

# Transceiver na częstotliwość 440 teraherców, część 1

Tytuł artykułu został wybrany przewrotnie, aby zwrócić na niego uwagę czytelników. Do napisania jego skłonił autora brak jakiegokolwiek opracowania na temat komunikacji za pomocą fal świetlnych w polskich czasopiśmie poświęconych radiokomunikacji i zakup książek UHF/ Microwave experimenter's manual oraz UHF/ Microwave projects manual wydanych przez ARRL.

Częstotliwość 440THz jest ponad trzy miliony razy większa od częstotliwości amatorskiego pasma 2m i tysiąc pięćset razy większa od częstotliwości 300GHz, uważanej za górną granicę mikrofal. Częstotliwość 440THz odpowiada długości fali 680nm, czyli światłu o barwie czerwonej. Taką długość fali emitują lasery półprzewodnikowe montowane w tzw. wskazówkach świetlnych. Zakres światła widzialnego obejmuje zakres długości fal od 700nm (głęboka widzialna czerwień) do 400nm (widzialny fiolet).

Niewątpliwą zaletą opisanego w artykule transceivera jest brak jakichkolwiek zezwoleń na jego użytkowanie i bardzo prosta konstrukcja. Przy jej uruchomieniu nie jest wymagany taki zasób sprzętu i wiedzy, jak w przypadku innych pasm. Za pomocą modulacji natężenia światła - a tylko taką modulację się stosuje - można przesłać praktycznie wszystko, zaczynając od danych komputerowych, telewizji, głosu na telegrafii kończąc.

Zasięg komunikacji w zakresie częstotliwości fal świetlnych ogranicza się w zasadzie do widoczności optycznej nadajnika i odbiornika, choć można oczywiście w celu ominięcia przeszkód terenowych wykorzystać odbicie promieniowania od luster. Znane auto-

rowi rekordy odległości uzyskanej łączności wynoszą odpowiednio 275km dla telegrafii i 191km dla fonii, a więc są nadspodziewanie duże.

## Fotodetektory

Na wstępie zostały przybliżone najczęściej stosowane detektory promieniowania wraz z ich krótką charakterystyką. W tabeli 1 znajduje się zestawienie większej liczby fotodetektorów, które ze względu na brak miejsca nie będą omawiane.

## Fotopowielacz

Najczulszym stosowanym fotodetektorem jest fotopowielacz mogący wykryć nawet pojedyncze fotony z rozdzielczością czasowo sięgającą w najlepszych konstrukcjach poniżej jednej nanosekundy - takie natężenie światła jest niewidzialne dla ludzkiego oka. Zdecydowano się na dokładniejszy opis jego działania ze względu na jego "egzotykę" i wysoką czułość.

Fotopowielacz działa w następujący sposób: foton światła padając na powierzchnię pokrytą najczęściej metalami alkalicznymi - fotokatodę - wybija z niej elektron, który jest następnie przyspieszany w polu elektrycznym i uderza w elektrodę zwaną dynodą, powodując emisję wtórną dalszych elektronów, które są powielane przez następną dynodę itd. Ten sposób wzmocnienia ze swojej zasady działania wprowadza bardzo małe szumy. Przy dużym natężeniu promieniowania liczba emisji jest na tyle duża, że zamiast zliczania impulsów prądu anodowego mierzy się jego wartość, tak jakby to była wielkość makroskopowa. Sprawność kwantowa najbardziej wydajnych materiałów stosowanych do

produkcji fotokatod przekracza dwadzieścia pięć procent, co w połączeniu ze wzmocnieniem uzyskanym za pomocą emisji wtórnej umożliwia zliczanie nawet pojedynczych fotonów. Dobierając materiał fotokatody można uzyskać czułość na odpowiedni zakres widma tzn. długość fali, poniżej której następuje fotoemisja.

Zasadniczo konstruuje się fotopowielacze tzw. czułe na błękit i czerwień. Do naszych celów nadają się fotopowielacze czułe na czerwień, ponieważ reagują one na promieniowanie o długościach fal ponad dziewięćset nanometrów, natomiast czułe na błękit są czułe na długości fal krótsze od czterystu nanometrów.

Do zasilania fotopowielacza stosuje się dzielnik napięcia o tak dobranych rezystancjach, by między sąsiednimi dynodami panowało napięcie od 100 do 300V, co wymusza stosowanie napięć zasilających nierzadko przekraczających 1000V. Końcowy strumień elektronów jest zbierany przez anodę, której potencjał jest bliski zera. Wartość prądu anodowego jest na tyle duża, że wartość szumu dodawanego przez zewnętrzny wzmacniacz jest do pominięcia.

Wzmocnienie uzyskane przez zastosowanie dynod jest proporcjonalne do ich liczby (wzmocnienie na jedną dynodę wynosi typowo od sześciu do dziesięciu razy, choć znane są konstrukcje posiadające wzmocnienie na jedną dynodę większą od trzydziestu razy, liczba dynod wynosi zwykle od pięciu do dwunastu). Konieczna jest dobra stabilizacja napięć zasilających dynody ponieważ współczynnik emisji wtórnej zależy bardzo silnie od napięcia na dynodach, co umożliwia zmianę

Tab. 1. Zestawienie parametrów elementów fotoczułych dla długości fali 680nm.

Element	NEP 680nm [W Hz]	Wzmocnienie elementu	Powierzchnia fotoczuła [cm <sup>2</sup> ]	Czułość [A/W]	Zasilanie [V]	Wymiary elementu	Szybkość działania
Fotopowielacz	2...60·10 <sup>-16</sup>	1...1000·10 <sup>4</sup> [cm <sup>2</sup> ]	>4	1...500·10 <sup>3</sup>	>1000	Duże (kruchy)	Duża
Fotodioda PIN	0,2...9·10 <sup>-14</sup>	Brak	0,01...2	0,5	0-100 brak	Małe	Bardzo duża
Fotodioda APD - lawinowa	1...9·10 <sup>-14</sup>	< 200	0,01...2	0,4	200-2000	Małe	Bardzo duża
Fotodioda	0,1...1·10 <sup>-14</sup>	Brak	0,01-do dużej	0,4	Brak dla fotoogniwa lub do 100V	Małe do dużych	Średnia
Fototranzystor	?	>100	0,01	0,4	<50	Bardzo małe	Średnia
Fotorezystor	1...10·10 <sup>-10</sup>	Brak	0,5	1000 [V/W]	1-100	Średnie	Wolna

NEP - najmniejsza ilość promieniowania, jaką można wykryć na tle szumów bez obecności światła zakłócającego. Jest podawana w katalogach jako moc równoważna szumom dla pasma równego 1Hz (stosunek sygnał/szum równy 1).