



Kompletny wielokanałowy system odczytowy dedykowany do współpracy z tranzystorowymi detektorami promieniowania THz

Promieniowanie terahercowe ($1\text{THz}=10^{12}\text{Hz}$) jest często przedstawiane jako ostatni zakres promieniowania elektromagnetycznego, który nie jest jeszcze w pełni zagospodarowany przez ludzkość. Dzieje się tak z uwagi na różnego rodzaju trudności związane z opracowywaniem zarówno odpowiednio wydajnych źródeł promieniowania jak i charakteryzujących się dobrymi parametrami detektorów. Ukuty został nawet termin '*terahertz gap*' dotyczący właśnie powszechnego braku przyrządów o zadowalających parametrach w tym zakresie częstotliwości. Omawiany system jest wynikiem jednych z wielu aktualnie prowadzonych na świecie prac badawczych mających na celu wypełnienie owej luki.

Jednym z najbardziej obiecujących rozwiązań w kwestii detekcji promieniowania THz są detektory oparte o tranzystory polowe (FET – *Field Effect Transistors*). Do głównych zalet tego typu przyrządów zaliczyć można niski koszt ich wytworzenia, zadowalające parametry przy pracy w temperaturze pokojowej oraz łatwość integracji z elektroniką odczytową w ramach jednego układu scalonego. Długość fali promieniowania THz umożliwia ponadto integrację w ramach jednej struktury scalonej zestawu antena wraz z detektorem, ponadto niewielkie rozmiary tych elementów czynią możliwym produkcję struktur wielokanałowych – linijek lub matryc detekcyjnych.

Prace badawcze opisywane w niniejszym dokumencie, dotyczyły opracowania nowatorskiego, kompletnego systemu elektronicznego, który umożliwiłby odczyt oraz przetwarzanie sygnałów pochodzących właśnie z wielokanałowych tranzystorowych detektorów THz.

1. Opis Osiągnięcia

Rejestracja oraz przetwarzanie odpowiedzi pochodzących z tranzystorowych detektorów THz jest zadaniem skomplikowanym i wymagającym. Są to bowiem stałe sygnały napięciowe (DC) o bardzo małej amplitudzie (kilkanaście-kilkadziesiąt μV , $1\mu\text{V}=10^{-6}\text{V}$), przez co przy ich odczycie niezbędna jest minimalizacja wszelkich odbieranych zakłóceń oraz szumów. Szczególną uwagę należy przy tym poświęcić tzw. szumom $1/f$ (jeden nad f), których wartość skuteczna jest odwrotnie proporcjonalna do częstotliwości sygnału, a zatem dla DC osiąga ona maksimum.

Powszechnie w laboratoriach na całym świecie do rejestracji bardzo małych, wolnozmiennych sygnałów stosuje się tzw. detekcję fazoczułą (PSD - *Phase Sensitive Detection*). W uogólnionym przypadku polega ona na wyodrębnieniu słabego sygnału użytecznego poprzez jego modulację z pewną częstotliwością referencyjną oraz ściśle określoną fazą, a następnie odfiltrowanie wszelkich sygnałów poza ową częstotliwością, w celu ich dalszego przetwarzania. Przy niepodważalnych zaletach PSD, technika ta posiada również pewne fundamentalne ograniczenia. Po pierwsze, wykonywanie pomiaru tą metodą jest wolne. Po drugie nie każde źródło sygnału THz da się w prosty sposób zmodulować. Po trzecie PSD wymusza niejako jednokanałowość toru

sygnałowego. I po czwarte detekcja fazoczuła wymaga synchronizacji części nadawczej i odbiorczej, co wprowadza kolejne utrudnienia w budowie systemu odczytowego.

W ramach przeprowadzonych prac badawczych opracowany został kompletny system elektroniczny, który umożliwi odczyt bardzo słabych sygnałów z tranzystorowych detektorów THz, ale jednocześnie nie wymaga użycia kosztownej i niejednokrotnie kłopotliwej techniki detekcji fazoczułej.

System składa się z dedykowanego scalonego układu odczytowego, umieszczonego w specjalnie do tego celu zaprojektowanym module pomiarowym, sterowanym przy użyciu odpowiedniego modułu sterującego. Wszystkie składowe urządzenia (układ scalony oraz obydwa moduły) zostały w całości zaprojektowane w Zakładzie Z9. Całość zaprezentowana jest na poniższym zdjęciu.



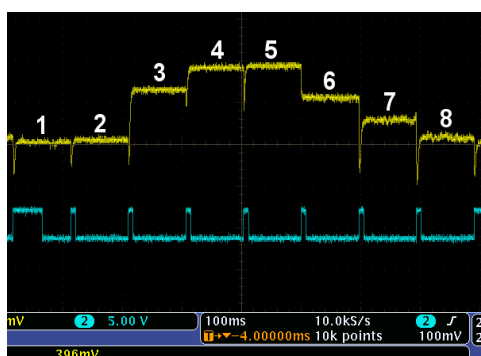
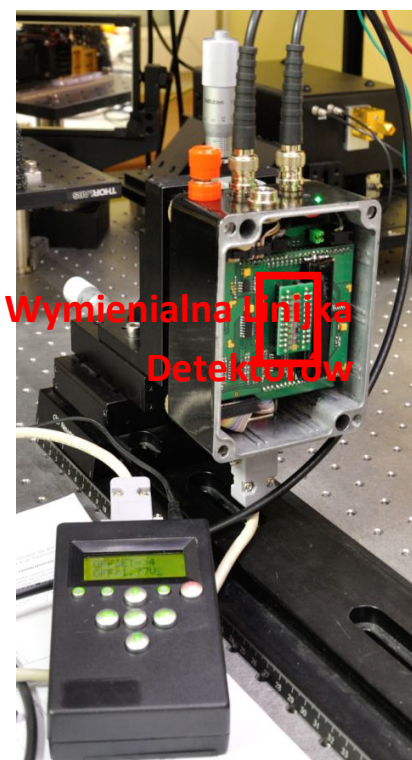
Na górnej płytce jednostki pomiarowej zamontowano, wykorzystując metodę *chip-on-board* dziewięć jednokanałowych, scalonych układów odczytowych. Następnie zostały one zaekranowane wspólną, metalową obudową w celu minimalizacji wpływu zakłóceń zewnętrznych na ich funkcjonowanie. Układy scalone zostały w całości zaprojektowane w Zakładzie Z9 i wykonane za pośrednictwem serwisu Europractice w technologii AMS C35 (wymiar charakterystyczny 350 nm).

System umożliwia odczyt sygnałów pochodzących z ośmioelementowej liniiki detekcyjnej, która umieszczona jest na niewielkiej, wymiennej płytce, dzięki czemu w dowolnej chwili użytkownik może dokonać zmiany aktualnie badanego zestawu detektorów.

Jednostka sterująca posiada znakowy wyświetlacz LCD oraz zestaw przycisków, za pomocą których użytkownik może dokonywać zmian parametrów systemu. Sercem sterownika jest odpowiednio zaprogramowany mikrokontroler ATmega32 z rodziny AVR. Sterownik jest w sposób galwaniczny odseparowany od jednostki pomiarowej celem minimalizacji potencjalnych zakłóceń. Dodatkowo urządzenie jest wyposażone w złącze USB, dzięki czemu może pełnić rolę interfejsu pomiędzy jednostką pomiarową a komputerem PC wyposażonym w odpowiednią aplikację pomiarową (np. zaprojektowaną z użyciem środowiska NI LabVIEW™).

Użytkownik ma do wyboru dwa tryby odczytu liniiki: ręczny lub automatyczny. System umożliwia dodatkowo generację sygnału synchronizacji/wyzwalania dla oscyloskopu, co znacząco ułatwia przeprowadzanie bardziej zaawansowanych pomiarów.

Poniższe zdjęcie przedstawia opracowany system podczas pomiarów w specjalistycznym torze optyki THz znajdującym w jednym z laboratoriów Instytutu Optoelektroniki Wojskowej Akademii Technicznej. Po prawej stronie zaprezentowano przykładowy przebieg uzyskany na wyjściu systemu odczytowego przy oświetlaniu liniiki detektorów wiązką promieniowania THz (skoncentrowaną pomiędzy detektorami 4 oraz 5).



2. Zastosowanie (w tym informacja o wdrożeniu)

System stał się jednym z mierzalnych wyników projektu THzOnline, z którego finansowane były prace badawcze. Opracowane urządzenie stanowi kompletny system umożliwiający pomiar sygnałów pochodzących z 8-elementowej linii tranzystorowych detektorów promieniowania THz. Dzięki modułowej budowie (wymienna płytki) możliwe są pomiary wielu rodzajów detektorów tranzystorowych, różniących się od siebie parametrami.

Jedną z podstawowych zalet zaprojektowanego systemu jest brak konieczności modulacji wiązki detekowanego projektowania - układ działa bez stosowania techniki PSD.

3. Znaczenie Naukowe, Ekonomiczne i Społeczne

Po pierwsze – jak już zostało to wyżej wspomniane – opracowany system stanowił ważny kamień milowy dla prac prowadzonych w ramach projektu THzOnline.

Po drugie – stanowi on unikalne rozwiązanie pozwalające na odczyt sygnałów z tranzystorowych detektorów THz bez stosowania detekcji fazoczułej.

Po trzecie – zaproponowane rozwiązanie, a zwłaszcza powstały w ramach badań układ scalony, cechuje się dość rozległą uniwersalnością. Może on stanowić bazę do opracowania kolejnych systemów przetwarzających sygnały pochodzące z innych źródeł aniżeli omawiane detektory THz. Docelowo rozwiązanie ma potencjał znaleźć zastosowanie wszędzie tam gdzie na co dzień korzysta się z metody PSD, czyli gdzie niezbędna jest detekcja słabych sygnałów w otoczeniu szumów oraz zakłóceń. Doskonałym przykładem są wszelkiego rodzaju pomiary szumowe, badania przeprowadzane w bardzo niskich temperaturach (kriogenicznych) czy pomiary sygnałów biomedycznych.

4. Źródła Finansowania

Prace badawcze były finansowane w ramach Programu Badań Stosowanych, a konkretnie projektu pt. „*Wielopikselowy detektor promieniowania THz zrealizowany z wykorzystaniem selektywnych tranzystorów MOS i jego zastosowanie w biologii, medycynie i systemach bezpieczeństwa*” (akronim THzOnLine, PBS1/A9/11/2012).

5. Twórcy Osiągnięcia

Cezary Kołaciński, Dariusz Obrębski, Michał Zbieć
