczono w punkcie 4. Bardzo cenne dla jakości dysertacji są rozdziały 5 i 6 prezentujące rezultaty eksperymentów – w p.5 pomiary oscylatora, a w p.6 możliwości zakłócania radaru generatorem synchronizowanym przez iniekcję. Oba rozdziały są obszerne, ponad 70 stron, na których Autor weryfikuje empirycznie rozwiązania zadań badawczych i ostatecznie potwierdza tezę rozprawy. Rozdział 7 stanowi rozbudowane (za długie) posumowanie wyników pracy. Dla realizacji zadań szczegółowych, Doktorant użył zarówno metod teoretycznych (symulacje numeryczne), jak i eksperymentalnych (wykonanie, pomiary układów). Dlatego recenzowana praca ma charakter teoretyczno-doświadczalny.

### **3. Rozwiązanie zagadnienia badawczego – zasadność użytej metodyki**

Udowodnienie tezy rozprawy wymagało rozwiązania problemu badawczego, który sprowadza się do opracowania mikrofalowego generatora synchronizowanego wstrzykiwanym sygnałem zewnętrznym dla nadajnika zakłóceń stacji radiolokacyjnej. Projektowanie oscylatora synchronizowanego przez iniekcję stanowi centralny obszar prac Autora. Dla realizacji tego celu Doktorant użył transmisyjnego warunku generacji słusznie rezygnując z powszechnie stosowanego warunku reflektancyjnego. Opracowany model generatora zawiera nowe elementy w postaci obwodów: iniekcji i wyjściowego. Zabrakło warunków wzbudzenia i przynajmniej wspomnienia o generatorze jako nieliniowym obwodzie. Autor dość szczegółowo opisał wyniki projektowania układów, przedstawił m.in. analizę wpływu miejsca wstrzykiwania na pasmo synchronizacji, rodzaju sygnału iniekcji (CW, chirp) oraz przeprowadził pracochłonne symulacje i pomiary. Zastosowana metodyka badań jest prawidłowa i przyjęte założenia są dopuszczalne. Autor wykazał się szeroką znajomością przedmiotu pracy, sprawnie posługuje się zarówno aparatem matematyczno-symulacyjnym jak empirycznym – pomiarowym. Podsumowując należy uznać, że Doktorant właściwie zastosował metody badawcze z odpowiednimi uproszczeniami.

### **4. Oryginalne cechy rozprawy**

Rozprawa stanowi oryginalny wkład Doktoranta do jakże aktualnej problematyki zakłócania urządzeń radiolokacyjnych szczególności w obszarze projektowania analogowych nadajników

odzewowych synchronizowanych przez iniekcję sygnałem pochodzącym z zakłócanego radaru. Do oryginalnych wyników pracy należy zaliczyć:

1. Wykorzystanie zjawiska iniekcji w wolnobieżnych generatorach mikrofalowych do synchronizacji sygnałem zewnętrznym typu CW i z liniową modulacją częstotliwości.
2. Wprowadzenie do transmisyjnego modelu oscylatora nowych elementów iniekcji i czerpania energii w celu uwzględnienia parametrów tych obwodów w warunkach generacji.
3. Przeprowadzenie badań symulacyjnych i eksperymentalnych zrealizowanych generatorów dla weryfikacji przyjętej koncepcji źródła zakłóceń, także w warunkach zbliżonych do rzeczywistych – imitacja pracy radaru w układzie pomiarowym z VSG i VSA.

Przytoczona w pracy literatura potwierdza oryginalność powyższych wyników. Natomiast nie zgadzam się z Autorem, że opracowany model oscylatora jest „kompletnie nowy” (str. 31).

## 5. Prezentacja wyników pracy

Redakcja rozprawy spełnia wymagania dla tego rodzaju publikacji. Ogólny poziom językowy dysertacji jest dobry, pomimo pojawiania się błędów stylistycznych (np. „zaadresowanie problematyki do synchronizacji...”), interpunkcyjnych, nadużywanie niektórych wyrazów np. „tu” i literówek. Natomiast należy zwrócić uwagę na powtarzanie podobnych zdań i akapitów w wielu miejscach pracy jakby Autor chciał ciągle przypominać czytelnikowi o czym jest rozprawa. Niektóre opisy wykresów wyników symulacji są mało czytelne np. rys. 3.1, 3.2, 3.6, 3.7. Część zmierzonych charakterystyk przy pomocy analizatora widma lub obwodów jest nadmiarowa np. na rys. 5.2  $|s_{12}|_{dB}$  i  $|s_{22}|_{dB}$  – mierzony układ jest symetryczny. W rozprawie zamieszczono bardzo dużo rysunków, zdjęć i zrzutów z ekranu analizatora. Ze względu na przejrzystość rozprawy, część z nich można było przenieść do dodatku lub usunąć bez wpływu na ciąg rozumowania np. rys. 6.10. Ponadto podpisy pod rysunkami są za długie np. „widmo częstotliwości sygnału”. Wymienione usterki nie umniejszają merytorycznej wartości pracy. Doktorant trafnie formułuje wnioski i podaje możliwe rozwiązania.

## 6. Słabe strony rozprawy – szczegółowe uwagi

Część zauważonych niedociągnięć została zasygnalizowana w poprzednich punktach recenzji. Wykaz uchybień i usterek oraz uwag wartych odnotowania przedstawiono poniżej:

str.18 (nowy akapit), sformułowanie „zbliżony do sygnału szumów odbiornika” prośba o komentarz.

str.22, Tabela 1.1 – zawartość w języku angielskim – pozostałe tabele w języku polskim.

str.23, stwierdzenie „Jest to nowe podejście.....” w przypadku zjawiska synchronizacji przez iniekcję nie do końca jest uzasadnione, ponieważ w następnych akapitach Autor odnosi się do fundamentalnych publikacji z tej dziedziny (van der Pol, Adler, Kurokawa), które jednak zawierają zbliżony sposób opisu generatora do prezentowanego w rozprawie. Bardziej uzasadnionym określeniem byłaby „modyfikacja modelu”.

Str.24 (ostatni akapit), „moduł współczynnika odbicia jest znacznie większy od 1” – sformułowanie nieprecyzyjne i subiektywne, w reflektancyjnym warunku generacji dąży się do uzyskania modułu wsp. odbicia obwodu aktywnego w przedziale  $(\sqrt{2}, 2)$ , aby nie było efektu „przewzbudzenia”.

str.27, wprowadzenie hasła „dzielnik częstotliwości” w p.1.3 jest zbędne i w dalszej części pracy nie ma o tym wzmianki.

str.29 i kolejne, Autor podaje wzory np. (2.3), (2.4) bez przywołania literatury; dwie przykładowe pozycje: A. Pikovsky, M. Rosenblum, and J. Kurths, *Synchronization. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2001* lub *Analysis of Oscillator Injection Locking Through Phase-Domain Impulse-Response, Paolo Maffezzoni, 2008*. Brak odniesień do publikacji w całym p.2.1 budzi moje zdziwienie.

str.31, tytuł 2.2. „Modelowanie zjawiska w układzie oscylatora mikrofalowego” – jakiego zjawiska?  
Stwierdzenie: „kompletny, transmisyjny model matematyczny oscylatora synchronizowanego przez iniekcję...” – taka sama uwaga, jak dla str.23.

str.32÷34, wykresy wskazowe, opis osi  $\text{Re}[\?]$  i  $\text{Im}[\?]$  oraz rys.2.5 – okrąg powinien mieć promień  $a_i$ .

str.35, „transmitancja jest większa od jedności”, jeśli w dziedzinie zespolonej, takie zdanie jest błędne.

str.36, rys.2.7, błędne oznaczenie  $a_i$  i  $\alpha$ .

str.37, błędna numeracja wzorów (2.44), (2.45).

str.39, „zapis mocowy”?

str.42, czy wzory (2.75) i (2.76) są Autora?

str.43, „wartości zakresu częstotliwości synchronizacji można przedstawić w interpretacji graficznej” – warto było przedstawić przykładową charakterystykę i pokazać sposób wyznaczania fazy.

str.43, przedostatni akapit: „zidentyfikowanie punktów krytycznych...”, jakie to punkty?

str.47, niefortunne sformułowanie: „Przyjęty scenariusz postępowania umożliwił uzyskanie zbieżności otrzymanych wyników...”

str.48, jak wyglądają dane wejściowe (liczbowe) do symulacji w MATLAB?

str.53, „skuteczność energetyczna” powszechnie używa się określenia sprawność.

str.54, pomyłka w mianowniku wzoru (3.1) i niejednoznaczne oznaczenia: D, R, SPO,  $\sigma$ .

str.55, kursywa we wzorze (3.4).

str.58, nieczytelna legenda na rys.3.7.

str.60, „wzajemne przesunięcia w fazie...”, jak to rozumieć?

str.63, brak uzasadnienia wyboru filtra z niesymetrycznymi liniami paskowymi sprzężonymi jako obwodu rezonansowego, nie pokazano w tym miejscu charakterystyk filtra, a także związku z tym, że jest to układ powszechnie znany, nie był potrzebny tak szczegółowy opis.

str.65÷69, brak szczegółów projektowania generatorów (symulacji, spełnienia warunków generacji), pokazano końcowe układy, bez charakterystyk, punktów pracy itd.

str.74, rys.5.2, 5.3 – przebieg tłumienia i strat odbicia, bo to moduły, a nie wsp. macierzy [s], poza tym nie ma zgodności obliczeń z pomiarami – dlaczego?

str.75, rys.5.4 i 5.5 – brak zgodności i komentarza.

str.76, rys.5.6 – jak się mają pomiary wzmacniacza do danych producenta, jak wyglądają charakterystyki w funkcji mocy wejściowej/wyjściowej; Autor deklaruje pasmo 3÷4GHz, a na rysunkach jest 3÷3.5GHz.

str.77÷79, rys. 5.7, 5.8 – moduły wyrazów macierz [s] (patrz str.74); sprzęgacz, dzielnik to układy pasywne o dużej wytrzymałości, więc podawanie poziomu mocy 0dBm jest bezcelowe.

str.80÷81, rys.5.13, 5.14 – „charakterystyka przejściowa” – jak rozumieć? W podpisie brak warunków pomiaru, punkt pracy, płaszczyzna odniesienia itd.

str.84, rys.5.15 – dla wygody czytelnika należało na rysunku podać nazwy firmowe przyrządów – pomiar widma, więc nie ma potrzeby kalibrować VNA – tekst pod rysunkiem.

str.90, odwołanie do rys.5.21 – prawdopodobnie pomyłka; podano długości kabli współosiowych – jak obliczono i dlaczego we wcześniejszych rozdziałach fakt ten pominięto.

str.91, odwołanie do rys.5.23, tekst nie zgadza się z podpisem pod tym rysunkiem; jaki był cel pokazania rys.5.20?

str.96, rys.5.28a – niewłaściwy opis osi pionowej, powinna być częstotliwość, a  $\Delta f$ .

str.97, brak komentarza do rys.5.20 + 5.28b

str.98+99, w tabeli 5.4 i 5.5 spore błędy – brak komentarza.

str.100, „oscylatorów były praktycznie niezależne od struktury / rodzaju modulacji synchronizującego sygnału radarowego” – chyba nie, patrz rys.5.23 i 5.27.

str.114, dopiero na tej stronie pojawia się wyjaśnienie obecności prążka  $f_0$  (CW) w widmie, zabrakło tej informacji w poprzednich podpunktach (rys.5.21 + 5.26).

str.115, „pasma synchronizacji.....jest porównywalne” jest to subiektywne stwierdzenie, wiarygodniej byłoby podać wartości.

str.142, zbyt długi tytuł p.E.

str.149, zwracam uwagę, że model transmisyjny generatora jest powszechnie znany, więc należy uważać z określeniami kategoriowymi typu nowy, kompletny.

Część praktyczna pracy zawiera bardzo dużo charakterystyk, bardzo podobnych, w rezultacie są trudne do analizy, należało się zastanowić nad bardziej przyjazną dla czytelnika prezentacją wyników. Sporo miejsca zajmują treści oczywiste, które nie wnoszą wartości dodanej, natomiast miejscami brakuje wyjaśnień dot. istoty pracy.

## 7. Przydatność rozprawy

Zgodnie z deklaracjami Autora rozprawa wpisuje się w główne cele i kierunki działalności naukowo-badawczej resortu ON w perspektywie średniookresowej. Stanowi także istotny element systemu zakłóceń przestrzennych, który jest realizowany w WITU, a którego pracownikiem jest Doktorant. Dysertacja jest, więc szczególnie przydatna dla działalności badawczo-rozwojowej WITU. Oryginalny pomysł zastosowania wolnobieżnego, mikrofalowego generatora synchronizowanego sygnałem wstrzykiwanym do zakłócenia radarów może zainteresować projektantów urządzeń walki radioelektronicznej ze względu na prostą konstrukcję i niski koszt.

## 8. Podsumowanie

Major mgr inż. Dariusz Gibalski przedstawił oryginalne rozwiązanie zagadnienia badawczego o dużym potencjale użytkowym z ciekawego i aktualnego obszaru wiedzy. Niewielka liczba publikacji Autora może wynikać z natury przedmiotu rozprawy oraz cech doktoratu wdrożeniowego. Po zapoznaniu się z rozprawą majora mgr. inż. Dariusz Gibalskiego mogę stwierdzić, że są spełnione wymagania art. 13 ust.1 Ustawy o stopniach naukowych i tytułach naukowych oraz o stopniach i tytułach w zakresie sztuki z dnia 14.03.2003 oraz stosownych przepisach wykonawczych na podstawie ww. Ustawy. W związku z art. 179 ust.1 Przepisy wprowadzające - Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 03.07.2018 tym wnioskuje o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Dariusza Gibalskiego do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Wojskowej Akademii Technicznej.



