



Radio, Krótkofalarstwo — fale radiowe cz. 2/2

łó > > ó

W **pierwszej części** tego wpisu opisałem jak generowane są fale radiowe oraz jak pewne ich zakresy propagują się w przestrzeni. W tej części chciałbym powrócić do tematu i opisać kolejne pasma fal, a także odpowiedzieć na pytanie, w jaki sposób, przy ich pomocy, przesyłane są informacje.

Ultra krótkie fale

W polskiej nomenklaturze, mianem fal ultrakrótkich przyjęło się określać dwa zakresy fal radiowych — fale metrowe (Very High Frequency — VHF, 30—300 MHz, 1—10 m) oraz fale decymetrowe (Ultra High Frequency — UHF, 300—3000 MHz, 10—100 cm).



Fale te nie uginają się tak jak omawiane w poprzedniej części zakresy. Im wyższa częstotliwość, tym fale zachowują się bardziej jak światło, a mniej jak, omawiane wcześniej, fale radiowe. W okolicach częstotliwości 100 MHz, fale przemieszczają się już w niemal prostej linii i dzięki temu mogą być skupiane i ukierunkowywane. Z tego względu, fala powierzchniowa, niepodążająca za krzywizną ziemi pozwala na komunikacje jedynie w zasięgu horyzontu, tj. do około 100—150 kilometrów, jeśli odbiornik i nadajnik umieszczone są na masztach, wysokich budynkach lub wzniesieniach na ziemi. Nie oznacza to jednak że w terenie zabudowanym nie będziemy mogli odebrać telewizji, radia czy nawiązać łączności z przemiennikiem. Jest to możliwe dzięki temu że fale odbijają się od przeszkód i nie są aż tak bliskie, swoją charakterystyką, światłu widzialnemu, żeby mogły wy tłumić je cienkie przeszkody.

Fale UKF to też pierwszy z omawianych zakresów, który przenika ziemską atmosferę. Jest on wykorzystywany do komunikacji z satelitami i stacjami kosmicznymi. Jednak, mimo że fale ultra krótkie przenikają atmosferę, w specyficznych warunkach pogodowych, część z nich może, nawet, kilkukrotnie odbić się w troposferze i powrócić do odbiorcy, nawet dwa tysiące kilometrów dalej. Nazywane jest to propagacją "tropo". Jest to niestety dość rzadkie zjawisko, a w zastosowaniach profesjonalnych oraz w krótkofalarstwie na co dzień korzysta się z propagacji bez odbić.



ź ó ł

Radiotelefony Kenwood (źródło: strona producenta)

Fale UKF wykorzystywane są, między innymi, do zapewniania radiokomunikacji głosowej wszelkim służbom, instytucjom i firmom które wykupią odpowiednie pozwolenia radiowe. Znajdują one zastosowanie w łączności fonicznej: Policji, Straży Pożarnej, Straży Miejskiej, Pogotowia Ratunkowego i Lotniczego, wojska, GOPR—u i TOPR—u, na kolei — w łączności szlakowej, manewrowej i Straży Ochrony Kolei, w lotnictwie cywilnym i wojskowym. Są też wykorzystywane przez dyspozytorów, kierowców i motorniczych pojazdów komunikacji miejskiej, taksówkarzy, agencje ochrony mienia oraz wiele innych lokalnych firm i instytucji.



Wykorzystuje się radiostacje montowane w pojazdach oraz ręczne radiotelefony, popularnie, choć błędnie, nazywane "krótkofalówkami". W przypadku, wciąż bardzo popularnej, łączności analogowej, standardem w tym paśmie jest modulacja FM oraz kanały foniczne o szerokości 12.5 kHz. W radiokomunikacji lotniczej wykorzystywana jest modulacja AM, która nawet przy bardzo złych warunkach i niskiej mocy odbieranego sygnału pozwala nam zinterpretować ludzki głos.

W fonicznych kanałach FM, przy pomocy modemów, możliwe jest przesyłanie danych z małymi szybkościami. Jest to dość popularne rozwiązanie z uwagi na łatwo dostępny sprzęt nadawczo—odbiorczy. Stosuje się je do odczytu danych z różnych czujników, np. wykonujących pomiary stanu wód w rzekach.

Coraz popularniejsze stają się w pełni cyfrowe standardy łączności. Pozwalają one na przesył dźwięku, danych cyfrowych, dostęp do sieci IP, a przede wszystkim, szyfrowanie transmisji. Policja i Pogotowie powoli migrują większość swoich systemów do własnościowego standardu Motorola MOTOTRBO. Mimo to, nadal wiele analogowych transmisji jesteśmy w stanie legalnie podsłuchać. :-)
Policjanci bardzo często dyktują przez radio dane zatrzymywanych i legitymowanych osób, podając ich PESELE, imiona, nazwiska, adresy zamieszkania. Nie narusza to ustawy o ochronie danych osobowych, ponieważ zgodnie z prawem, podsłuchane informacje należy od razu zapomnieć. ;-)

Listę zakresów częstotliwości przydzielonych w Polsce do różnych zastosowań można znaleźć w [Krajowej Tabeli Przeznaczeń Częstotliwości](#). Na stronie Urzędu Komunikacji Elektronicznej dostępny jest natomiast [wykaz pozwoleń radiowych](#) wydanych różnym podmiotom na korzystanie z pasm radiowych w określonych obszarach kraju. Wykaz ten nie obejmuje częstotliwości przydzielonych dawniej przez ministra (w osobnych uchwałach) oraz rządowych.



ż ó ł

ó

ą

ł

ł

RTON Czarna Góra transmitujący sygnał telewizji i radia na terenie Kotliny Kłodzkiej

(źródło: Wikipedia)

Fale UKF wykorzystywane są też do transmisji programów analogowego i cyfrowego radia oraz naziemnej telewizji cyfrowej, a dawniej także analogowej. Programy te nadawane są z Radiowo—Telewizyjnych Centrów i Ośrodków Nadawczych, należących w większości do EmiTel—a. Znajdują się one na szczytach gór i wysokich masztach w całej Polsce. Radio analogowe "UKF FM" zajmuje pasmo częstotliwości od 87.5 do 108 MHz, radio cyfrowe DAB+ — 174–230 MHz, telewizja DVB-T — różne częstotliwości, zależne od lokalizacji i dostępnych multipleksów.



Najpopularniejszymi pasmami krótkofalarskimi w zakresie UKF-u są: pasmo 2-metrowe (144 — 146 MHz) oraz pasmo 70-centymetrowe (430 — 440 MHz). Do prowadzenia rozmów lokalnych wykorzystuje się, w tych pasmach, podobny standard analogowej łączności fonicznej, jak opisany powyżej. Korzysta się z identycznych radiotelefonów i radiostacji, a także (opcjonalnie) przemienników na szczytach gór, masztach, wysokich budynkach w centrach miast, satelitach i stacjach kosmicznych. Przemienniki zwiększają zasięg naszych transmisji, retransmitując odebrany sygnał, zazwyczaj z większą mocą, z punktu o dobrym zasięgu. Największa znana mi baza przemienników w Polsce i krajach sąsiednich to przemienniki.net.

Część przemienników, zrzeszonych w sieci EchoLink, pozwala na nawiązanie połączenia z innymi przemiennikami, po nadaniu specjalnego kodu DTFM. Przemienniki przekazują wtedy między sobą odbierane transmisje. Połączenia realizowane są przez Internet.

Dawniej, w czasach przed Neostradą, a nawet numerem 0202122, pasmo to, wraz modemami podłączanymi do radiostacji i radiotelefonów wykorzystywane było do nawiązywania połączeń z radiowymi BBS-ami oraz przekazywania ruchu IP i Fidonetu. Krótkofalowcy dysponowali nawet swoją własną pulą adresów

IPv4, która niestety, z uwagi na wyczerpującą się pulę adresów, została już dawno przydzielona operatorom.

Z podobnego standardu — ramek AX.25 nadawanych przez modemy na kanałach fonicznych FM, korzysta, wciąż popularny, protokół APRS. Pozwala on nadawać swoją pozycje GPS oraz inne dane — np. odczyty ze stacji pogodowych. Są one zbierane przez tysiące odbiorników na całym świecie i zamieszczane na mapie aprs.fi. Z podobnego rozwiązania, choć z innym rodzajem emisji i na innych częstotliwościach, korzystają osoby wypuszczające balony meteorologiczne. Mapa balonów znajdujących się w powietrzu dostępna jest pod adresem: <https://tracker.habhub.org/>.



Pasma te nie są oczywiście ograniczone tylko do jednego rodzaju emisji — FM. Wykorzystuje się tutaj również inne modulacje (głównie SSB i telegrafie), zazwyczaj przy łącznościach na duże odległości, w duktach w troposferze, czy przez odbicia od rzadko pojawiającej się warstwy E, w jonosferze. W łącznościach lokalnych wykorzystuje się również, coraz popularniejszy, w pełni cyfrowy, standard D-STAR.

Mikrofale

Idąc dalej, w kierunku wyższych częstotliwości, natrafiamy na pasmo mikrofal (1 —300 GHz, 1—300 mm). Częściowo pokrywa się ono z omawianym wcześniej zakresem UKF. W paśmie tym uginanie już całkowicie nie występuje, a fale odbijają się podobnie jak światło widziane. Są też mocno tłumione przez przeszkody, takie jak ściany. Ponieważ pasmo mikrofal jest bardzo szerokie, są one bardzo chętnie wykorzystywane do transmisji danych. Powszechnie, w radiokomunikacji, wykorzystuje się już fale w zakresie do kilkudziesięciu GHz.

W paśmie tym działają: nadajniki sieci telefonii komórkowej, routery i karty sieciowe WiFi, moduły Bluetooth, urządzenia dostępne sieci WiMAX, telewizja satelitarna i w zasadzie większość współczesnej telekomunikacji. Część z tych systemów — min. sieci WiFi, Bluetooth i telefony bezprzewodowe, korzysta z nielicencjonowanych pasm ISM, w których, z ograniczoną mocą, mogą nadawać wszyscy, bez specjalnych pozwoleń radiowych. Obecnie w użyciu są dwa takie pasma — 2.4 oraz 5 GHz.



Oczywiście, i tutaj, krótkofalowcy dysponują swoimi pasmami. Niektóre z nich, częściowo pokrywają się z pasmami ISM, co pozwala choćby na stworzenie krótkofalarskiej sieci WiFi działającej na dużo większym obszarze niż typowe. W pasmach tych obowiązuje ograniczenie mocy do 50W. Do nawiązywania dalekich łączności, w zakresie mikrofal, wykorzystuje się odbicia od przeszkód, takich jak samoloty na niebie, czy ślady meteoroidów spalających się w atmosferze.

W okolicach 4 GHz napotykamy jednak problem — fale zaczynają być pochłaniane przez krople deszczu. Częstotliwości te wykorzystywane są do zestawiania naziemnych radiolinii oraz łączy dosyłowych do transmisji danych do satelitów. Z tego względu stosuje się redundancje — stawia dodatkowe radiolinie i satelitarne centra nadawcze, aby część z nich mogła być wyłączona na czas deszczu i burz.

W okolicach 60 GHz mamy do czynienia z jeszcze bardziej problematycznym zjawiskiem. Fale pochłaniane są przez tlen. Nie nadają się już więc do transmisji sygnałów na większe odległości.

Mikrofałe to pierwszy zakres fal elektromagnetycznych, który możemy zobaczyć. Naukowcy z MIT skonstruowali kamerę zdolną do rejestracji fal z zakresu od 2.5 do 4 cm (częstotliwości od 7.5 do 12 GHz). Dla porównania, światło widzialne to

fale z zakresu od 390 do 700 nm (częstotliwości od 430 do 770 THz). Niestety, z uwagi na duży rozmiar fal, uzyskany obraz zawsze będzie nieostry, niezależnie od rozdzielczości matrycy rejestrującej obraz.

Poniższy filmik prezentuje działanie kamery. Pozwala ona skanować trójwymiarowe obiekty znajdujące się nawet za ścianami, wykonanymi z materiałów, przez które są w stanie przenikać mikrofałe. Obiekty oświetlane są najpierw impulsem mikrofalowego "światła", a następnie, w odstępach 200 ps (czas potrzebny falam elektromagnetycznym na przebycie około 6 centymetrów), kamera rejestruje wiele klatek obrazu. Fale odbijają się od nieprzeźroczystych dla nich materiałów (np. folii aluminiowej) i powracają do kamery w kolejnych klatkach. Część z nich przenika przeszkody i odbija się od kolejnych, powracając do kamery w późniejszym czasie, co pozwala uzyskać przekrój przedmiotów. Klatki obrazu mają rozdzielczość 41x41 px. Więcej informacji: <http://cameraculture.media.mit.edu/time-of-flight-microwave-camera/>

An error occurred.

Try watching this video on www.youtube.com, or enable JavaScript if it is disabled in your browser.

Światło, widzę światło!

Jeszcze dalej, w spektrum, znajdują się fale podczerwone wykorzystywane choćby w kablach światłowodach i pilotach do telewizorów, światło widzialne, ultrafiolet, promieniowanie rentgenowskie i gamma.



ó

ż ó ł

Rozgrzany parowóz w dalekiej podczerwieni (źródło: Wikipedia)



ń ź ó ł



ł

ź ó ł

Fale podczerwone zbliżają się ze swoją charakterystyką do światła widzialnego. Można je łatwo wytłumić i przenikają tylko cienkie, nieprzeźroczyste dla nich, przeszkody. Oczywiście zakres ten jest bardzo szeroki, dużo szerszy niż zakres światła widzialnego, i tak, daleka podczerwień bardziej przypomina mikrofales, a bliska jest podobna do światła widzialnego, do tego stopnia że przy pomocy specjalnych filtrów do "zwykłych" aparatów fotograficznych, możliwe jest robienie zdjęć w tym zakresie. Daleka podczerwień to natomiast promieniowanie cieplne — światło to emituje każdy gorący obiekt (a im bardziej jest gorący, tym emitowane fale mają wyższą częstotliwość, dochodząc nawet do światła widzialnego), a te które go pochłaniają i nie odbijają (będąc w tym zakresie "czarne"), po pewnym czasie nagrzewają się i też zaczynają emitować "światło" dalekiej podczerwieni. Światło ultrafioletowe zachowuje się podobnie jak światło widzialne i bliska podczerwień. Poniżej nagranie z kamery ultrafioletowej:

An error occurred.

Try watching this video on www.youtube.com, or enable JavaScript if it is disabled in your browser.

To że dany materiał jest przeźroczysty dla danego zakresu fal, nie oznacza że dla innego też będzie przeźroczysty. W trakcie eksperymentów w laboratoriach z

kamerami pracującymi w różnych zakresach światła, na mojej uczelni, zauważyłem że liście drzew przepuszczają promienie ultrafioletowe, a fale podczerwone były odbijane przez szyby w oknach, których, z uwagi na działającą klimatyzację, nie mogliśmy otworzyć.

Gdy wchodzimy w zakres promieniowania rentgenowskiego pojawia się ciekawe zjawisko. Fale stają się mniejsze od atomu i są w stanie go przenikać oraz uszkadzać. Fale te nadały by się do bardzo szybkiej transmisji danych, w końcu, w tym zakresie dysponujemy ogromnym pasmem, jednak są niebezpieczne i zapewne nigdy nie będą wykorzystywane w telekomunikacji.

Modulacja

Z pewnością, najprostszym sposobem przesyłu danych falami radiowymi, była by emisja fali o stałej częstotliwości i przerywanie tej emisji w odpowiednich chwilach. Modulacja taka nosi nazwę Contiguous Wave (CW) i jest wykorzystywana głównie w telegrafii. Nadawane są krótsze i dłuższe impulsy (oznaczane obecnością fali), których grupy tworzą znaki z alfabetu Morse'a. Osoby które znają ten alfabet nie interpretują długości trwania pojedynczych impulsów, a wsłuchują się w melodie przez nie tworzoną.

Modulacja CW ma bardzo małe rozproszenie mocy pomiędzy częstotliwości — emitujemy "szpilkę" o stałej częstotliwości, a jej rozproszenie zależy tylko od stabilności źródła częstotliwości. Z tego względu, modulacja ta jest bardzo wydajna i zapewnia duże osiągi, pozwalając transmitować sygnały na duże odległości mimo małej mocy nadajników.

AM



ł

ą

ż ó ł



ę

ś ż ó ł

Kolejną prostą modulacją jest modulacja amplitudy. Pozwala ona na przesył dźwięku i innych analogowych danych. Podobnie jak w modulacji CW,

emitujemy falę o stałej częstotliwości. Tym razem jednak, zamiast włączać i włączać transmisję, zmieniamy amplitudę naszej fali nośnej (wysokość sinusoidy sygnału elektrycznego tworzącego falę elektromagnetyczną), w takt sygnału odwzorowującego falę akustyczną.

Emitowana moc rozprasza się pomiędzy częstotliwości dwóch wstęg bocznych oraz "szpilkę" — odpowiadającą fali nośnej. Wstęgi boczne odpowiadają częstotliwością fali akustycznej (modulującej). Każda z nich jest identycznym lustrzanym odbiciem przeciwnej. Modulacja ta wykorzystywana jest głównie w transmisji radia programowego na niskich częstotliwościach, w lotnictwie (o czym wspominałem już wcześniej) oraz w CB radiu. Mimo rozproszenia mocy, modulacja ta zajmuje wąskie pasmo, w porównaniu z innymi, nowocześniejszymi, jest jednak bardziej podatna na wpływ szumów.

Skoro jednak obie wstęgi boczne przenoszą te same informacje, to może moglibyśmy pozbyć się jednej z nich i zmniejszyć rozproszenie mocy i zajęte pasmo? Oczywiście! Możemy nawet wytłumić falę nośną, nie przynosi one żadnych istotnych informacji, no może poza informacją że w tym miejscu jest "środek" sygnału, ułatwiająca dostrojenie się do odbieranej transmisji. Sygnał zawierający tylko jedną wstęgę boczną nazywamy sygnałem Single Side Band (SSB). W krótkofalarstwie przyjęło się, że poniżej częstotliwości 10 MHz transmitujemy wstęgę "dolną" — modulacja Lower Side Band (LSB), a powyżej, "górną" — Upper Side Band (USB).

FM i PM

Inne podejście do problemu prezentuje modulacja częstotliwości. Tutaj sygnał nadawany jest cały czas z taką samą amplitudą, zmianie ulega natomiast częstotliwość fali, przyjmująca wartość z pewnego ustalonego zakresu. Przykładowo: 100 kHz, wokół częstotliwości 95.5 MHz, co daje nam falę przyjmującą częstotliwości od 95.45 do 95.55 MHz, w czasie. Jeśli sygnał odebrany z mikrofonu ma w danej chwili niskie napięcie, odpowiadająca mu zmodulowana fala nośna ma niższą częstotliwość, przy wyższym chwilowym napięciu, generujemy falę o częstotliwości wyższej. Modulacja ta jest odporna na szumy, jednak można zakłócić transmisję, emitując ciszę o wyższej mocy, np. wyłączając sąsiadowi radio.

Podobnie możemy też zmieniać kąt, jaki w danym czasie zakreśla sinus "rysujący" falę. Wykres sygnału z modulacją fazy jest jednak bardzo podobny do wykresu sygnału modulacji częstotliwości.



ź ó ł

Modulacja fazy (źródło: Wikipedia)

Modulacje cyfrowe

Różnicę, między modulacją częstotliwości i fazy, widać dobrze dopiero przy przesyłaniu sygnału cyfrowego. Zamiast sygnału z mikrofonu, sygnałem modulującym jest sygnał przyjmujący w czasie jedno z ustalonego zbioru, np. 2, 4, 8 lub 16, napięć. Cyfrowym odpowiednikiem modulacji AM, jest modulacja Amplitude-shift keying (ASK), modulacji FM — Frequency-shift keying (FSK), a modulacji PM — Phase-shift keying (PSK).



ź ó ł

a) dwustanowa (binarna) modulacja ASK; b) -|- FSK; c) -|- PSK (źródło: Andrew S. Tanenbaum - Computer Networks)

Modulacje można także łączyć. Przykładem tego może być modulacja QAM — Quadrature Amplitude Modulation, w wariantach QAM-16, QAM-64, QAM-256 itd., gdzie liczba oznacza ilość możliwych stanów które w jednym czasie przyjmuje transmitowany sygnał. Są one kombinacją zmian amplitudy i fazy fali.



ź ó ł

Wykres konstelacji modulacji QAM-16 (źródło: elektronikab2b.pl)

Powszechną obecnie praktyką jest równoległa emisja wielu sygnałów zmodulowanych QAM na sąsiednich częstotliwościach. Takie działanie nosi nazwę Ortogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). Wykorzystywane jest ono między innymi w sieciach WiFi oraz WiMAX.

Bibliografia:

- Krzysztof Słomczyński SP5HS — ABC krótkofalowca
- Andrew S. Tanenbaum — Computer Networks

- Seria filmów popularnonaukowych "Cosmos, a spacetime odyssey"
- <http://cameraculture.media.mit.edu/time-of-flight-microwave-camera/>
- Wikipedia

ó

← poprzedni

Radio, Krótkofalarstwo — fale radiowe cz. 1/2

ę

